INSEP

Réflexions Sport

Numéro spécial

32

Novembre 2024

EXTRAIT

REVEA : vers une nouvelle génération d'outils d'entraînement virtuel dans le sport de haut niveau

Réflexions Sport, **n° 32, novembre 2024 : La science aux service des JOP**
P. 94-103
e-ISSN : 2265-5441
Institut national du sport, de l'expertise et de la performance

REVEA : vers une nouvelle génération d'outils d'entraînement virtuel dans le sport de haut niveau

Benoit Baguelin
Fédération française de gymnastique

Laurent Barbieri
Fédération française de gymnastique

Richard Cursaz
Fédération française d'athlétisme

Richard Kulpa
Université Rennes 2, laboratoire M2S et MimeTIC (INRIA)

Chloé Lesenne
Fédération française de boxe

Gilles Montagne
Aix-Marseille Université, CNRS, ISM, Marseille, France

Franck Né
Fédération française d'athlétisme

Frédéric Puel
Université de Reims Champagne-Ardenne, laboratoire Performance, santé, métrologie, société (UR 7507)

Julien de Santa Barbara
Fédération française de boxe

Nicolas Tordi
Université de Franche-Comté

Résumé
Le projet REVEA a pour objectif d'intégrer la réalité virtuelle au cœur de l'entraînement des athlètes de haut niveau afin de répondre à certains enjeux de performance spécifiques à la boxe, à l'athlétisme et à la gymnastique, tout en tentant de réduire la survenue de blessure. Pour les boxeurs, un adversaire virtuel simule avec précision les attaques, permettant ainsi de développer des capacités d'anticipation et de contre-attaque sans l'impact physique des coups réels. Dans le relais 4 × 100 m en athlétisme, un simulateur virtuel immerge les relayeurs dans une reproduction fidèle de la piste, leur permettant de peaufiner le timing de leur départ et d'optimiser les transmissions, tout en évitant les contraintes physiques liées aux répétitions de départs et de sprints. Quant aux gymnastes, la réalité virtuelle leur offre un miroir immersif où ils peuvent observer et ajuster leurs mouvements dans un cadre sécurisé, facilitant l'acquisition de gestes techniques complexes. Fruit d'une collaboration étroite entre des entraîneurs de haut niveau et des chercheurs à la pointe dans leur domaine, ce projet se double d'une analyse fine de l'acceptabilité et de l'engagement des athlètes envers cette nouvelle technologie de réalité virtuelle. Par sa nature innovante et son approche prospective, REVEA aspire à devenir un axe complémentaire majeur des entraînements traditionnels, prêt à évoluer au fil des olympiades pour mieux répondre aux exigences de la haute performance.

Mots-clés : réalité virtuelle, acceptabilité, geste sportif, anticipation, engagement

Le projet REVEA bénéficie d'une aide de l'État gérée par l'Agence nationale de la recherche au titre du programme d'investissements d'avenir portant la référence ANR 20-STHP-0004.

REVEA : vers une nouvelle génération d'outils d'entraînement virtuel dans le sport de haut niveau

Benoit Baguelin
Fédération française de gymnastique

Laurent Barbieri
Fédération française de gymnastique

Richard Cursaz
Fédération française d'athlétisme

Richard Kulpa
Université Rennes 2, laboratoire M2S et MimeTIC (INRIA)

Chloé Lesenne
Fédération française de boxe

Gilles Montagne
Aix-Marseille Université, CNRS, ISM, Marseille, France

Franck Né
Fédération française d'athlétisme

Frédéric Puel
Université de Reims Champagne-Ardenne, laboratoire Performance, santé, métrologie, société (UR 7507)

Julien de Santa Barbara
Fédération française de boxe

Nicolas Tordi
Université de Franche-Comté

© Iconsport

> *« … l'athlète est équipé de capteurs qui permettent d'analyser ses mouvements et donc de quantifier sa performance. »*

Introduction

L'objectif du projet REVEA est de répondre, grâce à la réalité virtuelle, aux problématiques sportives soulevées par trois fédérations : en boxe, entraîner l'anticipation de la défense et contre-attaque sans encaisser de coups ; en athlétisme, entraîner les relayeurs du 4 × 100 m à l'instant de démarrage de leur course pour une transmission optimale ; en gymnastique, permettre de s'observer soi-même en train de réaliser une performance non maîtrisée encore. Malgré leurs spécificités, ces défis partagent une problématique commune : réussir à s'entraîner toujours davantage sans augmenter le risque de blessure. N'étant pas réalisable par les méthodes conventionnelles d'entraînement, le consortium a créé de nouvelles modalités d'entraînement complémentaires utilisant des athlètes virtuels comme adversaire, coéquipier ou comme jumeau numérique (Bideau *et al.*, 2010 ; Brault *et al.*, 2012 ; Stone *et al.*, 2018).

Pour mener à bien cet objectif ambitieux, pour créer et faire évoluer cette nouvelle génération d'outils d'entraînement en fonction des besoins des athlètes et des entraîneurs, nous avons mis en place une approche co-construite entre les entraîneurs des fédérations (boxe, athlétisme et gymnastique) et les chercheurs des universités (Rennes 2, Aix-Marseille, Reims Champagne-Ardenne, Paris-Saclay) et de l'INSEP. Nous avons aussi travaillé à une stratégie de mitigation des risques de l'inclusion de ces nouvelles technologies dans le sport de très haut niveau.

Défense et contre-attaque en boxe

La boxe est un sport de combat, offensif par nature, où le boxeur (ou la boxeuse puisque le projet concerne les équipes masculines et féminines) doit réussir à frapper son adversaire pour prendre la victoire. Il doit cependant anticiper également les attaques et contre-attaques de son adversaire pour ne pas être lui-même touché. Or, la pression temporelle est très forte parce que les coups sont très rapides et lancés à une distance proche (Badau *et al.*, 2018). Le boxeur doit donc être capable d'anticiper, de prélever des informations sur les gestes de son adversaire pour identifier le coup qui va être produit avant même son lancement afin d'avoir le temps de réagir. Mais l'entraînement de l'anticipation est complexe puisqu'il faut que le boxeur encaisse de nombreuses répétitions d'attaque avec un risque important de blessure. De plus, pour être dans les conditions d'un vrai combat, il faudrait que le partenaire d'entraînement lui assène ses coups avec une véritable volonté de blesser, ce qui n'est pas le cas. Cet entraînement étant impossible, une alternative est le *shadow boxing*, qui consiste à boxer dans le

vide. Il ne permet cependant pas d'entraîner la prise d'informations sur l'adversaire ni d'améliorer son anticipation.

L'objectif du projet REVEA est de relever ce défi en proposant de nouvelles modalités d'entraînement complémentaires, impossibles à réaliser de manière conventionnelle, en mettant en opposition le boxeur réel face à un adversaire virtuel (Fig. 1). À cette fin, le boxeur est immergé, grâce à un casque de réalité virtuelle, dans une simulation de boxe dans laquelle l'adversaire est un boxeur expert numérique, qui est toujours disponible, qui a la volonté de blesser et dont on contrôle les attaques de manière précise. Cet adversaire peut être un boxeur ou une boxeuse, droitier ou gaucher, de différentes catégories de poids. Cet environnement permet donc un entraînement contextualisé et adapté dans lequel le boxeur peut agir et se déplacer librement et boxer de manière naturelle, sans les risques de blessure dus aux impacts portés et reçus. De plus, l'athlète est équipé de capteurs (Fig. 2) qui permettent d'analyser ses mouvements et donc de quantifier sa performance. Il est donc possible de connaître, par exemple, le nombre de défenses réussies comme le nombre de contre-attaques produites et/ou achevées ainsi que la vitesse de frappe.

Le fait de pouvoir contrôler cette simulation et les mouvements de l'adversaire virtuel permet de proposer une large gamme de protocoles d'entraînement (Limballe *et al.*, 2022). C'est la co-construction permanente entre les entraîneurs de la fédération et les scientifiques du projet REVEA qui a permis de choisir et faire évoluer ces modalités d'entraînement : des entraînements spécifiques où des séquences de coups sélectionnés par les entraîneurs sont répétés indéfiniment, avec ou sans incertitude et variabilité des coups ; des entraînements focalisés sur le cadrage de son adversaire et enfin des entraînements

Figure 1 – Le casque de réalité virtuelle permet d'immerger le boxeur ou la boxeuse dans un entraînement contextualisé face à un adversaire virtuel.

Figure 2 – L'athlète est équipé de capteurs, *a minima* sur les poignets, pour évaluer sa performance.

Le système est installé à demeure au pôle France de Boxe à l'INSEP afin d'être facilement utilisé par les boxeurs et les entraîneurs.

auto-adaptatifs où le boxeur virtuel s'adapte à la performance réalisée pour individualiser l'entraînement et l'optimiser sans jamais mettre en situation d'échec.

Pour répondre aux exigences du haut niveau, des retours sur la performance réalisée sont fournis en temps réel sur l'écran de l'entraîneur et automatiquement à la fin de chaque séance.

> *« ... programmer une session d'entraînement qui combine des essais réalisés dans des conditions variables. »*

Relais 4 × 100 m

Le relais 4 × 100 m en athlétisme est une discipline qui requiert vitesse et précision. En effet, il s'agit de faire parcourir au témoin le tour de piste (400 m) en un minimum de temps, en dépit de trois passages de témoin successifs. Même si la vitesse de course est primordiale, la capacité des quatre athlètes à synchroniser leurs courses l'est tout autant (Boyadjian et Bootsma, 1999). Dans ce contexte, la qualité de la transmission du témoin est intimement liée au moment du départ de l'athlète en position de receveur. Lorsque l'athlète donneur passe à la verticale d'une marque placée au sol, l'athlète receveur doit commencer sa course. Cela implique d'importantes capacités d'anticipation qui peuvent être optimisées grâce à un grand nombre de répétitions et à la mise à disposition de *feedbacks* qualitatifs (« tu es parti(e) trop tôt, trop tard ou au bon moment ») et/ou quantitatifs (« tu as commencé ta course 1,5 m avant la marque »). Malheureusement, il n'est pas possible pour les partenaires d'entraînement de répéter des vitesses de course maximales sous peine de se blesser et les outils de mesure utilisés sur le terrain (vidéo) permettent de restituer des mesures essentiellement qualitatives.

Le projet REVEA vise précisément à pallier ces difficultés (Montagne *et al.*, 2024). L'idée forte est de proposer un simulateur de relais permettant, grâce à des casques de réalité virtuelle, d'immerger l'athlète en position de receveur dans une réplique virtuelle du Stade de France, le but étant d'optimiser sa capacité à démarrer sa course au bon moment en présence de jumeaux numériques de son partenaire et de ses adversaires (Fig. 3). Différents capteurs placés sur la tête, sur les pieds et le bas du dos permettent de restituer des informations relatives à la performance produite et aux stratégies mises en œuvre (cinématique ou visuelle) en temps réel et en temps différé (Chomienne *et al.*, 2024).

Ce simulateur a été conçu et optimisé grâce à un dialogue permanent avec les entraîneurs des équipes de France de relais 4 × 100 m et les athlètes (cercles 1 et 2, U20). Les retours des athlètes ont été recueillis afin d'optimiser la solution proposée dans le cadre d'une démarche itérative. Une application a également été développée afin que l'entraîneur puisse paramétrer à sa convenance des sessions d'entraînement

Figure 3 – L'athlète est muni d'un casque de réalité virtuelle permettant une immersion complète propice à l'entraînement des capacités d'anticipation.

Photo : Franck Fife / AFP.

en réalité virtuelle. Il est ainsi possible de programmer une succession d'essais dans des conditions stables (par exemple un avatar du partenaire qui arrive toujours à 10 m/s, au niveau de la deuxième zone de transmission de relais, au couloir 5, sans adversaire, en présence d'une marque située à 8 m) (Fig. 4) ou, à l'inverse, de programmer une session d'entraînement qui combine des essais réalisés dans des conditions variables.

L'application permet également de générer des *feedbacks* à l'issue de chaque essai ou de chaque session d'entraînement sur la base des indicateurs de performance retenus par les entraîneurs (chronologie de différents événements remarquables, erreur de timing dans le démarrage de la course, zones de prise d'information).

Parallèlement, différents programmes expérimentaux ont été mis en place afin de caractériser les comportements d'anticipation produits par les athlètes et de proposer, le cas échéant, des protocoles d'entraînement destinés à les optimiser (Egiziano *et al.*, 2023). L'objectif ici est de proposer des protocoles qui n'ont pas vocation à remplacer les entraînements traditionnels, mais à les compléter en mettant l'accent sur des secteurs d'optimisation de la performance difficiles à appréhender sur le terrain.

Figure 4 – Séance d'entraînement d'un athlète de l'équipe de France lors d'un rassemblement des athlètes dans le cadre de la préparation aux JO 2024.

Photo : Franck Fife / AFP.

Observation d'action en gymnastique

La partie gymnastique du projet REVEA vise une optimisation de la performance du collectif France en complétant le temps d'entraînement qui atteint jusqu'à 30 heures hebdomadaires par de l'entraînement en réalité virtuelle. L'idée sous-jacente est d'offrir au gymnaste la possibilité d'observer un enchaînement d'éléments virtuels dont l'agencement peut être modifié à la demande. Par cette approche, il est également possible de faciliter l'immersion du sportif dans la réalisation d'un mouvement qu'il ne maîtrise pas encore totalement. Une équipe pluridisciplinaire de chercheurs s'est ainsi constituée dans l'optique de configurer un jumeau numérique spécifique à chaque gymnaste. Cette approche, qui s'inscrit dans une démarche scientifique de méthodes mixtes de recherche (Creswell et Plano Clark, 2017), comporte différentes étapes et, par conséquent, plusieurs problématiques à surmonter.

Un des points clés est notamment de favoriser l'état de présence du gymnaste lors de son entraînement en réalité virtuelle. Cela impose de proposer une cinématique de ses mouvements aussi fidèle que possible, associée à sa morphologie propre, et de prendre en compte son vécu et son ressenti personnel, pour enrichir l'expérience incarnée virtuelle.

Afin de faciliter l'immersion du gymnaste – indispensable à l'optimisation de l'apprentissage par observation – (Boutin *et al.*, 2010), lors de l'entraînement en réalité virtuelle, une exploration de l'expérience corporelle des gymnastes du collectif France a été menée au travers d'entretiens d'auto-confrontation, réalisés en marge de tests qualificatifs et de compétitions. Les résultats démontrent l'importance de la part sensorielle (kinesthésie-haptique, vue, audition) mais aussi leur attachement à la modélisation fine de certains éléments, comme les contacts avec l'agrès et les prises de main.

Les résultats permettent d'identifier différentes catégories de perceptions sensorielles ayant une influence manifeste pour les gymnastes : des sensations visuelles qui, selon le gymnaste et/ou l'élément réalisé, peuvent être égocentrées ou prises dans l'environnement extérieur ; des sensations auditives (par ex., bruits de l'agrès en retour de la gestuelle et de son rythme qui renseignent le gymnaste sur l'efficience de son mouvement) ; des sensations kinesthésiques relatives au positionnement de son corps dans l'espace ; des sensations respiratoires, qui deviennent signifiantes quand elles accompagnent un mouvement, par exemple lors de phases statiques aux anneaux (Paintendre et Froissart, 2023).

Une autre question fondamentale consiste à tester les différentes modalités d'observation d'action afin d'identifier celles qui seraient le plus à même de contribuer à une amélioration des performances gymniques. Aux *feedbacks* traditionnellement utilisés à l'entraînement et en compétition (retours de l'entraîneur, replays vidéo, notation d'un juge) ont pu être associés des *feedbacks* issus des systèmes de mesure déployés (capture de mouvements sans marqueurs) : vidéos multi-vues et visualisation 3D des mouvements réalisés. Les résultats permettent de penser que ces modalités nouvelles peuvent faciliter l'apprentissage de certains mouvements connus mais peu maîtrisés.

S'il reste encore complexe à mettre en œuvre, l'entraînement en réalité virtuelle, s'il est individualisé et contextualisé, pourrait constituer un support pertinent en complément de l'entraînement usuel des gymnastes.

© Iconsport

« ... identifier le niveau d'acceptation de la réalité virtuelle par les athlètes et leurs entraîneurs après une première utilisation effective. »

Mitigation des risques

De façon surprenante, l'acceptabilité et l'acceptation de la réalité virtuelle par les sportifs n'étaient jamais évoquées comme des conditions de son efficacité. Pourtant, une technologie qui n'est pas acceptée par ses utilisateurs potentiels a de grandes chances d'être finalement peu ou pas utilisée, malgré tous ses bénéfices potentiels. L'acceptabilité et l'acceptation des technologies renvoient aux déterminants de l'intention comportementale d'utiliser une technologie avant même de l'avoir expérimentée (acceptabilité) et/ou après son utilisation effective (acceptation). Pour les étudier, le modèle théorique le plus utilisé est le Technology Acceptance Model, qui identifie les variables qui influencent l'intention d'utiliser une technologie (par ex., utilité perçue, facilité d'utilisation perçue, plaisir perçu). Le premier objectif de REVEA a donc été d'étudier l'acceptabilité du casque de réalité virtuelle par les athlètes, les boxeurs et les gymnastes (et par leurs entraîneurs) avant une première utilisation, afin d'identifier d'éventuels blocages initiaux (Mascret *et al.*, 2022). Or, une technologie peut être fortement acceptée avant utilisation et son acceptation peut s'effondrer après une première utilisation, ou inversement. Un niveau élevé d'acceptabilité peut aussi se maintenir après utilisation de la technologie, tout comme un niveau faible. Le deuxième objectif de REVEA a donc été d'identifier le niveau d'acceptation de la réalité virtuelle par les athlètes et leurs entraîneurs après une première utilisation effective. Toutefois, la réalité virtuelle est soumise à « l'effet WOW », traduisant un effet de surprise et d'émerveillement ressenti par un individu immergé dans un nouvel environnement virtuel. Cet « effet WOW » peut influencer l'acceptation de la réalité virtuelle lors de sa première utilisation, mais il est transitoire. Le troisième objectif de REVEA a donc été d'évaluer l'acceptation de la RV par les athlètes, les boxeurs et les gymnastes (et par leurs entraîneurs) de façon longitudinale, c'est-à-dire tout au long de la période d'entraînement.

Conclusion

Le projet REVEA a permis d'intégrer la réalité virtuelle dans la préparation olympique de trois fédérations, de proposer des premières solutions et de mettre en place une nécessaire co-construction entre sportifs et scientifiques. Il doit cependant se concevoir dans une projection sur plusieurs olympiades.

Nous continuons de travailler sur des études de validation et de transfert, nous faisons aussi évoluer nos solutions avec les dernières innovations technologiques et nous ajoutons de nouvelles fonctionnalités en fonction des besoins toujours plus pertinents, spécifiques et pointus des entraîneurs.

Bibliographie

Badau, D., Baydil, B. et Badau, A. (2018). Differences among three measures of reaction time based on hand laterality in individual sports. *Sports, 6*(2), 45. https://doi.org/10.3390/sports6020045

Bideau, B., Kulpa, R., Vignais, N., Brault, S., Multon, F. et Craig, C. (2010). Using virtual reality to analyze sports performance. *IEEE Comput Graph Appl, 30*(2), 1421. https://doi.org/10.1109/mcg.2009.134

Boutin, A., Fries, U., Panzer, S., Shea, C. H. et Blandin, Y. (2010). Role of action observation and action in sequence learning and coding. *Acta Psychologica, 135*(2), 240-251. https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2010.07.005

Boyadjian, A. et Bootsma, R. J. (1999). Timing in relay running. *Perceptual and Motor Skills, 88*(3), 1223-1230. https://doi.org/10.2466/pms.1999.88.3c.1223

Brault, S., Bideau, B., Kulpa, R. et Craig, C. M. (2012). Detecting deception in movement: the case of the side-step in rugby. *PLoS One, 7*(6). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0037494

Chomienne, L., Egiziano, M., Stefanuto, L., Bossard, M., Verhulst, E., Kulpa, R., Mascret, N. et Montagne, G. (2024). Virtual reality to characterize anticipation skills of top-level 4x100 m relay athletes. *European Journal of Sport Science, 24*(10), 1463-1471. https://doi.org/10.1002/ejsc.12192

Creswell, J. W. et Plano Clark, V. L. (2017). *Designing and conducting mixed methods research* (3rd ed.). SAGE Publications.

Egiziano, M., Chomienne, L., Bossard, M., Verhulst, E., Kulpa, R., Mascret, N. et Montagne, G. (2023). *How variability could shape perceptual-motor expertise in 4x100m relay?* [communication orale]. 28th Annual Congress of ECSS. Paris, juillet 2023.

Limballe, A., Kulpa, R., Vu, A., Mavromatis, M. et Bennett, S. (2022). Virtual reality boxing: Gaze-contingent manipulation of stimulus properties using blur. *Frontiers in Psychology,* 13. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.902043

Mascret, N., Montagne, G., Devrièse-Sence, A., Vu, A. et Kulpa, R. (2022). Acceptance by athletes of a virtual reality head-mounted display intended to enhance sport performance. *Psychology of Sport and Exercise, 61*. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2022.102201

Montagne, G., Mascret, N., Bossard, M., Chomienne, L., Ledouit, S., Rao, G., Tordi, N., Verhulst, E. et Kulpa, R. (2024). An interdisciplinary framework to optimize the anticipation skills of high-level athletes using virtual reality. *Frontiers in Sports and Active Living, 6*. https://doi.org/10.3389/fspor.2024.1324016

Paintendre, A. et Froissart, T. (2023). *Le corps sensible en gymnastique. Pour une immersion du gymnaste de haut niveau dans son expérience sensible* [communication orale]. 20e Congrès International de l'ACAPS, Reims, novembre 2023.

Stone, J. A., Strafford, B. W., North, J. S., Toner, C. et Davids, K. (2018). Effectiveness and efficiency of virtual reality designs to enhance athlete development: an ecological dynamics perspective. *Movement & Sport Sciences / Science & Motricité* 102, 51-60, https://doi.org/10.1051/sm/2018031