

Réflexions sur l'utilisation du propulseur

Christian LEPERS

RÉSUMÉ

La connaissance et l'emploi (sportif essentiellement) du propulseur se diffuse dans le grand public depuis maintenant une génération. Cette situation résulte des travaux de préhistoriens et de leur vulgarisation, des démonstrations et ateliers pratiques mis en place dans de nombreux musées mais également par le développement d'une pratique sportive centrée sur le championnat d'Europe de tir aux armes préhistoriques. Malgré une simplicité apparente, le propulseur et sa sagaie posent encore de nombreuses questions. En comparant l'arc et le propulseur, la flèche et la sagaie, cet article propose quelques pistes pour mieux appréhender le fonctionnement du propulseur, le vol des sagaies et l'usage de ce système d'arme.

MOTS-CLÉS : Comparaison arc et propulseur, propulseur et sagaie, trajectoire des sagaies, technique de propulsion, amélioration du matériel.

ABSTRACT

The knowledge and the use of the spear-thrower (atlatl) is spreading in the general public since one generation now. This situation is the result of the work of prehistorians, his popularization, the demonstrations and practical workshops organized by museums but derives also from the developpement of sport practice centered on the European préhistorical weapons championship. In spite his apparent simplicity, the spear-thrower and his dart generate still a number of questions. In comparing bow and spear-thrower, arrow and dart, this paper suggests some trails for better grasping the spear-thrower functioning, the dart flight and the use of this weapon system.

KEYWORDS: Comparison bow/spear-thrower, spear-thrower and dart, dart trajectory, propulsion technologies, equipment improvement.

Le titre de cet article peut sembler présumptueux. Pourtant, si l'arc et son utilisation sont bien étudiés, le mode de fonctionnement et les techniques d'emploi du propulseur restent entourés de vastes zones d'ombre. Dans les pages qui suivent, je vous propose d'aborder le tir au propulseur sous son aspect pratique, de mettre en évidence des constantes, des règles et des gestes. Vous y trouverez des pistes de réflexions, beaucoup d'hypothèses, de conditionnels et une proposition de technique de tir. D'autres manières d'utiliser cette arme venue du fond des âges doivent exister et je suis certain qu'un matériel différent des propositions de cet article peut être très efficace, en adaptant la technique de tir et de visée. Puisse cet article susciter d'autres réflexions, des avis multiples et des propositions nouvelles.

Pour décrire les gestes et les mouvements, j'éviterai les qualificatifs classiques de latéralisation (gauche ou droit). Pour l'arc, j'utiliserai les termes de « bras ou main d'arc » par

opposition à celle qui tient la corde (appelée main de corde). Au propulseur, je parlerai de « bras ou main de propulsion ». Dans les deux cas, la jambe avant sera opposée à la main de corde ou de propulsion (la jambe gauche pour un droitier) ; la seconde sera appelée « jambe (ou appui) arrière ». Les mots suivis d'un astérisque (*) font l'objet d'une définition en fin d'article.

1. Le propulseur et son usage

En Europe, le plus ancien crochet de propulseur connu est attribué au Solutréen supérieur (± 19000 B.P.) (Cattelain, 1989) mais son apparition est peut-être plus ancienne. Son usage semble décliner vers la fin du Paléolithique supérieur (± 12500 B.P.). A-t-il côtoyé l'arc ? Fut-il l'arme exclusive de certaines cultures ? Bien malin qui peut répondre de manière certaine à cette question aujourd'hui. Le propulseur n'est pas cantonné à la préhistoire européenne. Son usage

perdurera ou réapparaîtra dans d'autres régions du monde :

Il faisait encore partie de la panoplie du chasseur aborigène en Australie, pendant la première moitié du 20^e siècle (seule région du monde où l'arc était inconnu).

Avant la Seconde Guerre mondiale, les Inuits en usaient encore couramment pour la chasse à bord de leurs kayaks (la chasse sur terre se faisant à l'arc).

Le propulseur était connu de certaines cultures préhistoriques en Amérique du Nord, comme les « *basketmakers* » (Stodiek, 1988).

Les conquistadores espagnols du 15^e siècle redécouvrirent cette arme aux mains de populations précolombiennes, dont les Aztèques qui l'appelaient *Atlatl*.

C'est sous ce nom, aux consonances inhabituelles pour nos oreilles, que de nombreux passionnés (sportifs ou archéologues) le désignent Outre-Atlantique. Depuis une vingtaine d'années, une association vouée à sa diffusion existe aux U.S.A. : la *World Atlatl Association* (<http://www.worldatlatl.org>).

Les premiers crochets de propulseurs préhistoriques ont été découverts en 1862, à Laurier-Basse, par Lartet et Christy, mais ils ne seront pas tout de suite identifiés comme tels (Lansac, 2004). Il faudra attendre la deuxième moitié du 20^e siècle pour que des préhistoriens cherchent à cerner l'efficacité du propulseur,



FIG. 1 – Quelques exemples de propulseurs plus ou moins décorés, mais tous efficaces.

en comparaison ou non avec l'arc. De cette pratique quasiment confidentielle, organisée par des préhistoriens, naîtra le championnat d'Europe de tir aux armes préhistoriques. Actuellement, tandis que de nombreuses questions restent sans réponses et offrent un large champ d'action à l'archéologie expérimentale, une pratique sportive particulière s'est développée. Ce « sport », sans lien direct avec la recherche scientifique, garde, dans le chef de nombreux compétiteurs, des liens forts avec la préhistoire. On entend encore parfois, à l'occasion de flambées d'enthousiasme des tireurs, utiliser les termes « expérimental et expérimentation » pour parler du championnat mais il faut rappeler qu'il s'agit, avant tout, de rencontres de passionnés, au cours desquelles la convivialité, l'échange et l'émulation sportive se côtoient dans un cocktail dont il est bien délicat de séparer les divers constituants.

Annuellement, ces rencontres drainent, en une trentaine de manches, plusieurs centaines de passionnés venant essentiellement d'Europe occidentale. Si l'aspect vulgarisation (parfois un peu légère, il faut bien l'avouer) peut, ou a pu, gêner certains préhistoriens et professionnels de l'archéologie (Geneste *et al.*, 1998 ; Pelegrin, à paraître), sa pratique n'est pas dépourvue d'intérêt pour aider à comprendre, par une approche pratique et réaliste, le fonctionnement et les limites « des armes complexes les plus anciennes de l'histoire de l'humanité » (Stodiek, 1988). Certains archéologues l'ont compris en associant des compétiteurs réguliers du championnat à leurs travaux (Cattelain & Perpère, 1995 ; Petillon, 2006).

2. L'arc et la flèche, la sagaie et le propulseur, points communs et différences

Souvent assimilés à des armes, l'arc et le propulseur ne sont que des éléments d'un système complexe formé de la réunion d'un moyen de dispositif de lancement et d'un projectile. J'utiliserai, dans cet article, les termes d'arc et de propulseur pour parler de l'outil de projection, flèche ou sagaie pour désigner les projectiles. Les appellations « arc et flèches » ou « propulseur et sagaies » feront référence à ces systèmes d'armes.

Malgré des différences apparentes, les deux systèmes d'armes présentent plusieurs points communs. Certains travaux se sont attachés à les différencier mais une observation attentive et une comparaison raisonnée, basée sur la pratique des deux systèmes d'armes, peuvent conduire à une meilleure compréhension du propulseur, de la sagaie et de leur utilisation. Cette voie, qui peut paraître aventureuse, reste un des seuls moyens à notre disposition pour comprendre et appréhender un système d'arme original, sans doute définitivement abandonné au cours du 20^e siècle.

Arc et flèche se déclinent sous des formes, des tailles et des techniques d'utilisation multiples. L'ethnographie et l'archéologie révèlent également une grande variabilité pour le propulseur et les sagaies, augurant de techniques d'utilisation diverses selon les cultures et les époques. Ma réflexion repose sur le matériel et les pratiques les plus couramment rencontrés lors du championnat d'Europe de tir aux armes préhistoriques :



FIG. 2 – Jean Dumont à l'arc (concours de Zonhoven 2011).

- l'arc traditionnel simple, d'une taille suffisante pour permettre une longueur d'armement proche de la longueur du bras de l'archer, selon les normes classiquement en usage ;
- des flèches d'une longueur légèrement supérieure à l'allonge du tireur, équipées d'une pointe et d'un empennage constitué de trois plumes radiales, espacées de 120°, fixées à proximité de l'encoche ;
- un propulseur à crochet (mâle) d'une longueur d'environ 0,60 à 0,70 m ;
- des sagaies relativement légères (entre 100 et 250 g), d'une longueur d'environ deux mètres, munies d'une pointe simple et d'un empennage constitué de trois plumes radiales espacées de 120° et fixées à proximité de l'encoche.

Pour faciliter la compréhension, je considère le cas d'un tireur et de sa cible disposés dans un même plan horizontal en absence de vent. Les descriptions et les schémas sont établis pour un tireur droitier, les gauchers inverseront.

2.1. La séquence « idéale » de tir à l'arc

D'un point de vue physique, l'arc est un ressort qui se déforme lorsqu'on opère une traction sur la corde. Il « stocke » dans les branches une certaine quantité d'énergie (potentielle) proportionnelle à la déformation imposée à l'arc. Quand l'archer relâche la corde, l'énergie potentielle accumulée



FIG. 3 – Uli Weigel au propulseur (concours de Zonhoven 2011).

dans l'arc est transmise à la flèche sous forme d'énergie cinétique (énergie de mouvement).

Obtenir des tirs précis et répétitifs impose l'usage d'un arc constant, de flèches identiques avec une gestuelle de tir rigoureuse qui ne s'acquiert que par un entraînement régulier. On peut décomposer une séquence de tir comme suit :

Armement : ayant encoché la flèche sur la corde et pris une position de tir stable, le tireur arme l'arc. L'effort physique déployé par l'archer augmente tout le long de la phase d'armement.

Phase de stabilisation : le mouvement d'armement est stoppé en un point déterminé appelé « point d'ancrage » (voir § 2.3.2.).

Visée : tout en maintenant son arc armé, le tireur procède à la visée et effectue les éventuelles adaptations de direction (site et angle de tir).

Tir : l'archer décoche la flèche en maintenant le corps immobile. Seuls les doigts retenant la corde bougent. L'effort musculaire nécessaire pendant la phase d'armement s'interrompt.

Vol du projectile selon l'impulsion et l'orientation reçues. Le tireur ne dispose plus d'aucun contrôle, tout est joué. Dans la première partie de sa trajectoire, la flèche oscille avant de se redresser et de poursuivre son vol jusqu'à l'impact.

2.2. La séquence « idéale » de tir au propulseur

Certains auteurs considèrent le propulseur comme la partie matérielle d'un système complexe de levier entraîné par la rotation du poignet lors de la phase finale du mouvement de propulsion. Je préfère y voir un moyen d'augmenter la distance d'élancement, le mouvement de rotation du poignet et du propulseur constituant le développement ultime de cette phase de poussée. Soumise à une force donnée sur un parcours d'élancement accru, la sagaie acquiert une énergie plus importante que si elle était lancée à la main (§ 4.3.). Un bon mouvement de projection nécessite la mise en mouvement de tout le corps et le travail de nombreuses articulations (poignet, coude, épaules, hanches, genoux et chevilles).

La séquence de tir au propulseur peut être décomposée comme suit :

Armement : le tireur prend une position stable, la sagaie encochée sur le crochet du propulseur et maintenue par deux doigts de la main de propulseur. Il amène le propulseur en arrière de la tête. Le tireur est détendu et ne développe quasiment aucun effort physique.

Stabilisation de l'armement : restant en position sur le pas de tir, il prend sa position de tir (recul du buste et déplacement du poids du corps sur la jambe arrière) en maintenant le bras de propulsion en arrière de la tête. C'est la position d'ancrage.

Visée : tout en maintenant sa position de tir, le tireur procède à la visée et aux éventuelles adaptations d'orientation (direction et angle de hausse).

Tir : le tireur projette la sagaie par un ample mouvement du bras avec un accompagnement du corps (variable selon les tireurs). En cours de mouvement, les doigts qui maintenaient la sagaie s'écartent peu de temps avant que son talon ne quitte le crochet du propulseur. L'entièreté du travail musculaire se fait dans ce court instant de propulsion.

Vol du projectile vers la cible selon l'impulsion et l'orientation reçues. Le tireur ne dispose plus d'aucun contrôle, tout est joué. Dans la première partie de sa trajectoire, la sagaie oscille avant de se redresser et de poursuivre son vol jusqu'à l'impact.

Que ce soit pour l'arc ou le propulseur, on peut décomposer, ou réunir, certaines étapes de ces séquences mais, avec l'habitude, les gestes s'enchaînent de manière fluide en une action quasiment continue.

2.3. Points communs et différences entre les deux systèmes d'armes

Flèches et sagaies présentent une allure générale très proche. Les différences les plus importantes portent sur leur taille et l'aménagement de leur talon : encoche pour la flèche, cupule conique ou cylindrique pour la sagaie. Dans les deux cas, la force de propulsion est appliquée sur le talon du projectile, loin en arrière de leur centre de gravité.

2.3.1. Armement

Quelle que soit la technique, le tireur doit prendre une position stable. Le corps et les jambes, maintenues écartées pour la stabilité, sont placés parallèlement à l'axe de tir.

Quand l'archer arme son arc, le travail musculaire est essentiellement effectué par les muscles supérieurs du corps (bras, épaules et dos). Au fur et à mesure que la main de corde recule, l'effort musculaire à fournir par le tireur augmente. Les hanches et les jambes restent fixes pendant toute la séquence de tir.



FIG. 4 – Position d'ancrage à l'arc
(J. Dumont, Zonhoven 2011).



FIG. 5 – Position d'ancrage au propulseur
(F. Brutus, Saint Hubert 2012).

L'arc stocke une énergie potentielle égale au produit de la force nécessaire pour l'armer par la distance d'armement (§ 4.3.).

Lorsque le tireur au propulseur se prépare au tir en plaçant sagaie et propulseur dans la direction de tir, aucun effort musculaire important n'est nécessaire. Tout au plus constate-t-on, chez beaucoup de tireurs, que le buste se déplace et s'incline vers l'arrière pour venir en appui sur la jambe arrière.

2.3.2. Stabilisation de l'armement

Dans les deux disciplines, le talon du projectile doit toujours occuper, à la fin de la phase d'armement, une position constante par rapport au corps du tireur (lui-même prenant chaque fois une posture identique). Il pourra ainsi obtenir une distance de propulsion répétitive.

À l'arc, ce point (appelé point d'ancrage) est matérialisé par un point de contact entre la corde, ou un doigt de la main de corde, et un endroit du visage ou de la tête. Les points d'ancrage varient selon les techniques de tir. En général, les tireurs instinctifs amènent la main de corde vers la joue et arrêtent leur mouvement lorsqu'un doigt de la main de corde (l'index) touche la commissure des lèvres.

Au propulseur, la position d'ancrage affecte le bras de propulsion mais aussi la position du tronc et son inclinaison en appui sur la jambe arrière. La poignée du propulseur étant placée dans une zone voisine de l'épaule, on ne peut compter sur la présence d'un point de contact avec la face ou le corps. Pour peu qu'elle soit naturelle et compatible avec le travail musculaire à fournir lors du lancer, on trouve facilement une position initiale constante. Un point d'ancrage physiquement inconfortable risque d'amener un mouvement saccadé manquant de force ou mal contrôlé qui nuira à la précision du tir.

2.3.3. Oeil directeur, ligne de mire et visée

Les archers utilisant des arcs dépourvus de tout accessoire de visée sont couramment désignés « tireurs instinctifs ». Bien que flatteuse, cette désignation est fallacieuse. On ne naît pas archer, on le devient. N'en déplaise à Uderzo et Goscinny, je n'ai jamais rencon-

tré d'archer qui soit « tombé dans la marmite étant petit ». Le tir à l'arc repose sur l'éducation du tireur, la répétition à chaque tir d'une gestuelle précise et l'expérience, entretenue et développée par une pratique régulière. Tout au plus rencontre-t-on, comme dans toutes les activités humaines, des personnes plus intuitives, ou plus observatrices, qui maîtrisent le matériel et la technique plus rapidement que d'autres. L'aspect erroné de l'expression « instinctif » saute aux yeux quand on repense aux trésors de patience déployés par les professeurs qui nous ont appris à écrire. Que de concentration, d'application et de temps il faut à un enfant de six ans pour écrire des mots qu'un adulte jette sur papier distraitemment, sans concentration apparente ! Rien d'instinctif ou de magique mais le résultat de l'éducation de la main et du cerveau, jointe à une pratique régulière étalée sur plusieurs années de scolarité.

Afin de faciliter la visée, il y a deux règles préalables à respecter :

Avec ou sans viseur, la main d'arc sera choisie en fonction de l'œil directeur* du tireur.

Pour pouvoir estimer les distances et apprécier la configuration topographique du tir, le tireur gardera les deux yeux ouverts afin de garder une vision stéréoscopique*.

L'action de viser regroupe deux actions :

- établir une « ligne de mire* » plus ou moins élaborée dont les points extrêmes sont : l'œil directeur* du tireur et la cible (ou point de mire) ;
- adapter l'orientation du système d'arme de manière à lancer le projectile dans la bonne direction et sous la bonne inclinaison.

À l'arc, l'œil directeur se trouve en arrière ou à proximité immédiate de la corde et de l'encoche de la flèche ; cette disposition facilite l'alignement du projectile avec la ligne de mire. Pour arriver à un bon résultat, le tireur doit hiérarchiser ses perceptions oculaires : alors que ses yeux sont centrés sur la cible (vision directe), il garde la perception de son arme et du projectile de manière moins nette (vision secondaire ou indirecte). Les tireurs totalement « instinctifs » créent une ligne de mire minimale dont ils n'ont pas toujours

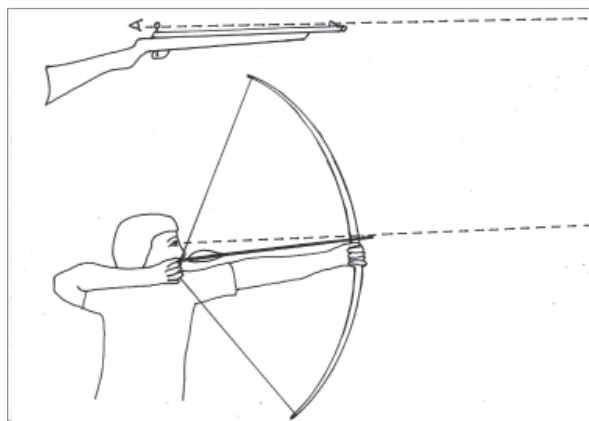


FIG. 6 – Ligne de mire d'une arme à feu et d'un archer.



FIG. 7 – Un archer moderne en plein armement (R. Gosset, A.C.F.).

une conscience nette mais qui reprend, dans une même droite, la corde de l'arc, la flèche et la cible. Ils ajustent, de manière partiellement consciente, la hauteur de leur bras d'arc ou de leur flèche afin d'adapter la trajectoire (site et hausse). Cette technique nécessite beaucoup de pratique et d'habitude.

La visée au propulseur repose sur les mêmes bases : bras de propulsion situé du même côté que l'œil directeur du tireur, visée les deux yeux ouverts, alignement du projectile avec une ligne de mire qui compte au moins deux points : la cible et l'œil directeur

du tireur. On constate, toutefois, une différence importante avec l'arc car le talon de la sagaie se trouve loin en arrière de la tête.

Cette position du talon de la sagaie derrière l'œil rend la maîtrise des trajectoires plus délicate car il est plus difficile d'aligner la trajectoire avec la ligne de mire. Plus le point de départ du projectile sera placé en arrière de l'œil directeur et éloigné latéralement de la ligne de mire, plus la visée sera délicate à maîtriser.

2.3.4. Tir et distance d'élanement

Ici aussi, les différences entre les deux systèmes d'armes sont flagrantes.

Quand un archer décoche, seuls les doigts de la main de corde s'ouvrent (ce qui ne nécessite guère de force musculaire). Le corps reste immobile, jusqu'à l'impact du projectile. La position de l'arc dans l'espace ne change pas ; la flèche « glisse » le long de la joue d'arc avant de quitter la corde.

Au propulseur, aucun stockage de force préalable au tir n'est possible. L'effort musculaire se concentre dans le bref instant nécessaire pour projeter la sagaie et nécessite un mouvement important. Le geste de la main de propulseur doit être ferme, d'amplitude et de force identique à chaque tir. La sagaie doit se déplacer sans mouvement parasite tout le long du processus d'élanement, comme si elle « glissait le long d'un rail ». Outre le mouvement du bras tenant le propulseur et la sagaie, on constate, pour beaucoup de tireurs, le déplacement de la masse du corps depuis la jambe posée en arrière du corps vers la jambe avant. Mal maîtrisés, ces gestes nuiront à la précision de la sagaie.

Pour les deux systèmes d'arme, la distance et la force d'élanement doivent être constantes afin que le projectile reçoive une quantité d'énergie identique à chaque tir.

2.3.5. Vol et comportement balistique des projectiles

D'un point de vue physique, le vol de tous les projectiles est régi par les lois de la balistique. Sur terre, tout projectile adopte une trajectoire parabolique (même si, par simplification, on assimile couramment cer-

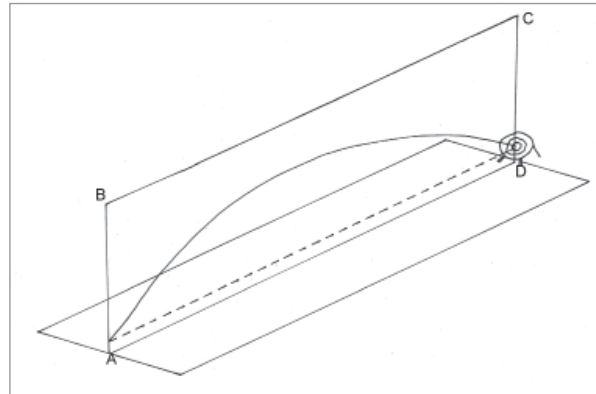


FIG. 8 – Trajectoire parabolique théorique. Le déplacement du projectile se fait dans un plan vertical (délimité par les points A, B, C, D).

taines trajectoires à des lignes droites). Pour un système d'arme donné, cette parabole sera dépendante de :

- la force transmise au projectile ;
- la direction de cette force ;
- la masse, la taille et la forme du projectile ;
- les interactions subies par ce projectile avec le milieu dans lequel il se déplace (essentiellement la gravité et les frottements).

Obtenir des résultats proches ou identiques dans une succession de tirs impose la répétition de paraboles constantes en respectant les règles énoncées ci-dessus : la force et la direction de projection doivent être constantes et les projectiles doivent être de masse et de morphologie identiques.

Plus la masse du projectile est faible et sa vitesse initiale importante, plus la parabole décrite par le projectile tendra vers la ligne droite. La sagaie, du fait de sa vitesse plus faible et de sa masse importante (comparée aux flèches), accusera une parabole plus importante.

2.3.5.1. Paradoxe de la flèche et de la sagaie

Pendant une partie de leur trajectoire, les flèches et les sagaies se déplacent en zigzagant. Si le phénomène n'est pas toujours perceptible à l'œil nu, il est évident sur de nombreuses photos de sagaies en vol et apparaîtrait clairement sur les images prises par une caméra placée derrière le tireur dans l'axe de vol de la flèche.

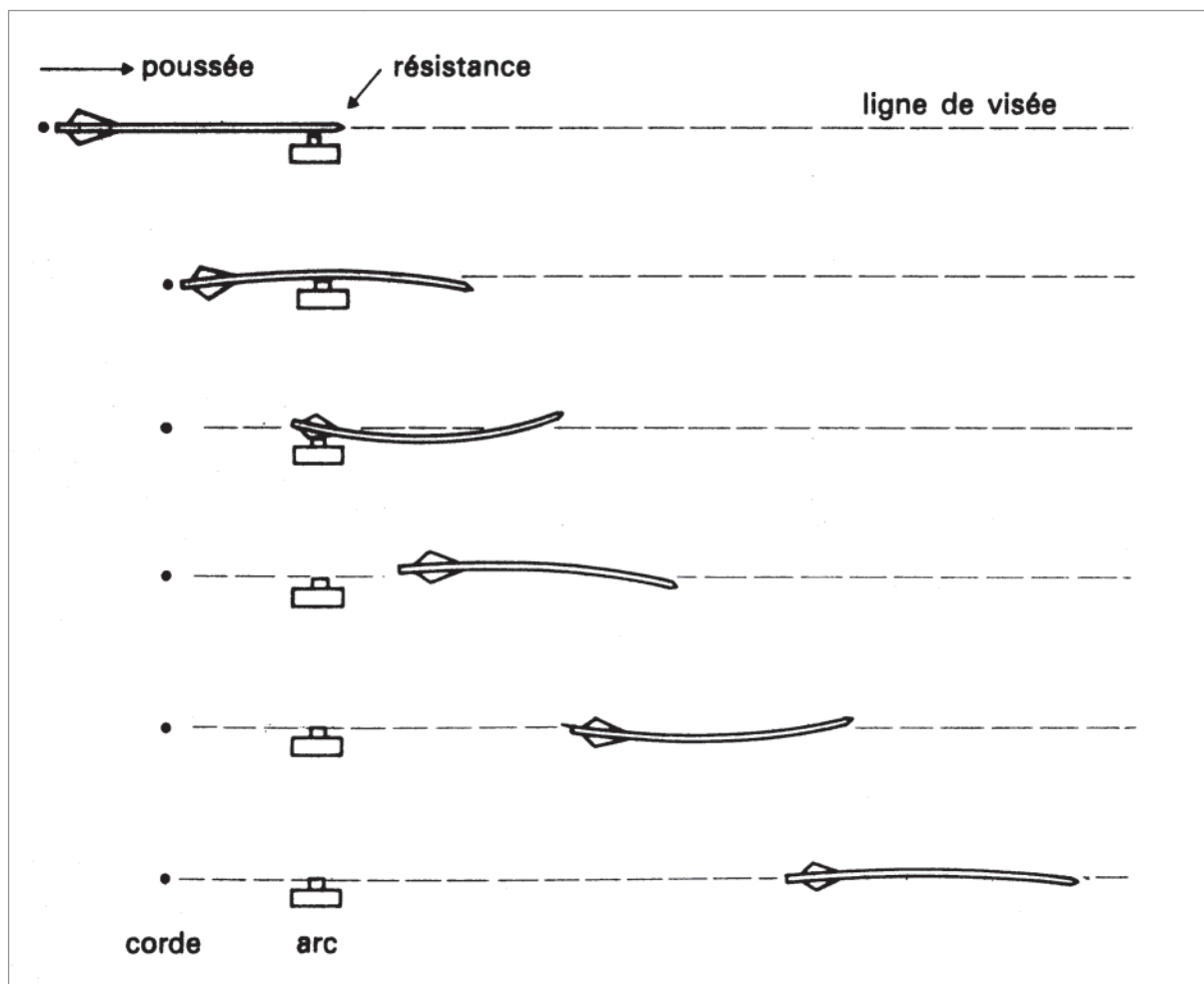


FIG. 9 – Le paradoxe de la flèche (Lepers, 2005).

Cette flexion, qui commence lorsque le projectile reçoit l'impulsion de départ, est compensée par l'élasticité de la hampe qui tend à se redresser, entraînant, par réaction, une flexion en direction opposée mais de moindre amplitude. Ces flexions parasites décroissent au cours du vol et le projectile prend une direction parallèle à sa trajectoire (si celle-ci est suffisamment longue). Comme elles absorbent une partie de l'énergie du projectile et nuisent à sa précision, il est, dans l'intérêt du tireur, de les minimiser en veillant à l'adéquation étroite de ses flèches et de son arc. Ce phénomène, bien connu des archers, est appelé paradoxe de la flèche.

Les flèches et les sagaies présentent la caractéristique commune mais inhabituelle de recevoir la force de propulsion sur leur talon, loin en arrière de leur centre de gravité. En comparaison, un javelot (qui présente une forme générale proche, hormis l'empennage

dont il est dépourvu) reçoit la force de propulsion à proximité de son centre de gravité. Une balle de fusil reçoit la poussée au niveau de son culot mais, vu sa morphologie, le point d'application de la force est proche de son centre de gravité.

À l'arc, le paradoxe de la flèche résulte de la combinaison de nombreux facteurs :

- la force transmise à la flèche (plus elle sera importante, plus la flexion de la flèche sera accentuée) ;
- la distance durant laquelle la flèche sera soumise à la poussée de la corde (l'allonge du tireur) ;
- l'angle formé par la flèche et la direction de poussée de la corde (vers le centre de l'arc) (fig. 10). (Les arcs actuels possèdent une fenêtre destinée à réduire cet angle) ;
- les frottements subis par la flèche en contact avec la main et la joue d'arc. (Sur

- les arcs modernes, ce point de frottement est minimisé par l'usage d'un « repose flèche » et d'un bouton écarteur) ;
- les caractéristiques propres du fût de la flèche (sa longueur et sa souplesse qui se combinent pour former le *spine* statique) ;
 - l'empennage ;
 - la masse de la pointe.

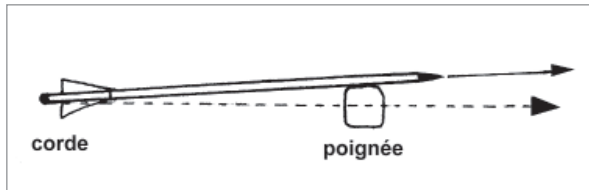


FIG. 10 – L'angle existant entre la direction de la flèche (qui passe le long de la joue d'arc) et la direction de corde (qui se déplace vers le centre de la poignée) influence également le paradoxe de la flèche. (Lepers, 2005).

De nombreuses études ont été effectuées sur le paradoxe et son influence sur la trajectoire, la précision et la perte d'énergie subie par la flèche. Devant l'impossibilité d'éliminer complètement ces flexions parasites, les arcs modernes présentent des adaptations et des tableaux de références facilitant la sélection des fûts de flèches ont été créés (charte Easton par exemple).

On caractérise la rigidité d'un fût par son *spine*. Le *spine* correspond à la valeur de la

déflexion, en millièmes de pouce, du fût posé horizontalement sur deux appuis distants de 26 pouces (66,04 cm), lorsqu'une masse de 2 livres (908 g) est suspendue en son centre.

Pour le système d'arme propulseur-sagaie, ce comportement en vol n'a pas encore été étudié (à ma connaissance) mais l'observation de films et de photos révèle que les deux projectiles ont des vols très similaires. Les mêmes paramètres conditionneront son vol :

- l'énergie transmise à la sagaie, elle-même dépendante de la force transmise à la sagaie et de la distance d'élanement (§ 4.3.). Plus cette énergie sera élevée, plus la flexion de la sagaie sera accentuée ;
- les caractéristiques propres du fût de la sagaie (sa longueur, sa forme et sa souplesse qui se combinent pour former le *spine* statique) ;
- l'empennage ;
- la masse de la pointe. Une pointe lourde, aura une inertie plus grande, imposant une flexion plus importante du fût (et inversement si l'on diminue la masse de la pointe).

Pour des projectiles plus classiques qu'une flèche ou une sagaie, les trajectoires sont, en général, assimilées à des paraboles inscrites dans un plan vertical perpendiculaire au sol (fig. 8). Dans les cas qui nous occupent ici, ce schéma balistique classique n'est pas suffisant. Pour interpréter correctement le vol

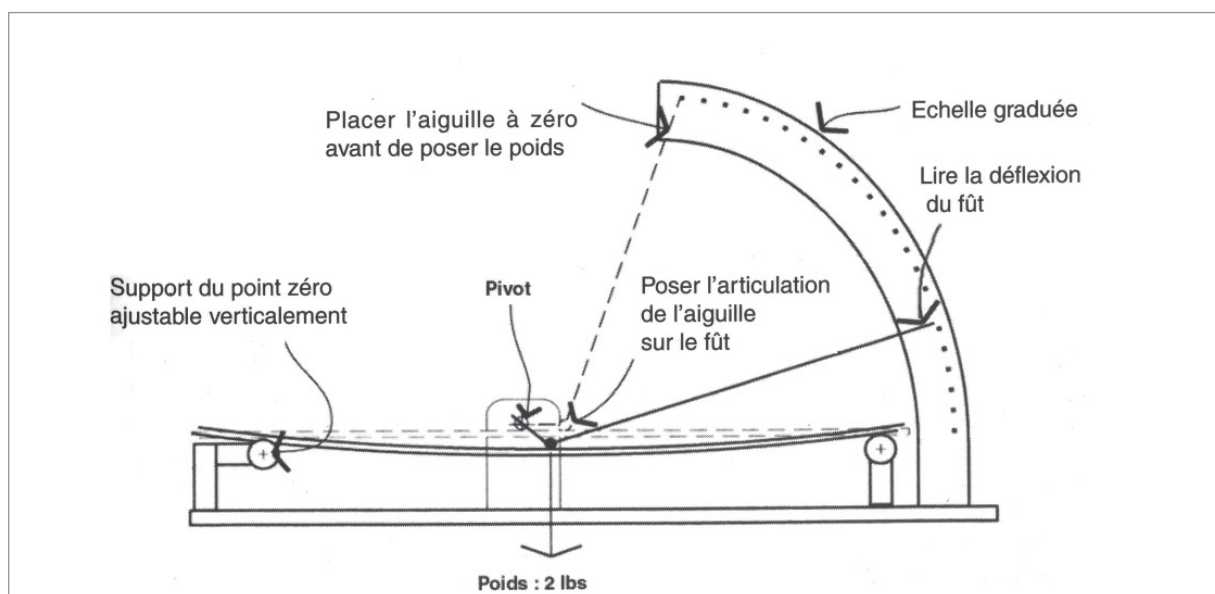


FIG. 11 – Principe du spine tester utilisé pour les flèches (Greenland, 1996).



FIG. 12 – Flexion d'une sagaie lors de la propulsion
(E. Braem, Saint Hubert 2012).

d'une flèche ou d'une sagaie, il faut prendre en compte la première partie zigzagante du vol. Contrairement à ce qui est souvent décrit (par simplification), ces phénomènes de flexion ne sont pas limités au plan horizontal. « La flèche en vol délimite un cône de rayon décroissant depuis la décoche vers la cible » (Lepers, 2005 : 128). Ce phénomène résulte de la combinaison de la souplesse du fût et de la rotation du projectile engendrée par l'emploi de plumes naturelles pour réaliser l'empennage (§ 2.3.5.2.). Ainsi, la trajectoire d'une flèche ou d'une sagaie s'inscrit dans un volume conique présentant les caractéristiques suivantes :

- l'axe du cône correspond à la parabole idéale du projectile s'il ne subissait aucune flexion ;
- le rayon de la base de ce cône correspond à l'amplitude maximale de la première flexion (la plus importante) du projectile ;
- la base de ce cône est sécante au point initial de la trajectoire libre du projectile. Son centre correspond au point de l'espace où la flexion du fût s'amorce ;
- La pointe de ce cône correspond au point d'impact du projectile.

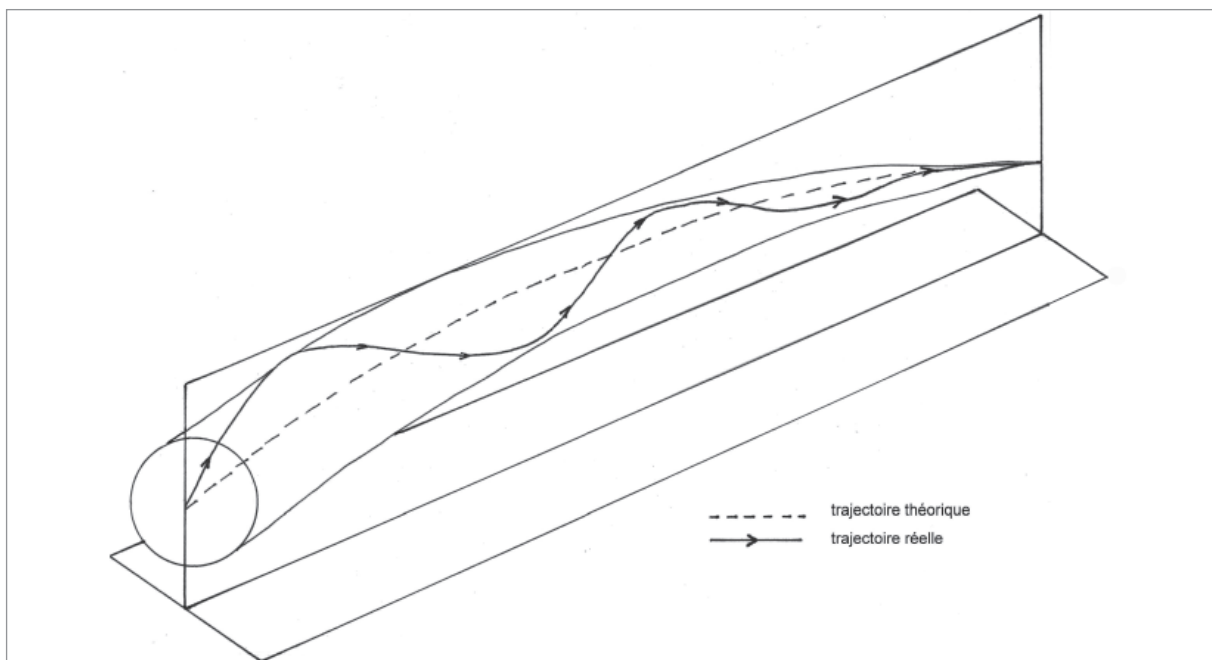


FIG. 13 – Trajectoire ramenée dans un cône d'axe parabolique.

En 2009, P. Chauvaux a constaté ce mouvement en observant des vidéos de tir au propulseur : « Ces vidéos au ralenti montrent que la sagaie tourne sur elle-même et ne se détend pas, du moins pendant la première partie du vol, ce qui dément les anciennes théories qui n'imaginaient pas cette rotation de la sagaie. » (communication personnelle par courriel).

2.3.5.2. *Empennage*

En général, la sagaie et la flèche sont munies d'empennage. Sans être indispensable, l'empennage contribue à redresser le projectile et améliore sa précision :

Grâce à sa surface, l'empennage s'oppose aux mouvements de flexion en début de vol.

Il engendre des frottements importants qui ralentissent davantage l'arrière du projectile et permettent la prise de contrôle de la trajectoire par la pointe du projectile.

Constitué de plumes provenant de même aile*, il engendre une rotation qui stabilise le projectile (un peu comme les rayures intérieures d'un canon).

Les sagaies aborigènes et inuites permettent de douter de la nécessité d'empenner les sagaies. Des représentations précolombiennes semblent attester l'usage d'empennages outre-Atlantique. J'ai utilisé, pendant plusieurs années, des sagaies sans empennage. Elles souffraient d'une précision aléatoire résultant d'un manque flagrant d'entraînement de ma part, mais volaient correctement à condition d'être soigneusement équilibrées (voir tableau 1). Mon expérience rejoint celle de Pierre Cattelain qui a fait les mêmes consta-

tations : « (...) en l'absence d'empennage, les sagaies à propulseur, pour avoir un vol droit, doivent posséder un centre de gravité décalé vers l'avant se situant aux alentours de 60 % de la longueur... » (Cattelain, 1994 : 20), soit un F.O.C. de l'ordre de 10 % (§ 2.3.5.3).

Outre leur trajectoire satisfaisante, ces sagaies ne volent pas plus vite que des sagaies empennées. Quelques mesures de vitesse moyenne de vol (non publiées), effectuées par P. Chauvaux (à l'aide d'un pistolet destiné à la mesure des vitesses de balles de *baseball*), semblent montrer qu'empennées ou non, les sagaies ont des vitesses très proches. Je pense que la nécessité d'élancer les sagaies non empennées d'une poussée plus douce sans à-coup nuisibles à la précision, explique cet état de fait qui mériterait d'être étayé par des mesures complémentaires.

Un équilibrage soigneux est moins nécessaire sur une sagaie empennée. La traînée créée par les plumes suffit à assurer un vol correct du projectile.

2.3.5.3. *Équilibre des projectiles*

Souvent négligé, le point d'équilibre d'un projectile influence son vol. On le quantifie par la mesure du *F.O.C.* (*Front Of Center*), qui permet de définir la position du centre de gravité du projectile depuis son centre. Le F.O.C. est le rapport de la distance séparant le centre de gravité du centre géométrique du projectile, en pourcentage de la longueur totale du projectile.

$$\begin{aligned}
 \text{F.O.C.} &= ((L/2 - L_{\text{gravité}})/L).100 \\
 L &= \text{longueur de la flèche} \\
 L_{\text{gravité}} &= \text{distance séparant la pointe du centre de gravité}
 \end{aligned}$$

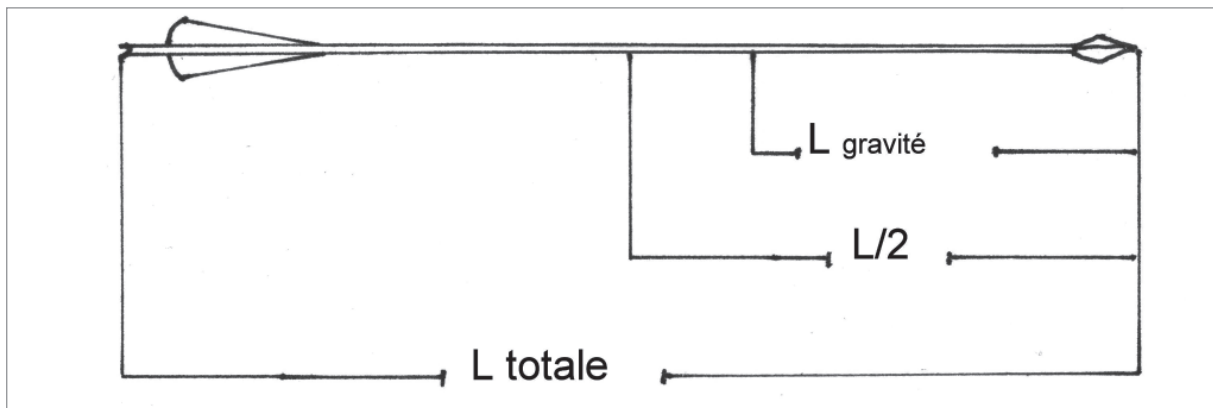


FIG. 14 – Calcul du FOC d'une flèche ou d'une sagaie.

Sagaie	Masse (g)	Longueur (cm)	Point d'équilibre depuis la pointe (cm)	F.O.C. (%)
2	149	209	81	11.24
3	132	207.5	81	10.96
4	100	184	74.5	9.51
5	155	209	80.5	11.48
6	138	202	84	8.41
7	117	183	75	9.02

TAB. 1 – Caractéristiques d'équilibre de sagaies non empennées testées par l'auteur.

Pour un vol régulier, le point d'équilibre doit se situer en avant du centre géométrique du projectile. On recommande, pour les flèches, un F.O.C. de 10 à 15 %. Plus le F.O.C. est important, plus le centre de gravité se rapproche de la pointe qui « penchera plus vite du nez », donnant au projectile un trajet plus rectiligne à courte distance. Un projectile avec un F.O.C. faible voit sa masse se déplacer vers l'arrière. Il volera le « nez » en l'air plus longtemps, ce qui convient mieux pour des tirs à longue distance.

2.3.5.4. Vitesse des projectiles

Une flèche est beaucoup plus rapide, en vol, qu'une sagaie mais ce paramètre seul n'est pas suffisant pour quantifier son efficacité. Outre les mesures dont j'ai parlé plus haut au sujet de sagaies non empennées, des mesures de vitesse de sagaies auraient été faites mais, faute d'en disposer et de connaître les conditions de mesures, j'en suis réduit, comme tous les tireurs, à des suppositions et à des comparaisons visuelles (très subjectives). On sait toutefois, par diverses expérimentations portant sur la létalité des sagaies, que ce système d'arme est performant.

La vitesse d'une flèche ou d'une sagaie est maximale quand elle quitte la corde de l'arc ou le propulseur. Outre la résistance de l'air, la flèche perd de l'énergie en glissant le long de la joue de l'arc et de la main du tireur. La sagaie, se déplaçant avec le propulseur avant de s'en affranchir, ne subit que les frottements de l'air. La quantification des vitesses instantanées des projectiles en divers points de la trajectoire et le calcul de leur énergie cinétique permettrait des comparaisons plus correctes entre les

deux systèmes d'armes. Faute de dispositif de mesure satisfaisant, beaucoup de questions restent actuellement sans réponse.

2.3.5.5. La portée des flèches et des sagaies

La portée des projectiles (flèches et sagaies) fait couramment l'objet d'affirmations peu précises voire fantaisistes qui peuvent conduire à des interprétations fallacieuses des capacités réelles de ces systèmes d'armes. Avant toute chose, il convient de faire la distinction entre la portée maximale et la portée utile. La portée maximale d'une arme ou d'un système d'arme représente la distance que le projectile peut parcourir dans des conditions de lancer optimales.

La portée utile correspond à la distance à laquelle on peut effectuer des tirs considérés comme efficaces. Cette notion de tir efficace doit être interprétée avec prudence car les critères d'efficacité peuvent varier selon les usages :

- Lors des compétitions de tir à l'arc F.I.T.A., les distances de tir varient de 18 à 90 m. Seule la précision du tir compte du moment que la flèche reste fichée en cible. Cette pratique conduit à privilégier des arcs confortables de puissance raisonnable, tirant des flèches légères.
- La chasse à l'arc, nécessitant le tir précis d'une flèche mortelle, amène les chasseurs à préférer un arc puissant garant d'une flèche vulnérante tirée à courte distance pour une précision maximale.
- Pendant la guerre de Cent Ans, les archers pratiquaient couramment des tirs de har-

cèlement ou de saturation à des distances supérieures à 200 m. L'énergie et la portée des projectiles conditionnaient l'efficacité des tirs. La précision était secondaire car compensée par la densité de projectiles obtenue en rassemblant de forts contingents d'archers capables d'effectuer rapidement des tirs ajustés avec des arcs très puissants.

La portée maximale du système d'arme propulseur-sagaie peut être proche de 200 m, en fonction essentiellement de la force du tireur et de la nature des sagaies utilisées. Dans ce dernier cas, le projectile vole selon une trajectoire parabolique très ventrue et sa précision est aléatoire.

En envisageant une action de chasse (imposant force de pénétration et précision), sur base de comparaisons ethnographiques et des pratiques actuelles de chasse à l'arc, des distances de tir comprises entre 5 et 30 m semblent raisonnables pour le système propulseur-sagaie. Certains auteurs estiment que des portées de sagaies relatées dans certains comptes rendus ethnographiques sont sujettes à caution (Cattelain, 2000). L'usage du propulseur pour la guerre peut conduire à envisager une portée utile dépassant 100 m pour des tirs de harcèlement.

3. Une proposition technique pour l'usage du propulseur et des sagaies

Plusieurs expérimentations, réalisées en vue d'étudier les fractures d'impact d'armatures équipant des projectiles lancés à l'arc ou au propulseur (Geneste *et al.*, 1989 ; Cattelain *et al.*, 1995), « n'ont pas révélé de différences significatives » (Cattelain, 1994 : 21) entre les impacts de flèches ou de sagaies. Indirectement, ces conclusions confirment la grande similitude de comportement des deux types de projectiles, ainsi que je l'ai détaillé aux paragraphes précédents. On peut donc raisonnablement utiliser ces éléments pour poser les jalons d'une meilleure connaissance technique et balistique des sagaies. Outre ces réflexions personnelles, les propositions qui suivent découlent de mon expérience et de l'observation de nombreux tireurs.

Un archer doit former, avec ses flèches et son arc, un ensemble adapté. Il en est de même pour le tireur au propulseur. Pour obtenir une sagaie efficace, il ne suffit pas de coller des plumes sur une hampe de bois, ni de copier sans réflexion le matériel d'autrui. Même si l'on ne dispose pas actuellement de références et de données chiffrées, il est possible, par une démarche raisonnée, d'obtenir un couple « propulseur-sagaie » ajusté aux capacités physiques du tireur. Une sagaie adaptée au tireur et à son propulseur permettra d'obtenir, par des trajectoires mieux maîtrisées, une meilleure précision et une plus grande reproductibilité dans les tirs. L'utilisateur y gagnera également en rendement*, puisque l'énergie dépensée lors du mouvement de propulsion se transmettra au projectile avec des pertes minimales.

Trois éléments vont influencer le vol de la sagaie :

- le tireur et sa gestuelle ;
- la longueur du propulseur ;
- les caractéristiques de la sagaie.

Pour éviter de se perdre dans le dédale des influences réciproques entre ces trois éléments, il vaut mieux n'adapter qu'un paramètre à la fois. Le propulseur me semble l'élément le moins « capricieux », aussi est-il raisonnable de commencer par figer cet élément.

Avant d'entrer dans des considérations plus pratiques, quelques conseils :

Les dimensions données pour le propulseur et les sagaies, dans les paragraphes qui suivent, sont purement indicatives et basées sur mon matériel et celui couramment utilisé par d'autres tireurs, pendant le championnat d'Europe de tir aux armes préhistoriques. Peut-être, dans quelques années, faudra-t-il infirmer ou affiner certaines de ces propositions...

Tant qu'un tireur ne maîtrise pas les gestes de propulsion et les trajectoires de ses sagaies, il lui sera difficile de juger ses projectiles. Il faudra donc dépasser cette étape d'apprentissage avant de se lancer dans une démarche d'amélioration du matériel.

Origine	Taille des propulseurs (cm)	Longueur moyenne des propulseurs (cm)	Longueur des sagaies (cm)	Longueur moyenne des sagaies (cm)
Inuits (usage depuis un kayak)	33 à 63	48,53	118 à 250	Variable
Précolombien	43 à 75	59,08		
Nouvelle Guinée	63 à 120	82,80	238 à 310	276
Australien	53,45 à 114,1	76,73	190 à 460	281

TAB. 2 – Longueur de propulseurs et de sagaies de différents groupes humains (Cattelain, 2000).

3.1. Le propulseur

On a parfois dit qu'il existait un rapport entre la longueur du propulseur et celle de la sagaie.

Les relevés effectués par Cattelain (2000) montrent une telle variabilité qu'il me semble délicat de s'aventurer dans cette direction.

Je pense plus adéquat de parler de distance d'élancement, celle-ci étant fonction de l'amplitude du mouvement du tireur et de la longueur du propulseur. D'un point de vue pratique, pour un adulte mesurant entre 1,70 m et 1,80 m, l'usage d'un propulseur d'environ 0,60 m offre un gain d'allonge significatif sans tomber dans l'excès. Le propulseur doit être maniable et permettre le déroulement complet du mouvement de propulsion et, en particulier, la rotation du poignet en fin d'élancement (§ 3.3.4.). Rappelons que le propulseur est une « machine simple » ; il ne démultiplie pas la force de l'utilisateur. Il allonge la distance pendant laquelle la sagaie est poussée (§ 4.3.).

Puisque la force du tireur est limitée par ses capacités musculaires, si la distance de propulsion est trop faible, la propulsion se fera en « sous régime ». Un accroissement de la distance de propulsion permet le transfert d'une énergie accrue à la sagaie. Si le propulseur est trop long et l'énergie transmise trop élevée, la sagaie subira des flexions accrues (voire se rompra) ou prendra une trajectoire erratique. Le tireur a alors la possibilité d'adapter ses sagaies ou son propulseur.

De nombreux propulseurs ethnographiques portent des dispositifs de préhension élaborés. Ils permettent une transmission plus efficace de la force mais assurent aussi une prise en main répétitive et donc une allonge constante.

3.2. Les sagaies

Un ancien adage d'archer affirme « qu'on obtient de meilleurs résultats avec un mauvais arc tirant de bonnes flèches ou qu'avec un bon arc lançant de mauvaises flèches ». Cet avis peut être transposé pour les sagaies. Bâcler la fabrication de vos sagaies n'amènera que de mauvais tirs !

À ce jour, en Europe, on ne connaît aucune sagaie préhistorique conservée. Une sagaie aurait été exhumée récemment aux U.S.A. (Cassey, 2010). Trouvée dans une lentille de glace en cours de fusion, à proximité du parc du Yellowstone, cette sagaie, qui serait âgée de 10.000 ans, est réalisée en bouleau et mesure environ 1 m (ce qui semble court). Ne disposant, hélas, pas de données complémentaires sur cette découverte, le conditionnel semble de rigueur. Les études effectuées sur des sagaies ethnographiques montrent une variabilité importante au sein d'une région ou d'un même groupe culturel. Il est donc délicat d'établir un modèle balistique à partir des données disponibles (voir tableau 2). Il ne reste donc, pour nous guider dans le labyrinthe des possibles, que l'expérience, l'observation et la réflexion.

Il est évident que toutes les sagaies d'un tireur doivent avoir des caractéristiques identiques. Cette notion de similitude doit être considérée avec prudence car les informations habituellement considérées (taille, diamètre et masse) ne sont pas forcément significatives. Deux pièces de bois de même essence pouvant avoir des qualités mécaniques très différentes selon les conditions de croissance de l'arbre dont elles sont issues. Je pense que la souplesse et le point d'équilibre sont des paramètres prépondérants pour avoir une sagaie efficace (les

autres caractéristiques pouvant s'accommoder de variations plus importantes). Bien sûr, les dimensions initiales du fût et sa nature conditionneront les paramètres de départ mais c'est leur adaptation fine qui permettra d'obtenir une sagaie efficace. Modifier un paramètre influence automatiquement les autres caractéristiques du projectile. Il faut donc procéder par « petites touches », en contrôlant à chaque fois le vol de la sagaie jusqu'à satisfaction du tireur. Une fois qu'un « prototype » efficace a été réalisé, il vaut mieux noter ses caractéristiques et s'en servir pour réaliser d'autres sagaies (en contrôlant le comportement en vol de chaque projectile).

Vu le nombre de paramètres à prendre en compte et ce qui a été dit précédemment, il est clair que des projectiles de taille, volume et masse différents peuvent avoir des caractéristiques balistiques très semblables, s'ils possèdent un *spine* et un F.O.C. proche.

3.2.1. Taille de la sagaie

Lors des manches du championnat d'Europe de tir au propulseur, les sagaies ont couramment une taille comprise entre 2 m et 2,40 m. Outre-Atlantique, il semble que les pratiquants des épreuves de la W.A.A. utilisent des projectiles plus courts. Faute de données précises et vérifiées, ces valeurs peuvent orienter un choix initial que l'expérience de chacun permettra d'affiner, mais il ne s'agit en aucun cas de références balistiques établies. À titre d'hypothèse, je pense que, pour un vol correct, la taille de la sagaie ne peut être inférieure à sa distance d'élanement, mais il s'agit là d'une appréciation intuitive pour laquelle je n'ai pas encore de justification. Contrairement à ce qu'écrivait Rozoy (Rozoy, 1992 : 182), l'allongement d'une sagaie n'est pas forcément un critère d'amélioration qualitatif car cela augmente aussi sa souplesse et sa masse avec le risque de diminuer le rendement du tir.

3.2.2. Souplesse de la sagaie

J'ai déjà longuement parlé, au paragraphe 2.3.5.1., du vol serpentiforme d'une sagaie dans la première partie de sa trajectoire. Outre les pertes dues aux frottements, les flexions de la sagaie consomment une par-

tie de l'énergie reçue du tireur. Celle-ci fera défaut à la sagaie qui aura, pour son vol vers la cible, une vitesse dépendante de sa masse et de la quantité d'énergie résiduelle.

Plus l'énergie transmise à la sagaie sera élevée, plus elle devra être rigide. À diamètre identique, une sagaie plus courte sera plus rigide et donc plus à même d'encaisser un effort important en se déformant moins. Rigidité ou souplesse exagérées auront une influence négative sur le rendement et la précision du tir :

Une sagaie trop souple, outre une perte d'énergie excessive, ne sera pas encore redressée au moment de l'impact lors des tirs à courte distance.

Une sagaie trop rigide peinera à prendre une trajectoire linéaire, comme si la pointe et le talon se faisaient concurrence. Ce début de vol erratique, résultant de l'ajustement interne d'efforts contrariés, sera aussi gourmand en énergie.

Tester la souplesse des sagaies avec les mêmes contraintes que les flèches ne serait pas d'un grand secours, vu la différence de taille existant entre les deux types de projectiles. On peut conserver le même procédé de mesure en l'adaptant à la taille des sagaies : mesurer la déflexion du fût lorsqu'on applique une masse de 2 livres (908 g) au centre de la sagaie, appuyée sur deux points distincts séparés de 65 pouces (165,1 cm) (2,5 fois l'écart normalisé pour la mesure du *spine* des flèches). Il ne s'agit pas de créer des tables de sélection de fûts comme cela existe pour le tir à l'arc mais d'aider ceux qui le désirent à comparer leurs sagaies ou à les adapter finement.

De même, pour apprécier la qualité de vol d'une sagaie, on peut prendre, comme hypo-



FIG. 15 – spine teester pour les sagaies.

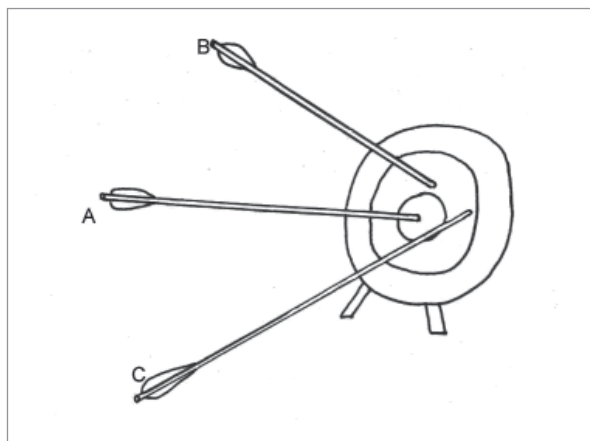


FIG. 16 – Trajectoire et axe d'impact de la sagaie.
La sagaie A était redressée en arrivant en cible, la sagaie B et C de rigidité inadaptée, pas encore.

thèse de travail, la proposition suivante : sur base d'une action de chasse et en considérant une portée effective maximale d'environ 30 m, on peut raisonnablement estimer que la sagaie doit être redressée au tiers de sa trajectoire (10 m). En observant, lors de tirs répétitifs, la manière dont une sagaie se fiche en cible à cette distance, on peut en déduire des informations utiles :

- une sagaie qui se plante en cible selon un angle normal* est redressée et vole selon une trajectoire balistique classique (ou considérée comme telle) ;
- une sagaie qui se fiche en cible sous un angle différent de sa trajectoire témoigne d'un redressement inachevé et donc d'une souplesse excessive ;
- par opposition, une sagaie dont la pointe montre des difficultés à prendre une trajectoire compatible avec la direction de tir est trop rigide.

Plusieurs possibilités existent pour corriger une sagaie trop souple : la raccourcir, prendre un fût de même longueur mais de section plus importante, alléger la masse de sa pointe, voire combiner ces trois moyens.

A contrario, on assouplira une sagaie trop rigide : en l'allongeant tout en gardant le même diamètre, en l'affinant (ce qui la rendra plus souple mais aussi plus fragile), en augmentant la masse de sa pointe, ou en combinant ces trois facteurs.

3.2.3. Point d'équilibre de la sagaie

Le point d'équilibre des sagaies semble un paramètre important à prendre en compte pour obtenir un vol correct. Comme signalé au point 2.3.5.2., une sagaie non empennée peut avoir un vol satisfaisant si elle présente un F.O.C. proche de 10 %. Il y a là une voie intéressante à explorer pour réduire ou supprimer les empennages. Rozoy, en son temps, avait déjà signalé l'importance de l'équilibre des sagaies (Rozoy, 1992 : 182), ainsi que la possibilité de limiter l'influence d'un équilibrage incorrect grâce à l'empennage (Rozoy, 1992 : 178). Je suggère à ceux qui se décideraient à enlever les empennages de leurs sagaies de ne pas se décourager et de prendre le temps nécessaire pour adapter leur technique de tir à ces projectiles qui se révèlent plus « capricieux » que les sagaies empennées.

Le point d'équilibre sera modifié en jouant sur la répartition de matière le long du fût de la sagaie. Plusieurs solutions techniques sont possibles :

- L'usage de branches et de rejets naturellement fuselés. La cupule destinée au crochet du propulseur sera creusée à l'extrémité la plus fine du fût et la pointe fixée à l'autre extrémité (éventuellement affinée sur les 20 à 30 derniers cm), comme on le constate sur beaucoup de sagaies australiennes.
- L'affinage partiel de fût plus gros que nécessaire, en vue de créer un « sur-volume » à l'avant du projectile (solution couramment utilisée par les Inuits qui utilisaient souvent du bois flotté).
- Assembler des éléments d'essence de densité différente. Cette solution est fréquemment utilisée par certains compétiteurs qui enchâssent des avant-fûts en bois durs (et plus denses) dans une hampe creuse de canne de Provence (*Arundo Donax L.*) (ou de certaines variétés de bambou). Cette pratique permet d'obtenir des projectiles d'une grande légèreté mais suffisamment rigides à cause de la structure tubulaire annelée de cette plante.
- Confectionner des fûts biconiques en assemblant deux rejets de par leur base. On obtient ainsi un fût qui présente un point

d'équilibre plus proche de la pointe du futur projectile (voir fig. 15 : la sagaie posée sur le *spine teester*).

Il est illusoire de vouloir déplacer le point d'équilibre d'une sagaie par la seule masse de son armature. Dans la pratique, le fût brut sera d'abord adapté pour avoir un point d'équilibre proche de sa valeur finale. Les autres éléments du projectile seront alors ajoutés (armature, empennage). La sagaie sera ensuite terminée par un équilibrage soigneux.

3.2.4. Surface d'empennage

Même si, comme on l'a vu plus haut, il n'est pas indispensable (et peu courant sur les sagaies connues par l'ethnographie), l'empennage en complément de l'élasticité du fût aide à redresser la sagaie et accroît la précision du projectile. Le compromis semble la voie de la sagesse : trop petit, l'empennage aura une action limitée sur les flexions de la sagaie qui se redressera lentement ; trop grand, il occasionnera une perte de vitesse excessive du projectile. Augmenter la surface d'empennage d'une sagaie trop souple, afin d'aider à son redressement, est tentant mais pas très orthodoxe car les flexions importantes et les frottements induits par un empennage disproportionné, dissiperont une partie plus importante de l'énergie de la sagaie.

3.2.5. Masse de la sagaie

Une sagaie légère aura une vitesse élevée (et une trajectoire plus plate, plus proche de la ligne de mire du tireur). Mais elle doit être suffisamment rigide et solide pour accumuler l'énergie et ne pas se briser sous l'effort. Les sagaies couramment utilisées lors du championnat ont une masse comprise entre 100 et 200 g. D'un point de vue balistique, une sagaie lourde aura une meilleure inertie et sera donc plus efficace à l'impact mais sa masse devra être compatible avec les capacités physiques du tireur. Dans les cas extrêmes, une sagaie trop lourde pourra être allégée en affinant son fût, ou en la raccourcissant, mais il faudra alors recommencer le travail d'équilibrage. Pour ne pas trop assouplir une sagaie, ni trop modifier son F.O.C. tout en diminuant sa masse, on peut n'affiner que les extrémités de la sagaie pour lui donner, ou accentuer, un profil fuselé.

3.2.6. Section de la sagaie

Ce paramètre influence la rigidité du fût mais aussi sa masse. Certaines sagaies sont réalisées à partir de tourillons de bois et présentent une section cylindrique. Avec l'expérience, cette solution, que l'on pense confortable et aisée, s'avère peu satisfaisante pour obtenir un F.O.C. correct.

Les sagaies de section conique (et mieux encore les biconiques) sont balistiquement plus satisfaisantes. Le sur-volume présent dans la partie médiane du fût permet un équilibrage plus facile et génère un gain de rigidité. Elles sont également plus proches des sagaies connues par l'ethnographie.

3.2.7. Dans quel ordre prendre en compte les paramètres ?

En partant d'une taille fixée par l'expérience ou de conseils d'utilisateurs chevronnés, on peut construire la sagaie dans l'ordre d'opérations suivant :

1. mise en forme du fût, aménagement de la cupule arrière ;
2. vérification de la souplesse du fût par comparaison avec une autre sagaie ;
3. contrôle et adaptation de la position du point d'équilibre ;
4. confection et montage de l'armature ;
5. vérification de l'équilibrage et adaptation éventuelle ;
6. pose de l'empennage ;
7. pesée et test en vol de la sagaie terminée ;
8. enregistrement et archivage des paramètres du projectile en vue de sa réplique.

3.3. Le mouvement de propulsion

« Une technique sportive n'est pas ce qu'un athlète a de particulier dans la pratique de sa spécialité, mais au contraire ce qu'il a de commun avec la grande majorité des autres pratiquants. » (Monneret)

La propulsion d'une sagaie nécessite un mouvement complexe du corps et met à contribution davantage de muscles que ceux du bras et de l'épaule. Il existe sans doute

de nombreuses variantes de ce mouvement. Le contexte d'utilisation du propulseur doit aussi être pris en compte car on ne peut avoir le même mouvement assis dans un kayak que debout, les deux pieds bien appuyés sur un sol ferme. Je n'envisagerai ici que le tir en milieu terrestre. La gestuelle décrite ci-après découle de l'observation de nombreux bons tireurs du championnat d'Europe de tir aux armes pré-historiques et de ma pratique personnelle.

Attention : un changement important dans la gestuelle pourra entraîner une variation importante de la quantité d'énergie transférée au projectile, ce qui pourra imposer une adaptation du matériel de la même manière qu'un archer changera ses flèches, s'il opte pour un nouvel arc trop différent du précédent.

3.3.1. Choix du bras de propulsion

La visée sera plus facile si le bras de propulsion se trouve du même côté que l'œil directeur*. En général, la latéralisation naturelle correspond à celle de l'œil directeur ; dans le cas contraire, il sera préférable pour le tireur de changer de bras de propulsion.

3.3.2. Mise en position

La sagaie placée sur le propulseur, le tireur prend une position stable, jambes écartées parallèles à l'axe du tir, la jambe de propulsion placée en arrière. Le tireur amène alors le bras armé du propulseur et de la sagaie en arrière de sa tête, dans une position confortable. Il est tentant de vouloir étirer le bras vers l'arrière pour augmenter la distance

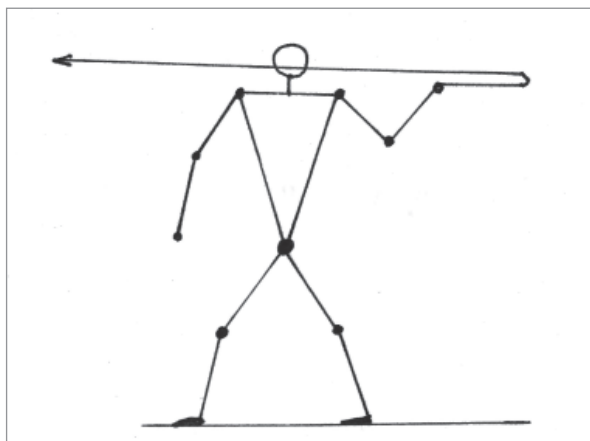


FIG. 17 – Mise en position du tireur.

d'élanement mais l'inconfort découlant d'une position peu naturelle risque de nuire à l'effort musculaire et créer des mouvements parasites qui nuiront à la précision du geste et donc de la sagaie.

3.3.3. Armement et visée

Le tireur prépare le mouvement de propulsion en déplaçant l'appui de son corps sur la jambe arrière fléchie, tandis que la jambe avant est en extension. Les épaules sont placées dans l'axe du tir, l'épaule de propulsion en arrière. Le bras d'équilibre est souvent étendu à hauteur de l'épaule pour contrebalancer la masse du buste. La main de propulsion descend un peu plus bas que l'épaule pour permettre au fût de la sagaie de se placer à la hauteur de l'œil. Le coude fléchit, tandis que la main de propulsion se place en arrière de l'épaule.

Nombreux sont les tireurs inclinant la tête afin de placer l'œil à proximité de la hampe de la sagaie et amener ainsi leur ligne de mire plus près de la hampe. Elle intègre, depuis son origine et dans le sens de déplacement du projectile : l'œil du tireur, le fût, la pointe de la sagaie et la cible.

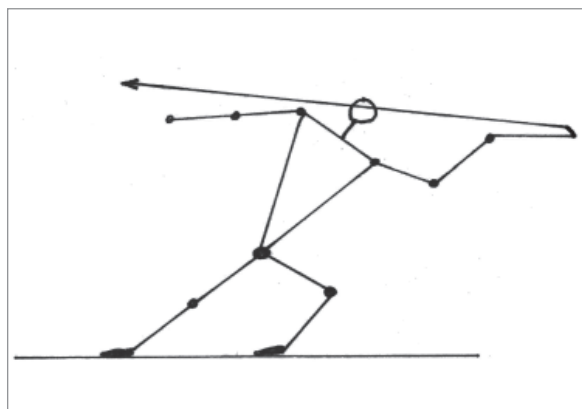


FIG. 18 – Armement et visée.

3.3.4. Propulsion

La projection de la sagaie peut être décomposée en cinq mouvements qui se déroulent de manière quasi simultanée :

- Le tireur amorce le mouvement de projection par une détente de la jambe de propulsion (jambe arrière), qui propulse le corps vers l'avant.

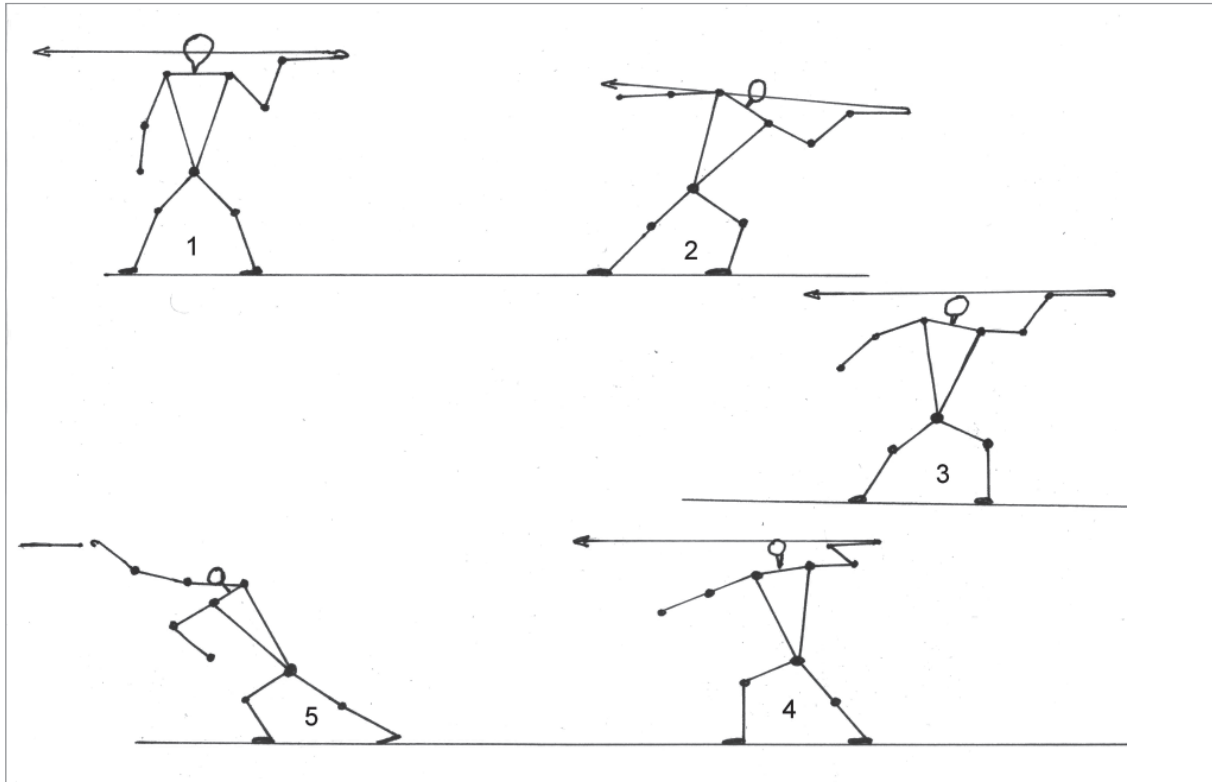


FIG. 19 – Le mouvement complet de projection d'une sagaie.

- Le buste, qui était incliné vers l'arrière, effectue une rotation verticale qu'il terminera incliné vers la cible.
- L'épaule de propulsion, initialement placée en arrière, se déplace vers la cible, entraînant la rotation horizontale des épaules qui achèvent leur mouvement presque parallèles à la cible.
- Le bras de propulsion se déplace vers la cible selon une trajectoire la plus rectiligne possible.
- Ayant dépassé le buste du tireur, le poignet de propulsion, dans une trajectoire descendante (fig. 21), amorce une rotation qui entraîne le propulseur et permet d'allonger la distance de propulsion, au-delà de la main. « L'effet de levier », décrit par de nombreux auteurs, a lieu lors de cette dernière étape de la propulsion. Je préfère voir, dans la rotation du poignet et du propulseur, un moyen d'encore prolonger la distance d'élancement tout en accélérant encore le projectile car la vitesse linéaire du crochet du propulseur est beaucoup plus élevée que celle du poignet (voir § 4.5.). Si cette augmentation de vitesse est trop impor-

tante, il y a un risque de perte de précision du projectile car cette brutale augmentation de l'énergie appliquée sur le talon du projectile peut entraîner une flexion accrue et des mouvements parasites de la sagaie. Je pense donc qu'il vaut mieux « doser sagement » le coup de poignet...

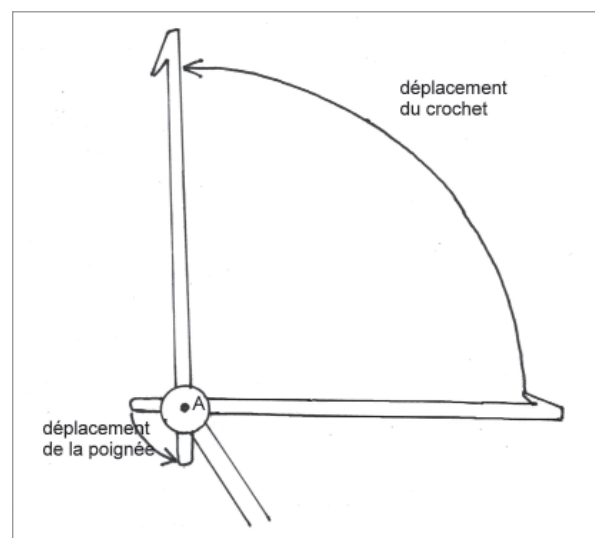


FIG. 20 – Le mouvement de rotation du poignet et du propulseur. On voit clairement que le crochet parcourt un trajet beaucoup plus long que l'autre extrémité du propulseur, d'où sa vitesse linéaire accrue.

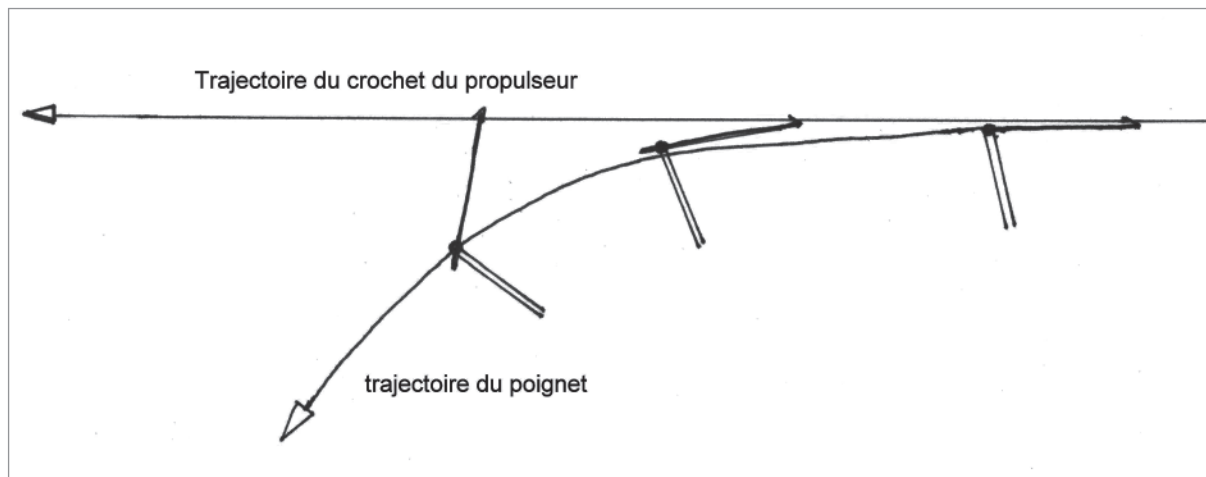


FIG. 21 – La trajectoire du crochet du propulseur et celle du poignet parallèles au début du mouvement prennent des directions différentes dans la dernière phase de la propulsion.

Dans son mouvement vers l'avant, après avoir dépassé le buste, le bras de propulseur doit prendre une trajectoire descendante pour limiter l'élévation du crochet du propulseur due à la rotation du poignet et du propulseur. Idéalement, la descente du bras doit compenser l'élévation du crochet pour maintenir la sagaie au même niveau. Le déroulement du poignet permet d'allonger la distance d'élancement en utilisant au mieux le propulseur qui terminera sa course devant la main de propulsion (fig. 21).

En fin de mouvement, le corps a changé de position :

- le buste est incliné vers la cible, les épaules ont effectué une rotation d'environ 90° ;
- le bras de propulsion est passé devant le corps, tandis que le bras d'équilibre s'est déplacé sur le côté du corps par un mouvement de balancier ;
- la jambe d'appui, qui était fléchie avant le tir, est maintenant en extension, avec l'avant du pied comme seul point de contact avec le sol (le talon ayant suivi et participé à la poussée du corps) ;
- la jambe avant, tendue et placée loin en avant du corps avant le tir, se retrouve fléchie en supportant l'essentiel de la charge du tronc.

Pour un tir efficace, cet enchaînement de mouvements doit se dérouler harmonieusement et le crochet du propulseur doit évoluer dans l'espace selon une trajectoire la plus rectiligne possible (fig. 21), car c'est

l'ensemble du mouvement du corps (jambes, torse, épaules, bras, poignet) qui permettra un transfert maximal d'énergie à la sagaie.

3.4. Pratiquer et maîtriser les trajectoires

La sagaie et le propulseur forment un système d'arme à tir tendu, au même titre que l'arc (utilisé à courte distance) ou le fusil, à l'opposé des armes conçues pour le tir balistique qui nécessitent, pour un tir précis et répétitif, des dispositifs de visées complexes ou des tables de calculs. Le tireur doit donc rechercher les trajectoires de vol les plus plates possibles et donner une vitesse importante au projectile.

Dans la pratique, on constate que certains tireurs cherchent à « doser » plus ou moins la force de propulsion, selon la distance qui les sépare de la cible. Cette pratique, qui peut sembler normale, voire de bon sens, est profondément erronée. Si l'énergie transmise à la sagaie est variable selon les tirs, il en résulte chaque fois des trajectoires différentes. Ce qui revient à intégrer, lors de chaque tir, une variable supplémentaire dans une équation déjà complexe. Il faut projeter, lors de chaque tir, la sagaie avec une énergie constante, quelle que soit la distance entre le tireur et la cible. La bonne portée sera obtenue en jouant sur l'angle de hausse du projectile. C'est ainsi que procèdent les archers ou les tireurs au fusil : quelle que soit la distance de tir, le projectile reçoit la même quantité d'énergie ; c'est en donnant plus ou moins de hausse qu'ils redressent ou abaissent la parabole décrite par le projectile.

L'éducation au tir « instinctif » est un travail de longue haleine, toujours perfectible, mais que l'on peut décomposer en plusieurs phases :

1. La première étape consiste à maîtriser le couple propulseur-sagaie. C'est l'étape d'initiation.
2. Le tireur maîtrisant la propulsion peut alors créer ou sélectionner un matériel adapté à ses désirs et capacités.
3. Avec ce matériel, le tireur peut déterminer sa distance de but en blanc (tout en améliorant sa constance et sa gestuelle de tir). Idéalement, dans cette phase d'apprentissage, il vaut mieux ne pas varier la distance de tir.
4. Lorsque la gestuelle sera au point et le vol des projectiles satisfaisant et répétitif, la précision correcte lors des tirs de but en blanc, il faut poursuivre la pratique dans des configurations de tir variées pour éduquer le cerveau qui doit apprécier les distances, la configuration topographique de chaque tir avant d'en déduire les corrections de « hausse » permettant un tir précis.

3.5. La visée

La visée nécessite deux actions successives (voir § 2.3.3.) : aligner le projectile avec la cible (orientation en direction) et adapter la hausse en fonction de la distance et de la configuration topographique de la zone de tir. Au propulseur, il est plus difficile de faire correspondre la ligne de mire avec la trajectoire de la sagaie. Outre la cible, les seuls éléments utilisables par le tireur sont l'avant de la hampe de la sagaie et sa pointe. Le talon, point initial de la trajectoire, se

trouvant loin en arrière de l'œil directeur (point initial de la ligne de mire).

Obtenir un tir précis de cette manière semble peu commode car nous sommes habitués à ce que les organes de visée (arme à feu, arc en usage classique) et le projectile soient situés entre l'œil du tireur et la cible, mais il est tout à fait possible d'éduquer le geste et l'esprit à cette situation, comme le font certains archers qui arment leur arc au niveau de l'oreille (*kuydo* par exemple).

Plus la parabole décrite par le projectile est importante, plus elle s'écarte de la ligne de mire, rendant ainsi les corrections d'orientation et de hausse plus complexes en l'absence de tout dispositif de visée. Il faut donc que la sagaie vole le plus vite possible. Quand la cible et le tireur sont dans un plan horizontal, on peut *grosso modo* envisager trois cas particuliers :

3.5.1. Tir de but en blanc

Dans le premier cas (cas idéal), la cible est située au point où convergent la trajectoire de la sagaie et la ligne de mire du tireur. Cette distance dépend de la force du tireur, de l'énergie qu'il donne au projectile et du matériel en sa possession. À cette distance, le tireur voit, en vision secondaire, lors de sa visée, la pointe de la sagaie se placer à la hauteur de son futur point d'impact. C'est le tir de but en blanc, le cas idéal.

3.5.2. Tir à courte distance

Si la distance séparant la cible du tireur est inférieure à la distance de but en blanc, l'impact du projectile aura lieu quand le projectile sera encore au-dessus de la ligne de mire ; le tireur devra donc projeter sa sagaie avec un angle

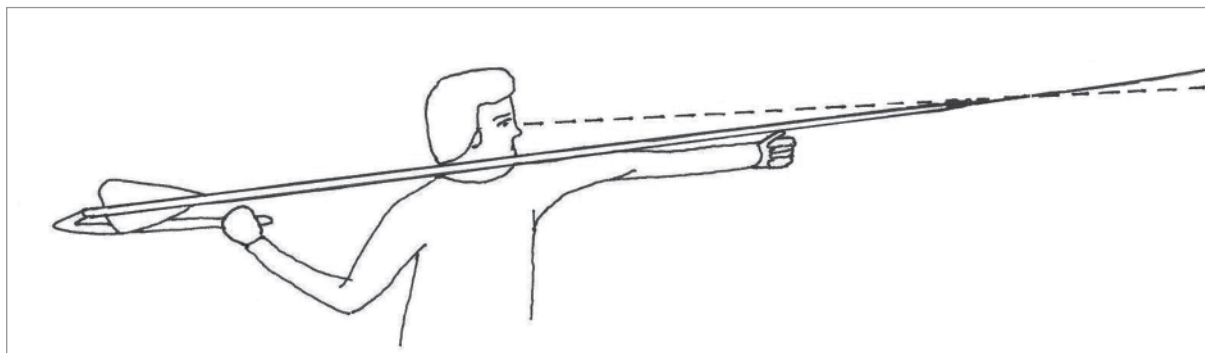


FIG. 22 – Ligne de mire (trait pointillé) et trajectoire d'une sagaie (trait plein). Le point du départ du talon du projectile est situé hors du champ de vision, en arrière du point d'origine de la ligne de mire.

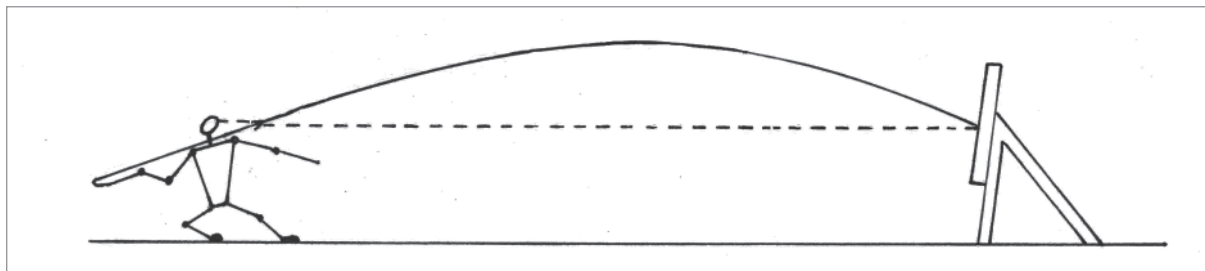


FIG. 23 – Trajectoire et ligne de mire pour un tir de but en blanc (en trait pointillé la ligne de mire en trait continu la trajectoire de la sagaie).

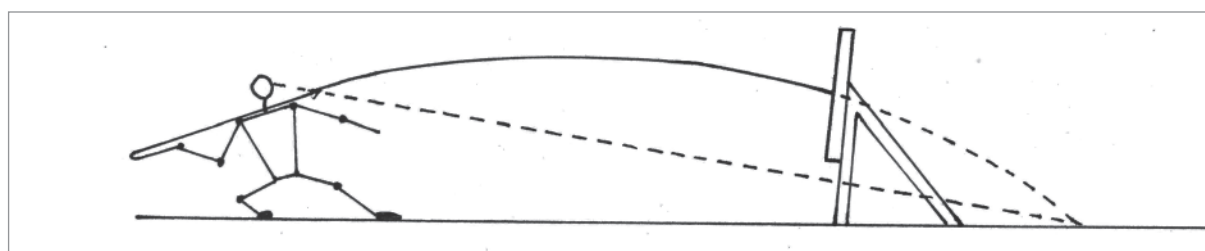


FIG. 24 – Trajectoire et ligne de mire lorsque le tir se fait à une distance inférieure au tir de but en blanc (en trait pointillé la ligne de mire en trait continu la trajectoire de la sagaie).

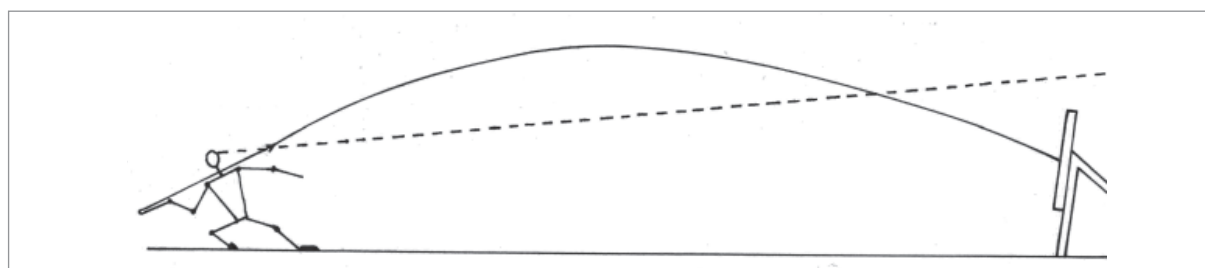


FIG. 25 – Trajectoire et ligne de mire lorsque le tir se fait à une distance supérieure au tir de but en blanc (en trait pointillé la ligne de mire en trait continu la trajectoire de la sagaie).

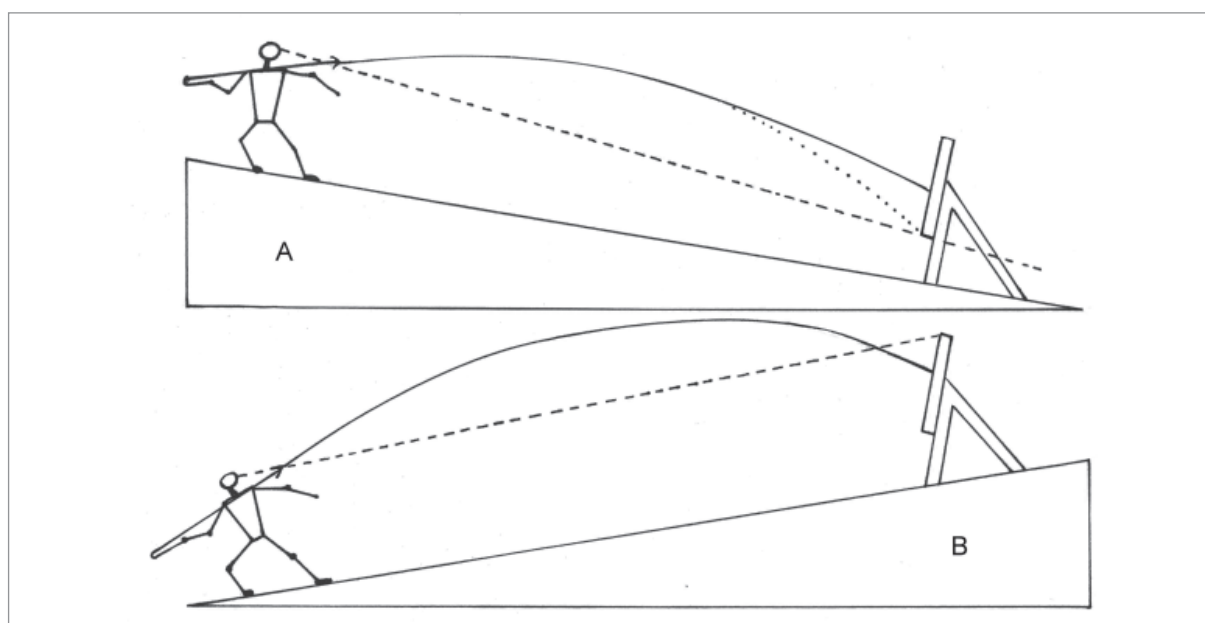


FIG. 26 – En haut, trajectoire et ligne de mire lorsque la cible est plus basse que le pas de tir (le trait pointillé indique la parabole théorique). En bas, trajectoire et ligne de mire quand la cible est plus élevée que le pas de tir.

de hausse négatif, en plaçant la pointe de son projectile (qu'il perçoit en vision secondaire) plus bas que le point qu'il veut atteindre. La pointe de son projectile sera orientée vers le pied de la cible (où en un point situé en avant de celle-ci si la distance est très courte).

3.5.3. Tir à distance supérieure

Si la distance séparant la cible du tireur est supérieure à la distance de but en blanc, sachant que la trajectoire du projectile va recouper la ligne de mire avant d'atteindre la cible, le tireur orientera son projectile avec un angle de hausse positif ; la pointe de la sagaie (qu'il perçoit en vision secondaire) sera placée plus haut que le point d'impact recherché.

3.5.4. Deux cas particuliers

Quand la cible et le tireur sont à des altitudes différentes, il faut prendre en compte une variable supplémentaire : l'angle formé par l'axe de tir (fig. 8, ligne A-D) avec l'horizontale. Cet angle sera négatif si la cible est plus basse que le tireur et positif dans le cas opposé. Pratiquement, quand la cible est plus basse que le tireur, celui-ci prendra une hausse plus faible (comme si la cible était plus proche qu'en réalité). Dans le cas opposé (cible plus haute que le tireur), il ajustera son tir avec une hausse plus importante (comme si la cible était plus éloignée). Bien entendu, ces corrections de hausse, dues à la configuration topographique du tir, s'ajouteront aux corrections de hausse considérées précédemment selon que la cible est à une distance égale, inférieure ou supérieure à la distance de tir de but en blanc.

Ces règles sont aisées à expliquer et à comprendre mais leur mise en pratique est plus complexe. Pour éduquer le geste et l'esprit jusqu'à obtenir un tir instinctif efficace, combien se sagaies auront volé ?

4. Pour ceux qui sont séduits par la poétique abstraction des formules...

Les esprits plus mathématiques et férus de physique trouveront ici quelques formules et démonstrations en rapport avec les explications données précédemment. Afin de rester concis (cet article étant déjà suffisam-

ment touffu), j'ai volontairement refoulé ce paragraphe en fin d'article. Je l'ai résumé au maximum en faisant abstraction de toutes les interactions parasites (ou presque) aux phénomènes décrits. Les puristes se consoleront en exhumant leur cours de physique ; les autres m'absoudront, sans doute, bien volontiers...

4.1. Vitesse des projectiles

La vitesse instantanée d'un projectile est égale au produit de l'accélération (a) par la durée (t) durant laquelle il est soumis à cette accélération.

$$\vec{v}_t = \vec{v}_0 + \vec{a}t$$

\vec{v}_t : vitesse à l'instant t (en m/s)

\vec{v}_0 : vitesse initiale (en m/s)

\vec{a} : accélération (en m/s²)

t : temps en seconde

Lors de la phase d'élanement, le projectile acquiert une certaine vitesse. Elle sera maximale au moment où le projectile devient autonome (quand la flèche se sépare de la corde de l'arc et quand la sagaie quitte le crochet du propulseur). En vol, sous l'influence des frottements, la vitesse du projectile diminue (l'accélération est négative).

4.2. Force de propulsion

C'est la force stockée dans l'arc ou développée par le tireur au propulseur (moins les pertes). Elle est transmise à la flèche par la corde lors de la décoche. Au propulseur, c'est la force que le tireur transmet à la sagaie. Elle est dépendante du tireur. Cette force sera communiquée au projectile qui subira une accélération proportionnelle à sa masse selon la formule :

$$\vec{F} = M \cdot \vec{a}$$

\vec{F} : force en newton (N)

M : masse du projectile en kg

\vec{a} : accélération (en m/s²)

Une force est définie par quatre caractéristiques qui sont dans notre cas :

- la direction de la force sera celle de la trajectoire ;

- le sens de la force : du tireur vers la cible ;
- un point d'application : le talon du projectile ;
- une intensité égale au produit de la masse du projectile par la valeur numérique de l'accélération.

On constate, sur base de cette formule, que la force de l'arc ou celle que le tireur transmet au propulseur étant limitée (et considérée, dans notre cas, comme constante), la masse du projectile influencera son accélération : pour une même force reçue, une sagaie lourde aura une accélération plus faible qu'un projectile plus léger.

Je ne tiens compte ici que de la force transmise au projectile par l'arc ou le propulseur. Dans la pratique, à cette force s'ajoutent d'autres forces contrariantes (frottements et gravitation). La conjugaison de ces différentes forces explique la trajectoire parabolique des projectiles.

4.3. Travail auquel est soumis un projectile

Le travail d'une force est l'énergie fournie par cette force lorsque son point d'application se déplace (l'objet subissant la force se déplace). Ce travail est responsable de la variation de l'énergie cinétique du système qui subit cette force.

Dans notre cas, l'énergie du projectile résulte de l'application d'une force sur le talon du projectile, tout le long du parcours d'élanement. À l'arc, ce déplacement correspond à la distance sur laquelle la flèche est poussée par la corde avant de s'en décrocher. Au propulseur, cette distance correspond à la distance que parcourt le talon de la sagaie depuis le début du mouvement de propulsion jusqu'au moment où la sagaie se décroche. En physique, le travail est défini comme le produit d'une force par la distance parcourue :

$$W = F \cdot e$$

W : le travail en joule (J)

F : la force en newton (N)

e : la distance parcourue en mètre (m)

Le tireur désireux de communiquer une quantité de travail (ou une énergie) maximale à son projectile, peut agir soit :

- sur la force transmise (et faire de la musculature) ;
- sur la distance d'élanement pendant laquelle le projectile est soumis à la force de propulsion (donc jouer sur l'amplitude du mouvement ou sur la taille du propulseur) ;
- ou à la combinaison de ces 2 facteurs.

4.4. L'énergie cinétique du projectile

Le projectile acquiert, au cours de la phase d'élanement, une énergie (cinétique) qui lui permettra d'effectuer son déplacement. Pour un travail de propulsion donné (W mesuré en joules), le projectile se déplacera à une vitesse plus ou moins grande, conditionnée par sa masse.

Soit le projectile de masse M

La force accélératrice est donnée par $F = M \cdot a$ où « a » est l'accélération à fournir.

Le travail à fournir sera obtenu par $W = F \cdot e$ où « e » est la longueur du déplacement à effectuer pour atteindre la vitesse v .

On a donc $W = M \cdot a \cdot e$ (équation 1)

Or $v = \sqrt{2e \cdot a}$

Ceci donne $v^2 = 2e \cdot a$ et $e \cdot a = \frac{v^2}{2}$ (équation 2)

En introduisant l'équation 2 dans l'équation, on obtient :

$$W = \frac{M \cdot v^2}{2}$$

L'énergie cinétique acquise est donc :

$$W_c = \frac{M \cdot v^2}{2}$$

4.5. Les leviers

Un levier est une pièce rigide, allongée, en général en liaison avec un pivot ou en appui sur un point fixe. Il permet de transformer un déplacement, une vitesse ou une accélération. Un levier (fig. 27) est défini par le rapport de longueur existant entre ses deux bras, selon la formule :

$$F1 \cdot L1 = F2 \cdot L2$$

F : force en newton (N)

L : longueur du bras de levier considéré

Le travail et l'énergie sont intégralement transmis d'un point à l'autre du levier :

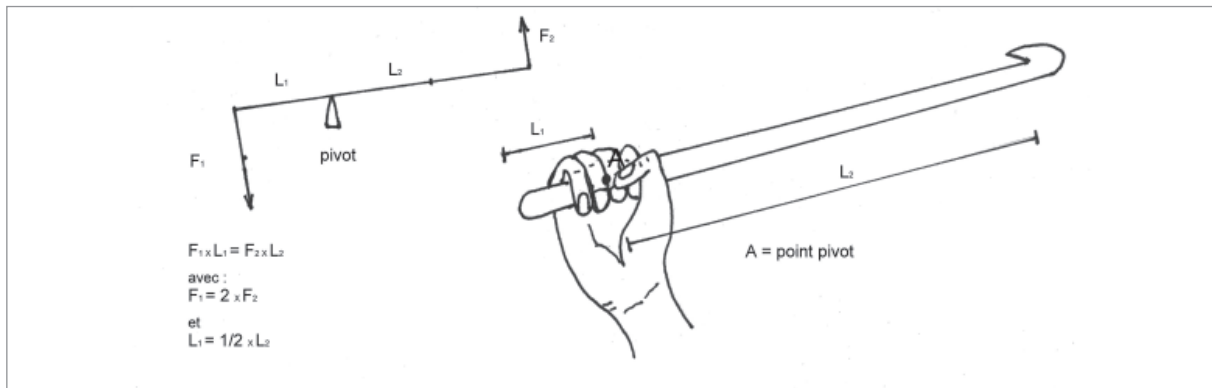


FIG. 27 – Principe du levier et son application au propulseur.

- à une grande force appliquée sur une courte distance correspond une force faible appliquée sur une grande distance : $F_1 \cdot L_1 = F_2 \cdot L_2$. (fig. 27) ;
- pour une faible vitesse de rotation de la partie la plus courte du levier correspond une vitesse de rotation élevée de sa partie la plus longue (fig. 20).

Comme le travail et l'énergie sont intégralement transmis d'un côté à l'autre du pivot, l'amplification de la force, de la distance de déplacement ou de la vitesse de mouvement se fait au détriment de l'autre paramètre de l'équation. Ainsi, le pied de biche transforme une faible force appliquée sur un long déplacement en une force plus importante, appliquée sur un court déplacement. Le propulseur présente une application inverse du pied de biche : le point d'appui du levier est constitué par le point de rotation du propulseur (placé aux alentours du centre de la poignée), tandis que le crochet est situé à l'autre extrémité du levier. Par le mouvement du poignet, le tireur applique une force importante au cours d'un déplacement restreint (la rotation du poignet) soit une énergie e_1 . L'autre extrémité du propulseur (le crochet) est donc soumise à un déplacement de plus grande ampleur mais la force disponible sur le crochet sera plus faible. Comme les déplacements des deux parties du propulseur doivent se faire dans le même intervalle de temps, il en résulte une vitesse plus importante du crochet que de la partie proximale du propulseur (même si toutes les parties situées de part et d'autre du point pivot sont animées de la même vitesse angulaire). On retrouve

ainsi la loi de conservation de l'énergie : le poignet applique une force importante en un court déplacement. Cette énergie (force multipliée par le déplacement) est transmise à la sagaie, via le crochet qui effectue un déplacement très important avec une force moindre. L'énergie de part et d'autre du point pivot est la même.

5. Conclusion

Il est indispensable de donner une image claire et juste de la pratique sportive du tir au propulseur et de veiller au message conscient ou inconscient que les pratiquants véhiculent auprès du public. Par le passé, des messages ambigus, voire erronés, ont pu susciter des réactions de certains préhistoriens. Cette époque me semble révolue mais il reste toujours important de dire et d'insister sur le fait que les manches du championnat d'Europe de tir aux armes préhistoriques sont des rencontres sportives.

La diffusion de l'usage et de la pratique du propulseur mérite d'être jugée d'un œil critique, certes, mais aussi bienveillant. Aux tireurs qui ressentent l'envie de dépasser l'aspect purement sportif du tir au propulseur, on peut proposer de pratiquer encore et toujours mais en joignant à la pratique une observation rigoureuse et un questionnement régulier sur ce système d'arme complexe.

À chacun de s'engager selon ses moyens et ses envies tout en restant conscient que le championnat est à la croisée de chemins : pour assurer la pérennité de cette pratique particulière, il est nécessaire de comprendre

son fonctionnement, d'en décrire l'usage et de diffuser ce savoir afin de rendre la progression individuelle plus rapide et pour convaincre d'autres amateurs de se lancer dans ce sport particulier.

La pratique sportive du tir au propulseur emprunte des voies qui l'éloignent de l'archéologie, même si l'esprit et les références à ses origines restent forts. Pourtant, comme en témoignent les liens existant entre la médecine et le sport, je pense qu'il existe, entre l'archéologie et la pratique sportive du propulseur, des pistes de liaison ou des chemins de traverse qui mènent à des terrains d'ententes permettant des contacts fructueux...

Lexique

Normal (droite) : droite perpendiculaire à un plan (dans notre cas la cible).

Ligne de mire : ligne droite imaginaire déterminée par l'œil du tireur, les organes de visée d'une arme et la cible visée.

Œil directeur : œil qui dirige l'alignement des deux yeux, celui qui vise. (<http://cecile-toxo.free.fr/oeil.html>). Pour le déterminer, il suffit de faire l'expérience suivante : Avec les deux yeux ouverts (important), on aligne un doigt bras tendu de manière à cacher un objet situé à quelque distance. Sans rien bouger, on ferme alternativement l'œil droit puis l'œil gauche. L'un des yeux permet de conserver l'alignement du doigt avec l'objet visé, c'est votre œil directeur, l'autre voit l'objet et le doigt séparés.

Plume gauche ou droite : selon l'aile d'où elles proviennent et à cause de leur fonction isolante et aérodynamique, les deux faces d'une plume présentent des textures différentes (l'une plus lisse, l'autre plus rugueuse). En se déplaçant dans l'air, ces différences de texture génèrent une différence de frottement qui freine davantage un côté de la plume et engendre une rotation du projectile sur lui-même. Cette rotation contribue à stabiliser sa trajectoire.

Rendement : le rendement du système d'arme « propulseur-sagaie » est le rapport de l'énergie réellement utilisée par la sagaie pour se

déplacer vers la cible sur la quantité d'énergie déployée par le tireur. L'énergie perdue dans les mouvements de flexion étant perdue.

Vision stéréoscopique : la vision stéréoscopique, ou vision en relief, est une aptitude naturelle chez l'homme. Cette perception du relief se forme dans le cerveau lorsqu'il reconstitue une seule image à partir de la perception des deux images planes et différentes provenant de chaque œil.

Bibliographie

- CASSEY A. C./University of Colorado, 2010. « 10,000-Year-Old Weapon found near Yellowstone », *The Atlatl*, 23-4 : 19.
- CATTELAÏN P., 1989. « Un crochet de propulseur solutréen de la grotte de Combe-Saunière 1 (Dordogne) », *Bulletin de la Société préhistorique française*, 86-7 : 213-216.
- CATTELAÏN P., 1991. *Les propulseurs : utilisation et traces d'utilisation*, in *Archéologie expérimentale, tome 2 - la Terre : l'os et la pierre, la maison et les champs, actes du Colloque international « Expérimentation en archéologie: Bilan et perspectives »*, tenu à l'Archéodrome de Beaune les 6, 7, 8 et 9 avril 1988, Paris, Éditions Errance, pp. 74-84.
- CATTELAÏN P., 1994. « La chasse au paléolithique supérieur, arc ou propulseur, ou les deux ? », *Archeo-Situla*, 21-24 : 5-26.
- CATTELAÏN P. & PERPÈRE M., 1995. « Tir expérimental de sagaies et de flèches emmanchées de pointes de la Gravette », *Archeo-Situla*, 17-20 : 3-25.
- CATTELAÏN P., 2000. « L'apport de la comparaison ethnographique à la connaissance et aux tentatives de reconstitution des propulseurs paléolithiques », *Anthropologie et Préhistoire*, 111 : 60-69
- CATTELAÏN P., 2004. « Apparition et évolution de l'arc et des pointes de flèches dans la Préhistoire européenne », *Bulletin de la Société royale belge d'études géologiques et archéologique « Les Chercheurs de la Wallonie »*, 43 : 11-28.

- COCHE J.-M., 1991. *La discipline du tir à l'arc instinctif souple*, Valence, Passas et Deloche, 108 p.
- GENESTE J.-M., PELEGRIN J. & MAURY S., 1998. « Création de l'Institut de Recherches Archéo-Cynégétiques (I.R.A.C.), *Bulletin de la Société préhistorique française*, 95/1 : 120-121.
- GREENLAND H., 1996. *Guide pratique pour les archers traditionnels*, Ludwigshafen, éd. A. Hörnig, 96 p.
- LANSAC P., 2004. « Un cadre chronologique pour l'utilisation du propulseur et de l'arc durant le Paléolithique supérieur européen », *Bulletin de la Société royale belge d'études géologiques et archéologique « Les Chercheurs de la Wallonie »*, 43 : 29-36.
- LEPERS C. 2005. « Arcs et flèches, histoire et savoir-faire », *Bulletin de la Société royale belge d'études géologiques et archéologique « Les Chercheurs de la Wallonie »*, hors-série n° 1, 216 p.
- MONNERET J.-R. « *Le lancer de javelot : rappel des bases techniques* » <http://www.avmep.ch/Sportunterricht/technique%20javelot.pdf>.
- PELEGRIN J., à paraître. *Animations archéologiques et démonstrations. Intérêt éducatif : limites et dangers*, in *Acte du Colloque « Déontologie en Préhistoire » Les Eyzies, 15-16 octobre 1998*, <http://www.cg24.fr/archeologie/mediation/Intervention%20j%20Pelegrin.pdf>.
- PETILLON 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, C.E.D.A.R.C., Artefact 10, 302 p.
- ROZOY J.-G., 1992. « Expérimentation de lancer de sagaies avec le propulseur », *Bulletin de la Société royale belge d'études géologiques et archéologique « Les Chercheurs de la Wallonie »*, 32 : 169-184.
- STODIEK U., 1988. *À propos de l'emmanchement des propulseurs au Paléolithique supérieur*, in *Colloque de Chancelade*, octobre 1988, pp. 317-331.
- STODIEK U., 2000. « Preliminary Results of an Experimental Investigation of Magdalenian Antler Points », *Anthropologie et Préhistoire*, 111 : 70-78.
- VICTOR P.-E. & ROBERT-LAMBLIN J., 1989. *La civilisation du phoque, jeux gestes et techniques des Eskimos d'Ammassalik*, Bourges, Colin-Chabaud, 312 p.
- WEIGEL P., M. & U., 2003, « L'art du tir au propulseur, quelques remarques sur un concours sportif à thème préhistorique », *Bulletin de la Société royale belge d'études géologiques et archéologique « Les Chercheurs de la Wallonie »*, 42 : 185-188.

Adresse de l'auteur :

Christian LEPERS
Rue devant Sauvenière, 3
B-5580 Rochefort
christian.lepers@yahoo.fr