

Boxe et réalité augmentée : comparaison des temps de réaction dans une tâche avec cible fixe ou changeante

Travail de fin d'études en vue de l'obtention du titre de
Master of Science en sciences du sport
Option enseignement

déposé par

Quentin Baud

à

L'Université de Fribourg, Suisse
Faculté des sciences et de médecine
Section Médecine
Département des neurosciences et sciences du mouvement

en collaboration avec la
Haute école fédérale de sport de Macolin

Référent

Prof. Jean-Pierre Bresciani

Conseiller

Dr. Jean-Luc Bloechle

Fribourg, mai 2024

Résumé

Ce travail compare les temps de réponse en boxe à l'aide de la réalité augmentée. L'expérience teste 30 participants âgés entre 18 et 40 ans, pratiquant une activité sportive régulière et en bonne santé générale. Ces participants ont été équipés de lunettes de réalité augmentée Magicleap 2 et leurs mouvements ont été enregistrés grâce au système de capture de mouvement Optitrack. Les participants ont dû effectuer quatre séries de 40 tâches. Deux tâches différentes étaient demandées aléatoirement aux participants. La première tâche était de frapper une cible lorsqu'elle s'allumait. La deuxième tâche comprenait un changement de cible. Une cible s'allumait puis changeait de position au début du mouvement de la main. Le but de cette deuxième tâche était de viser la première cible avec une main puis, lorsque la cible changeait, il fallait frapper la nouvelle cible avec l'autre main. Les temps de réaction ont été comparés entre la première main et la deuxième main dans la tâche avec cible changeante, mais également entre la cible unique et la cible changeante. Il est ressorti que le temps de réaction est significativement plus court lors du coup avec la deuxième main que lors du coup avec la première main. Cette différence est expliquée par l'impact de différents facteurs physiologiques et psychologiques. La deuxième comparaison entre la cible unique et la cible changeante n'a pas démontré de différence significative.

Certaines données des participants auraient pu être mesurées et prises en compte lors des analyses afin d'avoir des résultats plus scientifiquement solides.

Cependant, cette étude démontre le fonctionnement optimal des logiciels communiquant entre les lunettes de réalité augmentée et le système de capture de mouvement Optitrack, indiquant un futur prometteur pour les expériences à venir et pour la création d'un entraînement adapté à des boxeurs à l'aide de la réalité augmentée.

Table des matières

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Introduction..... | 4 |
| 1.1 | Les temps de réaction | 4 |
| 1.2 | La Boxe | 7 |
| 1.3 | La réalité augmentée | 11 |
| 1.4 | État des recherches | 13 |
| 1.5 | Objectif du travail..... | 13 |
| 2 | Méthode | 15 |
| 2.1 | Description de l'échantillon | 15 |
| 2.2 | Matériel | 15 |
| 2.3 | Déroulement et protocole de passation | 18 |
| 2.4 | Problèmes rencontrés | 19 |
| 2.5 | Analyse statistique des données | 19 |
| 3 | Résultats..... | 20 |
| 3.1 | Temps de présentation aléatoire de la première cible (17 participants) | 20 |
| 3.2 | Temps fixe pour la présentation de la première cible (13 participants) | 22 |
| 3.3 | Effet du temps de présentation aléatoire ou fixe sur le temps de réaction | 24 |
| 3.4 | Résultats des deux groupes combinés | 24 |
| 3.5 | Analyse globale (changement de cible vs pas de changement de cible) | 26 |
| 4 | Discussion | 29 |
| 4.1 | Résultats et littérature | 29 |
| 4.2 | Points forts de l'étude et de la méthode d'expérimentation | 31 |
| 4.3 | Points faibles et améliorations..... | 32 |
| 5 | Conclusion | 34 |
| | Bibliographie..... | 35 |

1 Introduction

Dans cette étude, je vais explorer le mélange de la technologie et du sport, en mettant l'accent sur la manière dont la réalité augmentée peut enrichir l'entraînement de boxe. Ce travail vise à fournir une compréhension approfondie de son cadre et de son contenu. À cette fin, un cadre théorique sera établi pour expliciter les défis et objectifs de cette recherche. Je débiterai par une définition précise des concepts clés qui constitueront le fondement de cette étude.

Premièrement, je définirai la notion de temps de réaction et présenterai les facteurs l'influençant. Ensuite, j'aborderai en détail la discipline de la boxe. Je tracerai son histoire puis l'évolution de ses méthodes d'entraînement à travers les époques. Enfin, je décrirai les mouvements techniques utilisés en boxe, en soulignant particulièrement le rôle crucial des temps de réaction dans ce sport. Je terminerai la partie théorique en me concentrant sur la réalité augmentée et ses applications potentielles dans le domaine sportif.

Après avoir établi ce cadre théorique, je présenterai l'état actuel de la recherche tant sur l'emploi de la réalité augmentée dans le sport que sur les progrès réalisés en matière de temps de réaction et de leur amélioration. Pour conclure cette introduction, je présenterai les objectifs de ce travail, les hypothèses et les questions relatives à ce travail.

1.1 Les temps de réaction

Les temps de réaction désignent un intervalle de temps entre le début d'une stimulation induite par un ou plusieurs stimuli et le début de la réponse de l'organisme (Teichner, 1954). Je vais présenter plus en détail les temps de réaction en passant par les types de temps de réaction, la description et l'explication des stimuli et en démontrant les facteurs pouvant influencer les temps de réaction.

1.1.1 Types de temps de réaction

Il existe différents types de temps de réaction se caractérisant par plusieurs facteurs. Je vais les présenter un par un en décrivant ce qui les définit. Le premier est le temps de réaction simple. Le temps de réaction simple mesure le temps qu'il faut à une personne pour répondre à un stimulus lorsqu'il n'y a qu'une seule réponse ou tâche possible à effectuer (Kosinski, s.d.). Lors d'une épreuve de temps de réaction simple, le sujet de l'expérience est confronté à un seul stimulus, de plusieurs sources possibles, et doit effectuer une action spécifique aussi rapidement que possible en réponse à ce stimulus. L'action spécifique pourrait être d'appuyer sur un bouton ou encore d'effectuer une certaine tâche motrice.

Le deuxième type de temps de réaction est le temps de réaction de reconnaissance. L'étude de Kosinski (s.d.) explique que le temps de réaction de reconnaissance se caractérise par l'intervention de stimuli distracteurs. En effet, le temps de réaction de reconnaissance nécessite de la part du sujet de reconnaître parmi plusieurs stimuli lequel a été présenté avant de donner une réponse. Il est légèrement plus complexe que le temps de réaction simple car il ajoute un ou plusieurs éléments de distractions. Ce type de temps de réaction est utile afin d'évaluer la capacité de discrimination sensorielle ainsi que la vitesse à laquelle une personne peut identifier un stimulus dans un environnement contenant plusieurs distractions. Lors de la reconnaissance les yeux effectuent des saccades, ce qui permet d'amener et de maintenir l'image de la cible sur la fovéa de la rétine. Dans l'étude de Bieg et al. (2012), il est démontré que le temps de réaction de ces saccades est affecté par le besoin de discriminer les caractéristiques du stimulus. En effet, plus les stimuli sont proches, de par leur nature, du stimulus cible, plus les temps de réaction vont être longs afin de déterminer si c'est le stimulus cible ou non.

Le troisième type de temps de réaction est le temps de réaction de choix. Le temps de réaction de choix implique de choisir entre plusieurs réponses possibles en fonction du stimulus présenté (Kosinski, s.d.). Ce type de temps de réaction est le plus complexe car il nécessite de la part du sujet non seulement de reconnaître le stimulus mais aussi de sélectionner une réponse correcte parmi plusieurs alternatives. Par exemple, si un stimulus d'une certaine couleur apparaît, le sujet devra appuyer sur un bouton de la couleur correspondante à celle du stimulus. Ce type de mesure de temps de réaction est particulièrement pertinent pour étudier le processus de prise de décision et la vitesse de traitement cognitif dans des situations où plusieurs options sont disponibles (Levitt & Gutin, 1971).

Le dernier type de temps de réaction est le temps de réaction sériel. Ce type de temps de réaction se distingue des temps de réaction simple, de reconnaissance et de choix par sa structure et les exigences cognitives qu'il impose. Ce type de temps de réaction est utilisé dans des situations où le sujet doit répondre à une série de stimuli présentés l'un après l'autre, avec chaque stimulus demandant une réponse spécifique qui peut varier en fonction du contexte ou de la séquence des événements précédents (Schwarb & Schumacher, 2012). Le temps de réaction sériel est le plus exigeant sur le plan cognitif car il nécessite non seulement la reconnaissance du stimulus mais aussi le rappel de la séquence appropriée de réponse. De plus, lors d'une expérience de temps de réaction sérielle, le temps de réactions peut diminuer avec l'entraînement et l'habitude. En effet, au fur et à mesure que les sujets apprennent la séquence des stimuli, leur temps de réactions tend à devenir plus rapide grâce à la mémorisation de la séquence ou à la reconnaissance de motifs répétitifs (Schwarb & Schumacher, 2012).

1.1.2 Les stimuli

Les stimuli sont des éléments ou des évènements qui provoquent une réaction dans un organisme. Ils peuvent être perçus de différentes manières par l'organisme. Dans cette section, je vais surtout me pencher sur les types de stimulus qui déclenchent une action volontaire de l'organisme. La nature de ces stimuli est le plus souvent physique. Dans les stimuli physiques, on peut encore recenser différents types. En effet, les stimuli physiques vont être perçus par les différents sens de l'organisme qui lui permettent d'interagir avec son environnement. Chaque sens peut capter des stimuli. Le sens de la vue peut capter des stimuli comme de la lumière, des couleurs ou encore des mouvements et des formes. Dans l'étude de (Shelton & Kumar, 2010) il est démontré que le temps de réaction simple est plus rapide quand le stimulus est auditif que lorsqu'il est visuel avec des temps de réaction de 140 à 160 millisecondes pour le temps de réaction au stimulus auditif et de 180 à 200 millisecondes pour le temps de réaction à un stimulus visuel.

En plus de par sa nature, le stimulus peut également varier de par son intensité. Il a été démontré que les stimulus visuels ou auditifs plus longs et plus intenses provoquent des réactions plus rapides jusqu'à un certain point, où le temps de réaction se stabilise. Les stimuli faibles rallongent les temps de réaction (Kosinski, s.d.).

1.1.3 Les facteurs influençant les temps de réaction

Comme vu précédemment, les temps de réaction peuvent être influencés par la nature ou l'intensité du stimulus. Ils peuvent également varier selon d'autres facteurs qui vont être décrits ci-dessous. Je vais classer ces facteurs en deux grands groupes qui sont ; les facteurs physiologiques et les facteurs psychologiques. Seuls les facteurs ayant un impact significatif seront présentés.

Dans les facteurs physiologiques on retrouve l'âge. En effet, le temps de réaction simple diminue de l'enfance jusqu'à l'âge de vingt ans, puis augmente lentement jusqu'aux alentours de cinquante ans et augmente rapidement après ce cap (Luchies et al., 2002). De plus, l'étude de (Kosinski, s. d.) démontre que la variabilité du temps de réaction chez les personnes âgées était le plus souvent due à une moins bonne reconnaissance des stimuli et suggère que la variabilité pourrait être une bonne mesure de l'intégrité neuronale générale.

Le deuxième facteur physiologique impactant les temps de réponse est la fatigue. Qu'elle soit physique ou mentale, la fatigue peut considérablement ralentir le temps de réaction. En effet, le temps de réaction augmente lorsque le sujet est fatigué (Joseph & New York Academy of Sciences, 1988). De plus, l'étude de Singleton (1953) explique que cette détérioration du temps

de réaction due à la fatigue devient plus marquée lors d'une tâche plus complexe que lors d'une tâche simple et affirme que la détérioration n'est pas due à une fatigue musculaire mais plutôt à un manque de perception des stimuli.

Dans les facteurs psychologiques impactant le temps de réaction on retrouve l'attention ou l'état d'activation du sujet. Le temps de réaction le plus court est obtenu lorsque le sujet est en niveau d'état d'activation intermédiaire, alors que de moins bons résultats sont obtenus si le sujet est trop attentif ou trop peu attentif (Welford et al., 1980). De plus, l'étude de Etnyre et Kinugasa (2002), démontre qu'une pré-contraction musculaire, lors d'une expérience de temps de réaction simple avec un stimulus auditif, peut réduire le temps de réaction.

Un autre facteur psychologique impactant le temps de réaction est l'apprentissage. Le fait d'avoir une certaine expérience dans une tâche ou une discipline permet de raccourcir les temps de réaction. En effet, plusieurs études ont démontré que le temps de réaction est diminué lorsque les sujets connaissent ou maîtrisent déjà la tâche à effectuer. Dans l'étude de Soichi et al. (2002), il a été trouvé que le temps de réaction diminuait après trois semaines de pratique. Des observations ont également démontré que les pratiquants expérimentés de karaté avaient un temps de réaction plus court (Fontani et al., 2006).

Un dernier facteur ne faisant pas partie des facteurs physiologiques ou psychologiques peut impacter les temps de réaction. Ce facteur est la nature de la tâche. Plusieurs études montrent qu'en effet, le type de tâche demandé peut avoir un effet sur le temps de réaction. La première étude démontre que les temps de réaction des saccades visuelles sont plus courts lors de l'exécution d'une tâche de discrimination visuelle que lors d'une tâche où il faut uniquement regarder une cible lors de son apparition (Bieg et al., 2012). La seconde étude, ayant réalisé une expérience dans laquelle les sujets devaient suivre une cible des yeux a démontré que le temps de réaction des saccades visuelles est plus court lorsque la cible s'éloigne de la fovéa alors que le temps de réaction des saccades visuelles est plus long lorsque la cible se dirige vers la fovéa (Bieg et al., 2015). La dernière étude, réalisée par Le Naour et al. (2023), affirme que le temps de réaction est substantiellement plus court lorsque la tâche consiste à contrôler un objet en mouvement alors que le temps de réaction est plus long lorsque la tâche consiste à initier un mouvement.

1.2 La Boxe

La boxe étant une discipline sportive ayant énormément évolué au niveau de ses différentes pratiques ou de ses innombrables méthodes d'entraînement je vais, afin de passer en revue ce art martial, commencer avec un bref historique de la boxe.

1.2.1 Contexte historique

La boxe, un sport aussi vieux que la civilisation elle-même, trouve ses racines dans les anciennes cultures d'Égypte, de Mésopotamie et de Grèce. Introduite lors des jeux olympiques de 688 av. J.-C. en Grèce antique, les combattants s'affrontaient soit à mains nues, soit les mains protégées par des bandages en cuir.

C'est au 18^{ème} siècle, en Angleterre, que la boxe moderne commence véritablement à prendre forme. En 1743, Jack Broughton, un champion anglais, établit le premier ensemble de règles codifiées, connues sous le nom des règles de Broughton. Ces règles introduisent plusieurs innovations, dont l'interdiction de frapper quelqu'un au sol.

L'évolution majeure de la boxe est l'adoption des règles du Marquis de Queensbury en 1867, posant les bases de ce que nous reconnaissons aujourd'hui comme la boxe moderne. Ces nouvelles règles imposent notamment l'usage de gants, instaurent des rounds de trois minutes, un décompte de dix secondes pour un boxeur mis au tapis et proscrirent les prises.

En plus de la boxe anglaise décrite ci-dessus, il existe d'autres sortes de boxe. La boxe française, ou savate, qui se caractérise par l'utilisation des pieds en plus des poings. Le Muay Thaï, originaire de Thaïlande, se distingue par l'utilisation des coudes, des genoux et des tibias en plus des poings. Elle est connue pour sa dureté et son aspect spectaculaire. Il reste encore le Kickboxing. Cette discipline combine des éléments de la boxe anglaise et du karaté, autorisant les coups de poings et de pieds au-dessus de la ceinture (Boddy, 2013).

1.2.2 Les besoins et méthodes d'entraînement en boxe

La boxe étant un sport de combat particulièrement exigeant sur le plan physique et mental, elle demande une préparation conséquente.

Dans un premier temps, la forme physique générale d'un boxeur est un point central. Elle comprend la force, l'endurance, la vitesse, l'agilité et la souplesse. Tous ces facteurs sont importants et doivent être maximisés pour permettre aux boxeurs de produire une performance optimale. La force et la puissance permettent aux boxeurs d'asséner des coups puissants et rapide. Il faut donc une musculature du haut du corps très développée. La musculature du bas du corps n'est pas à négliger car elle permet un appui stable et un transfert d'énergie permettant d'augmenter la puissance des coups (Bouttier, 1978). La résistance à l'effort ou endurance donne aux athlètes la possibilité d'évoluer à leurs meilleur niveaux durant de longs enchainements de rounds (Correa, 2015b). Une bonne coordination et agilité donne la possibilité aux boxeurs de se déplacer avec facilité sur le ring et d'esquiver les coups des adversaires (Chaabène et al., 2015).

La nutrition et le contrôle du poids est une étape incontournable de l'entraînement des boxeurs. En effet, les différentes catégories en boxe se déterminent selon le poids et il est préférable de concourir avec un poids approchant la limite supérieure de la catégorie (Hall & Lane, 2001).

L'entraînement du mental occupe une grande place dans l'entraînement des boxeurs. Ils doivent rester concentrés tout au long du combat afin de pouvoir planifier des stratégies en temps réel et d'éviter toutes distractions (Correa, 2015). La résilience est également un besoin indispensable, car elle permet aux boxeurs de surmonter la douleur, la fatigue et le découragement, des éléments particulièrement déterminants dans l'issue des combats (Correa, 2015).

Les méthodes d'entraînement ont évolué au fil des années, d'abord basées sur des pratiques traditionnelles et empiriques, puis sur des approches scientifiques comme la biomécanique, la physiologie et la psychologie. Ces méthodes ont également été impactées par de nouvelles technologies comme les capteurs de mouvement ou encore les outils de réalité virtuelle (Chen, 2023). Les méthodes de récupération après une performance ou un effort ont également évolué avec l'apparition de nouvelles techniques comme la cryothérapie ou la thérapie par compression. De plus, la préparation physique des boxeurs emprunte des pratiques à plusieurs disciplines comme la danse ou le yoga afin d'affiner encore les facultés des athlètes (Ruddock et al., 2016).

L'élaboration de feedback a également évolué avec l'apparition et l'utilisation de logiciels vidéo et de statistiques. Cela permet de mieux identifier les forces et les faiblesses des boxeurs et de mieux adapter les entraînements (Pic & Jonsson, 2021).

1.2.3 Description des mouvements utilisés en boxe

Je vais présenter et décrire les quatre différents coups de poings utilisés en boxe : le jab, le cross, le crochet et l'uppercut. Ces quatre différents coups peuvent s'exécuter des deux mains. Selon l'étude de Lenetsky et al. (2020), il existe trois différentes phases consécutives lors d'un coup de poing qui sont l'initiation, l'exécution et l'impact. Je vais donc décrire chaque coup en utilisant ces trois différentes phases ainsi qu'en décrivant la position de base depuis laquelle chaque coup va débiter. Un boxeur en position de base est placé de manière à être tourné à environ 45 degrés de son adversaire afin d'avoir une zone de touche plus réduite. Ses jambes sont écartées à largeur d'épaules. Les coudes sont collés au corps et les mains relevées en position de garde devant le visage.

Le jab. Le jab est un coup direct donné avec la main avant. La main effectue une petite distance et vient se remettre en position de garde. La phase d'initiation du jab comprend un déplacement

progressif du poids du corps sur la jambe arrière et un début de déplacement de tout le corps vers l'adversaire. La phase d'exécution comprend le déplacement rapide du poids du corps vers la jambe avant tout en effectuant une extension du bras vers la cible. L'impact marque le début de la dernière phase qui comprend l'atteinte de la cible avec le poing et une poussée de la jambe avant vers l'arrière afin de revenir à la position de base (Lenetsky et al., 2020).

Le cross. Le cross est un coup direct porté avec la main arrière. La main effectue une plus grande distance que lors du jab en raison de l'angle de rotation du boxeur dans sa position de base. La phase d'initiation du cross comprend un déplacement progressif du poids du corps sur la jambe arrière et un début de déplacement de tout le corps vers l'adversaire. La phase d'exécution comprend le déplacement rapide du poids du corps vers la jambe avant tout en effectuant une extension du bras vers la cible avec une rotation du haut du corps afin de permettre à la main d'atteindre sa cible. L'impact marque le début de la dernière phase qui comprend l'atteinte de la cible avec le poing et une poussée de la jambe avant vers l'arrière afin de revenir à la position de base (Lenetsky et al., 2020).

Le crochet. Le crochet est un coup de poing circulaire très puissant de la main forte. Dans la phase d'initiation on retrouve le déplacement du poids du corps vers la jambe arrière et un début de rotation partant de la jambe arrière. Dans la phase d'exécution, la rotation est transmise au haut du corps par les hanches et est amplifiée par le tronc. De plus, le bras positionné à angle droit est lancé vers l'adversaire. Dans la phase d'impact on retrouve l'atteinte de la cible et le retour en position de base grâce à la poussée de la jambe avant (Lenetsky et al., 2020).

L'uppercut. Le dernier coup utilisé est l'uppercut, un coup montant ciblant généralement le menton de l'adversaire. La phase d'initiation de l'uppercut comprend une légère flexion des deux jambes permettant d'emmagasiner de l'énergie cinétique. La phase d'exécution comprend toute l'élévation du corps en commençant par la poussée des jambes suivie d'une torsion du tronc amplifiant la force du coup et pour finir le bras s'élançant vers l'adversaire. Le coude réalise un arc de cercle serré et le poing est orienté avec la paume vers le boxeur. La phase d'impact se termine avec l'atteinte de la cible et un retour à la position de base en fléchissant les jambes et en ramenant les deux mains en position de garde (Blower, 2012).

Pour cette étude, uniquement le jab et le cross seront effectués par les personnes testées.

1.3 La réalité augmentée

La réalité augmentée est une nouvelle technologie qui utilise des données digitales comme des images, des sons ou des vidéos et les intègre en temps réel à un environnement réel (Rampolla & Kipper, 2012). La réalité augmentée se différencie de la réalité virtuelle par son utilisation de la technologie afin de compléter l'environnement réel alors que la réalité virtuelle crée un environnement complètement numérisé et artificiel. L'étude de Craig (2013) explique que pour qu'une application soit considérée de réalité augmentée, il faut qu'elle intègre trois différents critères. Premièrement, la réalité augmentée doit combiner le réel avec le virtuel. Deuxièmement, elle doit être interactive en temps réel et finalement, elle doit agir et interagir dans un environnement tridimensionnel. Je vais présenter dans les deux parties suivantes les différentes utilisations de la réalité augmentée, puis sa possible utilisation dans le milieu sportif et de la performance.

1.3.1 Utilisations de la réalité augmentée

La réalité augmentée étant une nouvelle technologie qui ne s'est développée et mise au point que très tardivement, ses applications et utilisations se sont répandues rapidement dans plusieurs domaines.

Les domaines de l'éducation et de la formation ont évolué en laissant une place à la réalité augmentée dans leurs méthodes d'apprentissage. En effet, la réalité augmentée peut transformer une salle de classe afin de rendre l'apprentissage plus interactif. Les étudiants ou les élèves peuvent visualiser des formes ou des volumes directement sur leurs tables ou encore explorer des sites historiques en se déplaçant dans la salle de classe. D'après l'étude de Kesim et Ozarslan (2012), la réalité augmentée favorise la compréhension et aide à retenir les informations avec des expériences d'apprentissages interactives et visuelles plus attrayante que les méthodes traditionnelles.

La réalité augmentée a également apporté plusieurs nouvelles possibilités au domaine de la santé. Elle est notamment utilisée pour les formations des futurs médecins afin de visualiser une opération ou l'anatomie humaine en trois dimensions. Elle est également utilisée directement en salle d'opération afin d'apporter une assistance au chirurgien. En effet, elle permet de projeter des images directement sur le patients afin de visualiser des organes ou une zone à opérer (Liao et al., 2020).

Les domaines de la construction ou de l'architecture utilisent également la réalité augmentée. Dans le cas de la construction, la réalité augmentée peut aider les techniciens dans le domaine de la réparation ou des constructions complexes en projetant des instructions dans leur champ

de vision en temps réel afin de minimiser les erreurs et les dangers liés à certaines réalisations (Nassereddine et al., 2022). Dans le cas de l'architecture, la réalité augmentée permet de visualiser des projets avant leur construction afin de faciliter la prise de décision dans certains projets (Broschart & Zeile, 2015)

La réalité augmentée est également de plus en plus présente dans le milieu du tourisme. En effet, elle enrichit l'expérience touristique en rendant les visites plus informatives et en superposant le passé historique sur le présent. De plus, la réalité augmentée est intégrée, sur le plan du tourisme international, dans presque tous les domaines comme les offices de tourisme, les transports ou encore les guides (Hubeaux, 2014).

Dans le domaine du jeu vidéo, la réalité augmentée a pu également permettre des nouvelles possibilités en matière d'expérience de jeu. En effet, la réalité augmentée a pu permettre de transposer les jeux vidéo dans le monde réel en offrant une expérience immersive. La réalité augmentée dans le jeu vidéo crée des expériences ludiques innovantes et encourage l'exploration du monde réel et la socialisation (Das et al., 2017).

1.3.2 La réalité augmentée et le sport

L'utilisation de la réalité augmentée devient de plus en plus présente dans plusieurs domaines du sport. Elle peut offrir de nouvelles perspectives pour l'entraînement, le coaching et pour l'amélioration de la performance. Je vais passer en revue ces différents domaines du sport et expliquer l'intérêt de la réalité augmentée pour ces derniers.

Pour l'entraînement et l'apprentissage sportif, l'article de Soltani et Morice (2020) souligne l'effet positif de l'utilisation de la réalité augmentée sur la compréhension du contenu, les performances sur des tâches physiques et sur la collaboration. La réalité augmentée peut enrichir l'apprentissage en offrant des indices visuels sur la dynamique des mouvements sportifs et en donnant aux sportifs la possibilité de comprendre mieux leur environnement.

La réalité augmentée permet également d'améliorer la performance sportive dans certains cas de figures. En effet, la réalité augmentée peut projeter des positions ou des indications stratégiques en temps réel lors d'entraînement ou de phases de jeu et ainsi permettre aux athlètes de mieux s'adapter à une certaine situation (Soltani & Morice, 2020). L'exemple de l'étude de Bloechle et al. (2024) montre que l'utilisation d'un simulateur de tir de penalty avec un gardien holographique peut diminuer le seuil de redirection lorsque le gardien anticipe le tir et plonge d'un côté.

Les coaches utilisent également la réalité augmentée afin d'améliorer leurs feedbacks. Le développement de nouvelles applications les aide dans cette tâche, notamment une application

particulière : Augmented coach, présentée dans le travail de Channar (2022) permet aux coach de visualiser un athlète de manière tridimensionnel. L'application permet, à l'aide de plusieurs outils d'analyse, de créer des annotations directement dans la séquence de mouvement afin d'aider au mieux l'athlète. Ce type d'avancées dans la création de feedback rend presque obsolète la vidéo feedback en deux dimensions comme nous le connaissons.

1.4 État des recherches

Les différentes recherches effectuées mettent directement en relation la boxe et la réalité augmentée afin d'améliorer le temps de réaction. Certaines recherches récentes portent sur les effets de la réalité augmentée sur les temps de réaction et de quelle manière il est possible de l'améliorer. Concernant la boxe ou plus généralement les sports de combat, les recherches portent sur les différents moyens d'améliorer le temps de réaction des athlètes.

Je vais présenter plusieurs études démontrant l'avancée des recherches dans ces domaines liant ainsi la boxe, la réalité augmentée et les temps de réaction.

La première étude vient de l'University of Massachusetts Amherst (2023) et démontre que la réalité augmentée peut mesurer et améliorer efficacement les temps de réaction. Dans cette étude, l'utilisation de scénarios de jeu modifiés en réalité augmentée pour tester les réactions des sujets montre que des éléments virtuels réalistes peuvent améliorer significativement les temps de réaction.

Dans une deuxième étude de Bushati et al. (2024), il est démontré que l'utilisation de la méthode Fit light sur des boxeurs d'élite albanais a permis une très nette amélioration de leur temps de réaction des bras et des jambes ainsi qu'une augmentation de leur fréquence de coups. Fit light est une méthode d'entraînement de réaction faisant intervenir des boutons lumineux sur lesquelles il faut appuyer le plus vite possible lorsqu'ils s'allument.

1.5 Objectif du travail

Cette étude sur la boxe et la réalité augmentée a pour objectif d'expliquer les différences des temps de réaction pour deux tâches distinctes en s'appuyant sur les divers facteurs pouvant influencer le temps de réaction. Trente participants ont été mandaté afin de réaliser une série de cent-soixante tâches pouvant prendre la forme d'un coup unique avec une cible fixe ou de deux coups consécutifs avec une première cible changeante et une deuxième cible fixe. L'objectif est donc de déterminer si le temps de réaction est plus court lors d'un coup unique ou si au contraire, une activation préalable peut permettre un temps de réaction plus court lors du deuxième coup. Étant donné l'hétérogénéité du groupe testé, il sera également intéressant de classer les temps

de réaction par sport pratiqué, âge, sexe, main dominante ou encore selon le temps, en moyenne hebdomadaire, consacré à jouer aux jeux-vidéo.

En résumé, deux questions ressortent pour donner une direction à cette étude. Est-ce que le temps de réaction est plus court lors d'une tâche unique avec une cible fixe ou lors d'une tâche avec une cible changeante ? Si une différence entre les temps de réaction apparaît, comment expliquer cette dernière ?

A l'aide du cadre théorique posé ci-dessus, je peux émettre quelques hypothèses avant de commencer les expériences. La première hypothèse admet que l'anticipation du deuxième coup peut réduire significativement le temps de réaction. La deuxième hypothèse admet que les temps de réaction mesurés lors de la tâche sans changement de cible seront significativement plus courts que les temps de réaction mesurés lors de la tâche avec changement de cible.

2 Méthode

2.1 Description de l'échantillon

Trente participants ont participé à l'expérience, neuf femmes et vingt-et-un hommes. Les sujets ont entre 19 et 36 ans. Seulement quatre gauchers ont participé à l'expérience contre vingt-six droitiers. Pour cette étude, seuls trois différents critères ont été pris en considération lors de la sélection des sujets. Premièrement, les sujets devaient être en bonne santé. Ils devaient, par ailleurs, pratiquer une activité physique régulière et finalement, se trouver dans une tranche d'âge entre 18 et 40 ans. Ces seuls critères permettent de garantir une certaine homogénéité dans la sélection des sujets. Les participants ayant besoin de lunettes avec une correction impactante pour l'expérience ont reçu l'indication, dans la mesure du possible, de porter des lentilles de contact lors de l'expérience.

Tous les participants ont effectué la même tâche et dans les mêmes conditions, aucun groupe n'a été créé. Il s'agit donc d'un plan expérimental intra-sujet.

2.2 Matériel

Pour permettre le bon déroulement de l'expérience et une prise de mesure optimale, plusieurs dispositifs technologiques ont été utilisés. Dans un premier temps, les participants ont dû enfiler les lunettes de réalité augmentée Magic Leap 2 (figure 1). Ces lunettes, couplées avec le logiciel Copebox, permettent d'afficher quatre cibles rondes, nécessaires à l'expérience, en face du sujet. De plus, une manette permet à l'expérimentateur d'interagir avec les réglages du logiciel et des lunettes (figure 1). Deux chargeurs USB-C sont toujours à disposition pour recharger la batterie des lunettes et de la manette afin de ne pas avoir de risque de coupure lors du test d'un sujet. Le deuxième outil utilisé est le système Optitrack. Ce dernier permet, à l'aide de vingt-quatre caméras situées au plafond tout autour de la salle de test, d'enregistrer les positions des mains et des lunettes à tout moment (figure 2). Afin de permettre cet enregistrement de positions, les sujets portent des gants munis de cinq marqueurs appelés rigid bodies (figure 3). Les lunettes portent également des marqueurs. Pour cette étude, les mouvements des sujets ont été capturés à une fréquence de 100 images par seconde.

Deux logiciels ont permis de faire fonctionner les lunettes Magic Leap 2 et le système Optitrack ensemble. Le premier logiciel est Motive. Il permet de calibrer les rigid bodies et d'enregistrer toutes les positions des marqueurs fixés sur les mains et les lunettes des participants. Le deuxième logiciel est Hololab. Ce deuxième logiciel permet de pouvoir interagir entre les

lunettes de réalité augmentée et le système Optitrack. Il permet également de mettre un nom à la session de test, de calibrer la hauteur des cibles selon la taille du participant, de débiter l'expérience et d'enregistrer toutes les données recueillies sur un serveur.

Figure 1

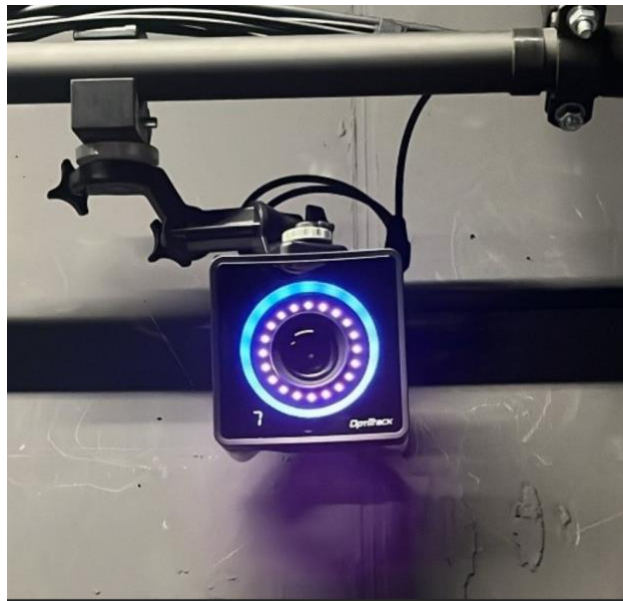
Lunettes de réalité augmentée Magicleap2 et sa manette



Note. Les lunettes Magicleap2 permettent d'afficher les quatre cibles et la manette permet d'interagir avec le logiciel Copebox et les réglages des lunettes.

Figure 2

Caméra Optitrack



Note. Les 24 caméras Optitrack disposées dans le laboratoire permettent de capturer et d'enregistrer les mouvements des mains et de la tête des participants.

Figure 3

Les gants avec les marqueurs



Note. Les gants sont placés sur les mains des participants afin de permettre aux caméras d'enregistrer leurs mouvements.

2.3 Déroulement et protocole de passation

Avant l'arrivée du participant, il faut allumer le système Optitrack, l'ordinateur du laboratoire et se connecter à la session CoPeLab2023. Ensuite il faut lancer le logiciel Motive, puis le logiciel Hololab. Il faut également allumer les lunettes de réalité augmentée et la manette. Une fois allumée, il faut connecter les lunettes à l'ordinateur. Pour se faire, il faut lancer l'application Copebox dans les lunettes de réalité augmentée, puis cliquer sur le haut du panneau bleu de Copebox afin d'obtenir le numéro IPS commençant par 134. Il faut ensuite entrer ce numéro dans le logiciel Hololab et cliquer sur le signe réseau afin de connecter les lunettes à l'ordinateur.

La prochaine étape est le calibrage de l'environnement virtuel des lunettes avec le laboratoire. Pour cela, il faut cliquer sur « start calibration » sur Copebox dans les lunettes, puis viser la croix en scotch sur le sol en maintenant enfoncée la gâchette de la manette. Quand le point de calibration est sur le centre de la croix, il faut relâcher la gâchette et cliquer sur « stop calibration ». La dernière étape consiste à entrer le nom du participant dans l'espace prévu à cet effet dans le logiciel Hololab.

A l'arrivée du participant, on relève certaines informations comme son âge, son sexe, sa main dominante, son sport et son temps de jeux-vidéo moyen en heures par semaine. Une fois ces informations recueillies, le participant prend connaissance du déroulement précis de l'expérience et signe un formulaire de consentement.

Après ces explications, le participant enfle les gants dotés de marqueurs et pose ses mains et ses coudes au sol avec les mains orientées vers le mur en face de la croix afin de pouvoir calibrer les marqueurs avec le logiciel Motive. Pour ce faire, il faut aller dans la fenêtre « create a layout », cliquer sur « modify » en ayant sélectionné la main droite ou la main gauche et cliquer sur « reset » afin de calibrer les marqueurs selon les mains du participant.

Ensuite, le participant enfle les lunettes de réalité augmentée et se place derrière la croix au sol. Avant de commencer l'expérience, il ne reste plus qu'à calibrer la hauteur des cibles selon la taille du participant. Pour cela, le participant doit tendre les bras devant lui et fléchir légèrement les jambes afin d'avoir une position plus confortable lors de l'expérience. Quand le participant est en position, il faut cliquer sur « restart » dans Hololab afin de placer les cibles à la bonne hauteur et l'expérience peut débuter. Les dix premiers coups sont un test afin de voir si le participant a bien compris ce qu'il doit faire. Après ces dix coups, on clique de nouveau sur « restart » et cette fois l'expérience débute réellement.

L'expérience est constituée de quatre sessions identiques de quarante stimuli entrecoupés de deux minutes de pause. Pour que l'expérience démarre, il faut que le participant rapproche ses

mains des lunettes de réalité augmentée. Lorsqu'il est en position les quatre cibles passent de l'orange au bleu afin d'informer que le participant est dans la bonne position. Le participant doit frapper les cibles qui deviennent vertes. Si la cible devient verte du côté gauche, il doit frapper avec la main gauche et si la cible devient verte du côté droit, il doit frapper avec la main droite. Dans le cas où la cible verte change de position après avoir commencé le mouvement de frappe, il doit changer de main de frappe peu importe de quel côté est la deuxième cible. Lorsque le participant atteint la cible, un signal sonore retentit afin d'informer de la réussite de la tâche.

2.4 Problèmes rencontrés

L'utilisation de matériel technologique de pointe nécessite de grandes compétences en informatique et en codage afin de connaître les raisons d'un problème qui survient. Les principaux problèmes ont été rencontrés lors de la mise en place de l'expérience, avant l'arrivée du participant. Par exemple, si d'autres chercheurs avaient utilisé le logiciel Motive avec les caméras Optitrack et que leurs réglages spécifiques étaient encore enregistrés sur le logiciel. Avec une grande aide d'un conseiller disponible et très compétent, ces problèmes ont vite pu être résolus avant l'arrivée des participants. Un problème est survenu lors des tests des participants. Lorsque la fréquence de capture était trop haute, le logiciel était surchargé et n'arrivait plus à capter les mouvements de manière fluide. De ce fait, quelques données n'ont pas pu être enregistrées et traitées.

De manière générale l'expérience s'est très bien déroulée. Le point à retenir est que les matériaux technologiques de pointe qui ont été utilisés nécessitent une grande maîtrise. Sans l'aide d'un conseiller compétent, il aurait été difficile d'arriver à de tels résultats.

2.5 Analyse statistique des données

Les distributions des observations ont été analysées à l'aide de tests binomiaux et de tests de Pearson's Chi-squared (tableaux de contingence). Les moyennes ont été comparées à l'aide du Wilcoxon signed-rank test lorsque les échantillons étaient appariés et du test Wilcoxon rank-sum test (test U de Mann-Whitney) lorsque les échantillons étaient indépendants. Lorsque le test de Wilcoxon indiquait une différence non significative et lorsque cela était pertinent, le facteur de Bayes a été calculé pour estimer la probabilité que l'hypothèse nulle soit vraie par rapport à l'hypothèse alternative. R a été calculé comme indicateur de l'ampleur de l'effet.

3 Résultats

La première partie des résultats présentés ci-dessous se concentre sur les essais au cours desquels un changement de cible a eu lieu, et n'inclut donc pas les essais au cours desquels une seule cible a été présentée. En effet, le but est de comparer la latence de réponse à la présentation de la première et de la deuxième cible. Les essais sans changement de cible n'ont été inclus uniquement pour limiter l'anticipation de la présentation de la deuxième cible.

Pour toutes les analyses sur le temps de réaction et le temps de réponse, les essais dans lesquels les participants ont répondu moins de 150ms après la présentation de la cible ont été écartés parce qu'ils correspondaient probablement à une anticipation du participant plutôt qu'à une réponse au stimulus visuel. Les essais dans lesquels la première réponse intervenait plus de 700 ms après la présentation de la première cible ont également été écartés. Au total, moins de 3% des essais ont été écartés (99 sur 3479).

3.1 Temps de présentation aléatoire de la première cible (17 participants)

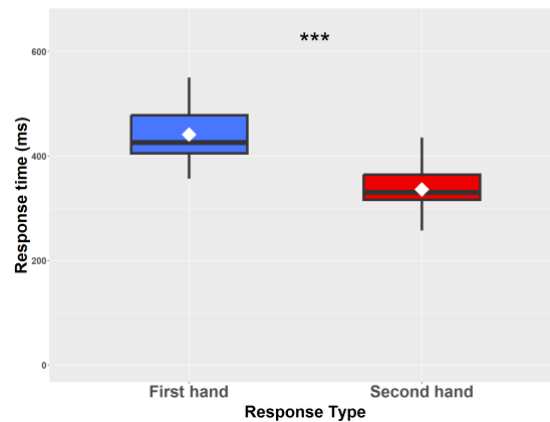
Ce groupe de participants a utilisé significativement plus souvent la main droite (1072 fois au total) que la main gauche (907 fois au total) pour donner le premier coup de poing ($p < 0.001$, évalué par un test binomial).

Les participants droitiers ont donné le premier coup de poing avec leur main droite un peu plus souvent que les participants gauchers (54,21% contre 53,85% du temps), mais cette tendance n'était pas significative ($\chi^2(1) = 0.001$, $p = 0.97$).

Sans surprise, il existe une relation significative entre la première cible présentée et la première main utilisée ($\chi^2(3) = 1595$, $p < 0.001$).

Figure 4

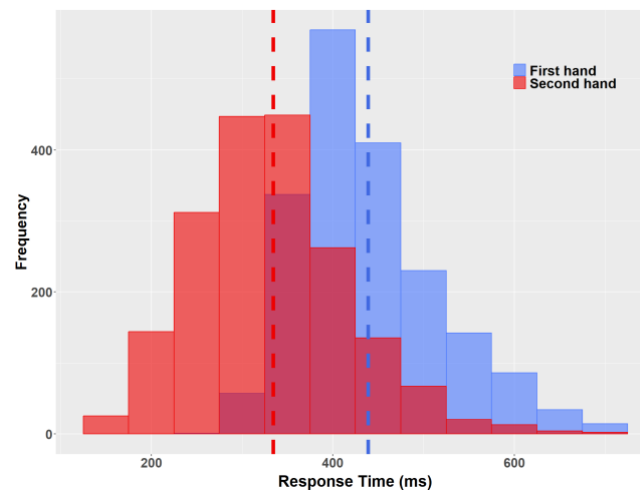
Comparaison des temps de réaction de la première main et de la deuxième main (exp. 1)



Note. Les temps de réaction sont en moyenne significativement plus courts ($p < 0.001$, effet important ($R = 0.88$)) pour le second coup de poing (moyenne = 335.96 ± 45.54) que pour le premier coup de poing (moyenne = 441.15 ± 53.16).

Figure 5

Distribution des temps de réaction première vs deuxième main (exp. 1)



Note. Ci-dessus figurent les distributions des temps de réaction pour la première et la deuxième main après filtrage. C'est-à-dire que les temps de réaction inférieurs à 150 ms ou supérieurs à 700 ms ont été supprimés. Pour chaque distribution, la ligne en pointillé correspond à la moyenne de la distribution.

Pour le premier coup de poing, le temps de réaction est significativement plus court ($p < 0.05$, effet modéré ($R = 0.50$)) lorsqu'il est lancé avec la main gauche (moyenne = 437.56 ± 49.70) que lorsqu'il est lancé avec la main droite (moyenne = 446.15 ± 56.12). En revanche, le temps de réaction du second coup n'est pas affecté par la main utilisée pour le donner (342.07 ± 50.36 vs 335.31 ± 46.47 pour la main droite et la main gauche respectivement, $p = 0.23$, $R = 0.30$). Enfin, la main utilisée pour le premier coup de poing, et donc la main utilisée pour le second coup de poing puisqu'il s'agit de la main opposée, n'affecte pas de manière significative le temps pour atteindre la cible (927.17 ± 105.68 vs 921.89 ± 105.45 , $p = 0.93$, $R = 0.029$).

3.2 Temps fixe pour la présentation de la première cible (13 participants)

Lors de la première expérience, nous avons démontré que le temps de réaction à la présentation de la deuxième cible est significativement plus rapide que le temps de réaction à la présentation de la première cible. Cependant, nous avons pensé que cette différence peut en partie résulter d'un biais expérimental potentiel. Plus précisément, la première cible a été présentée de manière aléatoire après le début de l'essai. La cible s'affichait une seconde après le début de l'essai et le logiciel ajoutait aléatoirement 0.2 seconde. Cette variation aléatoire a été introduite pour réduire le comportement d'anticipation. En revanche, la présentation de la deuxième cible a été déclenchée par le début du coup de poing des participants vers la première cible. A cet égard, le moment de la présentation de la deuxième cible a pu être plus facile à anticiper. Nous avons donc décidé de tester un autre groupe de participants pour lequel le moment de présentation de la première cible était fixe, à savoir deux secondes après le début de l'essai. Cette modification a été mise en place pour que la présentation de la première cible et de la deuxième cible soit aussi facile à anticiper.

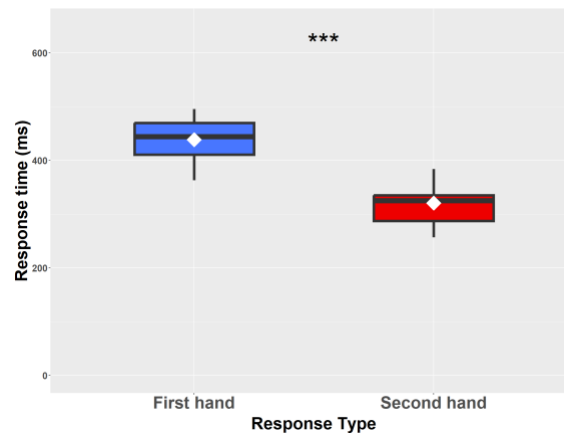
Ce groupe de participants a utilisé significativement plus souvent la main gauche (816 fois au total) que la main droite (684 fois au total) pour donner le premier coup de poing ($p < 0.001$, selon un test binomial).

Les participants gauchers ont donné le premier coup de poing avec leur main droite plus souvent que les participants droitiers (49.15% contre 44.94% du temps), mais cette tendance n'est pas significative ($\chi^2(1) = 1.26$, $p = 0.26$).

Sans surprise, et comme dans la première expérience, il existe une relation significative entre la première cible présentée et la première main utilisée ($\chi^2(3) = 1103$, $p < 0.001$).

Figure 6

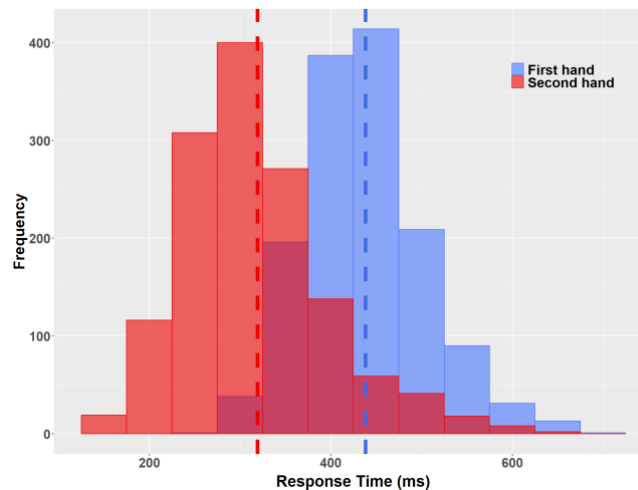
Comparaison du temps de réaction de la première main et de la deuxième main (expérience 2)



Note. Comme dans la première expérience, les temps de réaction sont en moyenne significativement plus courts ($p < 0.001$, effet important ($R = 0.88$)) pour le second coup de poing (moyenne = 320.75 ± 38.56) que pour le premier coup de poing (moyenne = 438.14 ± 40.40).

Figure 7

Distribution des temps de réaction première main et deuxième main (expérience 2)



Note. Ci-dessus figurent les distributions des temps de réaction pour la première et la deuxième main après filtrage. C'est-à-dire que les temps de réaction inférieurs à 150 ms ou supérieurs à 700 ms ont été supprimés. Pour chaque distribution, la ligne en pointillé correspond à la moyenne de la distribution.

Pour le premier coup de poing, le temps de réaction est plus court lorsqu'il est donné par la main gauche (moyenne=434.24±41.94) que lorsqu'il est donné par la main droite (moyenne=442.82±41.27), mais cette différence n'est pas significative ($p=0.13$, effet modéré ($R=0.44$)). En revanche, le temps de réaction du deuxième coup poing est significativement plus court ($p<0.05$, effet important, ($R=0.67$)) lorsqu'il est donné par la main droite (moyenne=313.20±38.78) que lorsqu'il est donné par la main gauche (328.93±39.08). En conséquence, le temps pour atteindre la cible est également significativement plus court ($p<0.05$, effet important, ($R=0.61$)) lorsque le second coup de poing est donné par la main droite (moyenne=907.00±70.44) que lorsqu'il est donné par la main gauche (moyenne=924.56±65.62).

3.3 Effet du temps de présentation aléatoire ou fixe sur le temps de réaction

En accord avec ce qui est mentionné ci-dessus concernant les comportements d'anticipation possibles, nous avons évalué si le temps de présentation de la première cible (fixe vs aléatoire) affecte le temps de réaction moyen de la première main. Pour cela, nous avons directement comparé les temps de réaction moyens des deux groupes. Le temps de réaction du premier coup de poing n'est pas significativement différent ($p=0.93$) que le temps de présentation soit aléatoire (moyenne=441.15±53.16) ou fixe (moyenne=438.14±40.40). Le facteur de Bayes calculé en plus est de 0.35, ce qui indique une preuve anecdotique en faveur de l'hypothèse nulle. C'est-à-dire qu'il n'y a pas de différence réelle entre les moyennes.

3.4 Résultats des deux groupes combinés

Comme la première et la deuxième expérience donnent des résultats similaires, voici une analyse globale dans laquelle les données mesurées sur les deux groupes ont été rassemblés.

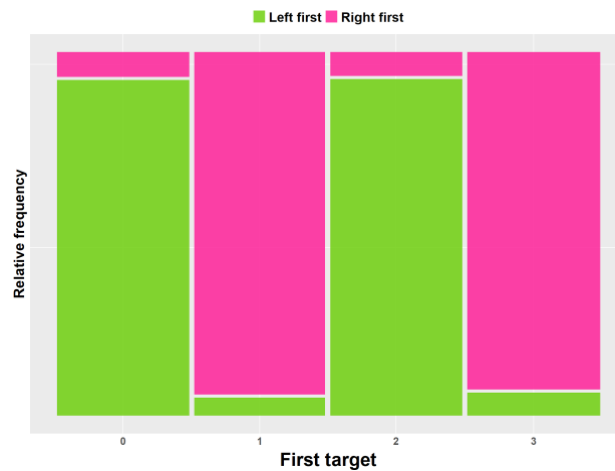
Les participants ont légèrement plus souvent utilisé la main droite (1756 fois au total) que la main gauche (1723 fois au total) pour donner le premier coup de poing, mais la différence n'est pas significative ($p=0.59$, selon un test binomial).

Les participants gauchers ont donné leur premier coup de poing avec leur main droite un peu plus souvent que les participants droitiers (51.49% contre 50.32% du temps), mais cette tendance n'est pas significative ($\chi^2(1) = 0.18$, $p=0.67$).

Sans surprise, il existe une relation significative entre la première cible présentée et la première main utilisée ($\chi^2(3) = 2679$, $p<0.001$).

Figure 8

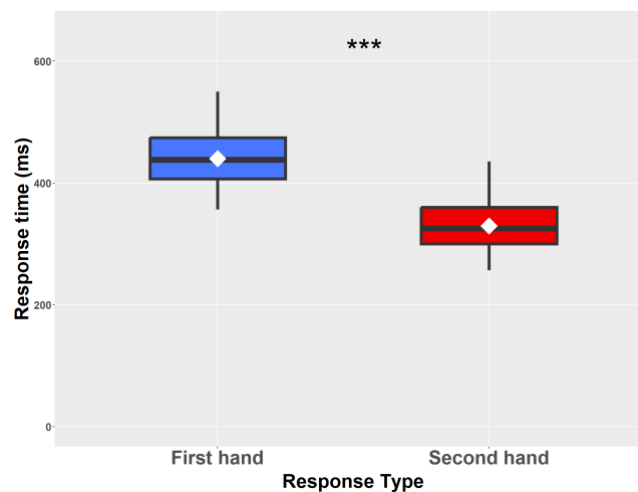
Tableau de fréquence de la main gauche ou droite selon la première cible



Note. Les participants utilisent principalement leur main gauche lorsque la première cible se trouve du côté gauche, et leur main droite lorsque la cible se trouve du côté droit. La cible « 0 » est en haut à gauche, la cible « 1 » en haut à droite, la cible « 2 » en bas à gauche et la cible « 3 » en bas à droite.

Figure 9

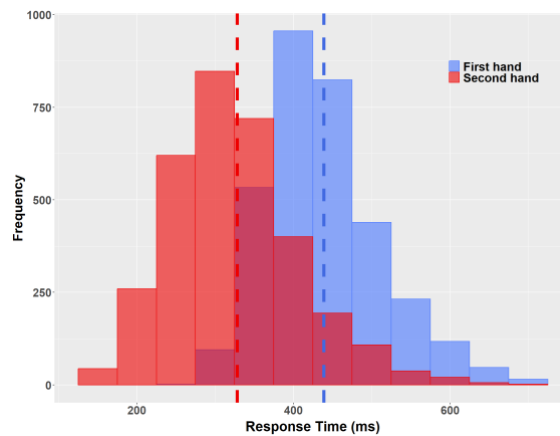
Comparaison du temps de réaction de la première main vs la seconde main (global)



Note. Les temps de réaction sont en moyenne significativement plus courts ($p < 0.001$, effet important ($R = 0.87$)) pour le second coup de poing (moyenne = 329.37 ± 42.64) que pour le premier coup de poing (moyenne = 439.84 ± 47.29).

Figure 10

Distribution des temps de réaction première main et deuxième main (globale)



Note. Ci-dessus figurent les distributions des temps de réaction pour la première et la deuxième main après filtrage. C'est-à-dire que les temps de réaction inférieurs à 150 ms ou supérieurs à 700 ms ont été supprimés. Pour chaque distribution, la ligne en pointillé correspond à la moyenne de la distribution.

Pour le premier coup de poing, le temps de réaction est significativement plus court ($p < 0.05$, effet modéré ($R = 0.46$)) lorsqu'il est donné avec la main gauche (moyenne = 436.12 ± 45.75) que lorsqu'il est donné avec la main droite (moyenne = 444.70 ± 49.45).

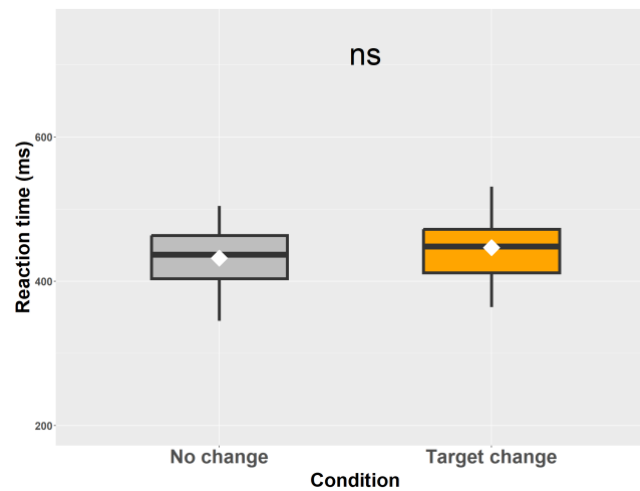
En revanche, le temps de réaction du second coup de poing n'est pas affecté par la main utilisée pour le donner (329.56 ± 47.26 vs 332.55 ± 42.82 pour la main droite et la main gauche, respectivement $p = 0.42$, $R = 0.15$). Enfin, la main utilisée pour le premier coup de poing n'affecte pas significativement le temps pour atteindre la cible (918.43 ± 91.20 vs 923.05 ± 88.99 , $p = 0.14$, $R = 0.27$)

3.5 Analyse globale (changement de cible vs pas de changement de cible)

Comme mentionné au début de la section des résultats, l'analyse s'est concentrée sur les essais dans lesquels la cible a changé. C'est-à-dire que deux cibles ont été présentées, nécessitant l'exécution de deux coups de poing. Les comparaisons directes entre les essais avec et sans changements de cibles sont présentées ci-dessous.

Figure 11

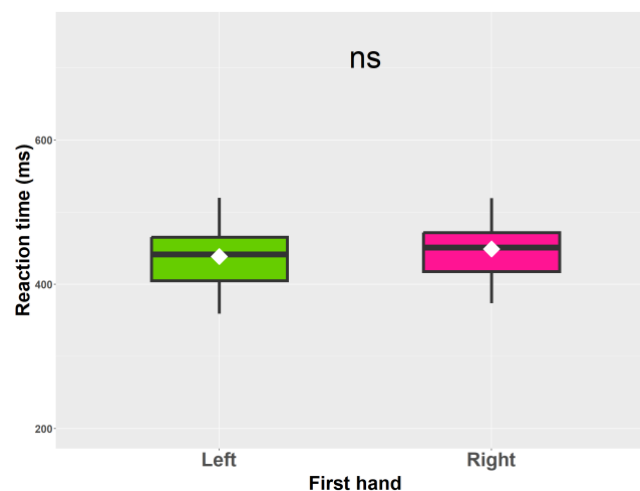
Comparaison des temps de réaction avec et sans changement de cible



Note. Les temps de réaction ne sont pas significativement différents entre les essais avec changement de cible (moyenne= 446.65 ± 48.47) et les essais sans changement de cible (moyenne= 432.04 ± 47.57), ($p > 0.5$, effet minime, $R = 0.24$)

Figure 12

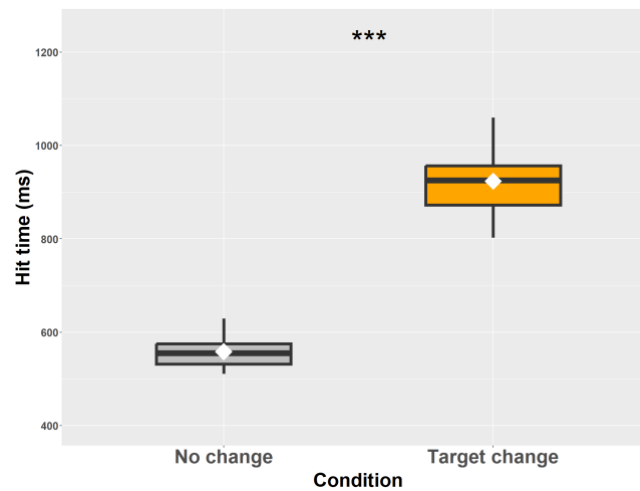
Comparaison des temps de réaction main gauche vs main droite pour la première cible



Note. Le temps de réponse n'est pas affecté par la main utilisée pour donner le premier coup de poing. Il n'y a pas de différence entre la main gauche en premier (moyenne= 438.63 ± 45.59) et la main droite en premier (moyenne= 449.12 ± 45.07), ($p > 0.5$ (0.22), effet modéré ($R = 0.36$)).

Figure 13

Comparaison du temps pour atteindre la cible avec vs sans changement de cible



Note. Le temps pour atteindre la cible se produit significativement plus tard ($p < 0.001$, effet important ($R = 0.88$)) lorsque la cible change (moyenne = 923.64 ± 75.04) que lorsqu'elle ne change pas (moyenne = 558.39 ± 40.51). Cependant, le temps pour atteindre la cible n'est pas affecté par la main utilisée pour donner le premier coup de poing ($p > 0.5$ (0.34), effet minime ($R = 0.28$), moyenne = 828.09 ± 64.57 vs 839.26 ± 69.06 pour la main gauche et la main droite respectivement).

4 Discussion

Lors de la discussion, je vais relier mes résultats avec le cadre théorique défini dans l'introduction afin de pouvoir déterminer si certains facteurs ont vraiment un impact possible sur les temps de réaction et je répondrai également aux différentes hypothèses posées dans mes objectifs de travail. Par la suite, je présenterai les points forts de l'étude et de la méthode d'expérience mais également ses points faibles. Afin de conclure cette discussion, je terminerai par présenter les différentes améliorations possibles de la méthode d'expérience ainsi que les applications futures possibles de cette étude.

4.1 Résultats et littérature

Dans ce sous-chapitre, je vais développer l'explication des résultats obtenus à l'aide du cadre théorique présenté dans l'introduction. Je ferai également des liens entre les résultats et les différents facteurs présentés dans l'introduction, afin de déceler un possible impact de ces derniers.

Pour rappel, les différents facteurs influençant les temps de réaction se divisent en deux groupes. Le premier groupe est le groupe des facteurs physiologiques comprenant l'intensité, la nature du stimulus et le niveau de fatigue du participant. Le deuxième groupe est le groupe des facteurs psychologiques comprenant l'attention, l'activation musculaire, l'apprentissage et l'anticipation.

Comme annoncé dans l'exposition des résultats, uniquement les mesures concernant les changements de cible ont été prises en compte pour les deux premières expériences. En effet, les cibles fixes ont été mises en place afin de diminuer l'effet d'anticipation sur les cibles changeantes. De plus, les deux premières expériences se distinguent par une différence dans le temps d'affichage des premières cibles. En effet, dans la première expérience les premières cibles apparaissaient selon un temps aléatoire et dans la deuxième selon un temps fixe. C'est également pour éviter un possible biais causé par l'anticipation que cette différence a été mise en place. Pour la deuxième cible, les deux groupes n'ont pas différé sur le temps d'affichage car la deuxième cible apparaissait au départ du premier coup.

La seconde partie des résultats intègre les données récoltées avec les cibles uniques et les cibles changeantes afin de découvrir si une différence significative apparaît entre les temps de réaction pour réaliser ces deux tâches.

Je vais passer en revue les différentes expériences effectuées en analysant les résultats obtenus à l'aide de ces différents facteurs si cela est possible.

Dans la première expérience prenant en compte uniquement les tâches avec changement de cible et un temps d'affichage de la première cible aléatoire une comparaison a été effectuée entre le temps de réaction de la première main et le temps de réaction de la deuxième main. En effet, il apparaît une différence significative selon laquelle la deuxième main a un temps de réaction nettement plus court que la première main. Cette différence peut s'expliquer de plusieurs manières. La première manière est de mettre en cause l'anticipation. En effet, même si certains moyens ont été utilisés afin de limiter ce biais, on ne peut pas écarter la possibilité que les participants anticipaient de toute manière le fait qu'une deuxième cible allait apparaître. La deuxième manière d'expliquer cette différence sur le fait qu'une activation musculaire impacte le temps de réaction. En effet, selon l'étude de Etnyre & Kinugasa (2002), une post-contraction musculaire peut diminuer le temps de réaction. L'activation musculaire est logiquement plus élevée lorsque le participant a effectué le début du premier coup et perçoit le deuxième stimulus que lorsqu'il attend le premier stimulus en position statique.

Lors de la deuxième expérience, prenant en compte uniquement les tâches avec changement de cible et un temps d'affichage fixe, une comparaison a également été effectuée entre le temps de réaction de la première main et le temps de réaction de la deuxième main. Comme lors de la première analyse, il apparaît une différence significative selon laquelle la deuxième main réagit plus vite que la première main. Cette différence peut également s'expliquer par l'activation musculaire plus élevée lors de l'affichage du deuxième stimulus que lors de l'affichage du premier stimulus comme vu ci-dessus. De plus, le biais de l'anticipation peut encore jouer un rôle mais différent que dans la première expérience. En effet, lorsque le temps d'affichage de la première cible est fixe, les participants peuvent encore plus anticiper le premier coup. Cette hypothèse mènerait donc à une différence moins significative entre le premier coup et le deuxième coup. Mais cette hypothèse ne peut être confirmée car le « R » des deux expériences vaut 0.88 et indique donc une différence de même ampleur dans les deux expériences.

L'apprentissage peut aussi jouer un rôle lors de cette expérience en amenant les mêmes hypothèses que l'anticipation. En effet, l'apprentissage permet de réduire son temps de réaction (Soichi et al., 2002). Le fait d'avoir un temps fixe pour l'affichage de la première cible peut accélérer l'apprentissage des participants et ainsi réduire le temps de réaction de la première main. Comme dit plus haut cette hypothèse n'est pas confirmée en raison de la différence de même ampleur des deux expériences.

Enfin, la dernière partie de l'analyse intègre toutes les données. C'est-à-dire les données récoltées lors de l'expérience avec un temps d'affichage de la première cible aléatoire, les données récoltées lors de l'expérience avec un temps d'affichage de la première cible fixe et

toutes les données récoltées lors des essais sur cibles uniques qui avaient été écartés jusqu'à présent.

Cette analyse compare les temps de réaction lors d'une cible unique avec les temps de réaction lors d'une cible changeante. De plus, la deuxième partie de cette analyse globale compare les temps nécessaires pour atteindre une cible unique avec les temps nécessaires pour atteindre une cible changeante.

La comparaison des temps de réaction ne montre aucune différence significative entre la cible unique et la cible changeante. Ce résultat pourrait réfuter l'hypothèse vu plus haut qui affirme que l'activation musculaire réduit le temps de réaction. La deuxième hypothèse serait que ce résultat intègre plus de biais étant donné le mixage de tous les groupes.

La comparaison des temps nécessaires pour atteindre les cibles montre une différence significative. En effet, le temps nécessaire pour atteindre la cible unique est nettement plus court que le temps nécessaire pour atteindre la cible changeante. Ce résultat peut aisément être expliqué par le fait que le mouvement nécessaire pour atteindre la cible changeante nécessite un changement de main. En effet, lorsqu'une deuxième cible apparaît, les participants avaient comme consigne de changer de mains pour atteindre la deuxième cible. Ainsi, le temps nécessaire pour effectuer un seul mouvement est clairement plus court que le temps nécessaire pour effectuer deux mouvements différents.

Il est temps de répondre aux deux hypothèses émises avant le début des expériences. La première hypothèse était que l'anticipation du deuxième coup pouvait réduire significativement le temps de réaction. Les résultats obtenus lors de la première et deuxième expérience avec uniquement les données récoltées sur les tâches avec cible changeante confirment cette hypothèse.

La deuxième hypothèse est que les temps de réaction mesurés lors de la tâche sans changement de cible seront plus courts que les temps de réaction mesurés lors de la tâche avec changement de cible. Les résultats de l'analyse globale ne confirment pas cette hypothèse car ils montrent qu'il n'y a pas de différences significatives entre les temps de réaction lors de la tâche sans changement de cible et les temps de réaction lors de la tâche avec changement de cible.

4.2 Points forts de l'étude et de la méthode d'expérimentation

Cette étude est pionnière dans le fait d'allier la réalité augmentée et la boxe. Le laboratoire dans lequel les expériences ont été menées était parfaitement adapté à la réalisation de ces dernières. En effet, deux salles différentes étaient à disposition de l'expérimentateur. Dans la première salle, se trouvaient les ordinateurs permettant de faire fonctionner les logiciels de prise de mesure

et de simulation. Dans la deuxième, se trouvait uniquement le matériel avec lequel les participants devaient interagir, c'est-à-dire les caméras Optitrack et les lunettes de réalité augmentée. Cette disposition a permis une prise de mesure optimale. Les participants étaient seuls dans la deuxième pièce lors des prises de données dans un environnement neutre et sans autres stimuli quelconques.

Les logiciels étaient parfaitement calibrés pour fonctionner simultanément et cela grâce à la grande maîtrise du conseiller qui a créé ces logiciels. En effet, il a fallu mettre au point des programmes spécifiques afin que les lunettes de réalité augmentée puissent fonctionner avec le système de capture de mouvement. De plus, les logiciels et le matériel nécessaires aux expériences étaient particulièrement simple à prendre en main et à utiliser pour l'expérimentateur.

4.3 Points faibles et améliorations

Malgré les très bonnes conditions expérimentales, cette étude peut comporter certains biais ou certaines lacunes impactant les résultats obtenus.

Premièrement, la sélection des sujets est probablement trop large. En effet, les seuls critères de sélection étaient d'avoir entre 18 et 40 ans, de pratiquer une activité sportive régulière et d'être en bonne santé générale. Afin d'avoir des résultats plus sûrs, l'échantillon de participants aurait pu se baser sur la pratique de la boxe, sur le fait de cibler une tranche d'âge plus réduite ou encore de cibler un seul type de sport. De plus, la taille de l'échantillon qui est de trente participants pourrait être augmentée afin d'obtenir un panel de résultats plus large.

Deuxièmement, les prises de mesures auraient pu être plus précises. En effet, comme le suggère le cadre théorique, la fatigue, la concentration ou encore l'activation musculaire peuvent être des facteurs impactant les temps de réaction. Afin de pouvoir déterminer si ces facteurs ont un impact, l'expérience aurait pu intégrer la mesure de l'activation musculaire lors des tâches à réaliser, tester la concentration des participants ou encore faire des sous-groupes de sujets devant effectuer ou non une activité physique contraignante avant de commencer les expériences afin de pouvoir comparer les temps de réaction des participants fatigués et les temps de réactions des participants encore en pleine forme.

En association avec ces dernières améliorations possibles, il peut être intéressant de continuer ces expériences avec un environnement se rapprochant plus de la réalité qu'uniquement quatre cibles statiques. En effet, la création d'un avatar pouvant se mouvoir dans l'espace virtuel en fonction des mouvements des participants pourrait rapprocher beaucoup l'étude de la réalité

des boxeurs lors de combats tout en évitant toutes les lésions possibles qui se lient à la pratique de la boxe.

Évidemment, ce concept quelque peu utopique serait très difficile à mettre en place mais donne des objectifs optimistes pour la suite.

5 Conclusion

Cette étude a permis de mettre en lumière les différences des temps de réaction lors de l'exécution d'un coup de poing unique dans un cible et de deux coups de poing avec une cible changeante. Lorsque les analyses prenaient en compte uniquement les données récoltées lors des tâches avec une cible changeante, pour les deux groupes, le premier avec temps d'affichage fixe et le second comprenant un temps d'affichage aléatoire, les temps de réaction étaient significativement plus courts lors du deuxième coup. Ces résultats confirment les hypothèses présentées comme quoi les temps de réaction peuvent être influencés par plusieurs facteurs physiologiques et psychologiques.

En revanche, lors des analyses comprenant toutes les données de l'étude, c'est-à-dire les données avec une cible unique et les données avec une cible changeante, les résultats ne montraient pas de différences significatives entre la cible unique et la cible changeante.

Il peut être très intéressant d'approfondir ces recherches avec différents groupes de participants plus homogène ou encore d'essayer de réaliser une expérience plus immersive afin de s'approcher plus de la réalité du boxeur. En effet, l'objectif final de cette expérience faisant parti d'une suite d'études est de créer un entraînement de boxe d'un nouveau genre intégrant la réalité augmentée. Avec les études déjà réalisées, l'évolution et le développement des prochaines expériences s'annoncent prometteur.

Bibliographie

- Bieg, H.-J., Bresciani, J.-P., Bühlhoff, H. H. & Chuang, L. L. (2012). *Looking for discrimination is different from looking for looking's sake*. *PLOS ONE*, 7(9), e45445. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0045445>
- Bieg, H.-J., Chuang, L. L., Bühlhoff, H. H. & Bresciani, J.-P. (2015). Asymmetric saccade reaction times to smooth pursuit. *Experimental brain research*, 233(9), 2527-2538. <https://doi.org/10.1007/s00221-015-4323-8>
- Bloechle, J.-L., Audiffren, J., Le Naour, T., Alli, A., Simoni, D., Wüthrich, G. & Bresciani, J.-P. (2024). It's not all in your feet : Improving penalty kick performance with human avatar interaction and machine learning. *The Innovation*, 5(2), 100584. <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2024.100584>
- Blower, G. (2012). *Boxing : Training, Skills and Techniques*. Crowood.
- Boddy, K. (2013). *Boxing : A Cultural History*. Reaktion Books.
- Bouttier, J.-C. (1978). *Boxe : La technique, l'entraînement, la tactique*. R. Laffont.
- Broschart, D. & Zeile, P. (2015). *ARchitecture : Augmented Reality in Architecture and Urban Planning*.
- Bushati, S., Bendo, A. & Bushati, M. (2024). *Effect of fit light training at albanian elite boxers in improving reaction time and punch frequency*. *Journal of Research Administration*, 6(1), Article 1. <https://journalra.org/index.php/jra/article/view/714>
- Channar, S. (2022). *Augmented Coach : An Augmented Reality Tool for Immersive Sports Coaching*. <https://keep.lib.asu.edu/items/165564>
- Chen, I.-S. (2023). *Boxers' Intention to Use Smart Boxing Gloves in Training Using Industry 4.0 Sports Technology*. 8(3).
- Correa, J. (2015a). *Entraînement de Resistance Mentale Pratique Pour la Boxe : Utiliser la Visualisation Pour Controler la Peur, l'Anxiete et le Doute*.
- Correa, J. (2015b). *Le Programme Complet De Formation D'Endurance Pour La Boxe : Augmenter La Puissance, La Vitesse, L'agilite Et La Resistance Grace A La Formation De L'endurance Et A La Nutrition*.
- Craig, A. B. (2013). *Understanding Augmented Reality : Concepts and Applications*. Newnes.
- Das, P., Zhu, M., McLaughlin, L., Bilgrami, Z. & Milanaik, R. L. (2017). Augmented Reality Video Games : New Possibilities and Implications for Children and Adolescents. *Multimodal Technologies and Interaction*, 1(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/mti1020008>

- Etnyre, B. & Kinugasa, T. (2002). Postcontraction Influences on Reaction Time. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 73(3), 271-281.
<https://doi.org/10.1080/02701367.2002.10609020>
- Fontani, G., Lodi, L. & Felici, A. (2006). *Attention in Athletes of High and Low Experience Engaged in Different Open Skill Sports—Giuliano Fontani, Leda Lodi, Andrea Felici, Silvia Migliorini, Fausto Corradeschi, 2006.*
<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.2466/pms.102.3.791-805>
- Hall, C. J. & Lane, A. M. (2001). Effects of rapid weight loss on mood and performance among amateur boxers. *British Journal of Sports Medicine*, 35(6), 390-395.
<https://doi.org/10.1136/bjism.35.6.390>
- Hubeaux, A. (2014). *Réalité virtuelle et augmentée, un phénomène grandissant.*
<https://sonar.ch/global/documents/316545>
- Joseph, J. A. & New York Academy of Sciences (Éds.). (1988). *Central determinants of age-related declines in motor function.* New York Academy of Sciences.
- Kesim, M. & Ozarslan, Y. (2012). Augmented Reality in Education : Current Technologies and the Potential for Education. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 47, 297-302. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.654>
- Kosinski, R. J. (s. d.). *A Literature Review on Reaction Time.*
- Le Naour, T., Papinutto, M., Lobier, M. & Bresciani, J.-P. (2023). Controlling the trajectory of a moving object substantially shortens the latency of motor responses to visual stimuli. *iScience*, 26(6), 106838. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.106838>
- Lenetsky, S., Brughelli, M., Nates, R. J., Neville, J. G., Cross, M. R. & Lormier, A. V. (2020). Defining the Phases of Boxing Punches : A Mixed-Method Approach. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 34(4), 1040.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002895>
- Levitt, S. & Gutin, B. (1971). Multiple Choice Reaction Time and Movement Time during Physical Exertion. *Research Quarterly. American Association for Health, Physical Education and Recreation*, 42(4), 405-410.
<https://doi.org/10.1080/10671188.1971.10615088>
- Liao, T., Chang, P. F. & Lee, S. (2020). Chapter 6 - Augmented reality in health and medicine : A review of augmented reality application for health professionals, procedures, and behavioral interventions. In J. Kim & H. Song (Éds.), *Technology and Health* (p. 109-128). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816958-2.00006-X>

- Luchies, C. W., Schiffman, J., Richards, L. G., Thompson, M. R., Bazuin, D. & DeYoung, A. J. (2002). Effects of Age, Step Direction, and Reaction Condition on the Ability to Step Quickly. *The Journals of Gerontology: Series A*, 57(4), M246-M249.
<https://doi.org/10.1093/gerona/57.4.M246>
- Nassereddine, H., Hanna, A. S., Veeramani, D. & Lotfallah, W. (2022). Augmented Reality in the Construction Industry : Use-Cases, Benefits, Obstacles, and Future Trends. *Frontiers in Built Environment*, 8. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.730094>
- Pic, M. & Jonsson, G. K. (2021). Professional boxing analysis with T-Patterns. *Physiology & Behavior*, 232, 113329. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2021.113329>
- Rampolla, J. & Kipper, G. (2012). *Augmented Reality : An Emerging Technologies Guide to AR*. Elsevier.
- Ruddock, A. D., Wilson, D. C., Thompson, S. W., Hembrough, D. & Winter, E. M. (2016). Strength and Conditioning for Professional Boxing : Recommendations for Physical Preparation. *Strength & Conditioning Journal*, 38(3), 81.
<https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000217>
- Schwarb, H. & Schumacher, E. H. (2012). Generalized lessons about sequence learning from the study of the serial reaction time task. *Advances in Cognitive Psychology*, 8(2), 165-178. <https://doi.org/10.2478/v10053-008-0113-1>
- Shelton, J. & Kumar, G. P. (2010). Comparison between Auditory and Visual Simple Reaction Times. *Neuroscience and Medicine*, 1(1), Article 1.
<https://doi.org/10.4236/nm.2010.11004>
- Singleton, W. T. (1953). Deterioration of performance on a short-term perceptual-motor task. In *Symposium on fatigue* (p. 163-172). H. K. Lewis & Co.
- Soichi, A., Noriyuki, K. & Shingo, O. (2002). *Practice Effects on Reaction Time for Peripheral and Central Visual Fields—Soichi Ando, Noriyuki Kida, Shingo Oda, 2002*. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.2466/pms.2002.95.3.747>
- Soltani, P. & Morice, A. H. P. (2020). Augmented reality tools for sports education and training. *Computers & Education*, 155, 103923.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103923>
- Teichner, W. H. (1954). Recent studies of simple reaction time. *Psychological Bulletin*, 51(2), 128-149. <https://doi.org/10.1037/h0060900>
- University of Massachusetts Amherst. (2023). *Immersive engagement in mixed reality can be measured with reaction time*. ScienceDaily.
<https://www.sciencedaily.com/releases/2023/11/231127132457.htm>

Welford, W. T., Brebner, J. M. T. & Kirby, N. (1980). *Reaction Times*. Stanford University.