

VirtualBall : exercices de préhension dans un environnement virtuel.

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

déposé par

Bastien Brunner

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 2024

Remerciements

Je remercie sincèrement mon référent, le Professeur Jean-Pierre Bresciani, ainsi que mon conseiller, le Docteur Jean-Luc Bloechle, sans qui la réalisation de cette étude et la rédaction de ce mémoire n'auraient pas été possibles.

Leur disponibilité, leurs conseils, leur patience et leurs connaissances m'ont grandement accompagné et aidé à la finalisation de cette étude dans le temps imparti. J'ai notamment pu compter sur eux lors de problèmes indésirables de l'expérience pour me permettre de passer mes sujets dans les meilleures conditions possibles.

Je souhaite également remercier les 24 personnes qui ont pris le temps de venir réaliser mon expérience dans les laboratoires de l'université de Fribourg. Leur flexibilité m'ont permis d'organiser au mieux mes journées d'expérience et ainsi gagner un temps précieux.

Je souhaite finalement remercier Jessie qui a contribué de près à ce travail en accordant de son temps pour une relecture attentive du présent document, ainsi que les personnes qui ont contribué de plus loin en me soutenant et me motivant dans les moments plus délicats.

Résumé

Ce travail porte sur l'habileté d'anticipation coïncidence dans le sport, comparant les performances de personnes pratiquant des sports nécessitant des réponses rapides (e.g., tennis, badminton) avec celles pratiquant des sports moins exigeants en termes de réactivité (e.g., course, gymnastique). La technologie de réalité virtuelle (VR) et la capture de mouvement ont été utilisées pour mesurer les capacités d'inhibition et de réaction des sujets.

L'objectif de cette étude est de déterminer le délai visuomoteur nécessaire pour intercepter une balle dans l'espace péri-personnel et de voir si ce délai varie en fonction des conditions de prise de décision et du type de sport pratiqué.

L'étude a impliqué 24 participants répartis en deux groupes selon leur pratique sportive. Chaque participant a effectué deux types de tâches en réalité virtuelle : une condition « Go » (interception de balles) et une condition « Go/No-Go » (interception de balles jaunes et évitement de balles rouges).

Les résultats ont montré que les performances maximales étaient meilleures en condition « Go » par rapport à la condition « Go/No-Go ». Les participants pratiquant des sports requérant l'habileté anticipation coïncidence ont obtenu de meilleures performances que ceux pratiquant des sports moins exigeants en termes de réactivité. Ces différences étaient statistiquement significatives. Ils confirment que la stabilité de la tâche et l'habileté spécifique au sport influencent les performances visuomotrices. Les participants ont réagi plus rapidement dans des conditions stables et ceux entraînés dans des sports nécessitant une anticipation coïncidence ont montré des délais visuomoteurs plus courts.

Des améliorations méthodologiques futures pourraient inclure l'utilisation de la réalité augmentée et des tests prolongés pour évaluer l'impact à long terme de l'entraînement en réalité virtuelle.

Table des matières

1 Introduction	5
1.1 Thématique de l'étude	5
1.2 Anticipation coïncidence	6
1.3 Réalité virtuelle dans le sport	8
1.4 Tâche « Go/No-Go »	9
1.5 Feed-back	11
1.6 Différentes habiletés	12
1.7 Études antérieures en lien avec l'habileté anticipation coïncidence	13
1.8 Objectif du travail	14
2 Méthode	16
2.1 Description de l'échantillon	16
2.2 Design de l'étude	16
2.3 Matériel	20
2.4 Analyse statistiques des données	23
3 Résultats	24
3.1 Comparaison des performances maximales	24
4 Discussion	28
4.1 Rapport aux objectifs de l'étude	28
4.2 Rapport à la littérature	30
4.3 Limites	31
4.4 Améliorations	32
5 Conclusion	33
Bibliographie	34
Annexe	38

1 Introduction

1.1 Thématique de l'étude

Ce travail se penche sur l'habileté anticipation coïncidence. Il cherche à comparer des personnes ayant l'habitude de pratiquer cette habileté dans leur sport, notamment dans les sports où des réponses et des mouvements rapides sont demandés (e.g., badminton, tennis, gardien de but, etc.) face à des personnes qui pratiquent un sport nécessitant moins ou pas cette habileté (e.g., course, gymnastique aux agrès, équitation, etc.). Cette comparaison est réalisée à l'aide de la réalité virtuelle et de la capture de mouvement.

Depuis plusieurs années, l'apparition de la technologie permet de découvrir des univers auparavant inaccessibles. La réalité virtuelle a pour but de permettre, à une personne, une activité sensori-motrice et cognitive dans un monde numérique artificiel qui peut être imaginaire ou une simulation de certains aspects du monde réel (Fuchs et al., 2006). L'introduction de cette technologie touche beaucoup de domaines variés. Elle s'applique notamment dans les domaines de la santé, de l'industrie, de l'éducation et de l'architecture (Arnaldi et al., 2018). La réalité virtuelle est également bien implantée dans le domaine du sport. Son application dans un entraînement sportif peut permettre des gains de résultats non négligeables. Faure et al. (2020) ont prouvé que l'utilisation de la réalité virtuelle, par exemple, dans les sports collectifs, étaient bénéfiques.

Par conséquent, la réalité virtuelle est utilisée dans cette étude pour mettre les sujets en situation d'exercice de préhension. La capture de mouvement sera, quant à elle, couplée à la réalité virtuelle pour permettre de mesurer le seuil d'inhibition et de réaction d'une personne habituée à exercer ce genre de mouvement dans son sport et d'une personne n'ayant pas l'habitude de ces mouvements de préhension réflexes. Les sujets devront réaliser une tâche de type « Go/No-Go » et recevront un feedback auditif direct.

Les résultats peuvent déterminer si l'habitude de pratiquer tels mouvements dans sa discipline sportive engendre ou non des différences significatives. De plus, ils peuvent aider à la conception d'exercices entraînant l'habileté anticipation coïncidence afin de les proposer aux personnes désirant s'améliorer dans ce domaine.

1.2 Anticipation coïncidence

1.2.1 Définition

L'anticipation coïncidence est une compétence essentielle dans de nombreux sports. Elle est définie par la capacité d'un athlète à prévoir le moment et l'endroit exacts où un objet en mouvement arrivera, permettant ainsi une action synchronisée et précise. Selon Belisle (1963), l'anticipation consiste à prédire un événement futur basé sur des indices à l'instant « T », tandis que la coïncidence permet aux sportifs de se positionner correctement pour frapper une balle ou éviter un coup. Schmidt et Lee (2019) expliquent, eux, que cette compétence combine l'anticipation, la capacité à prédire un événement futur basé sur des indices actuels, ainsi que la coïncidence, à savoir la synchronisation d'une action avec l'arrivée d'un stimulus. Cette habileté est cruciale dans des disciplines telles que le tennis, le badminton, le baseball et le cricket, où les joueurs doivent réagir rapidement à des stimuli externes. En tennis par exemple, Benguigui et Ripoll (1998) ont démontré que les enfants pratiquant ce sport ont de meilleures performances dans les tâches d'anticipation coïncidence que ceux qui ne le pratiquent pas. Le tennis fait partie de ces activités sportives qui ne laissent souvent qu'un laps de temps très court au joueur pour organiser ses réponses motrices (Crognier & Féry, 2007). Cependant, ce n'est pas le seul sport à nécessiter et développer cette habileté. En effet, les différents gardiens de but doivent également optimiser leur anticipation coïncidence pour performer (Belisle, 1963). Ils font régulièrement face à des situations qui requièrent cette compétence, leur permettant de savoir où se positionner pour pouvoir intercepter la balle avec leur corps (Debanne, 2003).

Au niveau de l'expérience sportive, Abernethy (1987) souligne, dans son étude sur les sports de balle rapide, que les athlètes experts montrent une utilisation avancée des indices pour anticiper les mouvements de la balle, ce qui distingue leur performance de celle des novices. De plus, Williams et Ford (2008) mettent en lumière comment l'anticipation coïncidence contribue à l'efficacité des athlètes de haut niveau. Une différence peut donc intervenir en fonction du niveau et de l'expérience des sportifs.

Pour les performances sportives, Akpinar et al. (2012) ajoutent que cette compétence représente la fusion de deux aspects principaux : anticiper la trajectoire de la balle et coordonner les mouvements du sportif pour frapper la balle avec précision et rapidité. Ainsi, le développement de l'anticipation coïncidence est un facteur déterminant dans la performance sportive, permettant aux athlètes d'optimiser leur réactivité et leur précision. En somme, l'anticipation coïncidence est une habileté indispensable dans de nombreux sports, aidant les athlètes à améliorer leur performance grâce à une meilleure prédiction et synchronisation de leurs actions. Dans notre

étude, nous allons travailler sur cette habileté. Les sujets auront la tâche de déplacer leurs mains pour que celles-ci se trouvent sur la trajectoire d'un objet arrivant dans leur direction.

1.2.2 Historique

L'origine de l'étude de l'anticipation coïncidence dans le sport remonte à la recherche sur la perception et la motricité, des domaines clés en psychologie du sport et en sciences de l'exercice. L'intérêt pour cette compétence a émergé avec les travaux pionniers de chercheur·e·s en psychologie cognitive et en sciences du mouvement, qui ont tenté de saisir comment les athlètes perçoivent et réagissent aux stimuli dynamiques dans des environnements sportifs complexes. Parmi les premiers travaux notables, Schmidt (1991, repris par Schmidt & Lee, 2019) a introduit des concepts fondamentaux sur le contrôle moteur et l'apprentissage explorant comment les individus apprennent et exécutent des tâches motrices complexes, y compris l'anticipation des événements futurs. L'accent a été mis sur la capacité des athlètes à traiter rapidement les informations visuelles et à ajuster leurs mouvements en conséquence, un aspect central de l'anticipation coïncidence. En outre, les recherches d'Abernethy (1987) ont été déterminantes pour comprendre les différences entre les novices et les experts dans les sports de balle rapide. Dans son étude, Abernethy (1987) a démontré que les athlètes experts utilisent des indices visuels avancés, tels que la position d'un adversaire ou l'angle d'une raquette, pour anticiper la trajectoire et le timing des balles, une capacité essentielle pour une performance optimale. Le concept a été approfondi par les travaux de Williams et Ford (2008), où ils ont examiné comment l'anticipation et la coïncidence sont développées et raffinées chez les athlètes de haut niveau. Leur recherche a mis en évidence l'importance de l'expérience et de l'entraînement dans le développement de ces compétences. Ces études ont établi les fondements de la compréhension actuelle de l'anticipation coïncidence, montrant qu'il s'agit d'une compétence apprise et perfectionnée par la pratique et l'expérience, et qu'elle joue un rôle crucial dans la performance sportive. Dans notre étude, nous pourrions analyser si l'expérience sportive joue un rôle dans les capacités à intercepter une balle en mouvement.

1.2.3 Une habileté multidimensionnelle

L'habileté d'anticipation coïncidence repose sur une intégration complexe de processus cognitifs, perceptuels et physiques, essentiels pour optimiser les performances athlétiques. Diverses recherches ont mis en évidence l'importance de cette intégration multidimensionnelle. Abernethy (1991) a souligné la pertinence des stratégies de recherche visuelle dans ce processus. Ces tactiques permettent aux athlètes de capter et d'utiliser des indices visuels cruciaux pour

prédire les mouvements futurs de leurs adversaires ou des objets en mouvement. Par conséquent, en scrutant l'environnement et en identifiant les signaux visuels pertinents, les athlètes peuvent anticiper les actions à venir et ajuster leurs réponses en conséquence (Abernethy, 1991). Williams et Davids (1998) ont démontré que la mémoire à long terme et l'expérience jouent également un rôle crucial dans l'anticipation coïncidence. Grâce à leur expérience, les athlètes peuvent comparer les situations actuelles à des expériences antérieures, ce qui leur permet de prévoir les actions futures de manière plus précise. Cette capacité de faire des comparaisons avec des expériences passées améliore significativement leur aptitude à anticiper les mouvements. Cela se rapproche des constatations faites dans les chapitres précédents. De ce fait, l'expérience joue un rôle dans les compétences à prédire les trajectoires d'un objet en mouvement par exemple. Raab et Johnson (2007) ont, quant à eux, mis en lumière la capacité des athlètes à automatiser des réponses, ce qui facilite une prise de décision rapide et efficace. L'automatisation permet aux athlètes de réagir de manière quasi instantanée à des situations familières sans nécessiter une réflexion consciente prolongée, ce qui est particulièrement crucial dans des sports à haute intensité et à rythme rapide. Sur le plan physique, Schmidt et Lee (2019) ont démontré que l'entraînement améliore les réflexes et la coordination musculaire. Un entraînement rigoureux permet aux athlètes de développer une réponse physique rapide et précise, essentielle pour des performances optimales. De plus, Zatsiorsky et al. (2020) ont souligné l'importance du conditionnement physique pour maintenir des performances élevées et résister à la fatigue. Un bon conditionnement physique permet aux athlètes de conserver un haut niveau de performance tout au long de la compétition, malgré la fatigue accumulée. La synergie entre la perception visuelle, la mémoire, l'automatisation des réponses et le conditionnement physique est essentielle pour que les athlètes puissent optimiser leurs performances de manière efficace et précise. Cette intégration multidimensionnelle permet une anticipation et une coïncidence améliorées, fournissant un avantage compétitif crucial dans les sports d'élite. Ces paramètres seront des points centraux de notre étude.

1.3 Réalité virtuelle dans le sport

Bien que la réalité virtuelle soit apparue récemment, elle est déjà couramment utilisée pour l'analyse de la performance et l'entraînement technique des athlètes. Typiquement, des simulateurs de golf, en réalité virtuelle, sont utilisés pour permettre aux golfeurs d'améliorer leur technique et leur précision sans avoir à se rendre sur un parcours réel. De même, des applications de réalité virtuelle sont développées pour d'autres sports tels que le basketball, le tennis et le baseball, permettant aux athlètes de travailler sur des compétences spécifiques dans un

environnement virtuel. Le sujet a également, déjà, fait l'objet de nombreuses études. Plusieurs études ont montré que l'utilisation de la réalité virtuelle peut améliorer les compétences cognitives et la prise de décision des athlètes. Par exemple, Shimi et al. (2021) ont examiné l'effet de la réalité virtuelle sur la perception et la prise de décision des gardiens de but de football. Les résultats ont montré une amélioration significative de la performance des gardiens de but, après un entraînement en réalité virtuelle, suggérant que cela pourrait être un outil efficace pour développer les compétences cognitives dans le sport. La réalité virtuelle est également utilisée dans la réhabilitation et la récupération des blessures sportives. Des études ont démontré que l'utilisation de la réalité virtuelle peut aider les athlètes à récupérer plus rapidement en fournissant un environnement contrôlé pour la réadaptation. Elaraby et al. (2023) ont examiné l'efficacité de la réalité virtuelle dans la rééducation des blessures au genou. Là-aussi, l'utilisation de la réalité virtuelle s'est montrée bénéfique. Les résultats ont montré que son utilisation dans le cadre de la thérapie physique peut améliorer la force musculaire et la fonction articulaire chez les patients en rééducation (Elaraby et al., 2023). La réalité virtuelle est également employée pour la préparation mentale et la gestion du stress avant les compétitions. Des environnements virtuels peuvent être créés pour simuler des situations de compétition et aider les athlètes à se familiariser avec des scénarios stressants. Stinson et Bowman (2014) ont par exemple montré que l'utilisation de la réalité virtuelle pour la préparation mentale peut aider les athlètes à améliorer leur concentration, leur confiance en soi et leur résilience face à la pression de la compétition. Ainsi, la recherche sur l'utilisation de la réalité virtuelle dans le sport suggère qu'elle peut être un outil efficace pour améliorer les compétences cognitives, la réhabilitation des blessures, l'analyse de la performance et la préparation mentale des athlètes. Cependant, l'utilisation de celle-ci est encore relativement récente. Des recherches supplémentaires sont sans doute en cours de réalisation pour mieux comprendre les applications spécifiques de la réalité virtuelle dans différents sports et les effets à long terme de son utilisation. Dans notre étude, nous utiliserons la réalité virtuelle pour mettre les sujets en situation d'exercices de préhension tout en contrôlant l'environnement dans lequel ils se trouveront. De plus, nous la couplerons à une autre technologie, à savoir la capture de mouvement, permettant de mesurer les temps de réaction et d'inhibition.

1.4 Tâche « Go/No-Go »

Les participant·e·s à cette étude devront réaliser une tâche de type « Go/No-Go ». Une tâche « Go/No-Go » est une méthode couramment utilisée en psychologie pour évaluer l'inhibition et le contrôle des impulsions chez les individus (Wiebe et al., 2012). Dans ce type de tâche, les

participants sont présentés avec une série de stimuli et doivent répondre uniquement à certains d'entre eux, tout en inhibant leurs réponses à d'autres. Dans une tâche « Go/No-Go » typique, les participants sont généralement instruits pour répondre rapidement (par exemple en appuyant rapidement sur un bouton) lorsqu'un type de stimulus spécifique apparaît (appelé le stimulus « Go »), mais ils doivent s'abstenir de répondre lorsque d'autres types de stimuli sont présentés (appelés les stimuli « No-Go ») (Jeanningros et al., 2008). Cette distinction entre les stimuli « Go » et « No-Go » crée un conflit cognitif pour les participants, les obligeant à inhiber leur réponse automatique à certains stimuli.

Dans le domaine du sport, les tâches Go/No-Go sont devenues un outil d'évaluation cognitif de plus en plus utilisé pour évaluer les capacités des athlètes à maintenir leur concentration et à prendre des décisions rapides et précises sous pression. Des études telles que celle menée par Verburgh et al. (2016) ont démontré l'applicabilité de ces tâches dans le contexte sportif, soulignant leur utilité pour évaluer l'inhibition des réponses impulsives chez les athlètes. Les chercheurs ont observé que les athlètes ayant des performances supérieures dans les tâches « Go/No-Go » étaient souvent ceux qui avaient une meilleure capacité à inhiber leurs réponses impulsives, ce qui suggère un lien entre ces compétences cognitives et les performances sportives (Verburgh et al., 2016). Les tâches « Go/No-Go » sont également utilisées pour mesurer la réactivité et la précision des athlètes dans la prise de décisions, des aspects cruciaux dans de nombreux sports. Des travaux de recherche tels que ceux menés par Hüttermann et al. (2014) ont exploré la corrélation entre les performances dans ces tâches et la capacité des athlètes à réagir rapidement et précisément aux stimuli pertinents tout en inhibant leurs réponses aux stimuli non pertinents. Ces études ont mis en évidence l'importance de la capacité des athlètes à maintenir leur concentration et à faire des choix éclairés lors de la compétition. De plus, les tâches « Go/No-Go » peuvent être utilisées pour identifier les troubles cognitifs ou les déficits d'attention chez les athlètes, ce qui pourrait avoir des implications importantes pour leur performance sportive. Des recherches comme celles menées par Moser et al. (2005) ont scruté l'effet des commotions cérébrales sur l'inhibition des réponses chez les athlètes, mettant en lumière les déficits potentiels qui pourraient affecter leur performance après une blessure. Enfin, les tâches « Go/No-Go » peuvent également être intégrées dans des programmes d'entraînement cognitif pour aider les athlètes à améliorer leurs compétences cognitives et leur performance sportive. Des études comme celle menée par Faubert (2013) ont exploré l'efficacité de ces programmes pour renforcer la concentration, la réactivité et l'inhibition des réponses chez les athlètes, ouvrant la voie à de nouvelles approches pour optimiser la performance sportive par le biais de l'entraînement cognitif. Dans notre étude, les participants devront inhiber leurs

réponses motrices à la vue d'une balle rouge. En revanche, à la vue d'une balle jaune, ils devront réagir en essayant de l'intercepter. L'utilisation de la tâche « Go/No-Go » nous permettra de comparer le seuil d'inhibition des sujets et de les confronter entre eux par rapport à la discipline sportive pratiquée.

1.5 Feed-back

Le feed-back, en science du sport, est largement étudié pour son potentiel à améliorer la performance des athlètes. Magill et Anderson (2012) ont montré que le feed-back concurrent – fourni pendant l'exécution de la tâche – et terminal – fourni après l'exécution –, en particulier lorsqu'il est qualitatif – fournissant des informations sur la qualité du mouvement –, sont bénéfiques pour l'apprentissage des compétences sportives, surtout pour les débutants. Winstein (1991), à travers une méta-analyse, a révélé que le feed-back immédiat peut améliorer la précision et la consistance des performances motrices. Cependant, un excès de feed-back peut induire une dépendance, réduisant ainsi la capacité de l'athlète à performer sans guidance externe (Winstein, 1991). Hodges et Franks (2002) ont démontré que le feed-back vidéo en temps réel permet aux athlètes de corriger plus efficacement leurs erreurs techniques, conduisant à une amélioration significative des performances par rapport au feed-back verbal ou à l'absence de feed-back. Salmoni et al. (1984) ont souligné l'importance des connaissances des résultats (KR) en tant que forme de feed-back dans l'apprentissage des compétences motrices. Ils ont trouvé que la KR, lorsqu'elle est fournie de manière précise et opportune, peut considérablement améliorer la performance et l'apprentissage des compétences. Cependant, trop de KR peut être contre-productive. De ce fait, il est crucial de trouver un équilibre entre la fréquence et la qualité du feed-back. Enfin, Williams et Hodges (2005) ont examiné divers types de technologies de feed-back en temps réel, telles que les capteurs de mouvement et les applications numériques, et ont conclu que ces technologies peuvent améliorer substantiellement la précision, la vitesse et l'efficacité des mouvements sportifs. Ces technologies permettent une personnalisation du feed-back, optimisant ainsi l'apprentissage et la performance des athlètes (Williams & Hodges, 2005). Ces études indiquent que le feed-back est un outil puissant pour améliorer la performance sportive, mais qu'il doit être utilisé de manière stratégique et adaptée aux besoins individuels des athlètes. Une gestion adéquate de la quantité et de la qualité du feed-back est essentielle pour éviter une dépendance excessive et pour promouvoir l'autonomie de l'athlète. Le feed-back, qu'il soit visuel, verbal ou basé sur des capteurs, permet aux athlètes de corriger leurs erreurs en temps réel, d'ajuster leurs techniques et de renforcer les mouvements corrects, ce qui est capital pour l'optimisation de la performance sportive. Dans notre étude, un feedback auditif direct sera transmis

aux sujets. En effet, un son de balle de tennis frappée retentira lorsque le sujet interceptera une balle. À l'inverse, si l'interception n'est pas réussie, aucun son ne sera produit. Les sujets auront donc un retour direct sur leur performance leur permettant de connaître leurs mouvements correctement réalisés.

1.6 Différentes habiletés

L'habileté d'anticipation coïncidence est cruciale dans de nombreux sports où les athlètes doivent prédire la trajectoire d'un objet en mouvement ou les actions d'un adversaire, puis ajuster leurs mouvements en conséquence. Cette compétence est particulièrement importante dans des sports tels que le tennis, le baseball et le badminton (Davids et al., 2005), où les joueurs doivent évaluer rapidement les situations de jeu pour réagir de manière appropriée. Par exemple, dans le tennis, les joueurs doivent anticiper la direction et la vitesse de la balle frappée par l'adversaire pour se positionner correctement et répondre efficacement (Abernethy, 1991). En effet, la capacité à lire le jeu et à se préparer à l'impact de la balle est essentielle pour exécuter des coups précis et rester compétitif. En revanche, certains sports, tels que l'athlétisme, la natation et la gymnastique, mettent davantage l'accent sur la force, l'endurance et la technique, plutôt que sur l'anticipation de mouvements imprévisibles (Schmidt & Lee, 2019). Dans ces disciplines, les mouvements des athlètes sont généralement autonomes et ne nécessitent pas de réaction immédiate à des stimuli externes dynamiques. Par exemple, en natation, les nageurs se concentrent sur la perfection de leurs mouvements, la régularité de leur rythme et leur condition physique pour améliorer leurs performances, sans avoir à réagir à des changements soudains dans l'environnement (Schmidt & Lee, 2019). Ainsi, la distinction entre ces types de sports repose principalement sur la nature des compétences motrices requises : les sports nécessitant l'anticipation coïncidence demandent une réactivité et une adaptation rapides à des variables en constante évolution, tandis que les autres sports se concentrent sur des performances techniques et physiques sous contrôle stable (Magill & Anderson, 2010). Cette différence fondamentale influence la manière dont les athlètes s'entraînent et se préparent pour les compétitions. Notre étude se basera sur ces distinctions pour différencier les sports pratiqués par les sujets. La moitié des sujets pratiquera des sports nécessitant prioritairement l'habileté d'anticipation coïncidence, tels que le badminton, le tennis et le tennis de table. L'autre moitié des sujets pratiquera des sports ne nécessitant pas principalement cette habileté, comme la gymnastique aux agrès, la course à pied et le triathlon. Cette approche comparative nous permettra d'examiner comment différents types de compétences motrices influencent la performance et le développement des athlètes dans une situation donnée.

1.7 Études antérieures en lien avec l'habileté anticipation coïncidence

L'habileté d'anticipation coïncidence est essentielle dans de nombreuses disciplines sportives et activités nécessitant une synchronisation précise des mouvements avec des stimuli externes. Elle a fait l'objet de diverses études académiques comme déjà mentionné ci-avant. Ces recherches visent à comprendre comment les individus perçoivent, traitent et réagissent aux stimuli temporels pour aligner leurs actions en conséquence.

Les travaux dans ce domaine, tels que ceux de Schmidt (1991), ont révélé que cette capacité repose fortement sur des processus cognitifs complexes, incluant la perception temporelle, la coordination motrice et l'expérience spécifique à la tâche. Des études récentes ont exploré l'impact de facteurs tels que l'âge, le niveau d'expertise et l'entraînement sur l'habileté d'anticipation coïncidence. Par exemple, il a été démontré que les athlètes de haut niveau possèdent une précision supérieure en raison de leur entraînement intensif et répétitif, qui affine leur synchronisation sensorimotrice (Abernethy & Wood, 2001). Davids et al. (2005) ont approfondi cette question en démontrant que l'expérience spécifique à la tâche améliore la capacité d'anticipation grâce à une meilleure reconnaissance des patterns de mouvement et à une prise de décision plus rapide. Ceci est corroboré par les travaux de Starkes et Ericsson (2003), qui montrent que la pratique délibérée joue un rôle crucial dans le développement des compétences perceptuelles et décisionnelles nécessaires pour l'anticipation coïncidence. De plus, la recherche neurophysiologique a contribué à identifier les structures cérébrales impliquées dans cette habileté. Par exemple, Miall et al. (1993) ont mis en évidence le rôle du cervelet dans la coordination temporelle et motrice. D'autres études, comme celle de Tzvi et al. (2014), ont montré l'implication des cortex prémoteur et pariétal dans l'intégration sensorimotrice, soulignant l'importance de ces régions pour ajuster les actions en fonction des stimuli externes. Ces avancées offrent des perspectives prometteuses pour le développement d'interventions visant à améliorer cette compétence, tant pour les performances sportives que pour la réhabilitation neuromotrice (Schmidt et al., 2018). Plus récemment, Brumeaud (2023) s'est penché sur le sujet en analysant le délai visuomoteur nécessaire pour pouvoir intercepter une balle avec la main forte, si celui-ci était altéré lorsque les conditions de prise de décision changent et s'il était variable en fonction de l'expérience sportive spécifique du sujet. Les résultats n'ont pas démontré de différence significative lors de l'ajout à la tâche d'un processus de décision (Brumeaud, 2023). En revanche, lorsqu'il a comparé la performance maximale entre le groupe « sport de balle » et le groupe « autre » il a remarqué une différence significative au niveau des performances réalisées. Il y a donc un effet lié à l'expérience sportive spécifique. Il affirme que la pratique sportive dans un

sport à habileté ouverte est associée à un délai visuomoteur plus court comparé aux sports à habileté fermée (Brumeaud, 2023).

Notre étude fait suite à ce travail. En effet, nous allons étudier les mêmes paramètres en incluant des différences au niveau de l'expérience, des sujets et de l'environnement virtuel. Nous allons pouvoir mettre en corrélation nos résultats pour affiner la recherche et tendre vers une qualité de tests optimale.

1.8 Objectif du travail

Les chercheur·e·s de l'Université de Fribourg s'engagent dans le développement d'un programme novateur d'entraînement en réalité virtuelle visant à perfectionner l'habileté d'anticipation coïncidence. Cette habileté, cruciale dans de nombreuses situations de la vie quotidienne, professionnelle et surtout sportive, nécessite une coordination précise entre les perceptions visuelles et les réponses motrices. Dans cette étude, nous allons déterminer le délai visuomoteur requis pour intercepter avec succès un objet en mouvement dans l'espace péri-personnel, lors d'une tâche de préhension avec les deux bras. Cette exploration vise également à évaluer la flexibilité de ce délai, c'est-à-dire sa capacité à être modifié par un entraînement spécifique. Pour atteindre ces objectifs, les participants seront engagés dans une tâche complexe de type « Go/No-Go », qui sollicite à la fois leurs capacités d'anticipation et leur contrôle moteur. Dans cette mission, les devront réagir rapidement en interceptant ou en évitant une balle de tennis lancée dans un environnement virtuel, en fonction de sa couleur, jaune ou rouge. Cette demande de réponse rapide et précise mettra à l'épreuve leur capacité à anticiper le mouvement de l'objet et à ajuster leur réponse en conséquence. Afin de maximiser l'immersion et la concentration des participants dans la tâche, un visiocasque sera utilisé pour créer un environnement virtuel épuré, exempt de distractions extérieures. Cette approche nous permettra d'obtenir des données fiables et précises, en minimisant les interférences potentielles qui pourraient fausser les résultats. Il est également essentiel que les participants limitent leurs mouvements, en particulier ceux de la tête, pour garantir la qualité des données enregistrées. Le but étant de bouger uniquement les deux bras pour intercepter/esquiver la balle avec la main choisie.

Les questions auxquelles cette étude cherche à répondre sont les suivantes :

- a) Quel est le délai visuomoteur nécessaire pour intercepter une balle dans l'espace péri-personnel ?

- b) Le délai est-il modifié lorsque les conditions de prise de décision changent (« Go » vs « Go/No-Go ») ?
- c) Le délai varie-t-il en fonction des habiletés requises dans l'activité sportive pratiquée ?

Pour répondre scientifiquement à ces questions, 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 », c'est-à-dire lorsqu'un processus de décision s'ajoute à la tâche de base.
2. Les sujets pratiquant une discipline sportive nécessitant principalement l'habileté anticipation coïncidence (e.g., tennis de table, tennis, badminton) sont associés à un délai visuomoteur plus court comparé aux sujets pratiquant d'autres disciplines sportives requérant principalement d'autres habiletés (e.g., gymnastique aux agrès, course à pied, triathlon).

2 Méthode

2.1 Description de l'échantillon

Pour réaliser cette étude, 24 sujets ont été réquisitionnés. Ces 24 personnes étaient âgées de 18 ans à 29 ans (M=24). 16 hommes et 8 femmes étaient représentés. Les participant·e·s ont été sélectionné·e·s selon un critère principal, à savoir si le sport pratiqué requérait principalement l'habileté anticipation coïncidence ou non et séparé·e·s en deux groupes selon celui-ci. Le premier groupe était composé de 12 personnes qui pratiquaient un sport qui requiert l'habileté anticipation coïncidence. Le deuxième regroupait 12 personnes qui pratiquaient un sport nécessitant d'autres habiletés en priorité, comme mentionné dans le chapitre 1.6. Le premier groupe (anticipation coïncidence) était composé d'1 femme et d'11 hommes. Parmi ces personnes 2 étaient gauchères et les 10 autres étaient droitères. Dans le second groupe (autres habiletés), 7 femmes et 5 hommes dont 1 personne gauchère et 11 droitères étaient représentées.

Ces 24 personnes ont toutes été reçues séparément. Elles recevaient, en premier lieu, un formulaire de consentement (annexe 1) qu'elles devaient approuver en le datant et le signant. Ensuite, elles recevaient le protocole de l'expérience (annexe 2) sur lequel le déroulement était présenté. Puis, elles devaient fournir les informations demandées utiles à l'expérience, afin qu'elles soient saisies dans un document annexe (annexe 3). Des précisions pouvaient être demandées avant de se déplacer dans le laboratoire pour débiter l'expérience.

2.2 Design de l'étude

L'étude se composait de trois étapes succinctes. La première étape était administrative. Les participants recevaient deux documents qu'ils devaient lire, compléter et signer. La deuxième étape concernait les réglages. Les sujets devaient se rendre dans le laboratoire, enfiler deux gants équipés de capteurs et calibrer le matériel. Ils mettaient ensuite le casque pour réaliser un prétest : 10 lancers en condition « Go ». Cela permettait de régler les détails et de permettre aux personnes de découvrir l'environnement de l'étude. La dernière étape consistait en la réalisation des tests. Cette dernière était séparée en deux parties selon deux conditions : une condition « Go » et une condition « Go/No-Go ». La condition « Go » consistait à intercepter le plus de balles possibles. Pour ce faire, 100 balles étaient envoyées en direction de la personne testée. La condition « Go/No-Go » consistait à intercepter le plus de balles jaunes possible et à éviter le plus de balles rouges possible. Dans cette situation, 200 balles arrivaient en direction du sujet,

100 balles jaunes et 100 balles rouges partageaient aléatoirement. De plus, toutes les balles des deux conditions partageaient à 5 mètres du sujet.

Les sujets étaient assignés de manière aléatoire aux conditions. Ils débutaient soit avec la condition « Go » soit avec la condition « Go/No-Go », puis, réalisaient l'autre. Cependant, ils connaissaient à l'avance l'ordre des conditions dans lequel ils allaient être testés. Ce contrebalancement a été mis en place pour éviter certains biais possibles. En effet, la phase de prétest, qui était réalisée juste avant le début des tests, était en condition « Go ». Par conséquent, les participants auraient pu s'habituer rapidement à cette condition et réaliser de meilleurs résultats. De plus, si tout le monde débutait avec cette condition, il était possible qu'ils soient moins performants à la condition « Go/No-Go » qui requiert une inhibition et donc un changement conséquent par rapport à la condition « Go ». À l'inverse, si tous les participants débutaient avec la condition « Go/No-Go », il était possible qu'ils soient plus fatigués au moment de débiter la seconde condition. La condition « Go/No-Go » étant plus longue et demandant un effort supplémentaire avec l'inhibition à la vue des balles rouges. Par ailleurs, la fatigue pouvait également concerner la vision des participants. L'exercice en réalité virtuelle demande une certaine concentration. De plus, les yeux ne sont pas forcément habitués à se retrouver un long moment dans un environnement virtuel. C'est pour ces différentes raisons qu'il a été décidé de contrebalancer l'ordre de passation des sujets aux différentes conditions.

2.2.1 Étape administrative

Lors de leur arrivée, les participant·e·s étaient invité·e·s à prendre place afin de prendre connaissance des documents relatifs à l'expérience. Le premier document était le formulaire de consentement (annexe 1). Celui-ci consiste à présenter les modalités concernant l'utilisation des données du participant et à expliquer notamment qu'il était libre de partir à n'importe quel moment sans justificatif ni conséquence sous un délai donné. La personne approuvait sa participation en datant et en signant le document. Ensuite, il recevait le second document. Ce dernier présentait le déroulement de l'expérience (annexe 2). Il recevait toutes les informations concernant le matériel, le positionnement requis ainsi que les explications précises pour chaque condition. À la fin de celui-ci, le sujet était amené à remplir les données demandées. Il pouvait également poser toutes les questions qui restaient en suspens afin d'être prêt et concentré lors des tests.

2.2.2 Étape de réglages

L'étape des réglages consistait à enfiler le matériel, à le calibrer et à effectuer les 10 lancers prétest. Pour cela, les participants se rendaient dans le laboratoire de test. Ils étaient invités à enfiler une paire de gants muni de 5 capteurs pour le gant gauche et de 6 capteurs pour le gant droit. Une fois les gants mis, le calibrage a pu se faire grâce aux caméras de capture de mouvement. Pour ce faire, les participants devaient, successivement, poser leurs mains bien à plat au sol sur un repère défini, afin de créer leur rigid body permettant de représenter leur avatar correctement en trois dimensions dans le casque de réalité virtuelle. Ensuite, les sujets devaient installer le visiocasque correctement sur leur tête. Ils pouvaient le régler individuellement pour un confort optimal en s'aidant des trois lanières, tout en veillant à le positionner dans l'axe de leur vision. Un bouton virtuel était présent dans leur vision pour les aider à se positionner correctement dans l'espace. Celui-ci changeait de couleur en fonction du positionnement. Il était vert lorsque le positionnement était correct et jaune ou rouge lorsque le sujet était trop éloigné ou trop rapproché de celui-ci. Finalement, ils devaient réaliser les 10 lancers de prétest afin de trouver une position agréable et de se familiariser à la fois avec l'environnement et le matériel de l'expérience. Une fois les réglages terminés, les tests pouvaient commencer.

2.2.3 Condition « Go »

Les participant·e·s étaient immergé·e·s dans un environnement virtuel avec un ciel bleu à l'horizon et un sol vert représentant un terrain de gazon. Ils se tenaient face à un bouton (vert lorsque la position était correcte) et à 5m d'eux, se trouvaient une balle bleue, en position d'attente (figure 1). À noter que la balle avait une ombre sur le sol. Lorsqu'ils se sentaient prêts, ils appuyaient, avec la paume de la main choisie sur le bouton pour déclencher le lancer. À ce moment-là, la balle changeait de couleur et devenait jaune signifiant au sujet le départ imminent de la balle. Puis, la balle se mettait en mouvement en direction du sujet après un délai aléatoire généré par le logiciel. Les participants devaient alors essayer d'intercepter la balle avec une de leur main. Si la balle était interceptée en entrant en contact avec l'une des mains, un bruit de balle de tennis frappée retentissait dans la salle, signifiant au sujet la réussite du mouvement. Si la balle n'était pas interceptée, aucun bruit ne résonnait. Le sujet pouvait alors appuyer à nouveau sur le bouton pour générer le lancer suivant. Il devait répéter ce geste 100 fois jusqu'à la fin du test en condition « Go ». Les balles arrivaient à une vitesse comprise entre 2 m/s et 20 m/s. La vitesse de déplacement de la balle correspondait à un pourcentage : 100% pour 2 m/s et 0% pour 100 m/s. Plus la performance était bonne, plus le pourcentage réduisait. En d'autres termes, la vitesse de la balle dépendait de la performance des participants. Finalement, les

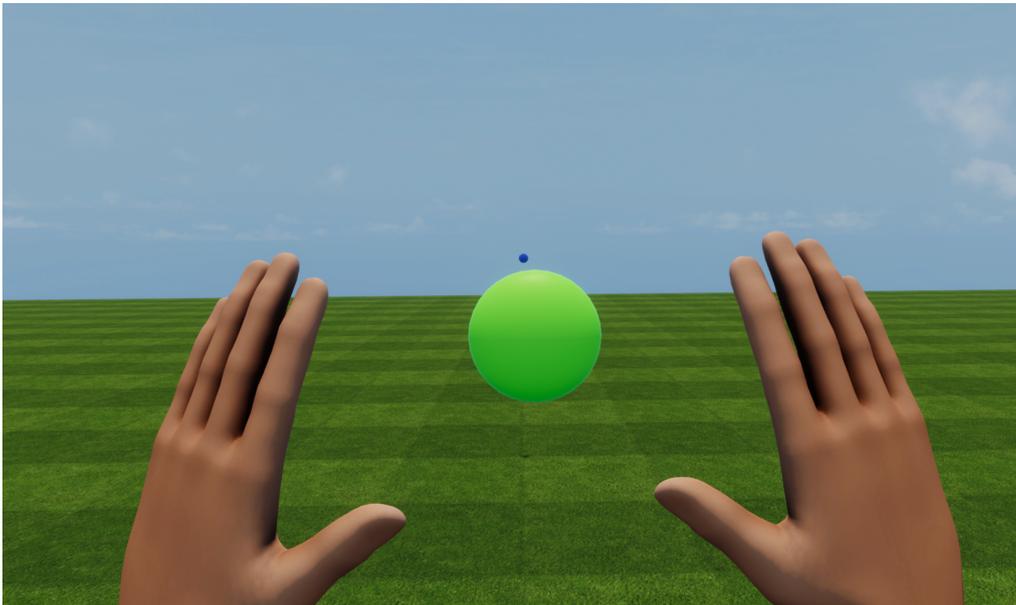
lancers arrivaient à des endroits générés aléatoirement par le logiciel. Cela pouvait être sur le corps, à gauche, à droite, en haut ou en bas et à des angles différents.

2.2.4 Condition « Go/No-Go »

En condition « Go/No-Go », l'environnement était le même qu'en condition « Go ». La position d'attente et les objets visibles dans le visiocasque étaient également pareils (figure 1). Les participants devaient, à nouveau, appuyer sur le bouton pour déclencher le lancer. La balle devenait également jaune pour signifier le départ imminent. La différence résidait au moment du départ de la balle. En effet, la balle changeait de couleur durant le trajet. Soit elle restait jaune et le sujet devait essayer de l'intercepter, soit elle devenait rouge et le sujet devait inhiber son mouvement et essayer d'éviter la balle. Le moment où la balle changeait de couleur était géré aléatoirement par le logiciel. De plus, la fréquence à laquelle les balles restaient jaunes ou devenaient rouges, était également aléatoire. En revanche, à la fin des 200 lancers (contre 100 lancers en condition « Go »), il y avait eu 100 balles jaunes et 100 balles rouges. La vitesse de la balle fonctionnait également de la même manière qu'en condition « Go ». C'est-à-dire que plus les sujets interceptaient des balles rouges, plus la vitesse diminuait et inversement, plus ils interceptaient des balles jaunes, plus la vitesse augmentait. Les endroits où arrivaient les balles étaient aussi les mêmes que dans la condition précédente et gérés aléatoirement par le logiciel. Finalement, l'indicateur sonore de balle de tennis frappée retentissait toujours lorsqu'une balle entrait en contact avec une main, autant pour les balles rouges que pour les balles jaunes.

Figure 1

Situation de départ



Note. Situation de départ en vue égocentrique telle que visualisée par les participants dans le visiocasque.

2.3 Matériel

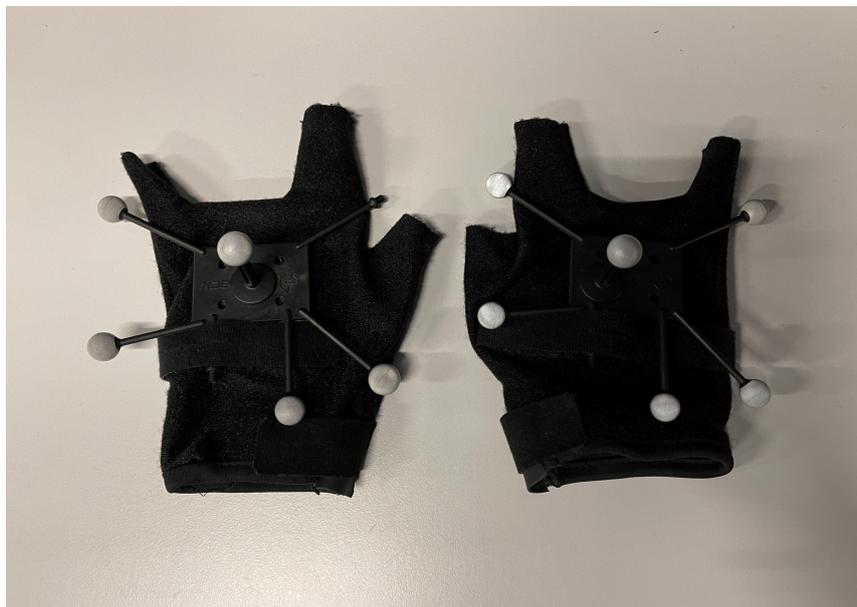
Pour réaliser l'expérience, il est nécessaire d'avoir un certain matériel. Tout d'abord, les sujets devaient enfiler une paire de gants (figure 2). Ces gants étaient équipés de capteurs. 5 sur le gant gauche et 6 sur le gant droit. Ils n'avaient pas le même nombre de capteur pour éviter au programme de les confondre et de les intervertir. Ces capteurs étaient détectés par 24 caméras OptiTrack réparties dans tout le laboratoire et reliées à un programme informatique. Ensuite, il fallait un casque de réalité virtuelle. Pour cette étude, un visiocasque Pimax 8K (figure 3), muni de deux écrans LCD (écrans à cristaux liquides) d'une résolution 3840x2160 a été utilisé. Il était équipé de 9 capteurs qui permettait, à l'aide des caméras, de répéter les mouvements de la tête du participant dans l'environnement virtuel.

Le visiocasque était relié par un câble à un ordinateur sur lequel était installé les logiciels nécessaires au fonctionnement de l'expérience. Le premier programme était Motive. Ce programme permet de créer les rigid body grâce aux caméras du laboratoire et aux capteurs installés sur les gants et sur le visiocasque. Il permet ensuite de capter et de suivre les mouvements effectués par ces mêmes rigid body. Le deuxième programme utilisé était PiTtool. Celui-ci est lié au visiocasque et permet de vérifier le flux de transfert d'information entre les programmes

et le casque. Si le flux n'était plus assez conséquent, nous pouvions réinitialiser le casque à l'aide de ce logiciel. Le dernier programme était Unity CopeLab. Ce dernier transmettait l'image que les participant·e·s voyaient dans le visiocasque. C'est avec ce programme-là que nous pouvions gérer la condition pratiquée ainsi que la présence ou non du fond coloré. Nous voyions également le nombre de lancers effectués, et par conséquent, le nombre de lancers restants. Nous pouvions alors donner quelques indications temporelles aux sujets.

Figure 2

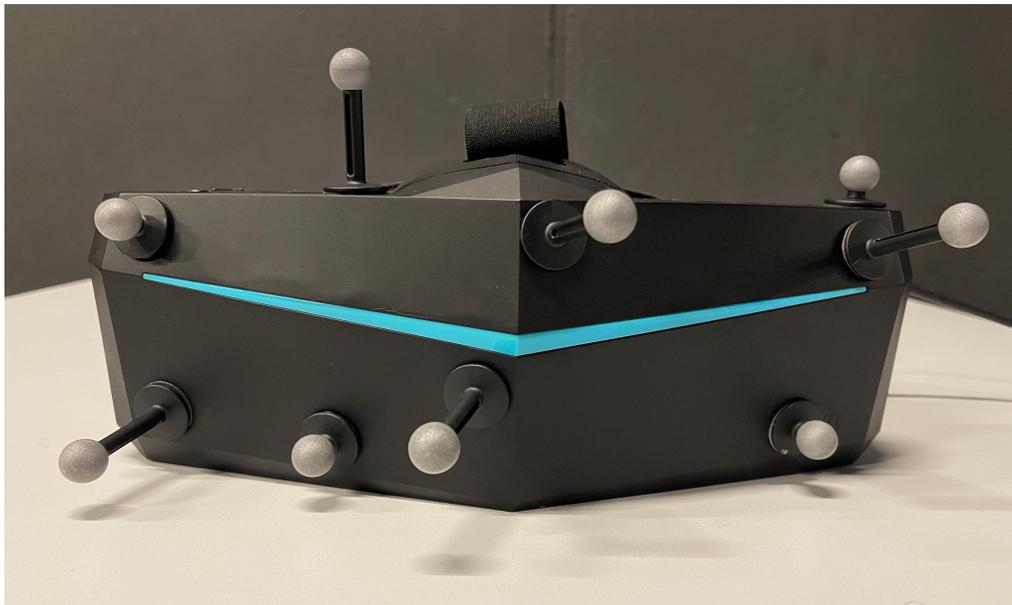
Gants



Note. Paire de gants équipée de 5 capteurs pour le gant gauche et de 6 capteurs pour le droit.

Figure 3

Casque de réalité virtuelle Pimax 8K



Note. Casque de réalité virtuelle Pimax 8K équipé de 9 capteurs.

Figure 4

Caméra OptiTrack



Note. Caméra OptiTrack identique aux 24 caméras utilisées pour la capture de mouvement et de données.

2.4 Analyse statistiques des données

Dans notre étude, le pourcentage minimum, représentant la vitesse la plus rapide à laquelle les participants ont réagi, a été examiné. Pour chaque participant, la meilleure performance de réaction a été enregistrée et utilisée pour les analyses, que ce soit dans les conditions expérimentales « Go » ou « Go/No-Go ». La variable dépendante de cette étude est la performance de réaction, mesurée par la rapidité avec laquelle les participants répondent aux stimuli dans les différentes conditions. Les deux variables indépendantes sont, d'une part, le type de discipline sportive pratiqué, catégorisé en deux groupes principaux : anticipation-coïncidence, comprenant les sports nécessitant prioritairement l'habileté anticipation coïncidence et autres disciplines, incluant tous les autres types de sports requérant principalement d'autres habiletés. D'autre part, la condition expérimentale est une variable indépendante comprenant deux conditions distinctes : « Go », où les participants doivent réagir à un stimulus spécifique, et « Go/No-Go », où ils doivent réagir à certains stimuli (« Go ») et s'abstenir de réagir à d'autres (« No-Go »).

Pour évaluer l'effet du facteur « condition » et de son interaction sur la performance de réaction, un test non paramétrique a été utilisé. Dans ce contexte, les valeurs p, permettant de déterminer la signification statistique des résultats, ont été obtenues grâce aux tests de Wilcoxon.

Pour évaluer l'effet du facteur « groupe » et de son interaction sur la performance de réaction, un test paramétrique a été employé. De ce côté, un test t de Student a été utilisé.

3 Résultats

3.1 Comparaison des performances maximales

Après avoir passé les 24 sujets dans les deux conditions (« Go » et « Go/No-Go »), nous avons enregistré la performance maximale de chaque participant dans chaque condition. Par conséquent, 48 données représentant les 24 sujets dans les deux conditions ont été obtenues. Nous avons analysé et comparé les différences de performance maximale en condition « Go » et en condition « Go/No-Go ». Puis, une comparaison a été faite concernant les différences de performance maximale entre le groupe qui pratique un sport qui requiert principalement l'habileté anticipation coïncidence et le groupe qui pratique un sport requérant d'autres habiletés en priorité. Les performances maximales de tous les sujets, dans les deux conditions, se trouvent dans le **Tableau 1**.

Les performances maximales totales représentent toutes les performances indépendamment du groupe et de la condition ($M = 0.46 \pm 0.11$). Les performances maximales ont été meilleures en condition « Go » ($M = 0.40 \pm 0.08$) qu'en condition « Go/No-Go » ($M = 0.53 \pm 0.10$). Cette différence était très significative (Wilcoxon test : $p = 2.38 * 10^{-7} = < 0.05$, log Bayesian Factor = 23) et pour un intervalle de crédibilité à 95% : [-0.16, -0.1].

Concernant le sport pratiqué, le groupe qui pratiquait une discipline requérant l'habileté anticipation coïncidence a obtenu de meilleures performances maximales ($M = 0.42 \pm 0,10$) que les participants qui pratiquaient un sport nécessitant moins cette habileté ($M = 0.50 \pm 0,11$). Cette divergence était également significative (test t de Student : $p = 0.02 = < 0.05$) et a expliqué 11% de la variance de la performance (R^2 marginal = 0.112).

Tableau 1

Performance maximale des 24 sujets dans les deux conditions

Participant·e	Performance	Condition	Groupe
1	0.41	GO	AC
1	0.47	GONOGO	AC
2	0.50	GONOGO	AC
2	0.31	GO	AC
3	0.41	GO	AC
3	0.56	GONOGO	AC

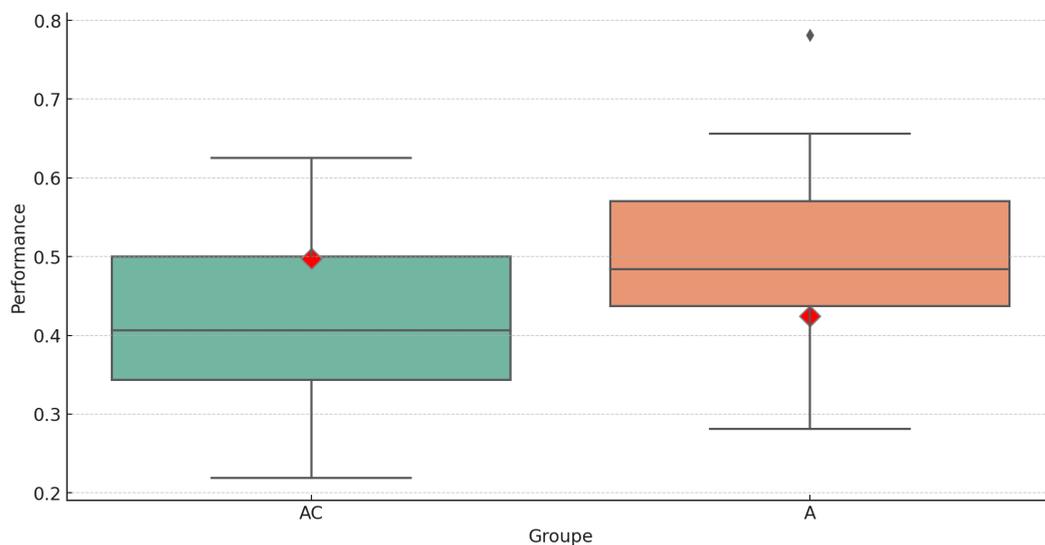
4	0.63	GONOGO	AC
4	0.38	GO	AC
5	0.44	GO	A
5	0.50	GONOGO	A
6	0.78	GONOGO	A
6	0.63	GO	A
7	0.59	GONOGO	A
7	0.47	GO	A
8	0.44	GO	A
8	0.53	GONOGO	A
9	0.41	GO	AC
9	0.56	GONOGO	AC
10	0.47	GONOGO	A
10	0.28	GO	A
11	0.44	GO	A
11	0.50	GONOGO	A
12	0.44	GO	AC
12	0.50	GONOGO	AC
13	0.50	GO	AC
13	0.41	GONOGO	AC
14	0,59	GONOGO	A
14	0.41	GO	A
15	0.41	GO	AC
15	0.53	GONOGO	AC
16	0.50	GO	A
16	0.56	GONOGO	A
17	0.59	GONOGO	A
17	0.47	GO	A
18	0.41	GO	A
18	0.66	GONOGO	A
19	0.34	GONOGO	AC
19	0.22	GO	AC
20	0.50	GONOGO	A
20	0.34	GO	A
21	0.34	GO	A
21	0.47	GONOGO	A

22	0.34	GO	AC
22	0.50	GONOGO	AC
23	0.47	GONOGO	AC
23	0.28	GO	AC
24	0.34	GO	AC
24	0.31	GONOGO	AC

Note. Tableau des performances maximales pour chaque participant dans les deux conditions. Plus la performance se rapproche de 0, meilleure est la performance (0 = 20 m/s, 1 = 2 m/s). La première colonne « participant·e » représente le numéro du participant. La deuxième colonne « performance » indique la meilleure performance obtenue. La troisième colonne « condition » indique la condition dans laquelle se trouvait le sujet. La quatrième colonne « groupe » spécifie si le sujet pratiquait une discipline qui demande essentiellement l’habileté anticipation coïncidence (AC) ou s’il pratiquait une discipline requérant principalement d’autres habiletés (A).

Figure 5

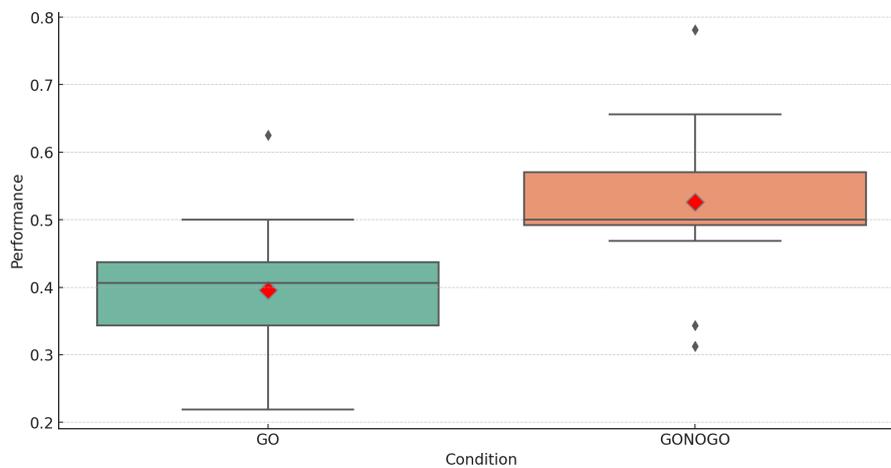
Comparaison des performances maximales selon les groupes



Note. Box plot représentant la performance maximale selon l’occurrence de l’utilisation de l’habileté anticipation coïncidence dans le sport pratiqué (AC = utilisation principale de l’anticipation coïncidence et A = utilisation d’autres habiletés). Sont représentés la moyenne (losange rouge), la médiane (ligne noire), les minima et maxima, ainsi que les quartiles. La performance est exprimée en m/s lorsqu’elle est transformée (0 = 20 m/s et 1 = 2 m/s).

Figure 6

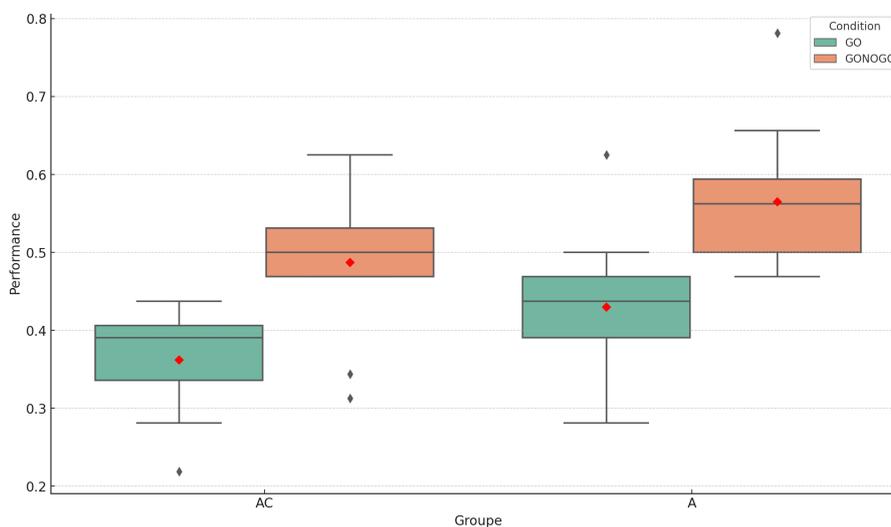
Comparaison des performances maximales selon les conditions



Note. Box plot représentant la performance maximale selon les conditions. Sont représentés la moyenne (losange rouge), la médiane (ligne noire), les minima et maxima, ainsi que les quartiles. La performance est exprimée en m/s lorsqu'elle est transformée (0 = 20 m/s et 1 = 2 m/s).

Figure 7

Comparaison des performances maximales selon les groupes et les conditions



Note. Box plot représentant la performance maximale selon le groupe et les conditions de passage. Sont représentés la moyenne (losange rouge), la médiane (ligne noire), les minima et maxima, ainsi que les quartiles. La performance est exprimée en m/s lorsqu'elle est transformée (0 = 20 m/s et 1 = 2 m/s).

4 Discussion

4.1 Rapport aux objectifs de l'étude

Sur la base des performances maximales des 24 participants dans les deux conditions expérimentales, des différences significatives ont été observées. Les analyses statistiques ont révélé des résultats significatifs dans les deux cas étudiés.

Premièrement, en comparant les performances des participants entre les deux conditions, à savoir la condition « Go » et la condition « Go/No-Go », une différence significative a été mise en évidence. Cette différence indique que les participants réagissent de manière distincte selon la condition à laquelle ils sont exposés, ce qui suggère que la nature de la tâche (simple réponse vs réponse inhibée) influence fortement leur performance.

Deuxièmement, une analyse plus détaillée a été effectuée pour comparer les performances entre différents groupes de personnes. Plus précisément, les participants ont été classés en fonction des habiletés que requiert leur discipline sportive. Là encore, les résultats ont montré une différence significative. Cela signifie que les participants pratiquant un sport requérant l'habileté anticipation coïncidence ont des performances nettement distinctes par rapport aux autres participants, quelle que soit la condition expérimentale.

Finalement, les résultats nous permettent de répondre à la question (a) du sous chapitre 1.8 : *Quel est le délai visuomoteur nécessaire pour intercepter une balle dans l'espace péri-personnel ?* Puisque, si nous transformons la moyenne totale des performances maximales sans prendre en compte le groupe ni la condition, nous avons une vitesse moyenne de réaction de 11,72 m/s. Un délai visuomoteur moyen peut être calculée à partir de cette donnée.

4.1.1 Conditions « Go » vs « Go/No-Go »

La comparaison des performances maximales des participants a révélé une différence significative en fonction des conditions expérimentales dans lesquelles ils se trouvaient. Cette découverte nous permet de répondre à l'une des questions principales de notre étude : *Le délai est-il modifié lorsque les conditions de prise de décision changent (« Go » vs « Go/No-Go ») ?*

En effet, les performances maximales des participants étaient meilleures dans des conditions stables (« Go ») par rapport à des conditions changeantes (« Go/No-Go »).

De manière plus détaillée, en plus de cette variation notable, nous avons constaté que 22 des 24 participants ont obtenu de meilleurs résultats en condition stable, indépendamment du groupe auquel ils appartenaient et de l'ordre dans lequel ils ont effectué les expériences. Cette constance

des résultats suggère que la stabilité de la tâche joue un rôle crucial dans la performance maximale des participants.

Ces résultats nous permettent d'affirmer que le délai visuomoteur est plus long en situation instable, c'est-à-dire en condition « Go/No-Go ». En effet, dans cette condition, les participants doivent intégrer un processus de décision supplémentaire à la tâche de base, ce qui semble allonger le temps de réponse. Ainsi, nous trouvons une confirmation de notre hypothèse 1 formulée dans le sous-chapitre 1.8 de notre étude : *Le délai visuomoteur est plus long en situation de « Go/No-Go », c'est-à-dire, lorsqu'un processus de décision s'ajoute à la tâche de base.* Cette hypothèse est soutenue par les données observées, indiquant que la nature changeante et plus complexe de la condition « Go/No-Go » affecte négativement la rapidité de la réponse des participants.

4.1.2 Discipline sportive pratiquée

La différence de sport pratiqué joue également un rôle crucial dans les performances visuomotrices des participants. Les résultats obtenus ont montré une différence significative entre les participants habitués à pratiquer un sport où l'habileté d'anticipation et de coïncidence est cruciale et ceux pratiquant un sport où d'autres habiletés sont prioritaires.

En analysant les performances, nous avons constaté que les participants engagés dans des sports nécessitant une forte habileté d'anticipation coïncidence, tels que le tennis de table, le tennis ou le badminton, ont des délais visuomoteurs plus courts. Ces sports demandent une rapidité et une précision accrues pour répondre aux mouvements rapides de l'adversaire ou de l'objet (comme la balle ou le volant), ce qui affine leur capacité à anticiper et à réagir efficacement.

En revanche, les participants pratiquant des sports où ces compétences ne sont pas primordiales, comme la gymnastique aux agrès, la course à pied ou le triathlon, montrent des délais visuomoteurs plus longs. Ces disciplines se concentrent davantage sur d'autres habiletés telles que l'endurance, la force ou la précision des mouvements complexes, ce qui peut expliquer la différence observée.

Ces résultats permettent d'affirmer que la pratique sportive influence de manière significative le délai visuomoteur. En effet, la nature du sport pratiqué, qu'il requière principalement des compétences d'habileté d'anticipation et de coïncidence ou d'autres types d'habiletés, impacte directement la rapidité et l'efficacité des réponses visuomotrices des participants.

Ainsi, nous pouvons valider notre hypothèse 2 du chapitre 1.8 : *Les sujets pratiquant une discipline sportive nécessitant principalement l'habileté d'anticipation et de coïncidence (e.g., tennis de table, tennis, badminton) présentent un délai visuomoteur plus court comparé à ceux*

pratiquant d'autres disciplines sportives (e.g., gymnastique aux agrès, course à pied, triathlon). Cette conclusion renforce l'idée que le type de sport pratiqué modifie les compétences visuo-motrices, confirmant que l'entraînement spécifique dans certains sports améliore la capacité à anticiper et réagir rapidement.

4.2 Rapport à la littérature

L'étude de Brumeaud (2023) a été l'une des premières à associer une tâche de préhension anticipation coïncidence en environnement virtuel avec l'ajout d'un processus de décision. Cette étude innovante a ouvert la voie à de nouvelles recherches, dont nos propres travaux qui s'inscrivent dans la continuité des investigations de Brumeaud et corroborent ses conclusions. En effet, nous avons observé des résultats similaires, soulignant notamment une différence significative en fonction de la discipline sportive pratiquée.

Brumeaud (2023) avait initialement distingué les sports à habiletés fermées des sports à habiletés ouvertes. Notre étude a affiné cette distinction en séparant les sports nécessitant spécifiquement l'habileté d'anticipation-coïncidence de ceux requérant d'autres types d'habiletés. Cette précision supplémentaire renforce l'idée que l'expérience dans une tâche spécifique joue un rôle crucial dans la performance.

En parallèle, des travaux antérieurs, tels que ceux de Benguigui et Ripoll (1998), ont montré que les enfants pratiquant le tennis obtenaient de meilleurs résultats dans les tâches d'anticipation coïncidence que ceux ne pratiquant pas ce sport. De plus, Abernethy (1987) a démontré, dans son étude sur les sports de balle rapide, que les athlètes experts utilisent de manière avancée les indices pour anticiper les mouvements de la balle, ce qui les distingue des novices. Williams et Ford (2008) ont également mis en lumière l'importance de l'anticipation coïncidence dans l'efficacité des athlètes de haut niveau. Ainsi, il est évident que la performance peut varier en fonction du niveau et de l'expérience des sportifs, une observation qui se retrouve dans nos propres résultats. Les sportifs possédant une expérience en tâche d'anticipation coïncidence montrent de meilleures performances que ceux dont le sport sollicite moins cette habileté. Cependant, en ce qui concerne les différences entre les conditions expérimentales, notre étude diverge de celle de Brumeaud (2023). Ce dernier n'avait pas identifié de différence significative entre les conditions. En revanche, nous avons détecté une différence significative, probablement attribuable à l'ajout d'un prétest à notre protocole. Ce prétest préparait les participants, leur permettant de performer dès les premiers essais, tant en condition « Go » qu'en condition « Go/No-Go », ce qui a conduit à des différences plus significatives dans nos résultats.

De plus, l'environnement virtuel dans notre étude incluait un paysage défini avec l'ombre de la balle projetée au sol, conformément aux recommandations de Huang et al. (2022) qui ont démontré que la perception de la profondeur est améliorée lorsque les objets mobiles projettent des ombres. Ce facteur a été pris en compte et appliqué dans notre expérience, contrairement à l'étude de Brumeaud.

Enfin, une autre différence méthodologique importante réside dans la possibilité pour les participants de notre étude d'intercepter les balles avec leurs deux mains, contrairement à l'étude de Brumeaud où seule la main dominante était utilisée. Ces modifications méthodologiques peuvent expliquer les différences de résultats obtenues entre notre étude et celle de Brumeaud (2023).

4.3 Limites

Notre étude a intégré certaines améliorations proposées par des recherches antérieures sur le sujet. Toutefois, elle a révélé plusieurs limites. Premièrement, le matériel utilisé a posé des problèmes. Le casque de réalité virtuelle, relativement grand, ne convenait pas aux petites têtes, ce qui le rendait instable et mobile sur ces participants. De plus, les lanières de réglage n'offraient pas une fixation optimale et se détachaient parfois, compromettant ainsi le confort et la stabilité du casque. Par ailleurs, le câble reliant le casque à l'ordinateur restreignait occasionnellement la liberté de mouvement des participants. En outre, le feedback sonore lors de l'interception des balles a également montré ses limites. Pour les derniers participants, ce feedback devenait irrégulier et ne fournissait plus d'indications claires. Pourtant, le feedback immédiat est crucial pour améliorer la précision et la consistance des performances motrices (Winstein, 1991). Les participants se retrouvaient ainsi désorientés et bougeaient davantage leur tête en quête d'approbation.

L'expérience elle-même s'est révélée relativement éprouvante. Les sujets devaient rester concentrés dans un environnement virtuel inhabituel pendant 300 lancers, attrapant des balles avec leurs bras. Beaucoup se sont plaints de la difficulté à maintenir un niveau de performance constant tout au long de l'expérience. De plus, l'environnement virtuel n'était pas agréable pour tous. Certains participants ont signalé des maux de tête, des nausées et des douleurs oculaires.

En ce qui concerne le contrôle de l'expérience, le temps d'attente avant de générer un nouveau lancer était libre, permettant aux sujets de prendre des pauses. Cela a pu introduire des biais, car la durée des pauses pouvait varier. En revanche, la distance entre les balles et le sujet était contrôlée grâce à un système de couleur sur un bouton, indiquant sa position.

4.4 Améliorations

Ces limitations mettent en lumière plusieurs axes d'amélioration pour les futures études. Il serait essentiel de concevoir un casque de réalité virtuelle adaptable à différentes tailles de tête avec des lanières plus efficaces et un système sans fil pour garantir une liberté totale de mouvement. Les modèles de visiocasque ne cessent d'évoluer et offrent sans doute déjà beaucoup plus d'options.

Il serait particulièrement intéressant de réaliser l'expérience en réalité augmentée plutôt qu'en réalité virtuelle. La réalité augmentée pourrait offrir un confort accru aux participants non habitués à évoluer dans un environnement virtuel complet. Ce changement pourrait réduire les problèmes de nausées, de maux de tête et de fatigue oculaire rapportés par certains sujets. Concernant ce facteur, il serait pertinent de prendre en compte et d'étudier la différence entre les personnes qui pratiquent des jeux vidéo et celles qui ne le font pas. Les joueurs de jeux vidéo sont habitués à évoluer dans des environnements virtuels, ce qui pourrait influencer leurs performances dans des tâches d'anticipation coïncidence. Une hypothèse à tester serait que les participants habitués aux jeux vidéo obtiennent de meilleurs résultats que les autres.

De plus, un feedback sonore fiable et continu doit être assuré pour fournir des indications claires aux participants. Ce feedback est crucial pour améliorer la précision et la consistance des performances motrices, comme le souligne Winstein (1991). Assurer une rétroaction immédiate et constante aiderait les participants à mieux ajuster leurs actions en temps réel.

Pour minimiser la fatigue et le malaise des sujets, il serait bénéfique de réduire la durée de l'expérience ou de proposer des pauses standardisées. Les pauses régulières pourraient aider à maintenir un niveau de performance constant et à réduire la fatigue accumulée. Une autre voie d'amélioration serait de prolonger l'étude sur plusieurs semaines ou mois pour observer l'évolution des performances sur le long terme. Cette approche permettrait de déterminer si la réalité virtuelle peut effectivement entraîner et améliorer l'habileté d'anticipation coïncidence. En effet, notre étude s'est concentrée sur les performances maximales obtenues lors d'un test unique, sans évaluer l'effet d'un entraînement prolongé. En étendant la durée de l'étude, nous pourrions observer des améliorations progressives et ainsi mieux comprendre le potentiel de la réalité virtuelle comme outil d'entraînement pour cette habileté spécifique.

5 Conclusion

Cette étude visait à examiner les différences de performances visuomotrices en fonction des conditions expérimentales et du type de sport pratiqué, en utilisant la réalité virtuelle comme outil d'analyse. Les principaux résultats de cette recherche ont mis en évidence plusieurs points cruciaux.

Premièrement, les participants ont montré des performances maximales significativement meilleures dans des conditions stables (« Go ») par rapport à des conditions changeantes (« Go/No-Go »). Cette découverte indique que la stabilité de la tâche influence fortement la performance visuomotrice, ce qui confirme notre hypothèse selon laquelle le délai visumoteur est plus long lorsque des processus de décision supplémentaires sont impliqués.

Deuxièmement, les résultats ont révélé que les sportifs pratiquant des disciplines nécessitant l'habileté d'anticipation coïncidence, comme le tennis de table et le badminton, obtiennent de meilleures performances que ceux pratiquant des sports où cette habileté est moins sollicitée, tels que la gymnastique ou la course à pied. Cela valide la deuxième hypothèse et souligne l'importance de l'expérience spécifique dans l'amélioration des compétences visuomotrices.

Ces nouvelles connaissances suggèrent que l'entraînement en réalité virtuelle pourrait être particulièrement bénéfique pour améliorer les compétences d'anticipation et de réaction en contexte sportif.

Pour les travaux futurs, il serait pertinent d'explorer l'effet d'un entraînement prolongé en réalité virtuelle sur les performances visuomotrices et d'examiner si ces améliorations peuvent être transférées à des contextes réels. De plus, l'utilisation de la réalité augmentée pourrait offrir des avantages supplémentaires, en particulier pour les participants non habitués aux environnements virtuels.

Bibliographie

- Abernethy, B. (1987). Selective attention in fast ball sports. II: Expert novice differences. *Australian journal of science and medicine in sport*, 19(4), 7-16.
- Abernethy, B. (1991). Visual search strategies and decision-making in sport. *International journal of sport psychology*.
- Abernethy, B., & Wood, J. M. (2001). Do generalized visual training programmes for sport really work? An experimental investigation. *Journal of sports sciences*, 19(3), 203-222. <https://doi.org/10.1080/026404101750095376>
- 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>
- Arnaldi, B., Guitton, P., & Moreau, G. (2018). *Réalité virtuelle et réalité augmentée: Mythes et réalités*. ISTE Group.
- Belisle, J. J. (1963). Accuracy, reliability, and refractoriness in a coincidence-anticipation task. *Research Quarterly. American Association for Health, Physical Education and Recreation*, 34(3), 271-281. <https://doi.org/10.1080/10671188.1963.10613234>
- 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>
- Brumeaud, K. (2023). *Anticipation-coïncidence : Test d'un système d'analyse pour l'interception d'objets grâce à la réalité virtuelle*. [Travail de master, Université de Fribourg]. https://folia.unifr.ch/documents/326519/files/TM_Brumeaud_Kevin.pdf
- Crognier, L., & Féry, Y. A. (2007). 40 ans de recherches sur l'anticipation en tennis: une revue critique. *Science & Motricité*, (3), 9-35. <https://doi.org/10.3917/sm.062.0009>
- Davids, K., Williams, A. M., & Williams, J. G. (2005). *Visual perception and action in sport*. Routledge.
- 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>
- Elaraby, A. E. R., Shahien, M., Jahan, A. M., Etoom, M., & Bekhet, A. H. (2023). The Efficacy of Virtual Reality Training in the Rehabilitation of Orthopedic Ankle Injuries: A Systematic Review and Meta-analysis. *Advances in Rehabilitation Science and Practice*, 12, 11795727231151636. <https://doi.org/10.1177/11795727231151636>

- Faubert, J. (2013). Professional athletes have extraordinary skills for rapidly learning complex and neutral dynamic visual scenes. *Scientific reports*, 3(1), 1154.
<https://doi.org/10.1038/srep01154>
- 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>
- Fuchs, P., Moreau, G., Berthoz, A., & Vercher, J.-L. (2006). Volume 1 : l'homme et l'environnement virtuel. In P. Fuchs & G. Moreau (Eds.), *Traité de la réalité virtuelle* (vol. 1). Paris, France : Les Presses de l'École des Mines de Paris.
- Hodges, N. J., & Franks, I. M. (2002). Modelling coaching practice: the role of instruction and demonstration. *Journal of sports sciences*, 20(10), 793-811.
<https://doi.org/10.1080/026404102320675648>
- 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>
- Hüttermann, S., Memmert, D., & Simons, D. J. (2014). The size and shape of the attentional “spotlight” varies with differences in sports expertise. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 20(2), 147. <https://doi.org/10.1037/xap0000012>
- Jeanningros, R., Mazzola-Pomietto, P. & Kaladjian, A. (2008). Corrélats neuroanatomiques des troubles impulsifs dans les états maniaques. *L'information psychiatrique*, 84, 121-128. <https://doi.org/10.1684/ipe.2008.0292>
- Magill, R. A., & Anderson, D. I. (2010). *Motor learning and control*. New York: McGraw-Hill Publishing.
- Magill, R. A., & Anderson, D. I. (2012). The roles and uses of augmented feedback in motor skill acquisition. *Skill acquisition in sport: Research, theory and practice*, 3-21.
- Miall, R. C., Weir, D. J., & Stein, J. F. (1993). Intermittency in human manual tracking tasks. *Journal of motor behavior*, 25(1), 53-63.
<https://doi.org/10.1080/00222895.1993.9941639>
- Moser, R. S., Schatz, P., & Jordan, B. D. (2005). Prolonged effects of concussion in high school athletes. *Neurosurgery*, 57(2), 300-306.
<https://doi.org/10.1227/01.NEU.0000166663.98616.E4>

- Raab, M., & Johnson, J. G. (2007). Expertise-based differences in search and option-generation strategies. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *13*(3), 158.
<https://doi.org/10.1037/1076-898X.13.3.158>
- Salmoni, A. W., Schmidt, R. A., & Walter, C. B. (1984). Knowledge of results and motor learning: a review and critical reappraisal. *Psychological bulletin*, *95*(3), 355.
<https://doi.org/10.1037/0033-2909.95.3.355>
- Schmidt, R. A. (1991). *Motor learning & performance: From principles to practice*. Human kinetics books.
- Schmidt, R. A., & Lee, T. (2019). *Motor learning and performance 6th edition with web study guide-loose-leaf edition: From principles to application*. Human Kinetics Publishers.
- Schmidt, R. A., Lee, T., Winstein, C., Wulf, G., & Zelaznik, H. N. (2018). *Motor control and learning: A behavioral emphasis*. Human kinetics.
- Shimi, A., Tsestou, V., Hadjiaros, M., Neokleous, K., & Avraamides, M. (2021). Attentional skills in soccer: Evaluating the involvement of attention in executing a goalkeeping task in virtual reality. *Applied Sciences*, *11*(19), 9341.
<https://doi.org/10.3390/app11199341>
- Starkes, J. L., & Ericsson, K. A. (2003). Expert performance in sports: Advances in research on sport expertise.
- Stinson, C., & Bowman, D. A. (2014). Feasibility of training athletes for high-pressure situations using virtual reality. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, *20*(4), 606-615. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2014.23>
- Tzvi, E., Münte, T. F., & Krämer, U. M. (2014). Delineating the cortico-striatal-cerebellar network in implicit motor sequence learning. *Neuroimage*, *94*, 222-230.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2014.03.004>
- Verburgh, L., Scherder, E. J., Van Lange, P. A., & Oosterlaan, J. (2016). Do elite and amateur soccer players outperform non-athletes on neurocognitive functioning? A study among 8-12 year old children. *PloS one*, *11*(12), e0165741.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165741>
- 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>
- Williams, A. M., & Davids, K. (1998). Visual search strategy, selective attention, and expertise in soccer. *Research quarterly for exercise and sport*, *69*(2), 111-128.
<https://doi.org/10.1080/02701367.1998.10607677>

- Williams, A. M., & Ford, P. R. (2008). Expertise and expert performance in sport. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 1(1), 4-18.
<https://doi.org/10.1080/17509840701836867>
- Williams, A. M., & Hodges, N. J. (2005). Practice, instruction and skill acquisition in soccer: Challenging tradition. *Journal of sports sciences*, 23(6), 637-650.
<https://doi.org/10.1080/02640410400021328>
- Winstein, C. J. (1991). Knowledge of results and motor learning—implications for physical therapy. *Physical therapy*, 71(2), 140-149. <https://doi.org/10.1093/ptj/71.2.140>
- Zatsiorsky, V. M., Kraemer, W. J., & Fry, A. C. (2020). *Science and practice of strength training*. Human Kinetics.

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 avoir 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 soient traitées et utilisées de manière complètement confidentielle et anonyme. Comme l'âge, le genre, ainsi que les divers paramètres et variables enregistrés lors de l'étude.

Je comprends être 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) de gants que vous enfilerez sur vos mains ainsi que d'un visiocasque que vous devrez ajuster afin qu'il tienne tout au long de l'expérience. Une fois les gants enfilés, nous procéderons à un calibrage afin que vos mains virtuelles soient placées correctement dans votre champ de vision.

Lorsque vous aurez le casque sur les yeux, vous verrez apparaître 2 objets : une balle bleue se trouvant à 5 mètres de vos yeux et un bouton virtuel situé à proximité. Vous devrez vous placer de telle manière à ce que vos mains virtuelles levées apparaissent dans votre champ de vision périphérique et que le bouton virtuel devant vous apparaisse vert. 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.

Vous bénéficierez de 10 lancers tests pour vous familiariser avec l'expérience, le matériel et l'environnement.

Lorsque vous appuierez sur le bouton vert à l'aide de votre main virtuelle, la tâche commencera. À ce moment-là, la balle de tennis deviendra jaune. Toutefois, elle ne sera pas encore en train de se déplacer. Vous devrez, à chaque fois, appuyer sur le bouton pour déclencher le lancer.

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

- Une session « Go » dans laquelle vous devrez essayer d'intercepter toutes les balles jaunes à l'aide de vos mains virtuelles. Celles-ci reproduiront les mouvements que vous effectuerez avec vos bras. Durant cette session, vous aurez un total de 100 lancers à intercepter. Dans le cas où vous réussiriez à intercepter la balle, vous entendrez un bruit de balle de tennis frappée. Dans le cas contraire, il n'y aura aucun indicateur sonore.
- Une session « Go / No-Go » dans laquelle les balles jaunes, soit resteront jaunes ou soit deviendront rouges, une fois en mouvement. Pour les balles jaunes, vous devrez, comme pour la session « Go », tenter d'intercepter les balles. Si la balle de tennis devient rouge, alors vous devrez faire en sorte que la balle ne rentre pas en collision avec vos mains virtuelles. Là aussi, l'indice sonore se manifesterait seulement s'il y a un impact entre votre main virtuelle et l'objet mobile. Dans cette session, vous aurez un total de 200 lancers aléatoires : 100 d'entre eux seront jaunes et les 100 autres seront rouges.

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

Nom : _____ Âge : _____ Sport pratiqué : _____

Prénom : _____ Sexe : _____ Main forte : _____

Annexe 3. Informations personnelles des participant·e·s utiles à l'étude

Numéro	ID	Session 1 / 2	Main forte	Age	Sexe	Sport pratiqué	Activité typée	1ère session	2ème session
1	31	139 / 141	Droite	26	H	Badminton	Réflexe	Go	Go / No-Go
2	33	201 / 202	Droite	24	H	Volleyball	Réflexe	Go / No-Go	Go
3	34	204 / 205	Droite	24	F	Badminton	Réflexe	Go	Go / No-Go
4	35	207 / 208	Gauche	28	H	Tennis de table	Réflexe	Go / No-Go	Go
5	36	210 / 211	Droite	24	F	Football	Non réflexe	Go	Go / No-Go
6	37	237 / 238	Droite	24	H	Course à pied	Non réflexe	Go / No-Go	Go
7	38	241 / 242	Droite	24	F	Athlétisme	Non réflexe	Go / No-Go	Go
8	39	244 / 245	Droite	23	F	Equitation	Non réflexe	Go	Go / No-Go
9	40	248 / 249	Droite	24	H	Tennis	Réflexe	Go	Go / No-Go
10	41	254 / 255	Droite	29	H	Agrès	Non réflexe	Go / No-Go	Go
11	42	257 / 258	Droite	25	F	Agrès	Non réflexe	Go	Go / No-Go
12	43	260 / 261	Droite	28	H	Badminton	Réflexe	Go	Go / No-Go
13	44	263 / 264	Droite	26	H	Gardien de foot	Réflexe	Go / No-Go	Go
14	45	267 / 268	Droite	22	H	Triathlon	Non réflexe	Go / No-Go	Go
15	46	271 / 272	Droite	26	H	Badminton	Réflexe	Go	Go / No-Go
16	47	274 / 275	Droite	20	F	Agrès	Non réflexe	Go	Go / No-Go
17	48	277 / 278	Gauche	18	F	Agrès	Non réflexe	Go / No-Go	Go
18	49	280 / 281	Droite	19	F	Agrès	Non réflexe	Go	Go / No-Go
19	50	307 / 308	Droite	23	H	Tennis	Réflexe	Go / No-Go	Go
20	51	313 / 314	Droite	25	H	Ski	Non réflexe	Go / No-Go	Go
21	52	317 / 318	Droite	21	H	Football	Non réflexe	Go	Go / No-Go
22	53	320 / 321	Droite	21	H	Badminton	Réflexe	Go	Go / No-Go
23	54	326 / 327	Gauche	26	H	Badminton	Réflexe	Go / No-Go	Go
24	55	332 / 334	Droite	20	H	Badminton	Réflexe	Go	Go / No-Go