



HAL
open science

Un exemple d'archéologie du geste martial: les guerriers de Paestum

Stéphane Salvan, Florence Maqueda, Charles Pontonnier

► **To cite this version:**

Stéphane Salvan, Florence Maqueda, Charles Pontonnier. Un exemple d'archéologie du geste martial: les guerriers de Paestum. *Armes et Guerriers*, S3078, BAR Publishing, pp.1-12, 2022, BAR international series, 9781407359441. hal-03676865

HAL Id: hal-03676865

<https://hal.inria.fr/hal-03676865>

Submitted on 24 May 2022

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

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

Un exemple d'archéologie du geste martial :

Les guerriers de Paestum

Stéphane Salvan (1), Florence Maqueda (2), Charles Pontonnier (2)

1 Université Montpellier 3, CRISES, EA4424, France

(2) Univ Rennes, CNRS, Inria, IRISA - UMR 6074, F-35000 Rennes, France

Résumé

Les fresques des tombes de Paestum réalisées au cours du IV^e siècle av. J.-C. décrivent des scènes de duels ? qui ne sont pas sans rappeler le chant XXIII de l'Iliade. Les représentations proposent un ensemble de gestes martiaux qui semblent indiquer que les combattants employaient un panel technique complexe. Ainsi, la comparaison des représentations a permis de développer des hypothèses sur la cinématique des frappes depuis la position de garde jusqu'à la blessure. Afin de pouvoir tester ces hypothèses, il est nécessaire de mettre en place des protocoles expérimentaux permettant à la fois de vérifier la plausibilité biomécanique des postures représentées, la plausibilité des blessures représentées et l'efficacité des protections en regard des attaques réalisées avec les armes de l'époque. Cet article illustre l'usage possible de tels protocoles dans un cadre d'analyse historique.

Abstract

The frescoes in the tombs of Paestum, painted during the 4th century BC, depict dueling scenes that are not unlike the XXIII chant of the Iliad. The representations propose a set of martial gestures that seem to indicate that the fighters employed a complex technical panel. Thus, the comparison of the representations allowed the development of assumptions on the kinematics of the strikes from the guard position to the wound. In order to test these assumptions, it is necessary to set up experimental protocols allowing at the verification of the biomechanical plausibility of the represented postures and at the same time the plausibility of the represented wounds and the effectiveness of the protections with regard to the attacks. This article illustrates the possible use of such protocols in a historical analysis framework.

mots clés : IVe siècle av. J.-C., archéologie du geste martial, biomécanique, force, protection, fresques.

Introduction

Au cours du IVe siècle av. J.-C. les artistes de la ville campanienne de Paestum ont illustré les parois des tombes de scènes en référence à la vie des défunts. Des scènes de chasse côtoient des rites funéraires mais aussi des combats singuliers. Les fresques de Paestum (Poseidonia) présentent des duels en lien avec un événement de l'Illiade. L'héritage culturel hellénique est très présent dans la production artistique des peuples italiotes. Ces influences sont perceptibles au travers des thèmes abordés dans le contexte funéraire mais aussi des disciplines et les éléments qui les encadrent. Les combats entre les rois et les princes Grecs et Troyens ont véhiculé des modèles de références pour les guerriers influencés par la culture hellénique. Les funérailles de Patrocle organisées par Achille constituent la matrice des sujets peints par les artistes campaniens. Les colonies de la Grande Grèce ont bénéficié de l'apport martial théorique et matériel de leur patrie d'origine pour assurer leur sécurité face aux armées italiotes, celtes et romaines. Si le massacre des Troyens est plus rare dans le répertoire artistique funéraire paestan que dans celui des Étrusques, les combats singuliers (en arme) sont plus récurrents. Ces derniers semblent indiquer une connaissance poussée des techniques martiales du combat singulier en armes (monomachie).

Ces affrontements dépassent les règles fixées par Achille lors de la célébration de la mort de son ami. Les combattants ne s'arrêtent pas au premier sens, bien au contraire, des combats se finissent avec la mort d'un des deux participants. Cet engagement est visible au travers de la répartition et de la gravité des blessures occasionnées. Le sang versé semble être un tribut, un don réalisé au profit du défunt pour honorer sa mémoire. Ce rituel est souligné par la présence de musiciens, de représentations des étapes du processus mortuaire mais aussi de personnages mythologiques comme des chimères ou des sphinx.

Le réalisme des combats représentés peut tromper le spectateur sur la compréhension de la scène représentée. Il ne suffit pas de mimer une scène pour en comprendre le sens et la plausibilité. L'étude du geste martial nécessite l'élaboration d'un protocole scientifique (répétable et critiquable) afin de statuer sur la pertinence des informations mentionnées lors de ces affrontements. La licence artistique employée par les auteurs des fresques peut induire des biais de représentations qui faussent les perspectives et empêchent le chercheur de saisir les éléments nécessaires à la reconstitution de la mécanique gestuelle.

L'établissement du corpus iconographique doit ainsi se réaliser à partir de pièces sélectionnées selon des critères définis par des historiens mais aussi par des spécialistes issus d'autres disciplines. Chaque pièce retenue fait l'objet du regard croisé des chercheurs pour s'assurer qu'elle contienne les informations indispensables à l'établissement du protocole. Il s'agit de décomposer les techniques martiales suggérées en séquence pour les analyser à travers le prisme de la biomécanique, de la traumatologie (sciences médico-légales) et de la tracéologie. La biomécanique est nécessaire pour critiquer les postures et les articulations (musculaires et squelettiques) mentionnées sur les représentations. Le recours à la traumatologie et aux sciences médico-légales est nécessaire pour connaître la létalité des blessures engendrées par les frappes. Ces lésions rendent aussi possible la constitution d'une chronologie des traumatismes à partir de la létalité des frappes. Enfin, la tracéologie est pertinente pour l'étude des armes et des protections représentées et leur rôle lors des combats. Les dégâts occasionnés aux jambières (cnémides) et aux boucliers (*aspis koilé*) ont également fait l'objet de séances d'expérimentations instrumentées afin de connaître le comportement des armes face à ces protections.

Des essais menés au mois de décembre 2018 ont permis d'ouvrir ce champ d'études expérimentales à des travaux sur l'instrumentalisation des armes (javelines et lances courtes) afin de connaître les forces déployées lors des combats. Ces données ont été comparées à celles recueillies par des spécialistes en traumatologie et en sciences médico-légales. Ces premiers résultats encourageants ont amené un développement de protocoles plus complexes en 2019 et en 2020. L'objet de cette courte présentation est d'expliquer la méthodologie employée et les premiers résultats obtenus.

Approche par l'expérimentation

Étude du geste

Protocole

Dans son étude sur la préhension de la lance, P. Connolly et ses collaborateurs proposent une étude instrumentée des trois hypothèses expérimentées (Connolly et coll. 2001). Les résultats obtenus permettent de mesurer les forces mises en œuvre selon les techniques martiales employées. Le protocole employé permet de dissocier la conséquence réelle des frappes de la licence artistique employée au IV^e siècle av. J.-C à l'image de celui employé dans Milks et al. 2016.

Ces études ont constitué le point de départ de la rédaction du protocole expérimental présenté dans cette partie de l'article. L'idée poursuivie ici était de proposer une grille de lecture objective de l'iconographie présente dans les tombes paestanes. Dans ce protocole, déjà partiellement publié (Pontonnier et al. 2020), un ensemble de postures d'attaque supposées comme étant les plus proches des représentations

iconographiques et biomécaniquement plausibles ont été extraites du corpus des fresques lucaniennes de Paestum. Les fresques des tombes de Paestum mentionnent trente-quatre représentations de monomachies notamment (Pontrandolfo et coll. 2004). Elles ont été classifiées en regard du type d'attaque (posture haute ou basse), du type d'armes utilisées ? (lance ou javeline, et de la zone visée (haut ou bas du corps, correspondant respectivement à une attaque au tronc ou aux cuisses sur un combattant de la même taille que l'assaillant).

Un sujet a reproduit l'ensemble des postures choisies pour réaliser des attaques sur un dispositif de frappe permettant de mesurer la force développée par l'attaquant lors de l'impact (capteur MC3A, AMTI). De surcroît, le mouvement du sujet était mesuré à l'aide d'un dispositif de capture de mouvements (VICON, 24 caméras). L'orientation de l'arme était également mesurée à l'aide du même dispositif.



FIGURE 1: (gauche) Exemple de peinture représentative d'une attaque basse, en posture basse, réalisée à l'aide d'une lance. (droite) Posture initiale d'un essai expérimental, basée sur la représentation de gauche. Le sujet frappe un capteur de force, et est équipé de marqueurs de capture du mouvement.

Le sujet mesurait 1m69 pour 88kg, et était un pratiquant régulier des arts martiaux antiques (deux heures par semaine en moyenne sur les huit dernières années). Le sujet devait répéter cinq attaques par condition, mixant posture, zone visée et type d'arme de manière aléatoire. Les armes étaient représentatives des artefacts trouvés dans les tombes (javelines de 120cm et 310g, lances de 150cm et

350g). Le sujet était libre de se placer à une distance jugée confortable pour viser la cible avec force et précision.

L'ensemble des données obtenues a été traité à la fois pour récupérer la force à l'impact (en Newtons), l'angle d'incidence de l'arme vis-à-vis de la cible (en degrés, l'angle nul étant obtenu pour une arme frappant à la perpendiculaire de la surface de la cible), ainsi que l'ensemble des angles articulaires au cours du mouvement, en respectant les standards d'analyse du mouvement en biomécanique (standards ISB, Wu et coll. 2005) et à l'aide d'une méthode d'analyse cinématique avancée (Muller et coll. 2019).

Résultats et discussion

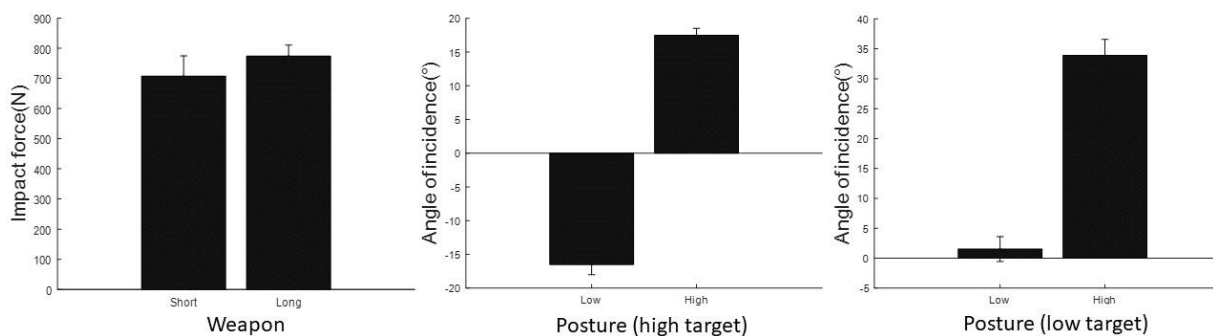


FIGURE 2: (gauche) Influence du type d'arme sur la force d'impact. La lance (Long) permet de développer plus de force d'impact que la javeline (Short) pour les mêmes conditions expérimentales de frappe. (centre) Influence de la posture sur l'angle d'incidence de l'arme sur les cibles hautes. Une posture basse génère un angle d'incidence d'environ -16.5° tandis qu'une posture haute génère un angle d'environ 17.5° . (droite) influence de la posture sur l'angle d'incidence de l'arme sur les cibles basses. Une posture basse génère un angle d'incidence d'environ 1.5° tandis qu'une posture haute génère un angle d'environ 33.9 degrés.

Comme le montre la figure 3, l'étude des forces d'impact et des incidences de frappe obtenues à partir des données expérimentales permettent d'aider l'historien à comprendre et interpréter les représentations des fresques. Dans l'exemple qui est montré, on voit que l'usage des données d'angle d'incidence des armes permet de juger partiellement de la plausibilité des blessures infligées.

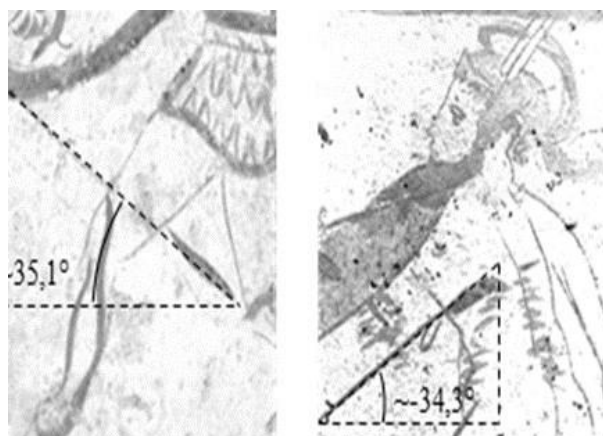


FIGURE 3: (gauche) Blessure à la cuisse possiblement due à une attaque haute. L'angle d'incidence est proche de celui obtenu expérimentalement (droite) La blessure au tronc est peu plausible. Aucun des résultats expérimentaux ne montre une telle incidence pour une frappe au tronc (cible haute).

Nous ne détaillerons pas ici les résultats de l'étude de la cinématique du sujet, qui a été développée dans (Pontonnier et Salvan 2020). Néanmoins une telle approche permet de caractériser les articulations les plus sollicitées ou encore la séquence d'activation des articulations pour une frappe donnée.

Les données obtenues à l'aide du protocole proposé ici permettent de connaître la force et l'incidence de frappe dans des conditions optimales d'attaque. Il s'agit d'une preuve de concept montrant tout le potentiel de l'étude objective du geste martial. Néanmoins, de nombreuses limites restent à vaincre afin de rendre de telles approches réellement exploitables par des historiens de manière systématique.

Tout d'abord, les moyens de mesure mis en œuvre (capteur de force, capture de mouvement optoélectronique) sont coûteux et rarement accessibles aux historiens. De surcroît, la mise en œuvre de tels systèmes et le traitement des données pour en extraire des informations biomécaniques pertinentes nécessite une expertise importante. Afin de rendre de telles approches efficaces pour standardiser l'étude du geste martial antique, il est nécessaire de proposer des protocoles plus accessibles, que ce soit en termes financiers ou en termes d'utilisabilité. C'est pourquoi nous avons proposé une version dégradée de ce protocole. Pour réaliser la capture du mouvement, des marqueurs blancs en polystyrène sont placés sur des points d'intérêts (repères articulaires) du sujet, en supposant que son mouvement reste dans un plan d'attaque. Le geste est alors filmé avec une caméra haute vitesse (on cherchera généralement, pour caractériser des mouvements dynamiques, à avoir plus de 120 images par secondes). Il existe ensuite de nombreuses solutions de suivi de trajectoire de marqueurs dans une vidéo, comme Kinovea ou Tracker. Le traitement à partir de ces logiciels pour récupérer des informations de mouvement est alors simplifié et accessible à des personnes sans expertise aigüe de l'analyse du mouvement. L'exploitation des points d'intérêt permet alors d'estimer les angles articulaires pris au cours de l'attaque et de les comparer aux représentations historiques. Pour mesure ? les forces associées,

de simples capteurs à 1 degré de liberté peuvent s'avérer suffisants, et peuvent être mis en œuvre à l'aide d'outils très intégrés pour un coût relativement faible (quelques centaines d'euros).

Une autre limite importante de la preuve de concept présentée plus haut réside dans le fait que l'on ait un seul sujet étudié. Les mouvements étudiés évoluent en efficacité avec l'entraînement et l'expertise, et la morphologie des sujets aura également un impact important sur les forces et les incidences des frappes. C'est pourquoi il est nécessaire d'étendre le protocole à une cohorte plus conséquente, afin d'obtenir des effets statistiques significatifs sur les grandeurs observées. Pour ramener ces considérations à la problématique de l'historien, on pourra choisir une cohorte proche des standards anthropométriques de l'époque considérée, et on cherchera à varier les niveaux d'entraînement afin de vérifier l'évolution des quantités observées avec ces critères.

Le dernier point fondamental à traiter réside dans l'adéquation des conditions expérimentales standardisées avec les conditions réelles de combat. Lors des combats en déplacement avec des gestes altérés par le stress et les aléas du combat, les niveaux de force et la répétabilité dans la frappe observée dans l'étude seront certainement impossibles à obtenir, même pour un combattant très aguerri. C'est pourquoi il est nécessaire d'également développer des outils de mesure embarquée de la performance du combattant, en reproduction de duel. De telles données permettraient de compléter les approches de laboratoire comme celle présentée ci-dessus, et ainsi mieux accompagner l'historien dans son interprétation des iconographies et leur véracité biomécanique.

Études des protections

L'étude du réalisme des fresques passe par l'étude des blessures représentées. Les travaux de Christian Swinney (Swinney 2016) associés à ceux de Nikitas Nomikos (Nomikos 2018) consacrés à l'étude des blessures dans l'œuvre d'Homère permettent de comprendre la répartition des traumatismes occasionnés par le combat singulier. Même si l'armement défensif diffère entre la période homérique et l'époque étudiée, ces analyses confèrent un socle sur lequel il est possible de disposer les spécificités du IV^e siècle av. J.-C. La dynamique du combat générée à partir des techniques martiales associées aux distances du combat singulier est très semblable entre les deux périodes.

L'étude des protections face aux frappes d'estoc à la lance et à la javeline peuvent alors être une source d'informations ? pour l'historien. L'étude qui a été menée ci-après est une approche expérimentale permettant, à partir d'un protocole simple, d'évaluer la résistance des protections de l'époque. Après le recensement des matériaux employés pour les protections mentionnées dans les sources archéologiques et iconographiques, il a été nécessaire de réaliser des répliques des armes et protections mentionnées dans le corpus iconographique. Les têtes de lances et de javelines ont été forgées à la main par trois artisans à partir de mesures prises sur des pièces archéologiques retrouvées sur le site de Paestum ou dans la Campanie. Afin de compléter les résultats des expérimentations, des armes fabriquées selon des

procédés industriels ont été acquis. Des modèles de protection ont été fabriqués en bronze (plaque de 5mm d'épaisseur simulant la cuirasse trilobée et les cnémides) et en lin (linothorax composée de douze, dix-huit et vingt-quatre couches de lin collées).

Les pièces de protection ont été montées sur un mannequin et le sujet (taille 1.78m, poids 70kg, pratique de l'art martial antique 2h par semaine) avait pour consigne de frapper avec la meilleure efficacité possible les pièces de protection à l'aide des répliques de lance présentées ci-dessus. Une illustration du protocole expérimental peut être trouvée figure 4. La main du sujet a été équipée d'un accéléromètre permettant d'estimer, à l'aide du poids de la lance et du poids estimé du bras du sujet, la quantité d'accélération de l'ensemble en mouvement. L'équilibre dynamique global du sujet nous permet alors d'estimer que cette quantité d'accélération est égale à la force à l'impact en première approximation.



FIGURE 4: Protocole expérimental d'étude des protections. Le sujet était placé à une distance de frappe optimale de la pièce de protection, et frappait avec le maximum de précision et d'efficacité possible la pièce en respectant les postures d'attaque issues du corpus de Paestum.

Résultats et discussion

Force d'impact estimée (kN)	0.68	0.74	0.66	1.5	0.68	0.67	1.1	0.58	1.21	0.92	1.18
Liniothorax traversé (Oui/Non)	N	N	N	O	N	N	N	N	P	N	N

TABLE 1: Résultats de l'expérimentation sur protection. La force d'impact a été estimée à partir de la quantité d'accélération (masse de la lance et du bras du sujet * accélération maximale mesurée par l'accéléromètre au cours de la frappe). Seules deux pièces de liniothorax ont été traversées. Pour le bronze la force d'impact maximale estimée était de 1500N mais aucune frappe n'a traversé.

La table 1 résume les résultats de l'étude des protections. On peut constater que la force d'impact varie grandement d'un essai à l'autre, ce qui laisse à penser que le sujet avait moins de maîtrise de son geste que pour l'étude précédente (où la force d'un essai à l'autre était relativement répétable). Néanmoins, les ordres de grandeur des efforts développés sont similaires, avec des valeurs plus élevées ici. L'estimation de la force par la quantité d'accélération reste relativement peu précise par rapport à une mesure directe, et il est probable que la force d'impact soit surestimée à l'aide de cette méthode (masse du bras mal estimée, accélération moindre avant l'impact, engagement du reste du corps dans l'attaque, dissipation de l'impact...). Il faudrait pouvoir directement instrumenter la lance afin d'avoir une meilleure estimation de l'effort généré par le combattant. Ainsi ces valeurs doivent être prises comme des ordres de grandeur, sans en attendre une précision absolue.

La combinaison des données médico-légales et celles issues de cette expérimentation peut offrir un cadre objectif à la critique de l'iconographie et ainsi établir un degré de vraisemblance des informations transmises par les artistes paestans du IV^e siècle av. -J.C.

La létalité des blessures occasionnées par des armes blanches a été étudiée par des spécialistes de la médecine légale. Les recherches menées par Knight (Knight 1975) ont indiqué qu'une force de 5N était nécessaire pour percer la peau. D'autres chercheurs (O'Callaghan et coll. 1999) ont démontré qu'une force inférieure à 50N était suffisante pour percer les tissus adipeux et les muscles. Ces données sont utiles pour étalonner les frappes simulées lors des phases d'expérimentations, mais aussi pour critiquer l'iconographie de référence. On peut voir par exemple que ces valeurs rendent très plausibles les lances et javelines traversant les corps sur les fresques paestannes. On remarque par ailleurs que les ordres de grandeur de force pour traverser le linothorax ou le bronze sont largement supérieurs (environ 20 à 30 fois supérieurs), ce qui en fait des pièces de protections plutôt efficaces. Évidemment, l'affûtage et le matériau de la pointe ont également une influence importante sur la pénétration de l'arme dans la protection, et il serait nécessaire de mieux maîtriser ces paramètres dans de prochaines études. Il en va de même pour les protections elles-mêmes, qui peuvent présenter des défauts d'assemblage (pour le linothorax) menant à des résultats aberrants.

Les limites de l'étude, en plus de la ? se situent au niveau du manque de maîtrise de la manière dont est frappée la pièce de protection (angle de frappe, force générée) et la mesure de la force d'impact. Ainsi, afin d'étudier la résistance des protections portées par les proto-gladiateurs à une frappe réalisée par une lance ou une javeline de manière plus systématique et maîtrisée, il serait possible de s'inspirer d'autres protocoles de médecine légale. En reproduisant des pièces de protection comme nous avons pu le faire dans l'exemple précédent, nous pouvons les associer à une matière reproduisant la texture de la chair humaine. La plasticine (Roma Plastilina) est par exemple un très bon substitut (Nayak et coll. 2019). On peut alors monter une pointe de la lance dans une machine permettant de connaître la force développée à chaque instant. Une machine de traction peut convenir pour réaliser cette tâche. La pointe

de la lance est alors en appui contre la protection avec une force croissante de façon quasi statique ou dynamique. La machine de traction permet d'obtenir la courbe de la force développée en fonction du temps. A partir de ce moment, il est possible de retrouver la force nécessaire pour percer la protection. Cette force doit pouvoir être comparée à la force développée par un expérimentateur, estimée comme nous avons pu le faire (mesure directe ou accéléromètre).

Finalement, faire passer des cohortes de sujets sur de tels essais permettrait de mieux appréhender l'impact de l'anthropométrie et du niveau de pratique du sujet sur le résultat.

Conclusion

L'étude du geste martial requiert l'élaboration d'un protocole pluridisciplinaire à même de cerner les difficultés inhérentes au corpus iconographique. La sélection des scènes de combats doit permettre de garantir la présence de critères communs en nombre suffisant afin de garantir la faisabilité et la qualité des expérimentations. Ainsi, il est nécessaire de prendre en compte la représentation des corps, le sens des articulations des membres et le respect de leurs propositions.

Dans un second temps, la présence de blessures doit être recherchée afin de connaître les parties visées par les frappes. Ces traumatismes peuvent fournir deux types d'informations. Si l'arme est encore présente, elle peut indiquer l'angle de pénétration. De ce fait, il devient possible de remonter à la source de la blessure par rétro ingénierie. La cinématique de l'arme renseigne sur sa tenue depuis la posture de garde ou de l'amorce de l'attaque. La seconde information transmise concerne la pénétration de la tête de l'arme et la force employée pour porter l'attaque.

Sur cet aspect, l'expérimentation instrumentée permet de critiquer les représentations iconographiques. Les forces nécessaires pour transpercer les protections puis les corps peuvent être mesurées en laboratoire comme les études mentionnées précédemment le précisent. Ces données servent de premier filtre pour la sélection d'un premier corpus de sources. Ce dernier doit être ensuite confronté à une base de données élaborées à partir d'un recueil dynamique forces mises en œuvre lors de combats simulés. La difficulté du recueil est double. Cela nécessite dans un premier temps de disposer des capteurs sur les simulateurs (armes sécurisées). La recherche des capteurs nécessaires et leur positionnement a fait l'objet de plusieurs essais qui se sont traduits par l'instrumentalisation de l'arme sécurisée. Afin de garantir le réalisme des frappes et la sécurité des expérimentateurs, il a été nécessaire de les protéger par des protections corporelles. L'emploi de matériel sécurisé issu de l'escrime olympique (norme FIE 800N pour les vestes et 1800N pour les masques) suffit à préserver les combattants des risques de blessures.

Les données obtenues doivent être comparées avec celles recueillies en position statique comme cela a été réalisé en décembre 2018 lors de la phase initiale de l'étude afin de comprendre l'incidence des mouvements du combat sur les frappes. Il est nécessaire de réaliser une série de combats pour établir une base de données cohérente qui peut servir de références pour des recherches sur les pratiques martiales d'autres époques. Cet outil peut être employé pour développer des modèles informatiques au profit des chercheurs spécialisés dans le domaine de l'iconographie comme les historiens d'art. Les critères présents dans la base de données constituent une grille de lecture supplémentaire disponible pour comprendre les thèmes représentés. Il est de ce fait possible de séparer la licence artistique de la véracité de l'information.

Cette étude et sa diffusion auprès de la communauté s'intéressant à la problématique des gestes martiaux antiques permet d'ouvrir le champ des possibles en termes d'expérimentations. Le recours à des données chiffrées autorise des discussions sur des bases communes à même de lutter contre les approximations et préjugés véhiculés par le temps. Ainsi, les éléments obtenus définissent des frontières plus tangibles de ces pratiques en assurant une sélection des pièces pertinentes pour l'étude. Cette dernière peut dans un second temps faire appel aux neurosciences pour comprendre les motivations des combattants et leur comportement au cours de l'affrontement. Cette phase qui repose sur une étude du contexte sensoriel fait partie intégrante de l'analyse de la genèse de la gladiature romaine.

Bibliographie

- Bleetman A, Watson CH, Horsfall I, Champion SM., (Dec 2003), Wounding patterns and human performance in knife attacks: optimising the protection provided by knife-resistant body armour. *J Clin Forensic Med.*, 10(4):243-8.
- Connolly P., Sim D. N, Watson, C. (2001) An Evaluation of the Effectiveness of Three Methods of Spear Grip used in Antiquity. *Journal of battlefield technology*, **4.2**. 49-54.
- Chadwick EK, Nicol AC, Lane JV, Gray TG. (1999), Biomechanics of knife stab attacks. *Forensic Sci Int.* ;105(1):35-44
- Green MA., (1978), *Stab wound dynamics--a recording technique for use in medico-legal investigations*. *J Forensic Sci Soc.* (3-4):161-3.
- Hermann, R., Crellin, R.J., Uckelmann, M., Wang, Q, and Dolfini, A., (2020), *Bronze Age Combat: an experimental approach*. *BAR International series 2967*. Oxford: BAR Publishing.
- Hunt AC, Cowling RJ., (1991), *Murder by stabbing*. *Forensic Sci Int.*, 107-12.
- Knight B. (1975), *The dynamics of stab wounds*. *Forensic Sci.* 249-55.
- O'Callaghan PT, Jones MD, James DS, Leadbeater S, Holt CA, Nokes LD., (1999), *Dynamics of stab wounds: force required for penetration of various cadaveric human tissues*, *Forensic Sci Int.* ;104(2-3).

- Milks A., Champion S., Cowper E., Pope Matt , Carr D., (2016), *Early spears as thrusting weapons: Isolating force and impact velocities in human performance trials*, Journal of Archaeological Science: Reports, Volume 10, Pages 191-203,
- Pontonnier, C., & Salvan, S., (2020). Biomechanical plausibility of the lucanian fresco tomb proto-gladiators paintings of Paestum: a pilot study. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 23 (sup1), S229-S231.
- Muller, A., Pontonnier, C., Puchaud, P., & Dumont, G. (2019). *CusToM: a Matlab toolbox for musculoskeletal simulation*. *Journal of Open Source Software*, 4(33), 1-3.
- Mylonas AI, Tzerbos FH, Eftychiadis AC, Papadopoulou EC. (2008) *Cranio-maxillofacial injuries in Homer's Iliad*. J Craniomaxillofac Surg. :1-7.
- Nayak, R., Crouch, I., Kanesalingam, S., Wang, L., Ding, J., Tan, P., Lee, B., Miao, M., Ganga, D., & Padhye, R. (2019)., *Body armor for stab and spike protection, Part 2: a review of test methods*. *Textile Research Journal*, 89(16), 3411–3430.
- Pontrandolfo, A., Rouveret, A., Cipriani, M., (2004), *The painted tombs of Paestum*, Pandemo.,
- Nomikos, N., (2018), *Injuries in the Greek epics of Homer*. Chinese journal of traumatology = Zhonghua chuang shang za zhi vol. 21,2 : 109-112.
- Rouse DA., (1994), *Patterns of stab wounds: a six year study*. Med Sci Law. 67-71.
- Swinney C., (2016), *Helmet Use and Head Injury in Homer's Iliad*. World Neurosurg. 14-19.
- Wu, G., Van der Helm, F. C., Veeger, H. D., Makhsous, M., Van Roy, P., Anglin, C., ... & Buchholz, B., (2005)., *ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion—Part II: shoulder, elbow, wrist and hand*. *Journal of biomechanics*, 38(5), pp 981-992.