

Anticipation-coïncidence : Test d'un système d'analyse pour l'interception d'objets grâce à la réalité virtuelle.

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

déposé par

Kevin Brumeaud

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, juin 2023

Résumé

Cette étude s'intéresse à l'anticipation coïncidence. Cette habileté est fondamentale dans de nombreux sports afin de performer de la meilleure des façons. Que ça soit pour un gardien de handball, un boxeur ou un pongiste, elle permet aux sportifs de lire la trajectoire d'une balle ou d'un crochet pour démarrer une action motrice en réponse au stimuli environnemental. Cette recherche a pour but d'apporter les premiers résultats afin de créer, plus tard, un nouveau programme d'entraînement pour parfaire cette habileté, grâce à la réalité virtuelle.

22 sujets sont venus effectuer une tâche de balle interception/esquive. Munis d'un casque de réalité virtuelle, ils ont arrêté ou esquivé des balles de tennis selon leur couleur en déplaçant uniquement leur membre supérieur du côté de leur main forte. Au total, ils ont dû intercepter ou esquiver 300 jets de balles. La couleur de la balle était initialement bleue et changeait au moment du départ. Elle devenait jaune ou rouge et les participants devaient donc initier une action motrice ou non selon la couleur de balle. Il s'agissait pour eux de détecter, traiter et réagir en fonction de l'information donnée par l'environnement. Ce dernier est dépourvu de tout artifice afin que les sujets puissent se concentrer sur leur tâche sans aucun autre stimuli externe parasite.

Les données récoltées ont permis de mettre en lumière les différences de performance entre deux groupes de sportifs (sport de balle versus autre sport). En effet, les sujets pratiquant des sports incluant des objets mobiles ont obtenus des résultats significativement meilleurs. L'expérience sportive spécifique est donc associée à un délai visuomoteur plus court. Cependant, l'ajout d'un processus de décision sur la tâche de base n'a apporté aucune différence significative sur les résultats obtenus par les participants.

Les différents retours des participants ont apporté un regard critique sur les conditions de l'expérience. Cette démarche est essentielle pour parfaire les futures recherches qui suivront et qui traiteront le même sujet afin de développer le programme d'entraînement cité plus haut.

Table des matières

1 Introduction	4
1.1 Thématique de l'étude	4
1.2 Habiletés fermées et ouvertes	5
1.3 L'anticipation coïncidence	6
1.4 Tâche Go/No-Go	8
1.5 Études antérieures en lien avec l'anticipation coïncidence	9
1.6 Objectif de l'étude	13
2 Méthode.....	14
2.1 Description de l'échantillon	14
2.2 Matériel	14
2.3 Protocole et passations	16
2.4 Analyse statistique des données	20
3 Résultats	21
3.1 Comparaison des performances maximales	21
4 Discussion	24
4.1 Mise en perspective des résultats avec les objectifs de l'étude	24
4.2 Rapport à la littérature	25
4.3 Limites de l'étude	26
4.4 Améliorations	27
5 Conclusion.....	29
Bibliographie	30
Annexe.....	34
Remerciements	37

1 Introduction

1.1 Thématique de l'étude

Ce travail cherche à comparer l'habileté d'anticipation coïncidence chez des sujets qui ont l'habitude de performer dans des disciplines à habileté ouverte (sport de balle) versus fermée (autre), grâce à la réalité virtuelle et la capture de mouvement. La technologie est toujours plus présente dans notre quotidien depuis des dizaines d'années. Que ce soit grâce au domaine de la construction automobile, de la construction aéronautique ou encore des milieux médicaux et chimiques, la réalité virtuelle se développe à grande vitesse et s'implémente dans nos marchés (Burkhardt, 2003). Elle apporte aussi de nouveaux avantages et de nouvelles perspectives dans les secteurs des loisirs, de la santé ou encore de la formation (Tyndiuk et al., 2007). Par exemple, Aim et al. (2014) ont démontré que les chirurgiens formés à l'aide de simulateur de réalité virtuelle acquièrent de meilleures habiletés techniques. Dans une autre étude, l'utilité de la simulation numérique a été mise en avant pour un autre groupe spécifique de personnes. En effet, les seniors bénéficient des vertus de la technologie dans de nombreux domaines comme la santé mentale, la santé physique ou l'activité physique (Gao et al., 2020). De plus, de nombreux chercheurs et chercheuses ont déjà prouvé les bénéfices de la réalité virtuelle dans les sports collectifs (Faure et al., 2020).

Toutes les disciplines sportives, autant pour un débutant que pour un expert, sollicitent certaines aptitudes telles que l'anticipation et la prise de décision. Ces dernières exigent des compétences perceptivo-cognitives qui permettent aux sportifs de comprendre leur environnement (Broadbent et al., 2015). En effet, grâce à leur système perceptif, les sportifs peuvent, après avoir traité l'information environnementale, déclencher une réponse motrice que l'on nomme *action*. Cette action engendre un feed-back dit intrinsèque, aussi appelé *feed-back inhérent* qui est identifié et perçu par la personne grâce aux ressentis proprioceptifs, la vision ou encore l'audition (Schmidt, 1993). Ceci permet donc de modifier un mouvement afin de recevoir un meilleur feedback intrinsèque sur l'action suivante (Schmidt, 1993).

Souvent, les tâches de réalité virtuelle demandent aux participants et participantes de sélectionner une réponse et non pas d'effectuer réellement l'action (Duncan et al., 2013; Haywood, 1983; Proteau et al., 1989). Ce n'est pas le cas de cette étude. En effet, les participants devront agir directement avec leur membre supérieur afin de répondre aux stimulus externes qui leur seront proposés.

La réalité virtuelle est employée dans cette recherche pour mesurer le seuil de réaction et d'inhibition lors d'un exercice de préhension d'une personne habituée à utiliser des habiletés ouvertes (sport de balle) ou fermées (autre). De tels résultats pourront, d'une part, aider dans la conception d'un programme d'entraînement d'anticipation coïncidence et d'une autre part, déterminer si l'exposition aux habiletés ouvertes (sport de balle) ou fermées (autre) engendre des différences significatives de résultats

1.2 Habiletés fermées et ouvertes

La classification des habiletés a connu plusieurs développements (Famose, 1990). Poulton (1957) a pour sa part séparé les habiletés ouvertes des habiletés fermées. La différence entre les habiletés ouvertes et les habiletés fermées se repose sur la prédictibilité de l'environnement (Poulton, 1957). Ensuite, Knapp (1963) a quant à lui repris les deux catégories de Poulton (1957) mais y a ajouté un élément important. En effet, selon l'auteur (Knapp, 1963), les deux styles d'habileté ne doivent pas être complètement séparés. Il doit, selon lui, y avoir un continuum et non une séparation franche entre les deux types d'habileté. Dans son ouvrage, Famose (1990) prend l'exemple d'un skieur qui descend une piste grouillant d'autres individus – qui utilisera des habiletés ouvertes car il doit s'adapter à l'environnement. Il ajoute également qu'un skieur dévalant une piste à pente régulière mobilisera beaucoup moins d'habiletés ouvertes et plus d'habiletés fermées. Quelques années plus tard, Gentile (1972) et Gentile et al. (1975) ajoutent qu'il serait aisé d'identifier si un sportif mobilise des habiletés ouvertes en observant le statut de l'environnement au moment de la tâche. Famose (1990) résume donc en écrivant « Attraper, frapper, des balles mobiles en football, rugby, volley-ball, tennis, esquiver un joueur adverse se précipitant vers vous, requièrent l'utilisation d'habiletés ouvertes » (p.113). Schmidt (1993) développe lui aussi un classement des différentes habiletés. D'une part, les sports comme la lutte ou le football américain sont classés comme des habiletés ouvertes. En effet, il est compliqué de prévoir l'action adverse de manière précise. D'autre part, les habiletés fermées sont quant à elles présentes dans des disciplines comme la gymnastique ou la natation. Assurément, l'environnement d'un nageur au milieu d'une ligne d'eau vide est plus prévisible et constant qu'une action offensive d'une équipe de football américain. Cependant, Schmidt (1993) nuance la dimension d'habiletés ouvertes et fermées en indiquant que l'environnement peut être semi prévisible et demander une complémentarité entre ces deux genres d'habileté.

Nous pouvons donc voir qu'au fil du temps la classification des habiletés n'est pas univoque et précise. Au début, Poulton (1957) a proposé deux catégories bien distinctes. Ensuite, Knapp (1963) puis Gentile (1972) sont venus ajouter leur vision en proposant un continuum pour le

premier et un critère d'observation bien défini pour le second. Enfin, Schmidt (1993) a proposé de reprendre les deux catégories d'habiletés ouvertes et fermées tout en ajoutant que l'environnement pouvait être semi-prévisible.

Il est donc difficile de classer les différents sports de manière catégorique et fixe. Quand certains sont plus simples à catégoriser – natation, danse ou escalade pour les habiletés fermées ; tennis, badminton ou football pour les habiletés ouvertes – d'autres posent plus de difficultés (ski, cyclisme, ...).

Pour notre étude, nous avons donc décidé de catégoriser les sports en deux groupes. Les sports à habiletés ouvertes comprendront les disciplines dans lesquelles les sportifs doivent détecter et utiliser les informations spatio-temporelles en lien avec un objet mobile (comme une balle de football ou de basketball) ou dans lequel le sportif est opposé à un adversaire (judo). Les sports à habiletés fermées seront quant à eux définis comme disciplines dans lesquelles il n'y a pas d'objets mobiles ou de mouvements adverses à déchiffrer comme le ski, l'équitation ou encore l'escalade. Néanmoins, il est possible d'y rencontrer des concurrents qui n'auront aucun impact sur la prise de décision du sportif concerné.

1.3 L'anticipation coïncidence

1.3.1 Définition

Où est-ce que mon adversaire frappera son prochain coup au badminton ? Dans quelle direction le gardien de handball devra-t-il plonger afin d'intercepter le tir du joueur adverse (Debanne, 2003) ? L'anticipation et la prise de décision requièrent des compétences perceptives et cognitives pour athlètes qu'ils soient débutants ou avancés. Selon Broadbent et al. (2015), il est fondamental pour le sportif d'être capable de détecter et d'utiliser correctement les informations de l'environnement afin de sélectionner une réponse. Certains sports demandent des compétences spécifiques et plongent les sportifs dans des situations spatio-temporelles incertaines. C'est le cas pour des sports comme la boxe, le tennis de table ou encore l'escrime (Azémar et al., 2008). En effet, les athlètes qui performant dans des jeux de raquette ont, eux aussi, besoin de parfaire cette habileté (Akpınar et al., 2015). Les sportifs doivent donc être capables d'adapter leurs mouvements par rapport à leur perception visuelle (Azémar et al., 2008). Selon Debanne (2003), les gardiens de but doivent eux aussi régulièrement faire face à des situations dans lesquelles l'habileté dite d'« anticipation coïncidence » est présente. Ils doivent identifier où se trouvera la balle afin de l'intercepter grâce à leurs membres (Debanne, 2003).

Selon Akpinar (2012), l'anticipation caractérise donc le fait de prédire une future trajectoire – de balle ou d'un crochet alors que la coïncidence permet aux sportifs de se trouver à la bonne place pour frapper une balle ou pour éviter un coup. L'anticipation coïncidence est donc une compétence qui combine l'anticipation de la trajectoire de balle avec la coordination des mouvements du sportif afin de pouvoir frapper la balle avec précision et vitesse (Akpinar, 2012).

1.3.2 Origine

L'anticipation coïncidence est donc une réponse motrice qui intervient à la suite d'un ensemble d'autres processus (Debanne, 2003). Dans son ouvrage, Famose (1990) présente l'activité motrice comme une réponse à une multitude d'exigences issues de la tâche à effectuer. Cette activité motrice combine deux composantes – interne et externe (Famose, 1990). D'un côté, le facteur interne est représenté par les opérations cognitives comme « comparer, se rappeler, séparer, combiner, analyser, etc. » (Famose, 1990, p.47). De l'autre, la partie externe correspond à ce qui est visible, tangible (Famose, 1990). La composante interne correspond donc à tous les processus cachés. Est-ce que l'image que ce fait le sportif est-elle précise ? A-t-il réussi à filtrer les différentes informations ? Peut-il anticiper la direction et la vitesse d'une balle ? Ou encore, déclenchera-t-il le bon type de réponse ? Toutes ces questions se rapportent aux caractéristiques externes de la tâche, mais sont tout de même observables pour le chercheur (Famose, 1990). Si nous prenons l'exemple d'une tâche de préhension, imaginons dans ce cas qu'une balle soit lancée à un sujet. La position de sa main dans l'espace sera un indicateur quant à sa capacité de prédiction. De plus, s'il la place correctement, la position choisie veut aussi dire qu'il a réussi à traiter les informations physiques (vitesse, forme, trajectoire) de l'objet mobile. L'observateur peut donc conclure que ces processus cognitifs internes fonctionnent. La deuxième partie se réfère donc à tout ce qui est externe, plus précisément au comportement final (Famose, 1990). Il ne faut toutefois pas oublier que derrière toutes ces activités motrices, se cache un bon nombre de demandes et processus cognitifs (Famose, 1990). Mais quelles parties de notre corps sont donc impliquées dans ce schéma avant la réponse motrice ?

1.3.3 Schéma de réponse

Comme expliqué dans la section précédente, l'anticipation coïncidence est le produit de plusieurs composantes (Famose, 1990). Il est donc primordial de comprendre comment notre cerveau et notre corps travaillent en symbiose afin de répondre efficacement aux exigences de la tâche. Afin d'effectuer une réponse motrice adéquate, il est important que tous les processus préparatoires soient coordonnés jusqu'à l'exécution finale du mouvement (Paoletti, 1999). De

manière schématique, l'information doit être acheminée jusqu'au programme moteur sous forme d'influx nerveux avant de pouvoir déclencher une réponse (Schmidt, 1993). En effet, l'information doit être identifiée, sélectionnée puis programmée pour enfin se diriger vers le programme moteur. Ensuite, elle prendra la direction de la moelle épinière, des muscles et c'est à ce moment-là que le mouvement sera produit (Schmidt, 1993). Cependant, notre corps doit décortiquer un nombre considérable de paramètres avant de pouvoir répondre au stimulus. Paoletti (1999) avance que certains de nos organes sensoriels nous permettent de repérer les caractéristiques physiques de notre environnement. Elle ajoute qu'il en est de même pour les propriétés de notre propre organisme. L'activité sensorielle est donc partagée en deux catégories – les sens extéroceptifs et les sens proprioceptifs. Le premier groupe englobe les sens extérieurs à notre corps comme la couleur, la luminosité, les parfums, etc. La deuxième fait référence aux sensations créées par les frottements musculaires internes ou le mouvement anatomique (Paoletti, 1999). Les fonctions sensorielles sont donc élémentaires dans le schéma de réponse. Sans la vision, la proprioception et l'audition, les tâches comme celle que nous proposons à nos sujets, seraient impossible à effectuer. En effet, le système visuel permet de détecter le stimulus et ses propriétés spatiales ; la proprioception renseigne sur le travail musculaire réalisé. Pour finir, l'ouïe peut apporter un retour sur la réussite de la tâche dans le but d'adapter les futures actions (Paoletti, 1999). Les participants auront donc besoin de toutes ces facultés pour réussir la tâche. Premièrement, il est nécessaire de traiter l'objet mobile : la balle est-elle rouge ou jaune ? Deuxièmement, dois-je déplacer ma main où est-elle déjà à la bonne place ? Et finalement, est-ce que le retour proprioceptif que je perçois est-il en accord avec le feedback sonore que je reçois ? Autant de questions qui seront inévitables durant toute la durée de l'expérience.

1.4 Tâche Go/No-Go

Bien que les participants de cette étude doivent mobiliser l'habileté d'anticipation coïncidence, ils devront faire face à une tâche go/no-go. Ce genre de tâche est très utilisée dans le domaine de la psychologie (Wiebe et al., 2012). Les psychologues ont souvent recours à ce type de tâches afin de tester l'inhibition chez les enfants. Cette tâche appelée Go/No-Go demande aux participants de réagir de manière différente en fonction du stimuli qui leur est proposé. Ils exécutent une action si un stimulus est détecté (*Go*) et ils s'abstiennent de donner une réponse à la vue d'un autre stimulus (*No-Go*) (Jeanningros et al., 2008). Dans le cas de notre expérience, les sujets auront besoin d'inhiber leurs réponses motrices à la vue d'une balle rouge. Au contraire, s'ils perçoivent une balle jaune, alors ils seront tenus d'enclencher une réponse motrice afin de l'intercepter. Comme nous le verrons dans le chapitre suivant, les sujets qui effectuent des

tâches d'anticipation coïncidence, doivent souvent appuyer sur un bouton ou non à la vue d'une cible. C'est aussi le cas pour les tâches Go/No-Go (Nakatomo & Mori, 2008). Selon les auteurs (Nakatomo & Mori, 2008), les basketteurs et les joueurs de baseball ont eu de meilleurs résultats lors des tâches Go/No-Go. Dans cette étude, les sportifs ont montré qu'ils étaient plus précis pour repérer les cibles Go. De plus, les athlètes ont eu moins de pourcentage d'erreur par rapport aux non-athlètes. Les sportifs auraient donc une meilleure capacité à bloquer leur réponse lorsqu'ils font face à une situation No-Go.

Cependant, certaines pratiques sportives peuvent endommager les capacités des athlètes à réaliser de telles tâches. Une étude a montré que les boxeurs peuvent souffrir de trouble des fonctions exécutives et donc avoir de moins bons résultats lors des tâches Go/No-Go (Di Russo & Spinelli, 2010). En comparant les résultats des boxeurs avec ceux d'un groupe témoin, les chercheurs ont décelé une chute des capacités d'inhibition chez les pugilistes. Mais ce cas de figure n'est pas exclusif aux boxeurs et représente un danger pour tous les sports de combat dans lesquels les chocs à la tête sont récurrents (Di Russo & Spinelli, 2010).

1.5 Études antérieures en lien avec l'anticipation coïncidence

1.5.1 Sans la réalité virtuelle

Les recherches de cette habileté ne sont pas apparues durant les dix dernières années. C'est un sujet qui passionne et divise la science depuis de nombreuses décennies. Kay (1957, cité d'après Benguigui & Ripoll, 1998) a déjà avancé l'hypothèse que les sportifs qui excellent dans les jeux de balle rapide sont capables de meilleures performances que les gens sans expérience. Depuis, certaines études tentent de mettre en lumière la différence dans les tâches d'anticipation coïncidence entre les experts et les non-experts. D'autres études, comme celle de Proteau et al. (1989) ou Haywood et al. (1981) ont déjà tenté d'évaluer des réponses lors de tâches réception-balle. Cependant, les participants devaient évaluer la trajectoire pour ensuite appuyer sur un bouton afin de montrer quelle était leur décision. D'autres ont étudié cette aptitude d'anticipation coïncidence à l'aide de stimuli visuels. Le but était de presser sur un bouton lorsque les deux stimuli se chevauchaient (Benguigui & Ripoll, 1998). Plus tard, d'autres auteurs, ont eux aussi investigué sur l'anticipation coïncidence. Les sujets devaient toujours appuyer sur un bouton en réponse à un stimuli visuel mais cette fois-ci, ils effectuaient des exercices de différente intensité avant d'effectuer la tâche (Duncan et al., 2013). Deux ans plus tard, Alaei (2015) a comparé les capacités d'anticipation coïncidence de 24 joueurs et joueuses de badminton. Dans cette étude, la tâche consistait à appuyer sur une pédale en réponse à un signal lumineux. La

même année, Ceylan & Saygin (2015), ont montré que l'entraînement de la perception sensorielle et de la coordination influence les résultats d'anticipation coïncidence de manière positive. A nouveau, les participants ne devaient pas répondre en effectuant une vraie réponse motrice, mais en appuyant sur un bouton. Pour terminer, une étude a démontré que les joueurs de football n'ont pas le même niveau de performance pour les tâches d'anticipation coïncidence selon les postes qu'ils occupent sur le terrain (Saygin et al., 2016).

Ces études illustrent donc qu'il y a souvent un lien entre la performance lors d'une tâche d'anticipation coïncidence et la pratique sportive. Cependant, les sujets ne sont pas soumis à des actions motrices afin de répondre aux stimuli auxquels ils sont confrontés.

1.5.2 Avec la réalité virtuelle

Certains scientifiques ont déjà démontré qu'il est possible de s'entraîner pour une discipline comme le tennis dans un environnement virtuel (Le Noury et al., 2021). D'autres études ont été menées dans le cadre de travaux de Master à l'université de Fribourg en utilisant la réalité virtuelle. Là aussi, la simulation numérique a permis aux sujets de se plonger dans un environnement spécifique et sportif afin d'obtenir des résultats en lien avec le hockey sur glace (Devaud, 2021 ; Sudan, 2019). Cependant, la décision était indiquée à l'aide de boutons. Les avancées technologiques permettent, dorénavant, de construire des environnements virtuels qui se rapprochent de la réalité et qui permettent surtout de gérer et contrôler différents facteurs. Il est possible de modifier le décor pour plonger l'utilisateur dans un environnement particulier, mais aussi d'adapter la tâche en fonction des capacités du sujet (Michalski et al., 2019). De plus, il est possible d'ajouter des feedbacks visuels ou auditif afin de donner un retour aux sujets (Faure et al., 2020).

Grâce à cette technologie, il est possible d'ajouter des stimuli visuels (balles de tennis) en trois dimensions qui sont réalistes (Tarr & Warren, 2002). Afin que la tâche soit la plus concrète possible, il faut que le sujet ait l'impression que la balle lui arrive dessus. Il est donc important d'ajouter une notion de profondeur, ce qui est possible grâce à la réalité virtuelle (Faure et al., 2020).

Selon Burkhardt (2007), elle comporte quatre mécanismes d'interaction :

Les dispositifs de capture de position et de mouvement (capteurs, gants, combinaison, ect.) ; les dispositifs de présentation visuelle (grand écran, visiocasque, ect.) ; les dispositifs de retour proprioceptif et cutané (toucher, chaleur, ect.) ; les dispositifs de présentation sonore (son spatialisé, reconnaissance vocale, ect.). (p.60)

Trois des quatre dispositifs qui sont nommés par Burkhardt (2007), vont nous intéresser. Premièrement, la capture de position et de mouvement est un élément central de notre étude. En effet, c'est grâce à ce système que nous pourrions récolter les données des sujets et voir s'ils réussissent à intercepter ou non la balle. Deuxièmement, la présentation visuelle joue un rôle primordial. Les informations seront envoyées visuellement à nos sujets. Pour finir, le système sonore aura lui aussi un rôle à jouer car le sujet recevra un feedback auditif lorsqu'il devra intercepter les balles jaunes. S'il venait à stopper la balle, il entendra un indicateur sonore – un bruit de balle de tennis frappée –, dans le cas contraire, il n'en recevra pas.

Dernièrement, Rolin et al. (2018) ont proposé à un ensemble de participants d'intercepter ces objets en mouvement avant qu'ils n'atteignent une certaine distance prédéfinie. Les participants devaient effectuer des mouvements de capture ou de frappe pour intercepter les objets virtuels. Qu'en est-il donc des résultats obtenus lors de ces différentes recherches ?

1.5.3 Résultats

Dans les anciennes études, certains résultats ont apporté que la différence d'âge, la pratique sportive ou encore le niveau d'intensité avaient un lien avec l'habileté d'anticipation coïncidence. Pour commencer, dans l'étude de Haywood et al. (1981), les auteurs ont démontré que l'âge pouvait être un facteur influençant la performance lors d'une tâche d'anticipation coïncidence. En effet, les sujets plus jeunes ont obtenu de meilleurs résultats que les sujets plus âgés. Ensuite, toujours selon les mêmes auteurs, le type de stimulus peut affecter la performance. Dans cette étude, les sujets étaient meilleurs lorsque le stimulus était visuel plutôt qu'auditif. Deux ans plus tard, Haywood (1983) a mené une autre étude en comparant les scores d'un groupe entraîné aux tâches d'anticipation coïncidence à un groupe contrôle. Après avoir soumis les participants à des stimuli visuels et auditifs, le groupe ayant pratiqué ces tâches durant cinq semaines ont eu de meilleurs résultats que le groupe contrôle. Il ressort ainsi de sa seconde expérience que l'habileté d'anticipation coïncidence peut être améliorée à l'aide d'un entraînement (Haywood, 1983).

En 1998, Benguigui et Ripoll, ont quant à eux sollicité des adultes ainsi que des enfants qui pratiquaient ou non le tennis. Les résultats ont montré que les joueurs de tennis ont de meilleures performances dans les tâches d'anticipation coïncidence que les non-joueurs de tennis. Ensuite, comme pour l'étude d'Haywood (1981), l'âge joue aussi un rôle car les adultes qui jouent au tennis sont meilleurs en anticipation coïncidence que les enfants qui pratiquent aussi ce sport (Benguigui et Ripoll, 1998). Cependant, les enfants qui pratiquent le tennis ont de meilleurs résultats que les adultes qui ne le pratiquent pas. La pratique sportive influence donc plus la

performance lors d'une tâche d'anticipation coïncidence que l'âge. Les auteurs ont conclu que la pratique du tennis améliore la précision du timing de coïncidence sur des tâches qui sont relatives au tennis ou non.

Des chercheurs et chercheuses ont testé des étudiants en éducation physique et sportive lors d'une tâche d'anticipation coïncidence (Duncan, et al., 2013). Ils ont néanmoins ajouté un nouvel élément, l'effort physique. Les étudiant·e·s étaient répartis en trois groupes et devaient effectuer une activité de basse, modérée ou haute intensité avant leur passage. Les résultats ont montré que les performances étaient significativement meilleures lorsque les sujets effectuaient une activité à haute intensité par rapport à ceux qui participaient à un exercice de basse intensité (Duncan et al., 2013). De plus, ils ont démontré que les participant·e·s avaient plus de peine à effectuer leur tâche d'anticipation coïncidence lorsque les stimuli étaient rapides (Duncan et al., 2013).

Une autre étude a montré que la position des joueurs de football sur le terrain impacte les résultats en matière d'anticipation coïncidence (Saygin et al., 2016). En effet, les joueurs défensifs ont eu de meilleure performance sur une tâche d'anticipation coïncidence que les joueurs à vocation offensive. Ceci est peut-être dû au vécu des défenseurs qui auraient plus souvent besoin de réagir rapidement aux mouvements des attaquants adverses (Saygin et al., 2016). Les auteurs ont aussi montré que les footballeurs ont, de manière générale, de meilleurs résultats lorsque les stimuli sont plutôt lents que pour les stimuli plus rapides (Saygin et al., 2016).

Plus récemment, Rolin et al. (2018), ont soulevé le fait que les humains avaient de la peine à évaluer les vitesses d'objets mobiles lors de tâches de réalité virtuelle. En effet, ils sous-estiment les projectiles à vitesse rapide. Au contraire, ils surévaluent le déplacement des objets mobiles envoyés à vitesse lente. Néanmoins, après un certain temps d'adaptation, les participant·e·s montrent une amélioration de la perception en réalité virtuelle. Selon les auteur·e·s, les participant·e·s s'aident de plusieurs facteurs comme la taille de l'objet, la distance ou encore la direction du mouvement de l'objet mobile.

Pour résumer, en observant les résultats obtenus dans ces différentes études, l'habileté d'anticipation coïncidence pourrait être perfectible grâce à l'entraînement (Haywood, 1983). Il semblerait que l'âge et la pratique récurrente d'une activité impliquant des tâches d'anticipation coïncidence influencent de manière positive les résultats obtenus (Benguigui & Ripoll, 1998 ; Haywood, 1981; Saygin et al., 2016). Sur cette base de résultats, il est donc légitime de penser qu'il est possible de créer un programme d'entraînement pour cette habileté sportive.

1.6 Objectif de l'étude

Les chercheur·e·s de l'université de Fribourg veulent créer un programme d'entraînement de réalité virtuelle pour améliorer l'habileté d'anticipation coïncidence. Pour ceci, ils doivent connaître le délai visuomoteur nécessaire afin d'intercepter un mobile dans l'espace péri-personnel pour une tâche d'interception. De plus, ils doivent aussi comprendre si ce délai peut être altéré. Des participant·e·s seront donc soumis à une tâche de balle-interception/esquive du type Go-Go/No-Go. Il y aura donc une combinaison entre la réponse motrice qui demande une habileté d'anticipation coïncidence et la capacité à enclencher ou inhiber une action motrice en fonction du stimulus observé. Le visiocasque a été choisi afin d'immerger le participant·e dans un environnement épuré pour qu'il puisse se concentrer uniquement sur la tâche demandée. En effet, il est important d'éliminer tous les éléments qui pourraient gêner la tâche afin d'avoir les meilleurs résultats possibles. Ceci permet aussi d'éliminer un maximum de biais en gommant les éventuels distracteurs qui pourraient surgir dans un environnement non contrôlé. Les sujets devront donc intercepter ou esquiver une balle selon sa couleur (jaune ou rouge). Seul un mouvement du bras de la main forte sera effectué, le reste du corps restera immobile. Il est important que le sujet ne bouge pas ou peu la tête afin d'avoir les meilleures prises de données possibles.

Nous listons ci-dessous les questions auxquelles nous souhaitons répondre avec les résultats de notre étude :

- a) Quel est le délai visuomoteur nécessaire pour pouvoir intercepter une balle (un mobile) dans l'espace péri-personnel ?
- b) Ce délai est-il altéré lorsque les conditions de prise de décision changent (go vs go/no go) ?
- c) Ce délai est-il variable en fonction de l'expérience sportive spécifique ? Est-il plus court lorsque le sport pratique nécessite des réponses visuomotrices rapides ?

Afin d'examiner de manière scientifique les questions précédentes, les hypothèses suivantes ont été formulées en collaboration avec le Référent de cette recherche :

1. Le délai visuomoteur est plus long en situation de go/no go (i.e., lorsqu'un processus de décision se rajoute à la tâche de base).
2. L'expérience sportive spécifique (e.g., tennis de table, tennis, football) est associée à un délai visuomoteur plus court comparé à d'autres domaines sportifs (aggrès, course à pied).

2 Méthode

2.1 Description de l'échantillon

Les 22 participant·e·s de cette étude étaient âgés de 19 ans à 31 ans ($M=25$). Ils ont été séparés en deux groupes. D'un côté, 11 participants (10 hommes et 1 femme) qui pratiquent des sports à habiletés majoritairement ouvertes. De l'autre, 11 participants (7 hommes et 4 femmes) qui pratiquent des sports à habiletés majoritairement fermées. Dans le lot des 22 participants, 3 ont participé à l'expérience avec la main gauche. Les autres avaient pour main forte la main droite. Après avoir reçu les informations nécessaires au bon déroulement de l'expérience (annexe 2), ils ont rempli un questionnaire comportant certaines informations importantes collectées dans un document (annexe 3). Ils ont par ailleurs signé un formulaire de consentement (annexe 1) et étaient autorisé à tout moment de quitter l'expérience.

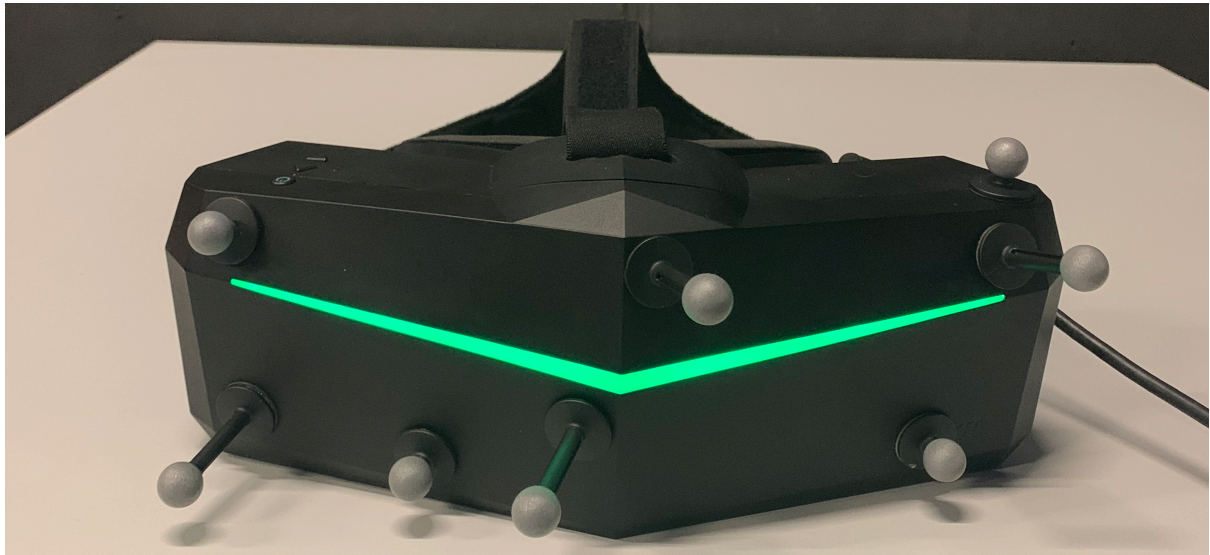
2.2 Matériel

L'expérience requiert certaines ressources matérielles. Pour commencer, les participant·e·s devaient se munir d'un gant (figure 2) enfilé sur la main forte sur lequel 6 capteurs étaient disposés. Ensuite, l'expérimentateur leur déposait un visiocasque – pourvu de 8 capteurs – sur la tête afin de les plonger dans le monde de la réalité virtuelle. Ce casque est un modèle Pimax 8K (figure 1), muni de deux écrans LCD (écrans à cristaux liquides) d'une résolution 3840x2160. Il était relié à un ordinateur sur lequel les programmes Motive, PiTool, et CopelabVR étaient installés afin de lancer l'expérience et de sauvegarder toutes les données générées par cette dernière. Afin de collecter les différents mouvements, 24 caméras Optitrack (figure 2) étaient enclenchées et reliées au programme Motive. Dès que le programme démarrait, l'utilisateur se trouvait face à un décor sombre dans lequel une balle violette ainsi qu'un bouton bleu apparaissaient à hauteur des yeux. Ils pouvaient aussi voir leur main forte transposée dans la réalité virtuelle grâce aux capteurs collés sur le gant. Après avoir pesé sur le bouton, la balle changeait de couleur et devenait bleue. Une fois la balle en mouvement, elle changeait encore une fois de couleur. Si elle devenait jaune, le sujet devait l'intercepter en plaçant sa main sur le chemin de l'objet mobile. En cas de réussite, il entendait un bruit de balle de tennis frappée alors qu'en cas d'échec, aucun bruit n'était entendu. Si la balle devenait rouge, alors il devait l'esquiver. Dans le cas où le participant·e venait à intercepter une balle rouge, il recevait aussi un indice sonore. Au total, les sujets devaient stopper cent lancers de balle jaune lors de la partie « Go ».

Dans la partie « Go/No-Go » ils devaient stopper ou esquiver 200 lancers de balles jaunes ou rouges qui étaient générés automatiquement par le logiciel.

Figure 1

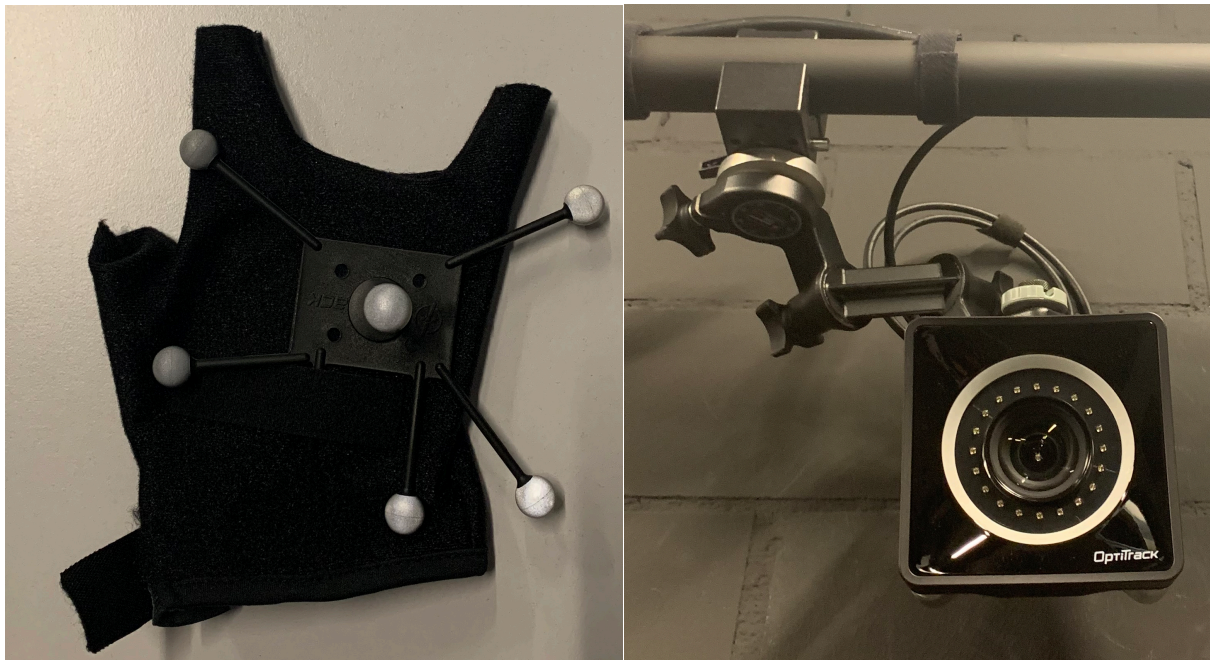
Visio casque Pimax 8K



Note. Visiocasque Pimax 5K XR munis de 8 capteurs.

Figure 2

Gant et caméra Optitrack



Note. À gauche, gant équipé de 6 capteurs. À droite, caméra Optitrack utilisées dans la récolte de mouvement et de données.

Pour ce qui est des différents logiciels cités un peu plus haut dans ce même chapitre, ceux-ci ont été utilisés de la manière suivante. Pour débiter, Motive permet de suivre les mouvements des rigid body (main et visiocasque) à l'aide des 24 caméras. Ensuite Piitool offre, si besoin, la possibilité de réinitialiser le visiocasque si le transfert d'information n'est plus assez conséquent. Et pour finir Unity Copelab est le logiciel qui envoie les informations visibles par les participant·e·s lors de l'expérience de réalité virtuelle.

2.3 Protocole et passations

2.3.1 Design de l'étude

L'étude se compose d'une seule étape scindée en deux parties. En effet, aucun pré-test ni aucun post-test n'ont été effectués. Seule la performance à l'instant « T » était évaluée. Cependant, deux parties distinctes ont été proposées aux sujets. Une partie « Go » dans laquelle 100 balles jaunes ont été envoyées et devaient donc être interceptées. Et une partie « Go/No-Go » dans

laquelle nous avons envoyé 100 balles jaunes et 100 balles rouges. Dans cette deuxième session, les sujets devaient choisir en fonction de la couleur s'ils interceptaient ou non la balle. Il est important d'ajouter que les balles partaient toujours à 5 mètres du sujet. Les sujets étaient soit assignés à la partie Go ou à la partie No-Go aléatoirement. Ensuite, une fois la première partie terminée, ils réalisaient la partie qu'ils n'avaient pas effectuée. Les participants savaient toujours quelle partie ils allaient effectuer en premier et en deuxième. Ce contrebalancement avait pour but de gommer certains biais. En effet, la partie Go / No-Go étant plus longue que la partie Go, il se pourrait que les participants aient des diminutions de la performance. De plus, la réalité virtuelle demande aux yeux une énergie conséquente ce qui pourrait aussi entraîner une baisse de la performance. D'un autre côté, si tous les participants commençaient par la partie Go il se pourrait qu'ils s'habituent à cette condition et soient moins performants lors de la partie Go / No-Go qui demande une certaine inhibition lors des jets rouges. Voici pourquoi il a été décidé de contrebalancer les passages de nos 22 participants.

2.3.2 Consignes

Dès leur arrivée, les participants prenaient connaissance du formulaire de consentement et remplissaient les différentes informations personnelles. Une fois le document complété et signé, ils lisaient le protocole de l'expérience et pouvaient, si besoin, poser des questions. Une fois cette étape administrative terminée, ils étaient invités à s'équiper d'un gant enfilé à la main forte. A cet instant, ils positionnaient leur main au sol afin de calibrer le rigid body qui permettait d'orienter l'avatar de leur main correctement par rapport aux 3 axes. Pour finir, ils prenaient possession du visiocasque et le réglaient à leur convenance en installant les trois fermetures auto agrippantes. Ils devaient se fier au bouton bleu qu'ils voyaient afin de se positionner au bon endroit. L'endroit recherché était celui sur lequel ils avaient la paume de leur main forte à 10 centimètres du bouton bleu. Ensuite, il leur était demandé de s'installer en position debout agréable. Une fois ces étapes effectuées, l'expérience pouvait débuter.

2.3.2 Partie « Go »

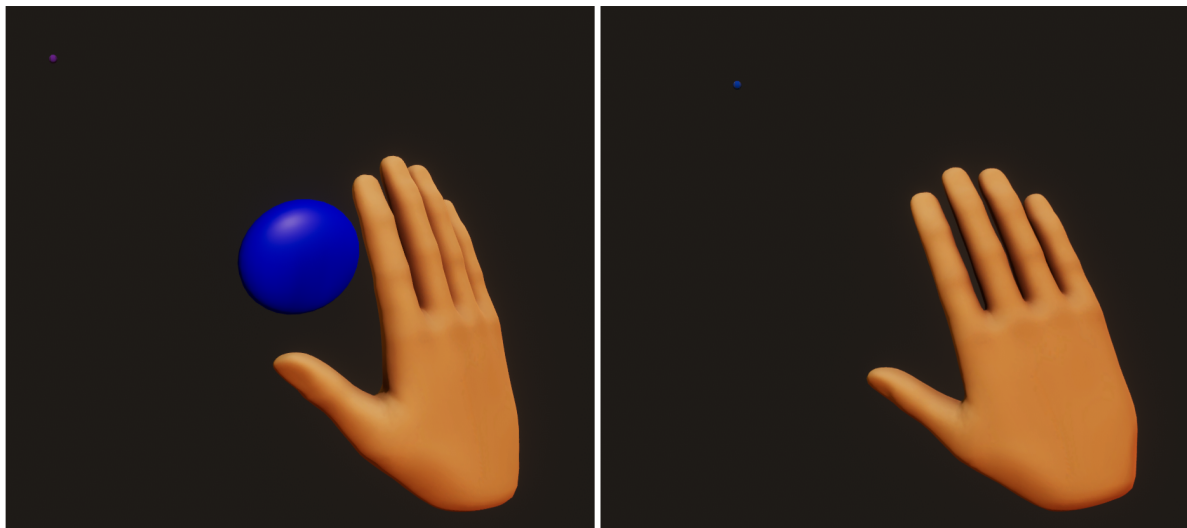
Dans cette partie, les participants étaient plongés dans un environnement de réalité virtuelle. Depuis un point de vue égocentrique, ils se trouvaient face à une boule violette et un bouton bleu (figure 3). Ils devaient positionner leur main, paume en direction du bouton, et appuyer une fois qu'ils étaient prêts. A partir de là, la balle devenait bleue (figure 3) ce qui voulait dire que le départ était imminent. Après un délai d'attente plus ou moins long, elle changeait de couleur et devenait jaune (figure 4) tout en se mettant en mouvement en direction du sujet. C'est

à ce moment-là que les sujets devaient essayer d'intercepter les balles jaunes et de recevoir un feedback auditif qui confirmait que la balle avait été touchée.

Une fois un jet terminé, les participants faisaient à nouveau face à la boule violette et au bouton bleu. Ils devaient réitérer le protocole durant 100 jets. Les lancers étaient générés grâce à l'algorithme du logiciel. La vitesse variait entre 2 m/s et 20 m/s. Ces vitesses de déplacement, correspondent dans notre étude à un pourcentage. 100% de la vitesse représente un lancer de 2m/s. Alors qu'un lancer d'une vitesse de 20 m/s est représentée par 0%. De ce fait, plus la performance est bonne et plus le pourcentage est réduit par le logiciel. De plus, les lancers pouvaient intervenir à quatre endroits différents (figure 4) eux aussi gérés par le logiciel.

Figure 3

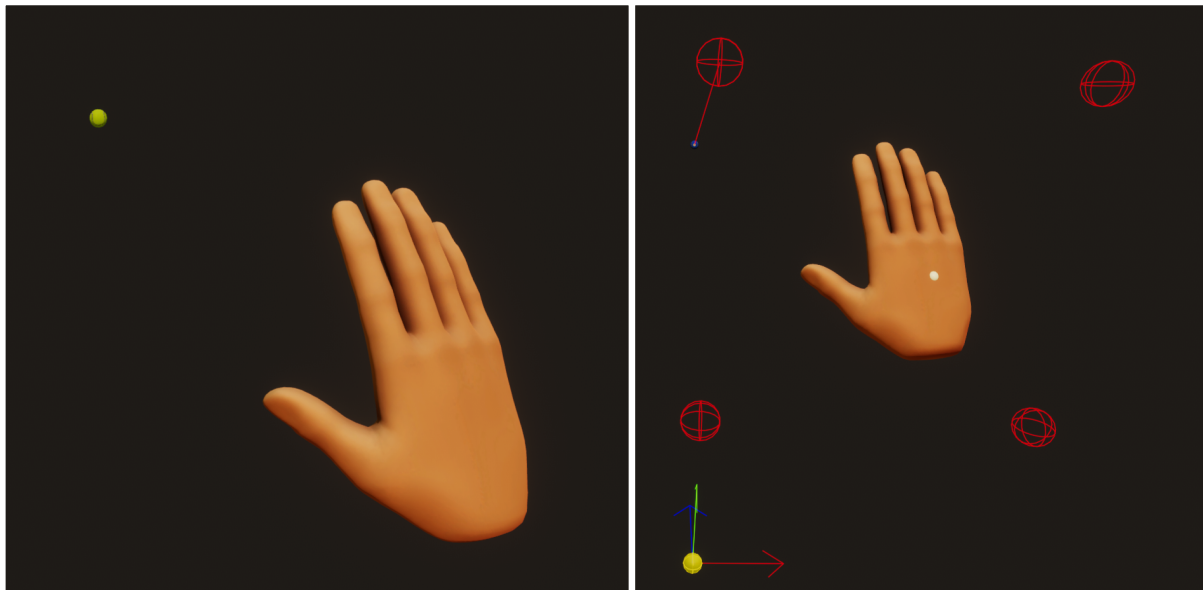
Situation de départ et situation d'attente



Note. À gauche, vue égocentrique du participant·e lors de l'expérience en situation de départ. À droite, vue égocentrique du participant·e lors de l'expérience après avoir appuyé sur le bouton bleu.

Figure 4

Situation en condition « Go » et les 4 cibles possibles



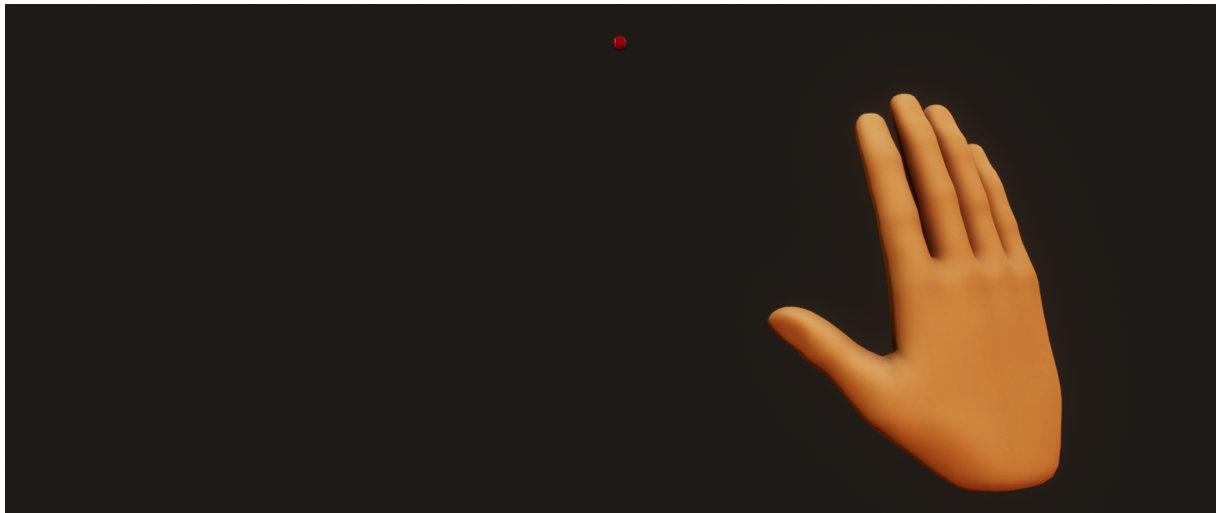
Note. À gauche, vue égoцентриque du participant lors de l'expérience en condition « Go ». À droite, représentation des 4 cibles possibles dans l'espace tridimensionnel.

2.3.3 Partie « Go/No-Go »

Dans cette autre partie, les participants étaient plongés dans le même environnement. Cependant, après avoir appuyé sur le bouton bleu, la balle pouvait devenir jaune ou rouge. Si elle était jaune, alors ils devaient tenter de la stopper. Mais au contraire, si elle devenait rouge (figure 8), alors les sujets devaient essayer de l'esquiver avec la main. Comme pour la partie « Go », un indicateur sonore se faisait entendre si une balle, peu importe sa couleur, entrait en collision avec la main. Comme pour la partie précédente, la balle partait seulement une fois que les participants actionnaient le bouton bleu à l'aide de leur paume virtuelle. L'algorithme qui gérait les lancers était le même que pour la partie « Go », les vitesses et les positions étaient donc elles aussi les mêmes.

Figure 5

Situation en condition « No-Go »



Note. Vue égocentrique du participant lors de l'expérience en condition « No-Go ».

2.4 Analyse statistique des données

Nous avons comparé le pourcentage minimum (vitesse la plus rapide) auquel les participants ont été confrontés. Que ce soit en « Go » ou en « Go/ No-Go », la meilleure performance de réaction a été enregistrée et utilisée dans les analyses. En d'autres termes, la variable dépendante est la performance. Les variables indépendantes sont quant à elles : le style de sport pratiqué (sport de balle versus autre) et la condition (Go vs Go/ No-Go). L'effet des deux facteurs et de leur interaction sur la variable dépendante a été évalué à l'aide d'une approche de modélisation linéaire à effets mixtes. Plus précisément, pour les deux expériences, les deux facteurs principaux ont été introduits dans le modèle en tant qu'effets fixes, tandis que les intercepts des participants ont été introduits en tant qu'effets aléatoires. Pour chaque expérience, quatre modèles ont été ajustés, à savoir : (1) un modèle comprenant uniquement l'ordonnée à l'origine ; (2) un modèle comprenant l'ordonnée à l'origine et le facteur « Condition » comme prédicteur ; (3) un modèle comprenant l'ordonnée à l'origine et les facteurs « Condition » et « Type de sport » comme prédicteurs et (4) un modèle comprenant l'ordonnée à l'origine, le facteur « Condition » et le facteur « Type de sport » comme prédicteurs. Un modèle incluant l'ordonnée à l'origine, les deux facteurs comme prédicteurs et un terme d'interaction. Les quatre modèles ont ensuite été comparés et les valeurs p ont été obtenues à l'aide de tests du rapport de vraisemblance. Les

degrés de liberté ont été approximés à l'aide de la méthode Kenward-Roger (Hakeloh & Hojsgaard, 2014).

3 Résultats

3.1 Comparaison des performances maximales

À la suite des passages des 22 sujets dans les deux conditions (Go vs Go/ No-Go), la performance maximale a été enregistrée puis comparée. D'une part, nous avons analysé les différences de performance entre les passages de la condition Go et les passages de la condition Go/ No-Go. D'autre part, les performances des sujets effectuant des sports de balle (habiletés ouvertes) ont été comparées avec les performances des sujets effectuant des sports sans objet mobile (habiletés fermées). Les performances de tous les sujets se trouvent sur le **Tableau 1**.

Bien que les performances aient été légèrement meilleures dans la condition Go ($M = 0.49 \pm 0.06$) que dans la condition Go/ No-Go ($M = 0.52 \pm 0.05$), cette différence n'a pas été significative ($\chi^2(1) = 2.24$, $p = 0.13$) et n'a expliqué que 4% de la variance des performances ($R^2 \text{ marginal} = 0.039$). En ce qui concerne l'effet du type de sport, les participants pratiquant un sport de balle ($M = 0.49 \pm 0.06$) étaient légèrement meilleurs que les participants pratiquant d'autres sports ($M = 0.52 \pm 0.05$). Cette différence était significative ($\chi^2(1) = 4.16$, $p < 0.05$) et expliquait 11% de la variance de la performance ($R^2 \text{ marginal} = 0.105$). Il n'y a pas eu d'interaction entre les deux facteurs principaux ($\chi^2(1) = 1.37$, $p = 0.24$).

Tableau 1

Performance maximale de chaque sujet pour les conditions « Go » et « Go/ No-Go ».

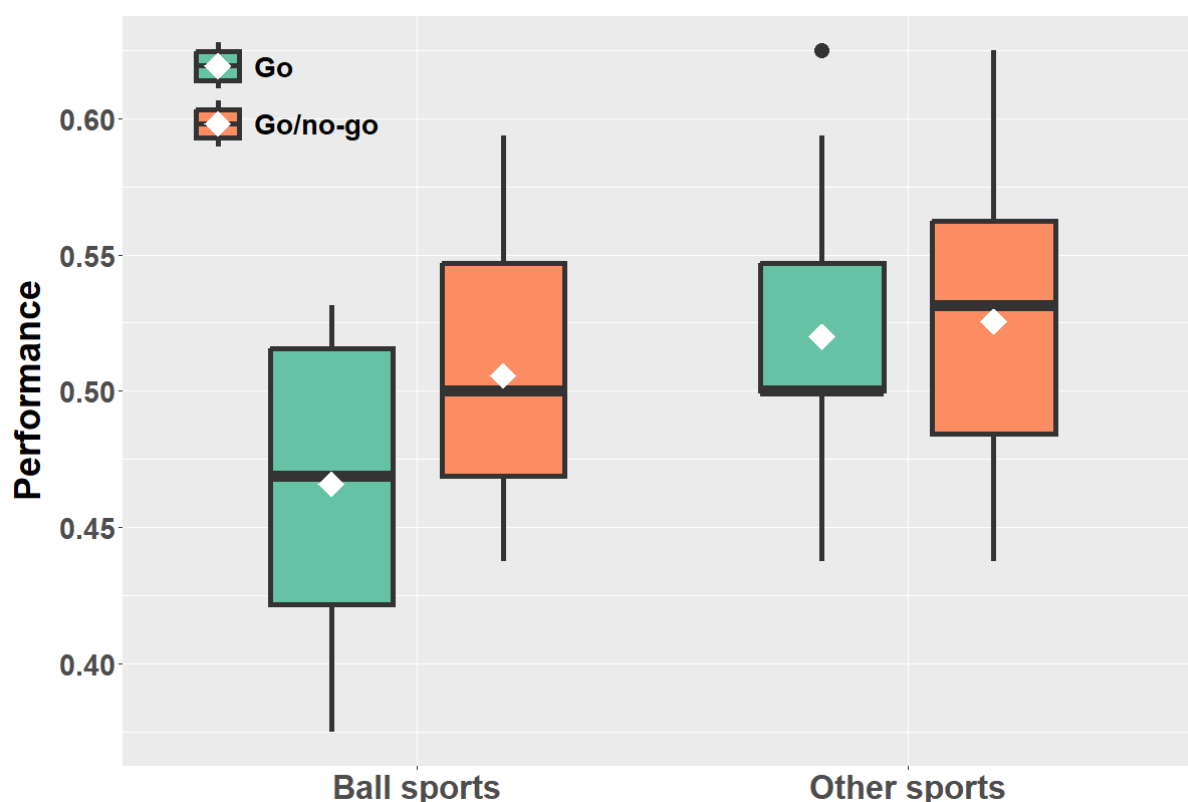
Participant	Performance	Condition	Groupe
1	0.59	GO	Autre
1	0.53	GONOGO	Autre
2	0.56	GONOGO	Sport de balle
2	0.53	GO	Sport de balle
3	0.53	GO	Sport de balle
3	0.47	GONOGO	Sport de balle
4	0.53	GO	Autre
4	0.53	GONOGO	Autre
5	0.44	GO	Sport de balle

5	0.5	GONOGO	Sport de balle
6	0.5	GO	Autre
6	0.47	GONOGO	Autre
7	0.5	GO	Autre
7	0.63	GONOGO	Autre
8	0.44	GO	Sport de balle
8	0.44	GONOGO	Sport de balle
9	0.47	GONOGO	Sport de balle
9	0.38	GO	Sport de balle
10	0.5	GO	Autre
10	0.56	GONOGO	Autre
11	0.56	GONOGO	Sport de balle
11	0.5	GO	Sport de balle
12	0.56	GONOGO	Autre
12	0.44	GO	Autre
13	0.44	GONOGO	Sport de balle
13	0.5	GO	Sport de balle
14	0.5	GO	Autre
14	0.47	GONOGO	Autre
15	0.47	GO	Autre
15	0.44	GONOGO	Autre
16	0.47	GO	Sport de balle
16	0.5	GONOGO	Sport de balle
17	0.5	GO	Autre
17	0.5	GONOGO	Autre
18	0.63	GO	Autre
18	0.59	GONOGO	Autre
19	0.41	GO	Sport de balle
19	0.5	GONOGO	Sport de balle
20	0.53	GONOGO	Sport de balle
20	0.53	GO	Sport de balle
21	0.56	GO	Autre
21	0.5	GONOGO	Autre
22	0.41	GO	Sport de balle
22	0.59	GONOGO	Sport de balle

Note. Tableaux des performances maximales. La meilleure performance obtenue par le sujet lors des deux parties de l'expérience (scores allant de 0 à 1). Plus le résultat se rapproche de 0, meilleure est la performance. 1 correspond à la vitesse minimum des balles (2 m/s) alors que 0 correspond à la vitesse maximale (20 m/s). Chaque sujet a effectué les 2 sessions (Go et Go/No-Go). La 2^{ème} colonne intitulée « Performance » représente le meilleur résultat obtenu par les sujets.

Figure 6

Comparaison de performance



Note. Boxplot représentant la moyenne (losange blanc), la médiane (barre noire), les quartiles, les minima et les maxima des résultats obtenus dans les 2 conditions de passages (Go et Go/No-Go) par les deux groupes (sport de balle et autre). Plus les valeurs en Y sont faibles, meilleure est la performance. L'unité de performance est exprimée en m/s une fois transformée (0 correspond à 20 m/s, 0,5 correspond à 11 m/s et 1 correspond à 2 m/s).

4 Discussion

4.1 Mise en perspective des résultats avec les objectifs de l'étude

L'étude incluait les résultats obtenus par les 22 participants, pratiquant un sport à habiletés fermées ou un sport à habiletés ouvertes, lors de deux sessions expérimentales (Go vs Go/ No-Go). D'une part, les analyses statistiques sont non-significatives en ce qui concerne la différence de performance entre les sessions Go et les sessions Go/ No-Go. D'autre part, un élément significatif est cependant identifiable. En effet, lorsque nous avons comparé les performances des sujets pratiquant des sports réalisés en environnement stable et celles des sujets qui pratiquent des sports en milieu incertain, nous avons trouvé une différence significative.

4.1.1 Comparaison des performances maximales (Go vs Go/ No-Go)

Ce résultat répond à l'objectif principal de l'étude, à savoir s'il y avait une différence de performance entre la performance lors d'une tâche d'anticipation coïncidence basique (Go) et lorsqu'un processus de décision se rajoute à la tâche de base (Go/ No-Go). Malgré une meilleure performance des sujets en condition « Go » qu'en condition « Go/ No-Go », cette différence n'est pas significative. Ainsi, on peut s'imaginer que le processus de prise de décision n'impacte pas la performance lors d'une tâche d'anticipation coïncidence. Nous pouvons donc apporter une réponse à l'hypothèse 1 que nous avons formulée dans le sous chapitre 1.6 qui était la suivante : « Le délai visuomoteur est plus long en situation de go/no go (i.e., lorsqu'un processus de décision se rajoute à la tâche de base ».

En plus de leur absence de significativité, les résultats sont changeants. En effet, 8 des 22 participant·e·s ont obtenu de meilleurs résultats en condition « Go/ No-Go » en comparaison avec la condition « Go ». Cependant, nous pouvons penser que les sujets qui sont passés en premier dans la condition « Go » pouvaient souffrir d'un manque d'expérience. Cette tâche leur demandait certainement trop de nouvelles ressources. Ces résultats pourraient donc être expliqués par une éventuelle progression des participant·e·s entre les deux sessions.

Ces résultats sont en contradiction avec ceux de Nakamoto et Mori (2008). En effet, les sportifs d'habileté ouvertes (sport de balle) n'ont pas eu une meilleure capacité à bloquer leur réponse lorsqu'ils font face à une situation No-Go comparé aux sportifs d'habiletés fermées. Tandis que dans leur étude, les sportifs avaient réussi de meilleure performance d'inhibition que les sujets non-sportifs.

4.1.2 Comparaison des performances maximale (Sport de balle vs autres).

Cette analyse apporte une réponse à la deuxième hypothèse qui avait été formulée dans le chapitre 1.6 de cette étude : « L'expérience sportive spécifique (e.g., tennis de table, football) est associée à un délai visuomoteur plus court comparé à d'autres domaines sportifs (agrès, course à pied) ».

En effet, selon les résultats obtenus par le groupe « sport de balle », l'expérience sportive spécifique est bel et bien associée à un délai visuomoteur plus court en comparaison avec d'autres domaines sportifs. Les sujets ayant l'habitude de pratiquer des sports incluant des objets mobiles ou un adversaire ont significativement mieux réussi la tâche que les sujets pratiquant des sports sans objets mobile et sans adversaire. Ceci peut être expliqué par l'habitude d'interagir avec les caractéristiques imprévisibles d'un objet ou d'un adversaire.

4.2 Rapport à la littérature

Il n'existe actuellement aucune littérature qui étudie à la fois les tâches d'anticipation coïncidence en situation de réalité virtuelle et la différence de performance lorsque l'on ajoute un processus de décision à la tâche de base. Cependant, quelques hypothèses peuvent être dressées pour éclaircir nos résultats. En effet, certains auteurs ont déjà effectué des recherches liées à des tâches d'interception en réalité virtuelle.

Comme nous l'avons expliqué dans la section 1.4, les sportifs obtiennent de meilleurs résultats lors des tâches « Go/ Go-No-go » que les non-athlètes (Nakamoto & Mori, 2008). Ce constat rejoint nos résultats. Bien que nous n'ayons pas fait passer cette expérience à une population de professionnel·e·s, tous nos participant·e·s ont l'habitude de pratiquer une catégorie sportive spécifique. Nous pourrions donc comparer les athlètes à nos participants pratiquant des sports à habiletés ouvertes et les non-athlètes aux participants qui pratiquent des sports à habiletés fermées. Nos résultats s'inscriraient donc dans la même direction que l'étude de Nakamoto et Mori (2008).

Il se pourrait alors que les participant·e·s qui exercent des sports dans des environnements instables soient entraînés à réagir en fonction des stimuli proposés dans leur discipline sportive. Cet avantage signifierait que l'habileté dite d'anticipation coïncidence peut être améliorée grâce à un entraînement spécifique comme l'a déjà démontré Haywood (1983). Certes, nous n'avons pas procédé à un entraînement spécifique d'anticipation coïncidence dans notre étude, mais la pratique hebdomadaire des sujets y ressemble fortement.

Ensuite, en 1998, Benguigui et Ripoll avaient déjà démontré que les personnes qui pratiquaient du tennis avaient de meilleurs résultats lors d'une tâche d'anticipation coïncidence en

comparaison avec les personnes qui n'en pratiquaient pas. Ceci vient aussi confirmer nos résultats car notre groupe « sport de balle » a été significativement meilleur que notre groupe « autre ».

Plus récemment, Huang et al. (2022) ont démontré dans leur étude que les sujets avaient de meilleurs résultats en perception de la profondeur si les objets mobiles avaient une ombre. C'est un facteur qui n'a pas été pensé dans notre expérience. L'environnement sombre proposé à nos participants ne permettait pas de déceler des ombres, ce qui rejoint l'étude de Rolin et al. (2018).

4.3 Limites de l'étude

Comme cette recherche est la première dans le domaine pour le groupe de chercheur·e·s de l'université de Fribourg, plusieurs limites ont été décelées tout au long de l'étude. Pour commencer, certains sujets se sont plaints de la longueur des sessions. Même si le bouton bleu permettait aux sujets de faire des pauses lorsqu'ils le souhaitaient, l'enchaînement de 100 ou 200 lancers représente une charge physique importante, surtout pour les muscles de l'épaule. Les yeux des sujets ont eux aussi été sollicités par la longueur de la tâche. Il y a un sentiment de lassitude qui peut se créer et la tâche n'a peut-être pas été effectuée avec la même intensité jusqu'à son terme. La deuxième limite découle de la première. Comme nous avons permis aux participant·e·s de faire des pauses lorsqu'ils le désiraient, le temps de pause n'a pas été le même pour tous les participant·e·s. Ensuite, toujours en lien avec le bouton bleu, les participant·e·s devaient se positionner à une distance d'environ 10 cm devant cet interrupteur. Cependant, la distance ne pouvait pas être contrôlée par l'expérimentateur. Cela peut aussi jouer un rôle dans la réussite de la tâche des sujets. Une autre limite qui a été mise en exergue est la concentration. Certains participant·e·s ont posé des questions lorsqu'ils effectuaient simultanément leur tâche. Ils ont peut-être souffert d'un manque de concentration à ces moments-là car leur attention se trouvait divisée en plusieurs actions simultanées. De plus, aucun participant n'avait déjà expérimenté la réalité virtuelle, ceci est un facteur à ne pas sous-estimer. L'habituatation est un processus qui peut impacter le début de la performance lors de la tâche. Il se peut donc que la découverte d'une nouvelle technologie ait impacté les performances.

Ensuite, le décor était très épuré, ce qui peut amener à un manque de repères pour les sujets. En effet, ils ne sont pas habitués à performer dans des environnements autant vides. Selon Rolin et al. (2018), l'environnement virtuel joue un rôle prédominant dans l'analyse et la réussite d'une tâche d'interception. Les participant·e·s auraient besoin de se trouver dans un milieu ressemblant à celui avec lequel ils ont l'habitude d'interagir. Effectivement, les indices de mouvement d'approche dans la réalité virtuelle jouent un rôle important dans le processus de détection et

d'analyse des sujets. Ces derniers réussissent à ajuster leurs mouvements d'interception en fonction de la perception du mouvement d'approche. Il faudrait donc comprendre de quelle manière les participant·e·s perçoivent et réagissent au mouvement d'approche afin de créer des environnements virtuels immersifs de qualité.

Il existe aussi des limites inhérentes au matériel de l'étude. Le casque a posé des problèmes à quelques sujets. Ses attaches n'étaient pas optimales pour toutes et tous. Plusieurs sujets se sont plaints que leur vision devenait floue lorsqu'ils serraient trop le casque. Ils devaient donc choisir entre une bonne vision et le fait d'avoir un casque branlant qui donnait l'impression de tomber lorsqu'ils bougeaient et rendait la tâche moins agréable.

4.4 Améliorations

Un des biais principaux est celui de l'adaptation. Un élément semble primordial pour les prochaines recherches. Il serait nécessaire de procéder à un pré-test avant d'effectuer les tâches. Une telle démarche gommerait les problèmes liés à la découverte d'une nouvelle technologie et du manque de repères. Plusieurs participant·e·s ont en effet souligné la difficulté à stopper les balles lors des 10 premiers lancers. L'ajout de ce pré-test donnerait la possibilité aux participant·e·s de comprendre le logiciel et de se plonger réellement dans cet univers de réalité virtuelle avant de passer à la tâche principale.

Ensuite, les sessions pourraient être raccourcies afin de réduire l'effet de lassitude ainsi que l'effet de fatigue qu'ont éprouvé les participants. De ce fait, les performances de nos sujets pourraient être meilleurs et plus homogènes. En sachant que l'algorithme du logiciel propose des lancers en fonction de la réussite des précédents, il serait judicieux de réduire au maximum les moments de lassitude et de fatigue. En effet, cette adaptation permettrait d'avoir une performance maximale des participants.

Par ailleurs, bien que les explications et le déroulement de l'expérience aient été écrites, certains participant·e·s ont posé des questions lors de leur passage. Ces inattentions ont pu les déconcentrer et donc diminuer leur performance. Pour pallier à ce problème, nous pourrions créer une vidéo explicative. Effectivement, le visionnage de la tâche pourrait améliorer la compréhension des participant·e·s.

De son côté, l'environnement pourrait être plus riche et plus représentatif de la réalité. En voulant gommer les artifices, nous avons peut-être aussi enlevé des indices de mouvement d'approche. Par exemple, les ombres des objets peuvent avoir un impact sur l'analyse de perception

du déplacement de l'objet mobile. Or, comme nous avons créé un monde obscur, l'ombre des balles de tennis n'était pas présente.

Pour terminer, le visiocasque n'est peut-être pas le meilleur modèle sur le marché. Il serait préférable d'investir dans un casque nouvelle génération afin d'avoir un meilleur confort et une vision plus nette. Cet ensemble d'améliorations pourrait gommer certains biais lors des prochaines recherches portant sur le même sujet.

5 Conclusion

Notre objectif était de comparer la performance de deux groupes de sportifs (sport de balle versus autre) dans deux conditions distinctes (Go vs Go/ No-Go). La comparaison des résultats obtenus dans les sessions « Go » et les sessions « Go/ No-Go » ne nous a pas permis d'obtenir d'effets significatifs. Bien que les résultats soient légèrement meilleurs lors des sessions « Go », l'analyse statistique est non significative. Le délais visuomoteur n'est donc pas impacté par le processus de décision ajouté à la tâche de base.

En revanche, lorsque nous avons comparé la performance maximale entre le groupe « sport de balle » et le groupe « autre » nous avons remarqué une différence significative. Il y a donc un effet lié à l'expérience sportive spécifique. En effet, la pratique sportive dans un sport à habileté ouverte est associée à un délai visuomoteur plus court comparé aux sports à habileté fermée.

Il semblerait que certaines améliorations pourraient être amenées pour augmenter la qualité de l'expérience. L'ajout d'un pré-test, la confection d'une vidéo explicative ou encore l'acquisition d'un visiocasque de nouvelle génération seraient bénéfiques. En effet, ces modifications permettraient d'obtenir des résultats encore plus fiables et valides pour les futures études.

Dans les prochaines recherches, les chercheur·e·s pourraient se pencher sur l'amélioration de la performance lors d'un entraînement d'anticipation coïncidence en réalité virtuelle. Les passages répétés des mêmes sujets sur une période donnée permettraient d'affirmer que cette habileté peut être développée et qu'il est donc possible de créer un entraînement spécifique.

Bibliographie

- Aim, F., Lonjon, G., Hannouche, D., & Nizard, R. (2014). Impact de la formation sur simulateurs de réalité virtuelle en chirurgie orthopédique, revue systématique. *Revue de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique*, 100(7), S276.
<https://doi.org/10.1016/j.rcot.2014.09.159>
- Alaei, F. (2015). *Effects of exercise intensity and stimulus speed on coincidence anticipation timing with respect to gender in adolescent badminton players* (Master's thesis, Middle East Technical University).
- Akpınar, S., Devrilmez, E., & Kirazci, S. (2012). Coincidence-anticipation timing requirements are different in racket sports. *Perceptual and motor skills*, 115(2), 581-593.
<https://doi.org/10.2466/30.25.27.PMS.115.5.581-593>
- Azémar, G., Stein, J. F., & Ripoll, H. (2008). Effets de la dominance oculaire sur la coordination oeil-main dans les duels sportifs. *Science & sports*, 23(6), 263-277.
<https://doi.org/10.1016/j.scispo.2008.06.004>
- Benguigui, N., & Ripoll, H. (1998). Effects of tennis practice on the coincidence timing accuracy of adults and children. *Research quarterly for exercise and sport*, 69(3), 217-223.
<https://doi.org/10.1080/02701367.1998.10607688>
- Broadbent, D. P., Causer, J., Williams, A. M., & Ford, P. R. (2015). Perceptual-cognitive skill training and its transfer to expert performance in the field: Future research directions. *European Journal of Sport Science*, 15(4), 322-331.
<https://doi.org/10.1080/17461391.2014.957727>
- Burkhardt, J.-M. (2003). Réalité virtuelle et ergonomie : quelques apports réciproques. *Le Travail Humain*, 66(1), 65. <https://doi.org/10.3917/th.661.0065>
- Burkhardt, J.-M. (2007). Immersion, représentation et coopération : discussion et perspectives empiriques pour l'ergonomie cognitive de la Réalité Virtuelle. *Intellectica. Revue de l'Association Pour La Recherche Cognitive*, 45(1), 59-87. <https://doi.org/10.3406/intel.2007.1267>
- Caramenti, M., Lafortuna, C. L., Mugellini, E., Khaled, O. A., Bresciani, J. P., & Dubois, A. (2018). Regular physical activity modulates perceived visual speed when running in treadmill-mediated virtual environments. *PLoS ONE*, 14(6), 1-14.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219017>

- Ceylan, H. I., & Saygin, O. (2015). Examining the effects of proprioceptive training on coincidence anticipation timing, reaction time and hand-eye coordination. *The Anthropologist*, 20(3), 437-445. <https://doi.org/10.1080/09720073.2015.11891747>
- Debanne, T. (2003). Activité perceptive et décisionnelle du gardien de but de handball lors de la parade: les savoirs d'experts. *Staps*, (3), 43-58. <https://doi.org/10.3917/sta.062.0043>
- Devaud, T. (2021). *Optimisation de la prise de décision en phase de tir au but chez les hockeys à l'aide de la réalité virtuelle* [Travail master non publié]. Université de Fribourg.
- Di Russo, F., & Spinelli, D. (2010). Sport is not always healthy: Executive brain dysfunction in professional boxers. *Psychophysiology*, 47(3), 425-434. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2009.00950.x>
- Duncan, M., Smith, M., & Lyons, M. (2013). The effect of exercise intensity on coincidence anticipation performance at different stimulus speeds. *European journal of sport science*, 13(5), 559-566. <https://doi.org/10.1080/17461391.2012.752039>
- Famose, J. P. (1990). Apprentissage moteur et difficulté de la tâche. INSEP éditions.
- Faure, C., Limballe, A., Bideau, B., & Kulpa, R. (2020). Virtual reality to assess and train team ball sports performance: A scoping review. *Journal of Sports Sciences*, 38(2), 192–205. <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1689807>
- Gagnon, M., Bard, C., Fleury, M., & Michaud, D. (1992). Performance et apprentissage d'une activité d'anticipation-coïncidence chez des enfants de 6 et 10 ans. *L'Année psychologique*, 92(1), 9-28. <https://doi.org/10.3406/psy.1992.29486>
- Gao, Z., Lee, J. E., McDonough, D. J., & Albers, C. (2020). Virtual Reality Exercise as a Coping Strategy for Health and Wellness Promotion in Older Adults during the COVID-19 Pandemic. *Journal of Clinical Medicine*, 9(6), 1986. <https://doi.org/10.3390/jcm9061986>
- Gentile, A. M. (1972). A working model of skill acquisition with application to teaching. *Quest*, 17(1), 3-23. <https://doi.org/10.1080/00336297.1972.10519717>
- Gentile, A. M., Higgins, J. R., Miller, E. A., & Rosen, B. M. (1975). The structure of motor tasks. *Movement*, 7(1), 1-28.
- Hakeloh, U., and Hojsgaard, S. (2014). A Kenward-Roger Approximation and Parametric Bootstrap Methods for Tests in Linear Mixed Models – The R Package pbkrtest. *Journal of Statistical Software* 59, 1-32. <https://doi.org/10.18637/jss.v059.i09>

- Haywood, K. M., Greenwald, G., & Lewis, C. (1981). Contextual factors and age group differences in coincidence-anticipation performance. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 52(4), 458-464. <https://doi.org/10.1080/02701367.1981.10607891>
- Haywood, K. M. (1983). Responses to speed changes in coincidence-anticipation judgments after extended practice. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 54(1), 28-32. <https://doi.org/10.1080/02701367.1983.10605268>
- Huang, J., Dudley, J. J., Uzor, S., Wu, D., Kristensson, P. O., & Tian, F. (2022). Understanding user performance of acquiring targets with motion-in-depth in virtual reality. *International Journal of Human-Computer Studies*, 163, 102817. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2022.102817>
- Jackson, R. C., Warren, S., & Abernethy, B. (2006). Anticipation skill and susceptibility to deceptive movement. *Acta Psychologica*, 123(3), 355–371. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2006.02.002>
- Jeanningros, R., Mazzola-Pomietto, P., & Kaladjian, A. (2008). Corrélat neuroanatomiques des troubles impulsifs dans les états maniaques. *L'Information psychiatrique*, (2), 121-128. <https://doi.org/10.3917/inpsy.8402.0121>
- Knapp, B. (1963). *Skill in sport: the attainment of proficiency*. Routledge & K. Paul.
- Le Noury, P., Buszard, T., Reid, M., & Farrow, D. (2021). Examining the representativeness of a virtual reality environment for simulation of tennis performance. *Journal of Sports Sciences*, 39(4), 412–420. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1823618>
- Michalski, S. C., Szpak, A., Saredakis, D., Ross, T. J., Billinghamurst, M., & Loetscher, T. (2019). Getting your game on: Using virtual reality to improve real table tennis skills. *PLoS ONE*, 14(9), 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222351>
- MacQuet, A. C. (2009). Recognition within the decision-making process: A case study of expert volleyball players. *Journal of Applied Sport Psychology*, 21(1), 64–79. <https://doi.org/10.1080/10413200802575759>
- Nakamoto, H., & Mori, S. (2008). Sport-specific decision-making in a Go/NoGo reaction task: difference among nonathletes and baseball and basketball players. *Perceptual and motor skills*, 106(1), 163-170. <https://doi.org/10.2466/pms.106.1.163-170>
- Paoletti, R. (1999). *Education et motricité: l'enfant de deux à huit ans*. De Boeck Supérieur.
- Poulton, E.C., (1957). On prediction in skilled movements. *Psychological Bulletin*, 54, 6, 467-478. <https://doi.org/10.1037/h0045515>
- Proteau, L., Lévesque, L., Laurencelle, L., & Girouard, Y. (1989). Decision making in sport: the effect of stimulus-response probability on the performance of a coincidence-

- anticipation task. *Research quarterly for exercise and sport*, 60(1), 66–76.
<https://doi.org/10.1080/02701367.1989.10607415>
- Roca, A., Ford, P. R., McRobert, A. P., & Williams, A. M. (2011). Identifying the processes underpinning anticipation and decision-making in a dynamic time-constrained task. *Cognitive Processing*, 12(3), 301–310. <https://doi.org/10.1007/s10339-011-0392-1>
- Rolin, R. A., Fookien, J., Spering, M., & Pai, D. K. (2018). Perception of looming motion in virtual reality egocentric interception tasks. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 25(10), 3042–3048. [10.1109/TVCG.2018.2859987](https://doi.org/10.1109/TVCG.2018.2859987)
- Saygin, O., Goral, K., & Ceylan, H. I. (2016). An examination of the coincidence anticipation performance of soccer players according to their playing positions and different stimulus speeds. *Sport Journal*, 1(11). <http://thesportjournal.org/article/an-examination-of-the-coincidence-anticipation-performance-of-soccer-players-according-to-their-playing-positions-and-different-stimulus-speeds/>
- Schmidt. (1993). *Apprentissage moteur et performance*. Vigot.
- Sudan, R. (2021). *Prise de décision et latéralité bimanuelle au hockey-sur-glace : comparaison entre bon côté et mauvais côté lors d'une session de tirs au but, en réalité virtuelle* [Travail master non publié]. Université de Fribourg
- Tarr, M. J., & Warren, W. H. (2002). Virtual reality in behavioral neuroscience and beyond. *Nature Neuroscience*, 5(11s), 1089–1092. <https://doi.org/10.1038/nn948>
- Tyndiuk, F., Lespinet-Najib, V., Thomas, G., N’Kaoua, B., Schlick, C., & Claverie, B. 39 (2007). Études Des Caractéristiques De L’Utilisateur, De La Tâche Et De L’Interface En Réalité Virtuelle. *Revue Européenne de Psychologie Appliquée*, 57(4), 225–236. <https://doi.org/10.1016/j.erap.2006.05.003>
- Wiebe, S. A., Sheffield, T. D., & Espy, K. A. (2012). Separating the fish from the sharks: A longitudinal study of preschool response inhibition. *Child development*, 83(4), 1245–1261. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2012.01765.x>

Annexe

Annexe 1. Formulaire de consentement

Participation à une étude de recherche

CoPe Lab - Control and Perception Laboratory, Fribourg

Formulaire de Consentement

Je, soussigné(e) _____ déclare accepter, librement, et de façon éclairée, de participer comme sujet à cette étude de recherche.

Je comprends que j'ai le choix de me retirer de l'étude à n'importe quel moment et ceci sans aucune justification ni conséquence, mais ceci au plus tard jusqu'à deux semaines après la date de ma dernière expérience.

Je confirme que la nature de cette étude m'a été clairement expliquée et que j'ai eu l'opportunité de poser toutes les questions que je souhaitais.

Je comprends qu'il n'y a pas d'intéressement direct résultant de ma participation à cette étude.

Je comprends et j'accepte que toutes les données personnelles provenant de cette étude seront traitées et utilisées de manière complètement confidentielle et anonyme. Comme l'adresse de courriel, l'âge, le genre, ainsi que les divers paramètres et variables enregistrés lors de l'étude.

Je comprends que je suis libre de contacter à ma guise l'équipe de recherche afin d'obtenir des informations complémentaires relative à cette étude.

Responsable principal de l'étude

Jean-Luc Bloechle, PhD
Université de Fribourg
jean-luc.bloechle@unifr.ch



Date : _____

Signature de l'expérimentateur

Signature du participant

Déroulement de l'expérience

Vous allez participer à une expérience de réalité virtuelle. Vous serez muni(e) d'un gant que vous enfilerez sur votre main forte ainsi qu'un visiocasque que vous devrez ajuster afin qu'il tienne tout au long de l'expérience.

Une fois le gant enfilé, nous procéderons à un calibrage afin que votre main virtuelle soit placée correctement dans votre champ de vision.

Lorsque vous aurez le casque sur les yeux, vous verrez apparaître 2 objets. Une balle violette se trouvant à 5 mètres de vos yeux, ainsi qu'un bouton bleu situé à proximité. Vous devrez vous placer de telle manière à ce que la paume de votre main, à la verticale, soit à une distance d'environ 10 cm du bouton bleu. Ensuite, vous pourrez vous positionner de manière agréable. Nous vous prions de ne pas / peu bouger votre tête durant l'expérience afin que les données soient le plus précises possibles.

Lorsque vous appuierez sur le bouton bleu à l'aide de votre main virtuelle, la tâche commencera. A ce moment-là, la balle de tennis deviendra bleue. Toutefois, elle ne sera pas encore en train de se déplacer.

Vous effectuerez 2 sessions différentes dans un ordre que l'expérimentateur vous donnera.

- Une session « Go » dans laquelle toutes les balles bleues deviennent jaunes une fois en mouvement. Lorsqu'elles deviennent jaunes, vous devez essayer de les intercepter avec votre main virtuelle. Celle-ci reproduit les mouvements que vous effectuez avec votre bras droit. Durant cette session, vous avez un total de 100 lancers à intercepter. Dans le cas où vous réussissez à intercepter la balle, vous entendrez un bruit de balle de tennis frappée. Dans le cas contraire, il n'y aura aucun indicateur sonore. Pour démarrer un lancer, vous devez à chaque fois appuyer sur le bouton bleu afin de changer la couleur de la balle (violette à bleue).
- Une session « Go / No-Go » dans laquelle les balles bleues deviennent soit jaunes, soit rouges, une fois en mouvement. Pour les balles jaunes, vous devez, comme pour la session « Go », tenter d'intercepter les balles. Si la balle de tennis devient rouge, alors vous devez faire en sorte que la balle ne rentre pas en collision avec votre main virtuelle. Là aussi, l'indice sonore se manifestera seulement s'il y a un impact entre votre main virtuelle et l'objet mobile. Dans cette session, vous avez un total de 200 lancers aléatoires : 100 d'entre eux seront jaunes et les 100 autres seront rouges.

Si quelque chose n'est pas clair, vous pouvez poser vos questions à l'expérimentateur. Dans le cas contraire, vous pouvez compléter les informations ci-dessous et vous diriger dans le laboratoire de capture de mouvement.

Nom : _____ Âge : _____ Sport pratiqué : _____

Prénom : _____ Sexe : _____ Main forte : _____

Annexe 3. Informations personnelles des participants utiles à notre étude

Sujet	Numéro / Session 1 / 2	Main forte	Age	Sexe	Sport pratiqué	Habileté ouverte/fermée	1ère session	2ème session
1.	7 / 31 / 32	Droite	23	F	Athlétisme	Fermée	Go	Go / No-Go
2.	8 / 33 / 34	Droite	23	F	Judo	Ouverte	Go / No-Go	Go
3.	9 / 35 / 36	Droite	23	H	Football	Ouverte	Go	Go / No-Go
4.	11 / 41 / 42	Droite	22	H	Tennis	Ouverte	Go / No-Go	Go
5.	12 / 44 / 45	Droite	22	H	Ski	Fermée	Go	Go / No-Go
6.	13 / 47 / 48	Droite	23	H	Athlétisme	Fermée	Go / No-Go	Go
7.	14 / 49 / 50	Droite	26	H	Football	Ouverte	Go	Go / No-Go
8.	16 / 53 / 54	Droite	25	H	Ski	Fermée	Go / No-Go	Go
9.	17 / 55 / 56	Droite	27	H	Basketball	Ouverte	Go	Go / No-Go
10.	18 / 57 / 58	Droite	19	H	Cyclisme	Fermée	Go / No-Go	Go
11.	19 / 60 / 61	Droite	25	H	Tennis	Ouverte	Go	Go / No-Go
12.	10 / 38 / 39	Droite	31	H	Escalade	Fermée	Go / No-Go	Go
13.	20 / 62 / 63	Droite	24	F	Course à pied	Fermée	Go	Go / No-Go
14.	21 / 67 / 69	Gauche	25	H	Agrès	Fermée	Go	Go / No-Go
15.	22 / 70 / 71	Droite	27	H	Football	Ouverte	Go	Go / No-Go
16.	23 / 72 / 73	Droite	27	F	Course à pied	Fermée	Go / No-Go	Go
17.	25 / 76 / 77	Gauche	27	H	Tennis de table	Ouverte	Go / No-Go	Go
18.	24 / 74 / 75	Droite	27	F	Course à pied	Fermée	Go	Go / No-Go
19.	26 / 78 / 79	Gauche	27	H	Tennis de table	Ouverte	Go / No-Go	Go
20.	28 / 83 / 84	Droite	22	H	Football	Ouverte	Go / No-Go	Go
21.	27 / 81 / 82	Droite	25	F	Equitation	Fermée	Go	Go / No-Go
22.	15 / 51 / 52	Droite	24	H	Football	Ouverte	Go / No-Go	Go

Remerciements

Je souhaite remercier mon référent, le Professeur Jean-Pierre Bresciani, ainsi que mon conseiller, le Docteur Jean-Luc Bloechle, sans qui je n'aurais pas pu réaliser cette étude et écrire ce travail. Leur disponibilité, leur bienveillance, leur connaissance ainsi que leurs conseils aiguisés m'ont permis d'atteindre les délais fixés.

Je suis également reconnaissant envers les 22 participants de m'avoir consacré du temps et d'être venu dans les laboratoires de l'université de Fribourg afin de participer à cette recherche. Leur disponibilité m'a fait gagner un temps précieux durant les temps de passations.

Je souhaite finalement remercier les personnes qui m'ont relu, Quentin et Baptiste, pour leur lecture appliquée.