

Titre : Expertise de la mécanique du tir à l'arc olympique (Optimisation des interactions hommes-matériel lors du tir à l'arc olympique)

Entreprise : CRITT Sport-Loisirs

Laboratoire : Institut PPRIME – Département Génie Mécanique et Systèmes Complexes, équipe RoBioSS (Robotique Biomécanique Sport et Santé)

1 Contexte

Le projet de thèse porte sur l'optimisation de l'interaction homme-matériel dans le sport de haut niveau et plus particulièrement pour l'épreuve de tir à l'arc olympique. Le contexte est multipartenarial. La Fédération Française de Tir à l'Arc (FFTA) vise les premières places aux Jeux Olympiques (JO) de Tokyo en 2020 et de Paris en 2024. L'Institut PPRIME (UPR CNRS 3346) vise à mieux comprendre les déterminants matériels et humains de la performance. Le Centre Régional d'Innovation et de Transfert de Technologie Sport-Loisirs (CRITT SL) employeur du doctorant a pour ambition de se doter de nouvelles compétences et connaissances sur les interactions homme-matériel pour répondre aux besoins des équipementiers sportifs et des PME-PMI. Le Centre de Ressources et d'Expertise de la Performance Sportive (CREPS) de Poitiers répond à sa mission d'accompagnement des sportifs de très haut niveau.

1.1 Contexte sportif

Discipline ancestrale, l'épreuve olympique de tir à l'arc consiste à tirer à 70 mètres sur un blason de 122 centimètres. Lors des phases finales des grandes compétitions, le vainqueur est celui qui sera capable d'assurer une répétition du score maximal de 10 points. C'est-à-dire de tirer dans un disque de 12 cm de diamètre. La marge d'erreur de visée entre le centre de la cible et la zone à 9 points ne représente donc que 0,049°. Ainsi, le tir à l'arc olympique peut être qualifié de sport mécanique de précision, précision qu'il faut répéter au fil des tirs.

Même si la France est l'une des grandes nations olympiques, le tir à l'arc olympique reste une discipline très empirique et peu de matériels conçus et/ou fabriqués en France sont utilisés au plus haut niveau. La France possède pourtant des savoir-faire mondialement reconnus dans le domaine des matériaux composites, constituants principaux des branches d'arc et des futs de flèche.

Depuis plusieurs olympiades, la Fédération Française de Tir à l'Arc (FFTA), à travers sa direction technique nationale, s'intéresse au développement des connaissances autour des différents facteurs de performance : technique, physique, mental et matériel.

Au niveau mental, un projet est en montage avec le Laval Virtual Center. Il vise à pourvoir s'entraîner dans une ambiance JO.

Au niveau physique, une étude a été menée pour déterminer les stratégies musculaires mises en jeu en tir à l'arc afin d'établir des orientations concernant l'entraînement physique [INSEP, 2002]. Une réduction considérable des blessures liées à l'activité ainsi qu'une amélioration notable de la maîtrise de l'arc étaient les principaux objectifs de cette démarche. Il reste néanmoins à optimiser encore davantage la préparation physique et ses orientations en fonction de la spécificité de l'activité (par exemple : « Détermination de l'influence d'un travail de proprioception spécifique sur la stabilité de l'archer », « Objectivation de l'influence d'un cycle d'entraînement isométrique sur la maîtrise de l'arc », etc.).

Au niveau matériel, trois bancs de test sont actuellement utilisés par la FFTA [INSEP, 2014 et 2016]. Deux sont au Pôle France situé sur le site de l'Institut National du Sport, de l'Expertise et de la

Performance (INSEP) à Paris. Une machine de tir qui permet d'utiliser le matériel de l'archer et de tirer des flèches grâce à un système mécanique reproduisant la main humaine de manière répétable. Un banc automatisé de mesure des arcs permet de vérifier le réglage des arcs et le vieillissement des branches. Au CRITT SL, une salle de métrologie accueillera le banc automatisé de mesure des futs de flèche. Ce banc permettra à l'équipe de France de sélectionner ses futs, produits aux États-Unis, sans avoir recours à la seule machine disponible actuellement en Allemagne.

Au niveau technique, l'objectif est de mettre en place un pas de tir instrumenté pour comprendre les déterminants de la performance et suivre leur évolution au quotidien. Ceci permet d'orienter les consignes d'entraînement et d'individualiser les matériels et leur réglage. Le Pôle France est déjà équipé d'une paire de plateformes de force, d'une caméra très haute-fréquence (THF) et d'un pas de tir pour l'entraînement équipé d'une caméra en vue de profil et d'une caméra en vue de dessus. Pour enrichir ce pas de tir instrumenté, une étude de faisabilité [Kuch, 2017] a été menée dans une collaboration précédente entre la FFTA et le Centre d'Analyse d'Images et Performance Sportive (CAIPS). La mise en place du pas de tir instrumenté est en cours actuellement avec le soutien du Ministère des Sports dans le cadre de ses appels à projets de recherche 2018.

La politique de développement des connaissances de la FFTA est l'un des facteurs qui a permis à la France de remonter sur le podium aux derniers JO. La plus haute marche est maintenant dans le viseur d'ici les JO de Paris en 2024. Pour faire progresser et obtenir le meilleur de chaque athlète, il est essentiel pour la FFTA de comprendre les déterminants mécaniques de la performance pour pouvoir aider l'entraîneur à individualiser ses consignes d'entraînement et les choix et réglages des matériels.

1.2 Contexte scientifique et technique

Le doctorant bénéficiera d'un contexte particulièrement favorable à l'étude de la mécanique du tir à l'arc olympique. Il aura accès aux archers élites et aux entraîneurs nationaux du Pôle France à l'INSEP grâce au partenariat initié en 2014 entre la FFTA et le CAIPS (conception deux bancs automatisés de mesure de matériels, réalisation d'un stage de master 2 sur le sujet et mise en place d'un pas de tir instrumenté en cours) et soutenu par le Ministère des Sports (Appels à projets 2014, 2016, 2017, 2018). Les partenaires du CAIPS sont le gage d'un encadrement de qualité dans ce contexte de performance sportive :

- Institut PPRIME (UPR CNRS 3346)
- Centre Régional d'Innovation et de Transfert de Technologie Sport-Loisirs (CRITT SL)
- Centre de Ressources et d'Expertise de la Performance Sportive (CREPS) de Poitiers

Initié en 1998, le CAIPS est régi par une convention quadriennale entre le CNRS, l'Université de Poitiers, le CREPS de Poitiers et le CRITT SL.

1.2.1 Le laboratoire

La biomécanique du geste sportif et l'optimisation des interactions hommes-matériels est une thématique de recherche menée à Poitiers depuis 1982 avec 50 thèses soutenues. L'équipe RoBioSS (Robotique, Biomécanique, Sport, Santé) de l'Institut PPRIME est composée de 18 permanents (enseignants-chercheurs, ingénieurs de recherche et PRAG) et s'appuie sur l'Equipex Robotex dont fait partie la plateforme HuMANs (Analyse du Mouvement Humain et Simulation).

L'Institut PPRIME, Unité Propre du CNRS, est le garant d'un encadrement scientifique des plus exigeants.

1.2.2 Le CRITT SL

Le CRITT SL est une spin-off du laboratoire montée en 1988. Ses deux activités principales sont le conseil aux entreprises et la certification des équipements sportifs et des équipements de protection individuelle. Le CRITT SL est labellisé Centre de Ressources Technologiques (CRT 09/04) depuis 2009 par le Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche. Aujourd'hui, le CRITT SL emploie 17 personnes : ingénieurs essais, ingénieurs R&D, docteurs en biomécanique,....

1.2.3 Le CREPS de Poitiers

Bien que venant de fêter ses 75 ans l'an dernier, le CREPS de Poitiers n'a initié son rapprochement avec l'Université de Poitiers et ses laboratoires CNRS, aujourd'hui regroupé au sein de l'Institut PPRIME, qu'en 1998 dans le cadre de la création du CAIPS. Son positionnement au plus près des sportifs, des entraîneurs et des cadres fédéraux facilite la formulation des problématiques sportives et des réponses scientifiques et techniques apportées par le laboratoire et le CRITT SL. Seize fédérations sportives Olympiques ont fait appel au CAIPS pour des projets de recherche et développement dans les thématiques suivantes : mécanique des fluides, matériels sportifs, biomécanique du geste, ergomètres instrumentés. La FFTA et le CAIPS collaborent depuis 2014 avec le soutien du Ministère des Sports.

2 Organisation des travaux de recherche

2.1 Objectif

L'objectif principal est d'optimiser le matériel et son utilisation pour améliorer la performance sportive.

Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire de pouvoir expertiser l'influence des différents paramètres mécaniques liés au matériel et à son utilisation lors du tir à l'arc olympique afin de les hiérarchiser. Trois actions prévues : expertise du matériel, expertise du tir, influence des réglages.

Après un positionnement du sujet par rapport à la bibliographie et aux verrous scientifiques et techniques, les trois actions sont présentées.

Dans ses travaux, le doctorant bénéficiera de l'expérience de l'équipe de recherche dans la mise en œuvre d'expérimentations complexes ainsi que des quatre années de collaboration suivies avec la FFTA. Cette expérience devrait garantir une organisation efficace et permettre de se prémunir des difficultés matérielles.

Le doctorant partagera son temps entre le laboratoire et le CRITT SL. Cette alternance sera facilitée par la proximité géographique entre ces deux structures (30 km). Il est prévu que le temps passé en entreprise soit de l'ordre de 25 %. L'organisation envisagée est que le doctorant passe une semaine par mois dans les locaux du CRITT pour travailler de manière plus spécifique pour répondre aux besoins de l'entreprise. Cette organisation est flexible et s'adaptera aux contraintes liées telles que notamment l'organisation des campagnes d'expérimentations en lien avec la FFTA et le calendrier des compétitions.

Pour répondre à l'objectif principal, trois niveaux d'expertise sont visés répartis sur les trois années de thèse : matériel, tir, réglages.

Le travail en étroite collaboration avec les cadres de la FFTA et les archers de son Pôle France nous donne la garantie d'avoir des mesures de qualité et en quantité suffisante pour les analyses statistiques et nous permettra de tester régulièrement les développements théoriques et les hypothèses formulées.

2.2 Organisation

1) a) Le doctorant réalise la synthèse bibliographique au laboratoire et en entreprise.

1) b) Les mesures du banc automatisé de mesure des arcs (BMA) sont réalisées par un technicien de la fédération. Le doctorant a accès à la base de données en réseau depuis le laboratoire.

1) c) L'installation du banc automatisé de mesure des futs de flèche (BMF) est prévue à la livraison de la nouvelle salle de métrologie du CRITT SL. Le doctorant prendra part à cette installation avec l'ingénieur de recherche du CREPS, un roboticien de l'équipe RoBioSS et l'ingénieur métrologie du CRITT SL. Ils valideront le protocole d'utilisation du BMF et la précision obtenue.

1) d) Des futs de raideur homogène et jugés identiques par le BMF seront sélectionnés pour être montés suivant le nouveau protocole standardisé de la FFTA. Les flèches obtenues seront tirées à l'INSEP avec l'archer mécanique en intérieur. Le doctorant vérifiera l'influence du montage sur la précision du tir.

1) e) Des futs présentant une ellipse des raideurs jugée identique par le BMF seront sélectionnés. Le grand axe de l'ellipse, l'empennage et l'encoche seront montés à 0, 45, 90 et 135°. Les flèches obtenues seront tirées à l'INSEP avec l'archer mécanique en intérieur. Le doctorant étudiera l'influence de cette orientation sur la précision du tir.

1) f) Les flèches de différentes marques et raideurs seront tirées par l'archer mécanique en intérieur à échéances régulières. Le doctorant analysera l'évolution de la précision des tirs.

1) g) Pour plusieurs réglages du berger-button des tirs seront réalisés avec l'archer mécanique. La localisation des impacts et des images très haute fréquence du fut et du berger-button seront stockées sur le réseau. Le doctorant exploitera cette base de données pour valider un modèle mécanique du berger-button.

1) h) Le doctorant et l'ingénieur du CRITT SL proposeront des éléments pour la mise en place d'une certification des futs pour la compétition. Le doctorant synthétise ses conclusions dans un article au laboratoire.

2) a) La station d'expertise du tir du Pôle France de la FFTA à l'INSEP est en train de monter en puissance dans le cadre de l'appel à projet 2018 de recherche du ministère des sports que le CAIPS et la FFTA ont remporté (72 k€ dont la moitié de subventionné). La conception et le développement sont réalisés par l'ingénieur de recherche du CREPS et un sous-traitant. Les quatre mois prévus en année 2 constituent un tampon pour s'assurer que le Pôle France ait bien pris en main le nouveau dispositif et que le doctorant s'est approprié cette base de données.

2) b) Les mesures sont réalisées au Pôle France entre chaque compétition en présence du doctorant. Une quantité suffisante de données doit être obtenue, notamment par rapport au facteur météorologique à exclure. Suivant le calendrier des compétitions et les conditions météorologiques relevées au point 2) a), des mesures en salle pourront être envisagées.

2) c) La base de données de la station d'expertise étant en réseau, le doctorant pourra l'analyser depuis le laboratoire.

2) d) Les conclusions de l'étude du tir seront rédigées par le doctorant sous forme d'un article au laboratoire.

3) a) Sur la base des expertises du matériel et du tir et des échanges avec les entraîneurs, le doctorant proposera des pistes d'optimisation des réglages du matériel. Des axes de travail, tels que le réglage

des stabilisateurs fixés à la poignée de l'arc, peuvent être envisagés. Le doctorant proposera des recommandations pour l'entraînement. Les quatre mois prévus devraient permettre de dépasser les délais d'apprentissage et de s'assurer de l'amélioration de la performance dans la durée.

3) b) La valorisation de cette étude des réglages sera rédigée par le doctorant sous forme d'un article au laboratoire.

3) c) Le doctorant rédigera sa thèse au laboratoire.

Toutes les publications scientifiques et les retombées, pour les équipementiers français qui travailleront avec le CRITT SL, seront réalisées de concert avec la FFTA pour garantir aux archers français une avance scientifique et technique face à la concurrence internationale pour les JO de Tokyo en 2020 et de Paris en 2024.

Contact:

Patrick Lacouture : patrick.lacouture@univ-poitiers.fr