

Optimisation de la prise de décision lors de tirs au but auprès de hockeyeurs professionnels 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

Quentin Mertenat

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, Décembre 2022

Résumé

Ce travail a pour but de démontrer qu'il est possible d'optimiser les capacités perceptivo-cognitives des joueurs professionnels de hockey sur glace lors de tirs au but grâce à la réalité virtuelle. Pour être performant, les joueurs ne doivent pas uniquement être fort physiquement et techniquement, mais ils doivent également avoir des capacités de perception et de cognition développées pour améliorer leurs prises de décisions et d'informations. Pour ce faire, nous avons utilisé un casque de réalité virtuelle qui permet de reproduire des situations de jeux à l'infini. L'immersion virtuelle à la première personne se veut la plus réaliste et crédible possible. Pour tester cet apprentissage cognitif, les participants ont pris part à une expérience composée de trois blocs de 54 passations chacun : un pré-test, une phase d'apprentissage et un post-test. Lors de cette simulation virtuelle, les participants ont réalisé des attaques au but à divers angles et distances. Le sujet devait ensuite choisir la cible qu'il estimait être la moins protégée par le gardien en appuyant sur un boîtier réponse. Seize joueurs professionnels âgés de 27.25 ± 9.25 ans ont été répartis en deux groupes homogènes. Un groupe test, bénéficiant de feedbacks, et un groupe contrôle qui ne bénéficiait d'aucun feedback lors de la phase d'apprentissage. Le groupe test disposait d'un feedback explicite avec la coloration des cibles qui indiquait la qualité du choix avec l'appréciation en couleur de la réussite du tir ainsi que d'un deuxième feedback implicite avec le point de vue depuis la rondelle au niveau de la glace. Les résultats ont montré que le groupe avec les deux types de feedbacks a amélioré significativement ($p < 0.01$) ses résultats entre le pré- et post-test. Au contraire du groupe contrôle qui n'a eu qu'une légère amélioration non-significative ($p = 0.15$). La corrélation entre la différence œil-puck et le score a été calculée pour le groupe test. Cette dernière a démontré que, lors du pré-test, la variance du score liée à la différence de perspective entre les yeux et la rondelle s'élevait à 12% alors qu'elle n'était que de 3% lors du post-test, confirmant ainsi l'efficacité d'un feedback sur la performance aux tirs au but. Ces résultats démontrent l'efficacité de la réalité virtuelle dans l'augmentation des capacités de prise de décisions. Reste désormais à observer la transférabilité de cette méthode sur le terrain et sa durée dans le temps avec des tests de rétention et un nombre supérieur de participants. Cet apprentissage par la réalité virtuelle fonctionne et son utilisation sous forme de jeux pour les jeunes pourrait s'avérer stimulante et contribuer au développement de leurs capacités perceptivo-cognitives.

Table des matières

| | |
|---|----|
| Résumé..... | 2 |
| 1 Introduction | 4 |
| 1.1 Contexte et situation initiale..... | 4 |
| 1.2 Expertise de la prise de décision | 6 |
| 1.3 Apprentissage en laboratoire | 10 |
| 1.4 Objectif du travail..... | 12 |
| 2 Méthode..... | 14 |
| 2.1 Description de l'échantillon | 14 |
| 2.2 Instruments de recherche..... | 14 |
| 2.3 Software | 15 |
| 2.4 Protocole de passation | 18 |
| 2.5 Analyse statistique..... | 25 |
| 3 Résultats | 27 |
| 3.1 Effet d'apprentissage..... | 27 |
| 3.2 Comparaison de l'effet d'entraînement..... | 28 |
| 3.3 Corrélation entre la différence Eye-Puck et le score..... | 29 |
| 4 Discussion | 31 |
| 4.1 Interprétation des résultats | 31 |
| 4.3 Limitations | 32 |
| 4.5 Améliorations pour de futures recherches..... | 34 |
| 5 Conclusion..... | 37 |
| Bibliographie..... | 38 |
| Annexes | 45 |
| Remerciements | 48 |

1 Introduction

1.1 Contexte et situation initiale

Ce travail a pour objectif d'étudier et d'observer la manière dont les hockeyeurs professionnels peuvent bénéficier d'un apprentissage perceptivo-cognitif grâce à la réalité virtuelle (abrévée RV). Les raisons qui poussent une personne à la pratique sportive peuvent être diverses : bien-être personnel, santé ou encore performance. L'optimisation de la performance constitue un point clé pour tout sportif professionnel désireux d'atteindre les sommets dans sa discipline. C'est donc dans cette approche perfectionniste que le sportif et son staff vont chercher à développer des méthodes d'entraînement diverses et variées afin de progresser dans tous les aspects du jeu. Le niveau des sportifs professionnels étant toujours plus élevé, ce sont désormais les détails qui peuvent faire la différence et permettre d'être décisif sur une passe ou un tir pour faire gagner son équipe.

Que l'on parle du hockey sur glace ou du sport au sens large, les sportifs sont capables de prouesses athlétiques parfois époustouflantes qui peuvent galvaniser les foules et les férus de sport. Les mouvements et gestes, accomplis à la perfection, paraissent quasiment inimitables pour un sportif amateur et impossible pour une personne lambda. Plusieurs expertises simultanées, physiques, techniques et cognitives sont nécessaires pour le fondement de la précision d'exécution qui est propre aux athlètes. Les domaines comme la biomécanique, la physiologie, la biochimie ainsi que les neurosciences et la psychologie sont analysés dans les sciences du sport pour comprendre l'habileté des sportifs. Au fil du temps et avec les innombrables recherches, les approches pour le développement des capacités physique et technique sont actuellement élaborées avec finesse et bénéficient d'un ancrage solide dans les habitudes des sportifs. Bien que les performances soient grandement impactées par les capacités physiques et techniques des sportifs, elles ne dépendent pas uniquement de ces deux composantes (Williams et al., 1992). Williams et Ericsson (2005) expliquent que la performance dépend, d'une part, de l'aspect physique et technique du joueur, mais aussi de ses capacités cognitives et perceptives du jeu. Face à ce constat, les sciences du sport cherchent à comprendre depuis plus de vingt ans le fonctionnement et les mécanismes de la perception et de la cognition dans le but d'améliorer la performance des sportifs. Ce travail de Master s'inscrit dans cette approche et a pour objectif d'étudier l'efficacité de la RV dans l'entraînement des sportifs de haut niveau. Williams et al. (2004) ont notamment démontré que la cognition et la perception ont une influence sur deux

aspects clés : la prise de décision et l'anticipation. Différentes études ont démontré que des athlètes considérés comme experts se différencient des athlètes débutants par leurs aptitudes à traiter l'information. Elles mettent également en évidence l'intérêt des programmes d'apprentissages et d'entraînements cherchant à les faire progresser aussi bien chez les débutants que chez les experts (Hagemann et al., 2006; Mann et al., 2007; Mulligan et al., 2012; Voss et al., 2010). Une étude de Vestberg et al. (2012) a constaté que les joueurs de football experts disposaient de fonctions cognitives supérieures par rapport aux joueurs novices. À cela s'ajoutait des prédictions de performances athlétiques supérieures liées au score plus élevé obtenu lors de test sur la cognition. Selon Chang (2014), les athlètes experts sont pourvus d'une plasticité neuronale supérieure par rapport aux athlètes novices. Pendant la phase d'apprentissage, le cerveau opère, selon sa neuroplasticité, à des adaptations fonctionnelles et structurelles. Un des objectifs de cette étude sera justement de tester ce type d'apprentissage et d'évaluer la valeur de ce test auprès de sportifs professionnels.

Les joueurs de hockey sur glace pratiquent un sport où la vitesse est primordiale. Ils doivent être capables de réagir et de décider rapidement quelle décision choisir pour appréhender les différentes distances et angles de tirs ou passes suivant les mouvements du jeu. Les joueurs sont contraints de s'habituer à ces mouvements vifs et de délivrer la réponse d'accommodation la plus juste possible (Erickson et al., 2011). La perception visuelle impacte également la capacité d'effectuer les bons choix au bon moment. De surcroît, s'ajoute, dans ce type de sport, la problématique de la différence de perspective. Les hockeyeurs disposent d'une canne afin d'étendre leur corps, ce qui implique que le point de vue depuis leurs propres yeux est différent de celui de la rondelle. Ainsi, en situation de tir vers le but, le joueur aperçoit des angles de tirs qui sont différents des angles possibles depuis la rondelle au niveau de la glace. Cette particularité est considérée dans ce travail et prouve notamment l'intérêt de choisir un tel sport à cause des contraintes liées à la perspective pour examiner de quelle manière un apprentissage axé sur le côté qualitatif des prises de décisions est observable. Selon Ljac et al. (2012), il faudrait revoir les programmes d'entraînements pour y insérer un apprentissage basé sur les capacités cognitives, motrices et sensorielles étant donné leur importance. À cela s'ajoute le fait que ce type d'apprentissage accorde au sportif une prise en charge plus holistique et permet également d'acquérir des renseignements individuels dans le but d'optimiser l'entraînement (Gabbett & Masters, 2011). L'optimisation, synonyme de meilleures performances, est l'élément qui nous intéresse dans ce travail réalisé avec des joueurs professionnels. Dans cette étude, l'apprentissage cognitif va être mené par le biais de la RV. D'après Patterson et al. (2009b), les sportifs

ont la possibilité avec la RV d'effectuer de façon simple et modulable un apprentissage cognitif dans le but d'améliorer leurs stratégies et leurs capacités cognitives. Une autre étude (Vignais et al., 2015) stipule que, grâce à la RV, l'analyse de l'action et de la perception dans le sport est plus efficace en comparaison avec les méthodes usuelles. Tous ces éléments de la littérature définissent l'option de l'utilisation d'un casque de VR pour ce travail. Dans les prochains paragraphes, il sera question de détailler les capacités de perception et de cognition entrant en action lors de prises de décisions. Par la suite, diverses méthodes d'apprentissages des capacités perceptivo-cognitives seront évoquées et décrites dans l'optique de démontrer l'utilité de la RV dans l'apprentissage et l'optimisation des prises de décisions.

1.2 Expertise de la prise de décision

Selon les auteurs Bossard et Kermarec (2011), qui ont analysé diverses études scientifiques, la prise de décision dans le cadre du sport relève de deux perspectives épistémologiques différentes mais complémentaires. La première, dite « cognitive », place la décision semblable à un processus de traitement des informations, se basant sur l'affiliation des bases de connaissance afin de mieux distinguer et interpréter les indices et signaux pertinents dans l'environnement (Schmidt & Lee, 2005). Ce processus de décision est vérifié dans un contexte de type expérimental. La seconde perspective peut être qualifiée de « naturaliste » et place la décision semblable à un processus d'adaptation à une situation ordinaire (Ross et al., 2006). Avec ce type d'approche, les recherches se déroulent dans des situations naturelles. On pourrait illustrer ces propos avec : un match de hockey sur glace qui se déroulerait dans une patinoire. Dans cet exemple, il serait question d'observer ce sport en situation réelle dans un contexte naturelle.

Dans le cas de cette étude, il est question d'avoir une approche expérimentale car l'idée est d'examiner une optimisation lors de la prise de décision ainsi que de l'apprentissage perceptivo-cognitif. Les méthodes et types d'entraînements se différencient suivant les objectifs fixés. Une multitude de facteurs physiques comme la vitesse, l'équilibre, la force, l'endurance et la coordination peuvent être augmentés grâce à un entraînement dédié. Ces différents facteurs sont entraînés différemment suivant les besoins et spécificités d'une certaine discipline. Avec ce travail, il est question d'examiner l'efficacité d'un apprentissage de type perceptivo-cognitif. D'après Marteniuk (1976), les capacités perceptuelles et cognitives conduisent à l'acquisition et l'identification des informations issues de l'environnement. Tout cela dans le but de les intégrer aux connaissances déjà identifiées afin d'établir les réponses les plus adaptées aux circonstances. Plusieurs types de recherches sur la connaissance du processus de prise de décision dans le

cadre du sport sont recensées dans la littérature scientifique : la prise des informations, la base de connaissances ainsi que le fonctionnement de la mémoire (Bossard & Kermarrec, 2011). Grâce à ces trois types de recherches complémentaires, une meilleure compréhension du déroulement de la prise de décision d'un athlète est envisageable. Dans ces différentes recherches, les athlètes experts ont été comparés aux athlètes novices pour caractériser les fonctionnements de la prise de décision.

1.2.1 Prise d'informations stratégiques

La perception visuelle est un élément essentiel pour le sportif. Elle lui permet de savoir à quel moment et à quel endroit chercher. Cependant, l'environnement autour de l'athlète comporte souvent un très grand nombre d'informations qui pour certaines ne sont pas utiles et pertinentes pour l'action à réaliser. L'enjeu pour l'athlète est d'être capable de sélectionner et d'extraire avec efficacité les informations pertinentes de son champ de vision (Williams et al., 1999). Beauchamp et Faubert (2011) ont défini la perception visuelle en tant que progression des améliorations des habiletés perceptivo-cognitives destinées à décrypter les images ainsi que les scènes dynamiques. La perception visuelle est considérée par ces deux auteurs comme un des processus des plus essentiels et sélectifs dans la pratique sportive pour le cerveau. Une éventuelle diminution des performances peut être constatée si les informations et différents messages ne sont pas distingués suffisamment rapidement et précisément par le système visuel. Une étude d'Erickson et al. (2011) a montré, qu'il existe une corrélation entre la réussite sportive et les aptitudes visuelles. Un travail de Ciuffreda et Wang (2004) propose même que ces aptitudes nécessiteraient d'être incluses dans les programmes d'entraînements pour tous les sports. Ce travail a justement pour intérêt de proposer l'apprentissage de ces aptitudes visuelles aux sujets de l'étude pour qu'ils obtiennent des performances supérieures. La littérature scientifique s'intéresse abondamment aux raisons qui expliquent pourquoi les athlètes experts prennent de meilleures décisions que les novices dans l'utilisation du système visuel. La communauté scientifique s'est désormais accordée pour dire que les athlètes experts ont une capacité de traitement visuel plus élaborée (Poltavski & Biberdorf, 2015). Diverses études scientifiques ont étudié différents domaines en lien avec ce sujet comme : le temps de réaction (Berg & Killian, 1995), la perception de la profondeur (Laby et al., 1996), le traitement de l'information (Overney et al., 2008; A. Mark Williams et al., 2004) ainsi que la coordination entre l'œil et la main (Roca et al., 2011). Williams (2000) a constaté des capacités supérieures de récupération, d'encodage et d'identification des informations spécifiques au sport chez les athlètes experts. Il décrit que les experts sont au bénéfice d'une stratégie de collecte et de recherche d'informations

supérieure. Les athlètes experts adoptent une stratégie de prise d'information « globale ». Ils ont les capacités de prélever les informations simultanément sur différents domaines (Jackson et al., 2006; Mark Williams et al., 2009; Starkes & Ericsson, 2003). Il y a également une anticipation de la récolte des informations qui est orientée vers la posture de l'adversaire avant une action décisive (Müller et al., 2006). Une étude de Bard et al. (1994) s'est penchée sur ce sujet dans le hockey sur glace. Elle a remarqué une attention accrue des joueurs experts vers les champs abondants en informations, au contraire des champs pauvres en informations qui sont écartés. Selon Helsen et Starkes (1999), les stratégies visuelles qui sont choisies par les joueurs varient suivant l'intention du joueur et le genre d'action (situation défensive ou offensive).

1.2.2 La base de connaissances

Causser et al. (2012) ont défini la base de connaissances en tant que réseau de connaissances conservées au sein de la mémoire à long terme. Ces connaissances peuvent être déclaratives (savoir théorique) et/ou procédurales (concrétisation de l'action) (Ericsson, 2014). D'après Ericsson (2014), les athlètes experts ont accès facilement à ces bases de connaissances qui sont utilisées pour l'identification et l'interprétation des signaux appropriés parmi leur environnement. Ces bases de connaissances sont développées et améliorées spécifiquement pour leur spécialité. Contreras Jordàn et al. (2005) avancent qu'il est possible pour un sportif d'avoir une base de connaissances plus développée, mieux organisée et plus élargie grâce à une pratique dans son sport, intense et régulière. Un travail sur le volleyball de McPherson et Vickers (2004) s'est penché sur ce sujet en examinant quels types de connaissances sont désignées lors d'une réception de service et l'exécution d'une passe. Les auteurs ont observé que les joueurs experts instaurent, avant d'effectuer leur geste technique, des schémas d'actions qu'ils pouvaient adapter durant l'action. La planification de ces schémas d'actions se faisait en combinant les informations issues de la situation du moment et de celles des situations antérieures. Une étude de Christensen et Glencross (1993), traitant du hockey sur gazon, sport relativement proche du hockey sur glace, avait émis les mêmes conclusions que l'étude citée précédemment dans les mises en place des bases de connaissances chez les joueurs experts.

1.2.3 Le fonctionnement de la mémoire

La littérature scientifique s'intéresse au fonctionnement de la mémoire pour comprendre les processus cognitifs qui se cachent derrière les décisions et son organisation. Nous avons vu précédemment que les athlètes experts ont la capacité d'assimiler aisément les informations essentielles à l'action en cours dans l'intention de prendre la décision la plus pertinente possible

(Williams, 2000). À cela s'ajoute également, selon Chase et Simon (1973), que la mémoire spécifique chez les athlètes experts est plus développée. Ils ont dès lors la capacité d'emmagasiner un nombre d'informations plus conséquent. De plus, Starkes (1987) a prouvé que les athlètes experts sont capables, lors de situations spécifiques à leur pratique sportive, de s'adapter plus rapidement. Ils ont aussi la capacité d'identifier plus rapidement des moments de jeu déjà expérimentés (North et al., 2009; Smeeton et al., 2004). Macquet (2009) définit une situation familière comme un événement semblable vécu auparavant par le joueur, dont ce dernier a recours pour choisir la décision adaptée à la situation présente. Dans le cadre de cette étude, la situation proposée aux participants a lieu dans un contexte connu et propre à la pratique du hockey sur glace. Les sujets auront déjà vécu ce type de situation et pourront les relier avec des situations antérieures dans le déclenchement de la décision demandée. Ces aptitudes perceptivo-cognitives spécifiques conduisent à la capacité d'anticipation de même qu'au processus de la prise de décisions (Williams, 2009). L'obtention et l'accroissement de ces aptitudes parmi les athlètes experts est le fruit de la structuration de leur mémoire et de leurs connaissances propres à leur pratique sportive (Williams & Ward, 2007). La littérature scientifique énoncée atteste, que dans le sport, chez des athlètes experts, les aptitudes perceptivo-cognitives exercent une grande influence en particulier avec l'optimisation des résultats. En vue d'optimiser son processus de prise de décisions, ces deux aptitudes sont tenues de fonctionner conjointement (Lenzen et al., 2009; Williams et al., 2011). Avec ce travail, il est question de mettre les participants dans une situation où ils doivent accroître ces deux aptitudes de manière à optimiser leurs décisions.

1.2.4 La capacité d'anticipation

La capacité d'anticipation est fréquemment citée dans la littérature scientifique en tant qu'un des facteurs qui offre aux sportifs un avantage réel. L'anticipation signifie être en avance sur un événement planifié. Dans le cadre de sports de renvoi comme le tennis, le temps de déplacement de la balle pour atteindre l'opposant est inférieur au temps que prend ce dernier pour réagir. L'opposant doit donc déterminer une réponse au préalable de la frappe de l'opposant (Williams et al., 1999). D'après Williams et al. (2011), les athlètes sont au bénéfice de processus cognitifs qu'ils utilisent pour s'adapter et ainsi avoir la capacité d'anticiper. Toujours selon Williams et al. (2011), les capacités perceptivo-cognitives qui simplifient l'anticipation sont caractéristiques au sport, à la fonction et sont assimilées grâce à la pratique en continu des conditions spécifiques. L'anticipation accorde du temps supplémentaire pour concrétiser la réponse la plus appropriée et la plus adaptée à la situation. Pour ce travail, ce n'est pas la capacité

d'anticipation, ni la vitesse de prise de décision qui nous intéresse, mais plutôt la qualité des choix lors de la prise de décision. Néanmoins, il est intéressant d'évoquer que l'anticipation impacte indirectement la capacité de prendre des décisions de qualité.

1.3 Apprentissage en laboratoire

Le but de ce travail est d'agencer un entraînement dans un cadre expérimental, à savoir en laboratoire, qui permet de mettre en place des situations potentielles offrant aux sujets différentes possibilités lors de leurs choix de décision. Ce procédé donne la possibilité aux participants d'entraîner ce processus en dehors des compétitions et également d'estimer, lors de chaque situation, quelle en serait la meilleure option. À cela s'ajoute la possibilité de pouvoir rejouer des phases de jeu ainsi que la possibilité d'analyser les effets des choix réalisés. Cependant, selon Bideau et al. (2010), le système agencé est obligé d'intégrer une action plus une perception réaliste pour en étudier les caractéristiques de la performance. D'après Crognier et Féry (2007), l'analyse par vidéo et les différentes techniques qui en découlent constituent à ce jour la méthode d'analyse la plus utilisée dans l'évaluation de la performance des joueurs.

1.3.1 Le feedback vidéo pour l'apprentissage

Le feedback vidéo (FV) se définit comme le fait de filmer un sportif en action, puis de lui transmettre un retour par le biais de la vidéo sur sa conduite dans le but d'observer un éventuel apprentissage qui sous-entend une progression des performances. L'étape de la visualisation de la séquence vidéo, contribue à améliorer la pertinence ainsi que l'efficacité des actions effectuées et donc, en d'autres termes, les habiletés cognitives (García-González et al., 2013). Cet apprentissage permet aux sportifs d'apprendre à identifier les éléments visuels adéquats, à identifier les phases de jeu typiques, à l'image du tir au but, dans le but de sélectionner l'action la plus adaptée lors d'une situation similaire pendant un match (Pagé et al., 2019). Cependant pour espérer acquérir un apprentissage explicite et implicite des capacités de perception et de cognition, le FV doit être utilisé avec un grand nombre de répétitions et sur une longue période temporelle (Raab, 2005). Souvent, lors d'études comportant du FV lié à la prise de décision, la méthode choisie est l'occlusion temporelle. À divers moments, l'expérimentateur stoppe la vidéo et les sujets sont contraints d'identifier et justifier quel type d'action ils engageraient s'ils se trouvaient sur le terrain (Broadbent et al., 2015). Ce type de technique était utilisé le plus souvent dans les études citées auparavant qui s'intéressaient aux différences parmi les experts et les novices dans la perception et la prise de décision. Néanmoins, le FV comprend diverses limites observées par les chercheurs : il y a une différence entre la réalité et le contexte virtuel

développé (Williams et al., 1994) ainsi qu'un affichage 2D qui réduit l'accès aux informations visuelles (Petit & Ripoll, 2008). Grâce au développement des nouvelles technologies ces dernières années, il est désormais possible avec la RV de passer au-delà de ces limites et d'offrir de nouvelles perspectives de technique vidéo.

1.3.2 La réalité virtuelle pour l'apprentissage

Dans ce travail, il est justement question d'utiliser la RV comme méthode d'entraînement pour développer les capacités perceptivo-cognitives de hockeyeurs professionnels. Cette méthode, bien que relativement récente, ne cesse de se développer et intéresse les chercheurs. Au premier abord, il peut sembler étonnant et difficilement envisageable qu'un sportif puisse obtenir des effets positifs à partir d'une méthode qui ne nécessite aucun effort physique de sa part. Diverses études se sont penchées sur le virtuel dans différents sports. La tendance générale semble montrer une efficacité de cette technique d'apprentissage, même si certaines études n'ont pas toujours obtenu des résultats significatifs (Panchuk et al., 2018; Romeas et al., 2016; Vignais et al., 2015). Néanmoins, d'autres études utilisant la RV ont obtenu des résultats positifs dans l'apprentissage de tâches motrices, entre autres dans les domaines des fléchettes (Tirp et al., 2015), de l'aviron (Rauter et al., 2013), du baseball (Gray, 2017), du rugby (Correia et al., 2012) ou encore du football (Cortes et al., 2011). La RV est appropriée pour un apprentissage cognitif (Faubert & Allard, 2013) et implicite (Patterson et al., 2009a). Cette méthode donne l'occasion de mettre le sportif dans des situations semblables à la réalité mais dans un environnement contrôlé par l'expérimentateur. Le sportif est immergé virtuellement à l'aide du casque de RV tout en étant assis dans une salle devant un ordinateur. La RV possède différents avantages par rapport aux méthodes d'apprentissage précédemment citées : une immersion d'un point de vue égocentrique dans un monde virtuel (Petit & Ripoll, 2008), une interaction des personnes avec le monde virtuel pour analyser divers types de comportements spécifiques comme la prise de décision pendant des actions (Vignais et al., 2015), la capacité de pouvoir contrôler et modifier les variables du monde virtuel développé (Brault et al., 2015), la possibilité de choisir le point de vue dans un monde virtuel (Schomaker et al., 2011) et finalement la capacité d'avoir un grand nombre d'essais sans pour autant en diminuer la qualité du stimulus recherché (Tarr & Warren, 2002). Grâce au contrôle et à la maîtrise de la configuration de la RV, il est intéressant d'utiliser ces caractéristiques pour le hockey sur glace, sport contenant de multiples variations et paramètres à prendre en compte lors des séquences de jeu. L'expérimentateur a la possibilité de créer un monde virtuel selon les besoins des variables recherchées. Les études énoncées précédemment ont démontré les effets positifs d'un apprentissage à l'aide de la RV pour

améliorer les performances dans un cadre expérimental. D'autres études se sont intéressées à la transférabilité de ces performances, obtenues dans un cadre expérimental, à des situations concrètes sur le terrain. Bien que les résultats diffèrent selon les études, il en ressort que, si l'athlète s'entraîne à apprendre les bonnes décisions dans le plus de situations possibles, il sera capable de répéter ce processus de décision dans un cadre réel (Hagemann et al., 2006; Schul & Memmert, 2017). Une étude de Pagé et al. (2019) a mesuré la capacité de prise de décision de basketteurs universitaires à l'aide de deux méthodes : la FV et la RV. L'utilisation de la méthode de RV a montré des bénéfices transférables ainsi que généralisés tandis que la méthode FV a démontré des bénéfices uniquement transférables mais non généralisés. Ce travail a justement comme objectif d'utiliser la RV pour entraîner les participants lors de nombreuses séquences avec diverses configurations et, ainsi, bénéficier d'un transfert des performances du cadre expérimental à la patinoire.

1.4 Objectif du travail

L'objectif de ce travail est de déterminer si l'utilisation de la RV avec deux types de feedback, un feedback sur la qualité du choix et le point de vue depuis le puck au moment du tir, permet d'améliorer la prise de décision cognitive dans une situation de tir en 1 contre 1 face au gardien chez des joueurs professionnels de hockey sur glace. Le but est de voir si un entraînement de la prise d'information cognitive au travers des deux types de feedback permet d'améliorer les performances des participants en comparaison avec un groupe contrôle qui ne dispose d'aucun feedback. Ce travail s'inscrit dans la continuité des deux travaux de master similaires (Devaud, 2021; Sauthier, 2020) qui traitaient du même thème, dans le but d'observer si la tendance des résultats obtenus lors de ces deux travaux trouvent des similitudes avec une population différente. En effet, la population utilisée lors de ces deux travaux était composée de joueurs « élites » tandis que, dans ce travail, il s'agira de joueurs professionnels. L'intérêt d'avoir un type de sujet différent est de confirmer ou non la tendance des résultats obtenus lors des deux précédents travaux. Les deux travaux cités ont énoncé que la VR permet d'entraîner la précision et donc la performance des tirs dans le cas du hockey sur glace. La simulation au travers des lunettes de VR offre la possibilité d'entraîner de manière spécifique les aptitudes cognitives et perceptives qui engendrent une meilleure performance de tirs lors de situations de 1 contre 1 face au gardien (Devaud, 2021; Sauthier, 2020). Le logiciel adopté pour ce travail a déjà été utilisé lors des deux précédents travaux. Les feedbacks et remarques de ces derniers ont permis d'optimiser et d'affiner le programme dans le but de le rendre encore plus réaliste lors des

situations de tirs entre le joueur et le gardien. Ce travail a pour mission d'étudier et d'observer la manière dont les hockeyeurs professionnels peuvent bénéficier d'un apprentissage perceptivo-cognitif grâce à la RV en répondant à la question suivante :

- Un apprentissage en réalité virtuelle, offrant un feedback visuel sur la qualité du choix et le point de vue du puck, favorise-il la capacité de prise de décision des hockeyeurs professionnels ?

Pour répondre scientifiquement à cette question, les deux hypothèses suivantes ont été choisies
H0 : Un apprentissage en réalité virtuelle, offrant un feedback visuel sur la qualité du choix et le point de vue du puck, ne favorise pas la capacité de prise de décision des hockeyeurs professionnels.

H1 : Un apprentissage en réalité virtuelle, offrant un feedback visuel sur la qualité du choix et le point de vue du puck, favorise la capacité de prise de décision des hockeyeurs professionnels.

En complément des objectifs et hypothèses précités, il est également question de mettre en avant la problématique de la différence de perspective rencontrée par les joueurs de hockey sur glace. Nous nous intéresserons à l'impact de l'utilisation d'un casque de RV pour atténuer les difficultés liées aux différences de perspectives entre le point de vue du puck et le point de vue des yeux du joueur.

2 Méthode

2.1 Description de l'échantillon

Tous les participants de cette étude étaient des hommes âgés de 27.25 ± 9.25 ans. Il s'agissait de joueurs professionnels de hockey sur glace jouant pour l'équipe du HC Fribourg Gottéron évoluant dans la plus haute ligue de Suisse, la Ligue Nationale A. Le poste des joueurs sur la glace ainsi que le côté avec lequel ils tenaient leur canne n'avaient pas d'importance pour cette étude. Les joueurs qui ont pris part au test pouvaient aussi bien être droitiers que gauchers. Les conditions et règles de l'expérience étaient expliquées à tous les participants. Les joueurs ont attesté par écrit leur consentement ainsi que l'authenticité des renseignements personnels transmis. Ils étaient également libres d'interrompre l'étude à tout moment.

Les sujets ont été répartis pour former deux groupes homogènes de huit participants. Il y avait un groupe d'apprentissage (groupe test) qui a bénéficié de deux types de feedbacks ainsi qu'un groupe contrôle sans aucun feedback. Le groupe d'apprentissage disposait dans un premier temps d'un feedback explicite résultant de la qualité du choix sélectionné ainsi que d'un second feedback implicite montrant au sujet l'angle de vue au sol depuis le puck. Pour éviter tout problème de répartition, une comparaison statistique a été faite pour les deux groupes lors du pré-test afin d'exclure une différence de performance de base entre les groupes.

2.2 Instruments de recherche

Un casque de réalité virtuelle de la marque Pimax a été utilisé pour cette étude. Il s'agissait du modèle Pimax 5K XR comportant deux écrans QuadHD avec une résolution de 2560x1440 pixels. Ce dispositif était branché à un ordinateur par un câble USB 3.0 et un Displayport 1.4. Les participants avaient la possibilité d'optimiser le réglage du casque de RV à l'aide de straps ainsi que d'une molette pour ajuster l'écart entre les yeux et les écrans internes au casque. Cet ajustement individuel était important pour une immersion à 200° la plus réaliste possible dans l'action avec une image nette. Les sujets se trouvaient en situation de 1 contre 1 face au gardien et ils devaient choisir une zone où tirer. Le choix du tir se faisait sur une des 5 zones en forme de cible ronde de même surface. Ces cibles situées derrière le gardien étaient identiques aux 5 boutons blancs qui se trouvaient sur le boîtier réponse noir (voir figure 1) qui était posé devant le sujet lors du test. La personne devait appuyer sur le bouton qui correspondait à la zone derrière le gardien où la chance de marquer semblait la plus grande. L'objectif de la conception du

boîtier réponse a été de rendre son utilisation la plus triviale et ergonomique possible sachant qu'avec le casque sur la tête, le joueur de hockey ne peut pas voir le boîtier. Ce boîtier réponse était également branché par câble USB 3.0 à l'ordinateur.

Figure 1

Boîtier réponse comportant les 5 boutons blancs correspondants aux cibles dans la cage du gardien



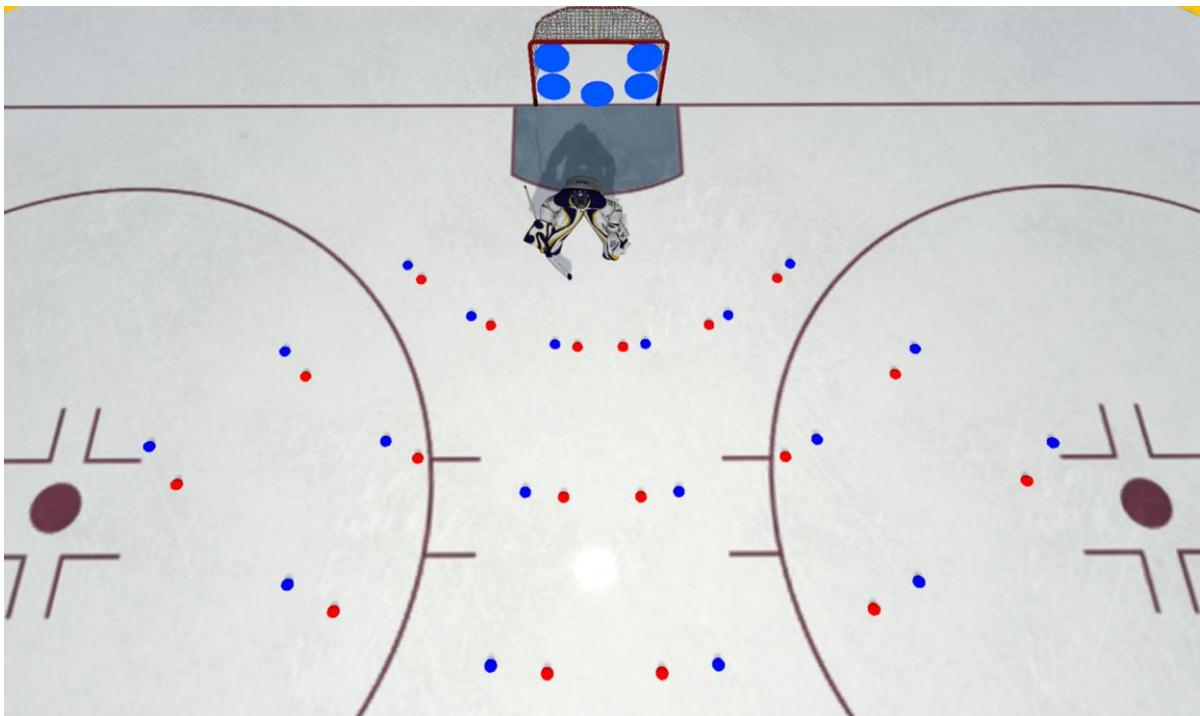
2.3 Software

Le software utilisé pour cette étude a été développé par le laboratoire CoPe Lab de l'Université de Fribourg. Ce dernier, qui a été utilisé par le biais du casque de VR, avait pour objectif de simuler des situations de tir en 1 contre 1 face au gardien. Ces situations débutaient à partir de la zone offensive à 15 mètres de la cage de hockey allant jusqu'à des distances variables de 3.5, 5.5 et 7.5 mètres de la cage du gardien. Le sujet avançait vers le gardien avec une vue à la première personne à une vitesse de 30 km/h vers le but. Selon les séquences, les angles d'approches, à partir desquels le sujet partait, changeaient. Lors du pré- et post-test, l'angle d'approche du joueur pouvait être de 45°, 25°, 5°, -5°, -25° et -45°. Ces angles étaient déterminés avec le demi-cercle de la zone du gardien. Ce demi-cercle, qui se situe à 1 mètre du but, était la ligne où se plaçait le gardien lors de chaque début de séquence. À chaque approche, le sujet avançait automatiquement face au gardien. Si le joueur partait depuis presque le milieu de la zone offensive, le gardien se trouvait face à lui, perpendiculaire au milieu de la ligne de but, ce qui, dans ce cas, correspondait à un angle de 5°. Dans le but d'éviter d'éventuels biais d'apprentissage, les angles d'approches ont été décalés de 5° lors du deuxième bloc. En conséquence, les sujets pouvaient partir des angles 50°, 30°, 10°, -10°, -30° et -50° lors de la phase d'apprentissage. Ainsi, le deuxième bloc était différent des blocs 1 (pré-test) et 3 (post-test) (voir figure 2).

Le software randomisait 3 distances et 6 angles différents pour proposer une série de séquences. Chaque bloc comportait une répétition de 3 séries pour arriver au nombre de 54 (3×18) séquences. Ce nombre d'essais a été défini pour trouver un compromis entre le temps nécessaire pour le test et le nombre de valeurs à récolter dans le but d'obtenir un nombre suffisant de données pour effectuer une analyse crédible. Le test dans son ensemble comportait 162 (3×54) séquences au total par participant.

Figure 2

Illustration des divers angles d'approches, en bleu (phase d'apprentissage) et en rouge (pré- et post-test) ainsi que les différentes distances de shoot représentées par les points



Note. On retrouve les 5 cibles bleues dans le but qui correspondent aux boutons blancs du boîtier réponse de la figure 1.

Dans l'optique de rendre le test le plus proche de la réalité, trois mesures se basant sur un système d'axe en trois dimensions ont été effectuées sur chaque sujet pour ensuite les entrer dans le software. Les trois valeurs individuelles comprenaient : 1) l'éloignement vertical des yeux du joueur au point de contact perpendiculaire avec la glace lorsque ce dernier est en position de shoot ; 2) l'éloignement horizontal de ce point de contact perpendiculaire avec la glace jusqu'au milieu de la projection de la rondelle ; 3) l'éloignement de ce point de projection au milieu réel

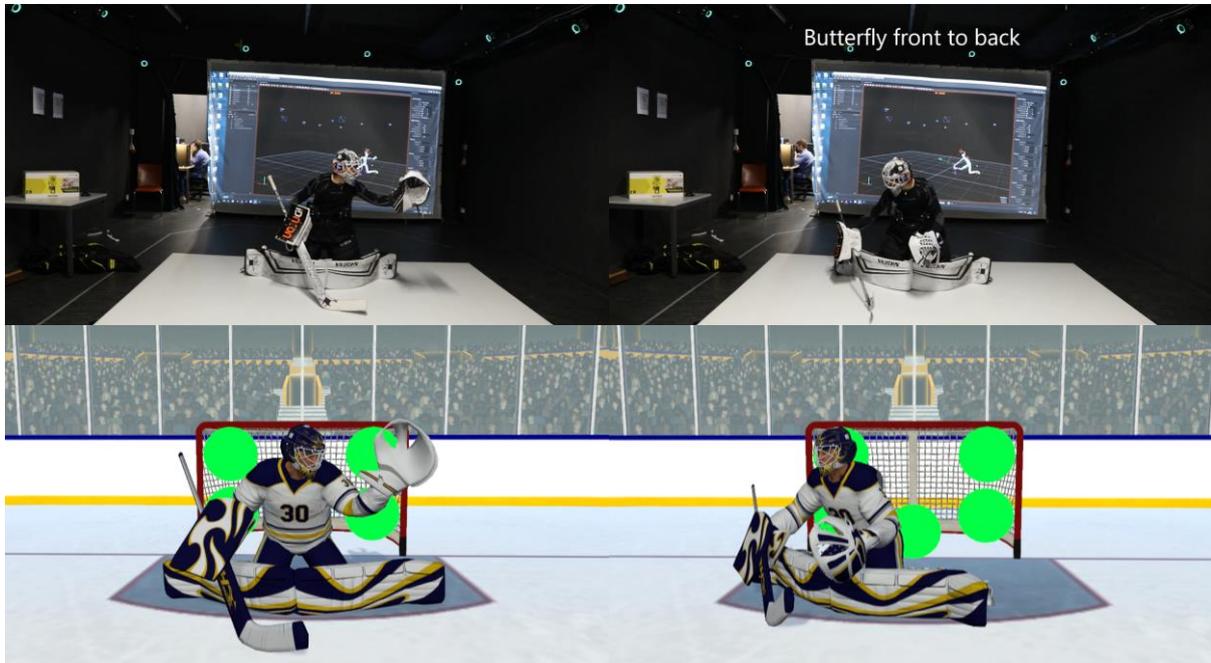
de la rondelle. Afin d'obtenir des informations complémentaires sur les mesures, le chapitre 2.3.2 ainsi que la figure 5 sont utiles. Ces valeurs sont essentielles pour que le joueur se sente au plus près de la réalité dans la simulation. Les joueurs ont leurs préférences lors d'un tir, ce qui explique pourquoi la distance joueur-rondelle lors d'un shoot peut fortement varier en fonction du joueur et de ses préférences personnelles. La taille du sujet joue aussi un grand rôle sur l'angle qui va être perçu par le sportif. Bien que deux sujets puissent avoir une taille identique, leur position lors du tir peut varier, ce qui exercera une influence sur les valeurs anthropométriques et donc sur l'avatar dans le software. Grâce à la personnalisation individuelle, cela permet d'optimiser au maximum la représentation virtuelle. Il est intéressant de préciser, que dans cette étude, les temps de réactions et de réponses n'ont pas été pris en compte car le but n'était pas d'observer une éventuelle amélioration temporelle, mais uniquement qualitative. Pour écarter les risques d'obtenir des effets différents pour chaque participant et donc de biaiser les résultats, la variable du temps de réaction n'a pas été considérée.

2.3.1 Optimisation du logiciel

Pour rendre l'expérience des participants la plus réaliste possible, le laboratoire CoPe Lab de l'Université de Fribourg a collaboré avec David Aebischer, entraîneur des gardiens du HC Fribourg Gottéron. C'est notamment grâce à l'expertise de ce dernier que les angles d'approche ainsi que les distances de tir ont été déterminés. Lors de chaque séquence, le gardien ne restait pas en position statique en direction du joueur, mais ce dernier effectuait un des 4 types de parades modélisées tout en reculant légèrement lorsque le joueur s'approchait de lui. La modélisation s'est déroulée avec un gardien du HC Fribourg Gottéron et sous les conseils de Monsieur Aebischer dans le laboratoire CoPe Lab à l'aide de l'OptiTrack. Deux arrêts différents en style papillon (Butterfly) de chaque côté (gauche et droite) ont été capturés pour en créer l'avatar (voir figure 3). Ces deux arrêts ont également été modélisés et programmés pour être des arrêts terminés ou non terminés et distribués de manière équiprobable.

Figure 3

Illustration de la modélisation des types de parades de l'avatar du gardien grâce à l'OptiTrack du laboratoire CoPe Lab



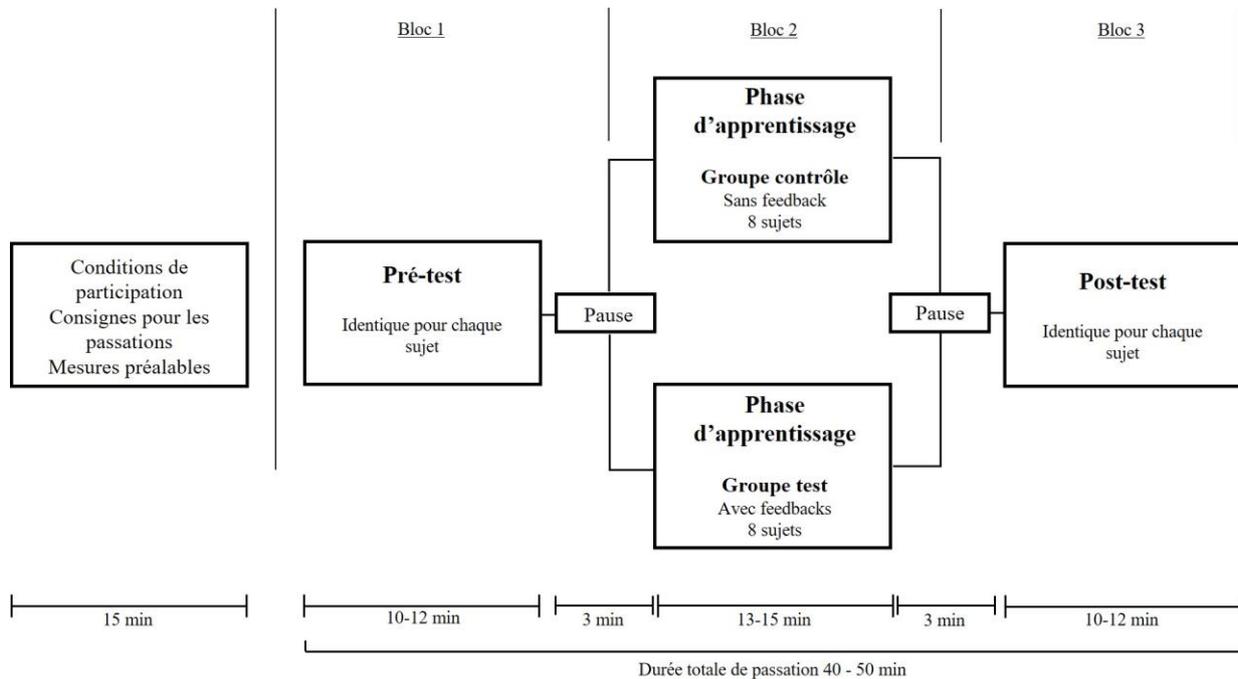
2.4 Protocole de passation

2.4.1 Design de l'étude

Une fois les trois mesures (voir point 2.3.2) anthropométriques obtenues, les conditions et consignes expliquées au sujet, l'expérience se fragmentait en trois parties : un pré-test, une phase d'apprentissage et un post-test. La figure 4 permet de mieux comprendre et d'avoir une vue d'ensemble de l'expérience. Entre les blocs, une brève pause était proposée aux participants pour leur permettre d'enlever le casque quelques instants. Une fois les trois blocs terminés, les sujets avaient la possibilité de donner un feedback sur l'expérience. Ils pouvaient faire un retour sur le ressenti de l'immersion ainsi que d'autres remarques en lien avec le test. Il fallait compter environ 45 et 60 minutes pour la durée totale de l'expérience selon les remarques des sujets ou selon le groupe. Les personnes du groupe contrôle n'ayant pas eu de feedback, le temps total en était souvent réduit à 45 minutes, contrairement au groupe test qui bénéficiait des deux types de feedback lors de la phase d'apprentissage et qui prenait donc plus de temps.

Figure 4

Schéma du design de l'étude avec indications des durées approximatives des différentes parties



2.4.2 Explications et prise des mesures préalables

Les participants avaient reçu au préalable les consignes (voir annexes 1 & 2) de l'expérience. Dès que les joueurs de hockey sur glace arrivaient sur place, ils recevaient à nouveau les consignes ainsi que les conditions de participation. Une fois ces dernières lues et comprises, ils signifiaient, avec leur signature, leur accord à participer et à l'utilisation des données pour l'expérience. Vous trouverez toutes les mesures, données et consignes dans le chapitre annexe de ce travail. Le joueur se munissait ensuite de sa canne et ses patins dans le but d'effectuer la prise des mesures anthropométriques. Il était imposé au joueur de se mettre en position de tir au poignet lors d'une situation de 1 contre 1 face au gardien. Dès que le joueur était en place, l'expérimentateur plaçait une rondelle contre la palette de la crosse du joueur. Avec cette position figée du participant, trois valeurs pouvaient être mesurées à l'aide d'un fil à plomb et de mètres. La figure 5 permet d'avoir une meilleure compréhension des valeurs mesurées en se basant sur un axe en trois dimensions. L'Origine représentant le point sur la glace précisément perpendiculaire au point se situant entre les deux yeux du joueur. La première valeur mesurée (DY) correspondait à l'éloignement vertical des yeux du joueur au point de contact perpendiculaire avec la glace (Origine) lorsque ce dernier était en position de shoot. La seconde valeur quantifiée (DX) correspondait à l'éloignement horizontal de ce point de contact perpendiculaire

avec la glace jusqu'au milieu de la projection de la rondelle. La troisième et dernière valeur (DZ) prise en compte correspondait à l'éloignement de ce point de projection au milieu réel de la rondelle. Ces valeurs étaient ensuite inscrites dans le software avec les données individuelles de chaque sujet. Ce dernier pouvait mettre de côté sa canne et ses patins et prendre place confortablement dans une pièce calme sur une chaise. Devant lui, se trouvait un ordinateur ainsi que le boîtier réponse (voir figure 1). Le participant positionnait ensuite le casque de VR sur la tête et, dès que ce dernier se sentait à l'aise, l'expérience pouvait alors commencer.

Figure 5

Représentation des trois distances mesurées pour la personnalisation de l'expérience selon un système d'axes en trois dimensions



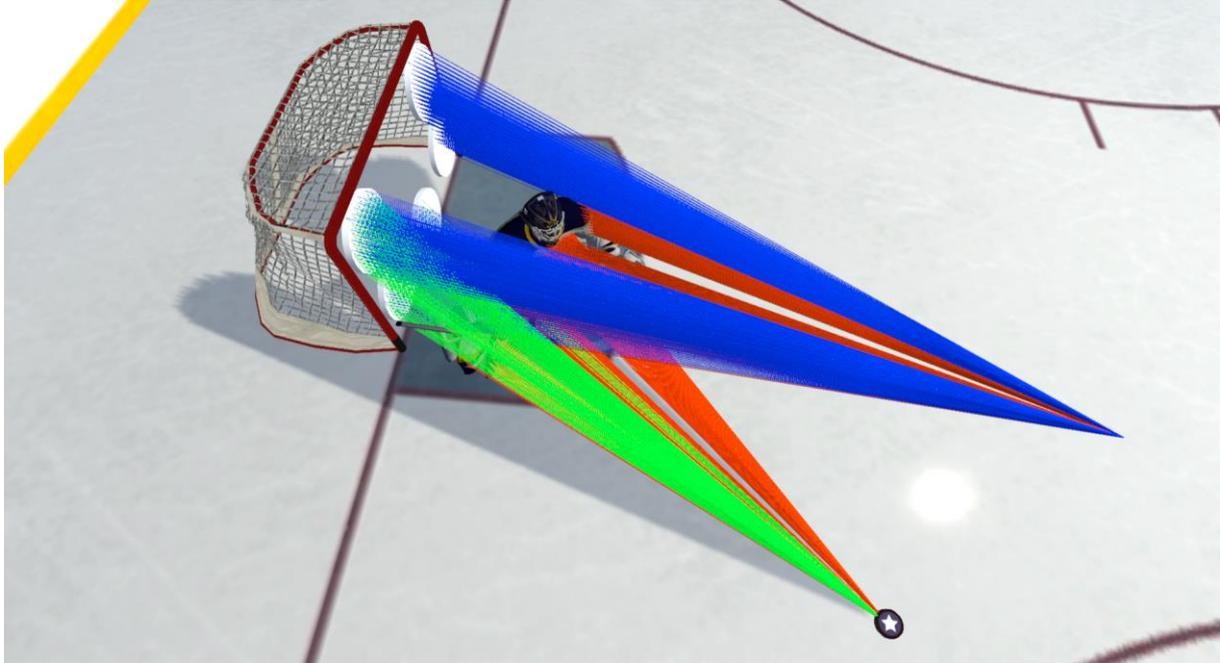
2.4.3 Pré-test

Une fois la prise des mesures terminées et l'ajustement des straps du casque de RV effectué, les participants commençaient le bloc 1 avec le pré-test pour une dizaine de minutes. Ce pré-test immergeait les joueurs dans une situation d'immersion virtuelle en situation de shoot au but en 1 contre 1 face au gardien. Ce bloc se composait de 18 séquences d'approches qui mélangeaient 3 différentes distances de shoot ainsi que 6 différents angles d'avancement. Ces derniers concordait avec l'orientation du gardien pour que le joueur s'avance toujours face à lui. Ces 18 séquences étaient renouvelées à 3 reprises pour obtenir un total de 54 approches pour

ce premier bloc. L'émission des séquences était faite de manière aléatoire pour éviter tout biais en lien avec la chronologie de passation. Le software s'occupait de randomiser la programmation des séquences. Lors de chaque début de séquence, le joueur avait 1 seconde à disposition pour se préparer avant qu'il n'avance virtuellement vers le but. Il fallait compter entre 1 à 2 secondes pour l'approche depuis un des six angles possibles, puis l'avancement s'immobilisait à un des trois éloignements possibles du gardien. Une fois stoppé, le sujet disposait de 2 secondes pour sélectionner, en appuyant sur le boîtier réponse, la cible qui semblait la plus accessible pour marquer un but selon lui. Cela devait être la zone qu'il estimait la moins protégée et couverte par le gardien. Lorsque le sujet dépassait la fenêtre de 2 secondes à disposition pour appuyer sur le boîtier réponse, le texte « Time out, please try again » apparaissait au-dessus du but ce qui signifiait que la durée impartie était dépassée. L'essai était alors annulé et un essai supplémentaire aléatoire était proposé pour terminer le bloc avec les 54 séquences à comptabiliser. Dès que le sujet appuyait sur un bouton après avoir choisi sa cible, l'essai suivant commençait après une durée de 3 secondes sans que la personne ne reçoive de feedback ou informations quant au résultat. Un score compris entre 0 et 1 pouvait être obtenu lors de chaque séquence pour évaluer la capacité cognitive du sujet à choisir la « meilleure » zone en rapport avec l'espace qui n'était pas protégé par le gardien. Lorsque la zone avec le moins de protection depuis la rondelle avait été choisie, le sujet recevait un score de 1. Concrètement, le logiciel créait pour chaque essai, des lancers de rayons partants depuis le point de tir qui prenaient la forme de cônes en direction des 5 zones circulaires se situant dans la cage du gardien. Les zones rondes derrière le gardien formaient la base des cônes de lancers de rayons. Ces derniers se composaient de 121 rayons répartis de manière uniforme dans l'espace. Par soucis de compromis entre l'efficacité et la précision de la discrétisation du calcul, ce nombre spécifique de 121 a été choisi. Tous les rayons étaient systématiquement reliés depuis la position de la rondelle jusqu'à sa destination prédestinée dans la cible. Si le gardien en maillage virtuel dans le logiciel interceptait des rayons, ces derniers étaient stoppés (voir figure 6). Le meilleur choix possible était défini selon la cible circulaire qui recevait le plus grand nombre de rayons. Grâce à la division entre la quantité de rayons perçus pour chacune des cibles rondes et le nombre maximum, il était possible de constituer un score normalisé sous la forme de valeur allant de 0 à 1. Toutes ces données s'enregistraient systématiquement et de manière autonome en format JSON dans un document texte. À préciser que les scores n'ont pas été transmis aux joueurs pendant l'expérience. Lors de la fin de ce premier bloc, 3 minutes de repos étaient proposées au sujet pour retirer le casque de RV et boire quelque chose si nécessaire. Durant cette brève pause, les explications pour le bloc suivant étaient transmises.

Figure 6

Illustration des cônes de « lancés de rayons » depuis l'emplacement de la rondelle (vert et rouge) ainsi que ceux depuis la perspective du participant (bleu et rouge)



Note. Les rayons verts et bleus sont ceux qui atteignent les cibles dans le but tandis que les rayons rouges sont ceux qui sont interceptés par le gardien.

2.4.4 Phase d'apprentissage

L'ensemble des participants a effectué le pré-test. Dès que ce dernier était terminé, les joueurs ont été séparés de manière homogène en deux groupes pour ce second bloc : le groupe test et le groupe contrôle. Dans le but d'éliminer les biais d'apprentissage avec le pré-test, les angles d'approches étaient déplacés de 5° et variaient ainsi entre 50° et -50° . Cependant les distances n'étaient pas modifiées et restaient identiques à celles du premier bloc tout comme le nombre de séquences qui s'élevait à 54. Dès que le joueur avait appuyé sur un des boutons du boîtier réponse, 2 types de feedbacks différents s'affichaient pour une durée chacun de 2.5 secondes. Durant ces 5 secondes, les 2 feedbacks s'affichaient dans les lunettes de RV l'un après l'autre (voir figure 7). Le feedback avec la coloration des cibles (CC) apparaissait en premier et indiquait la qualité du choix avec l'appréciation sur l'échelon de réussite du shoot. Cette coloration pouvait prendre des nuances de vert et de rouge différentes selon la justesse du choix opéré. La couleur verte correspondait à des choix avec plus de 50% de taux de réussite tandis que la

couleur rouge équivalait à des choix avec des proportions de réussite inférieures 50%. En complément de la coloration, la meilleure solution possible entre les 5 cibles à sélectionner se démarquait des autres possibilités avec un cylindre vert en trois dimensions (voir figure 7). Ce premier feedback CC permettait au participant de savoir explicitement la qualité de son choix. Il pouvait alors savoir, à l'inverse du pré-test, s'il s'agissait de la meilleure solution, une bonne ou une mauvaise décision. Grâce à ce retour visuel, le sujet avait l'opportunité d'apprendre de ses erreurs et d'endiguer ses potentiels mauvais choix et ainsi augmenter son taux de réussite.

Figure 7

Illustration du feedback CC depuis la perspective du joueur (à gauche) et illustration du feedback PV depuis la perspective de la rondelle (à droite)



Le feedback avec la vue depuis le puck (Puck View) était montré comme second retour immédiatement après le premier. Ce dernier montrait le point de vue depuis la rondelle au niveau de la glace. La vue était semblable à une caméra qui était disposée à même le sol de la patinoire (voir figure 7 et 8). Le joueur disposait de 2,5 secondes pour examiner la cage du gardien et les cibles depuis le point de shoot. Ce feedback Puck View (PV), venant après le feedback CC, offrait la possibilité au sujet d'apercevoir et se représenter visuellement pour quelles raisons son choix était approprié ou non. Cette perspective depuis la glace permettait au participant d'avoir une perception différente des cibles situées derrière le gardien. Cela offrait l'angle authentique du shoot depuis la rondelle, qui est différent de l'angle perçu par les yeux de la personne au moment du tir. Avec cette vision directe depuis la rondelle, le joueur pouvait constater les différents espaces libres et sans protection du gardien ainsi que le choix qu'il venait de sélectionner. Grâce au feedback CC qui indique la qualité du choix effectué, le joueur pouvait alors prendre conscience de cette qualité au travers du feedback PV avec l'explication visuelle quant à la qualité de la réponse donnée.

Figure 8

Captures d'écran supplémentaires du software montrant le feedback CC depuis la perspective du joueur (à gauche), ainsi que le feedback PV depuis la perspective de la rondelle (à droite)



L'utilisation de ces deux types de feedbacks avait pour objectif d'augmenter le taux de succès des sujets par l'apprentissage de l'approfondissement de ses habiletés cognitives, ces dernières étant indispensables à la prise de décision et la prise d'information. Le groupe contrôle effectuait un test semblable au pré- et post-test à la seule différence que, pour ce second bloc, les angles de passations étaient décalés de 5° pour éviter les biais d'apprentissage. Le but avec ce groupe contrôle était de faire office de référence pour pouvoir tester les potentiels effets d'apprentissages sans que les membres du groupe ne reçoivent de feedback.

2.4.5 Post-test

Suite au deuxième bloc et une brève pause de maximum 3 minutes, le sujet commençait la troisième partie comportant, comme le pré-test, une série de séquence de 54 tirs. Ce bloc 3 était identique au premier, c'est-à-dire sans feedback. Le but du bloc post-test était de pouvoir comparer statistiquement les résultats entre le pré- et post-test comme ces derniers sont identiques. À la fin du bloc, il était demandé aux participants des retours quant à l'expérience. Il était question que le sujet transmette ses impressions et son ressenti sur l'immersion des actions grâce au casque de RV en comparaison avec des situations réelles. Dès que le sujet avait fini d'exposer ses diverses remarques à l'expérimentateur, ce dernier était libre de se retirer de l'expérience. Un test de rétention à long terme aurait pu être effectué mais, à cause du calendrier chargé des joueurs professionnels de hockey sur glace, aucun test de ce type n'a été fait pour cette étude.

2.5 Analyse statistique

Les deux groupes pris séparément, nous avons dans un premier temps évalué si le feedback transmis lors de la phase d'apprentissage permettait une amélioration significative de l'estimation de performance (score : 0 - 1). Plus précisément, pour les deux groupes, nous avons mis en parallèle la moyenne des scores recueillie lors du post-test (c'est-à-dire après la phase d'entraînement), avec la moyenne des scores recueillie lors du pré-test (c'est-à-dire avant la phase d'entraînement). Ces comparaisons ont été réalisées avec le test des rangs signés de Wilcoxon pour des mesures répétées. Lors de chaque comparaison, R a été calculé en tant qu'indicateur de la taille de l'effet. Lors de chaque cas, nous avons en plus calculé le facteur de Bayes pour évaluer la probabilité que l'hypothèse nulle (H_0) opposée à l'hypothèse alternative (H_1) soit vraie.

Ensuite, nous avons comparé directement l'amélioration induite par le feedback entre les deux groupes puis nous avons calculé la différence de score obtenue lors du post-test et du pré-test pour tous les participants. L'amélioration moyenne a ensuite été calculée à l'aide du test des rangs signés de Wilcoxon. R a été déterminé en tant qu'indicateur de la taille de l'effet et le facteur de Bayes a également été calculé pour évaluer la probabilité que l'hypothèse nulle opposée à l'hypothèse alternative soit vraie.

En complément, nous avons déterminé si l'estimation de performance, en l'occurrence le score, était associé à la différence œil-rondelle (Eye-Puck), correspondant à la différence entre la cible optimale du point de vue de la rondelle et la cible optimale du point de vue de l'œil. Des indications supplémentaires sont nécessaires pour expliquer la façon dont la différence Eye-Puck a été calculée. Un coefficient de corrélation a été utilisé pour permettre de quantifier la force de relation entre la différence Eye-Puck et le score. Nous avons par la même occasion ajusté un modèle linéaire aux valeurs et quantifié la qualité de l'ajustement grâce au R-carré ajusté. Ceci a été exécuté séparément concernant les valeurs obtenues durant le pré-test et le post-test. Les valeurs obtenues dans le groupe contrôle n'ont pas été incluses dans cette analyse car il n'y avait pas d'effet significatif de la phase d'entraînement (pas de différence significative entre le pré- et post-test). Dans le but de choisir un coefficient de corrélation, à savoir le R de Pearson ou le rho de Spearman, nous avons extrait les résidus du modèle linéaire ajusté aux données et nous avons évalué s'ils étaient normalement distribués avec le test de Shapiro-Wilk.

Finalement, comme deux modèles linéaires distincts ont été appliqués aux valeurs pré- et post-test, nous avons déterminé si les pentes des deux modèles étaient statistiquement différentes

l'une de l'autre. Pour ce faire, un nouveau modèle linéaire a été ajusté aux valeurs. Ce nouveau modèle incluait la session (bloc 1 ou bloc 2) comme prédicteur, ainsi qu'un terme d'interaction entre la différence Eye-Puck et la session. Nous avons utilisé une approche de modélisation linéaire à effets mixtes dans laquelle les interceptions pour les participants ont été entrées en tant qu'effets aléatoires et chaque session a été autorisée à avoir une pente aléatoire. Cette approche a été choisie car les résidus du modèle linéaire n'étaient pas normalement distribués. Le « meilleur » modèle (interception aléatoire uniquement vs interception aléatoire et pente aléatoire), basé sur les critères AIC et BIC, a été sélectionné et nous avons évalué si le terme d'interaction était significatif. La valeur de P a été calculée avec l'estimation des degrés de liberté à l'aide de la méthode de Satterthwait (Luke, 2017).

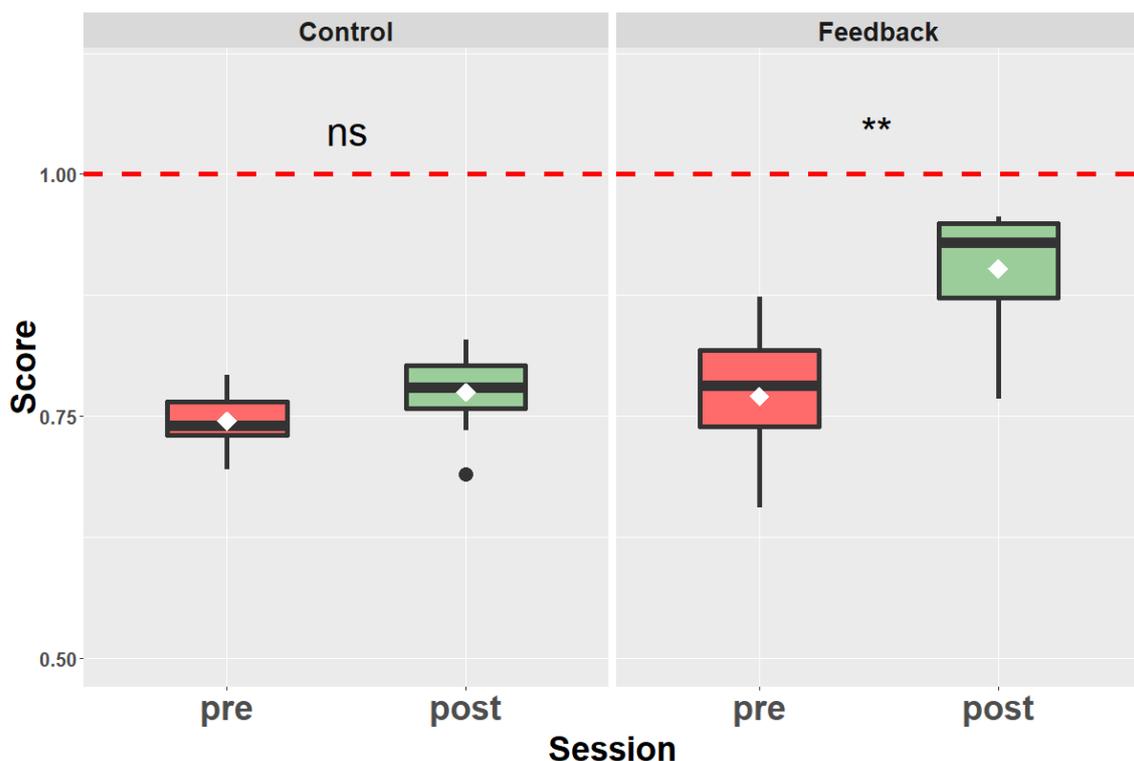
3 Résultats

3.1 Effet d'apprentissage

Pour le groupe contrôle, qui n'a bénéficié d'aucun feedback durant la phase d'apprentissage, la performance d'estimation était faiblement meilleure lors du post-test (moyenne = 0.77) en comparaison avec le pré-test (moyenne = 0.74), mais cette différence n'était pas significative [$p = 0.15$, $R = 0.55$, (grand effet)]. Le facteur de Bayes calculé pour ce groupe était de 0.64, ce qui constitue une preuve faible en faveur de l'hypothèse nulle (H_0), c'est-à-dire aucune différence entre le pré et post-test. En revanche, pour le groupe test qui a bénéficié de feedbacks durant la phase d'apprentissage, la performance d'estimation était significativement meilleure lors du post-test (moyenne = 0.90) en comparaison avec le pré-test (moyenne = 0.77) [$p < 0.01$, $R = 0.89$, (grand effet)]. Pour ce groupe, le facteur de Bayes calculé était de 448, ce qui constitue une preuve extrême en faveur de l'hypothèse alternative, à savoir une réelle différence entre le post- et pré-test. La figure 9 représente graphiquement les moyennes à l'aide de boxplots.

Figure 9

Illustration des boxplots correspondant aux moyennes des pré- et post-tests pour le groupe contrôle et le groupe feedback (groupe test)

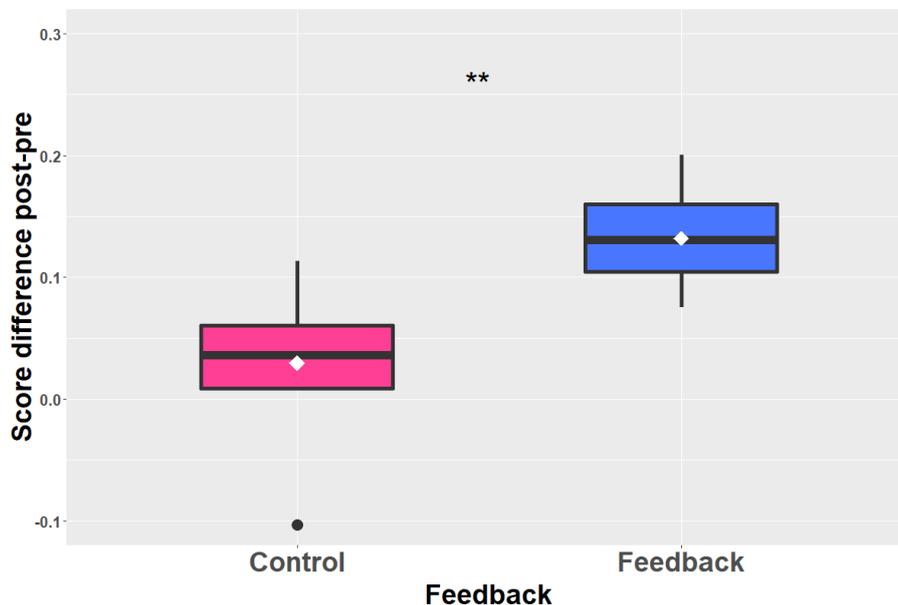


3.2 Comparaison de l'effet d'entraînement

En comparant de manière directe l'effet de l'entraînement entre les deux groupes testés, nous avons constaté que l'amélioration moyenne était significativement supérieure pour le groupe avec feedbacks (moyenne = 0.13) en comparaison avec le groupe contrôle (moyenne = 0.03) [$p < 0.01$, $R = 0.71$, (grand effet)] (voir figure 10). Le facteur de Bayes calculé était de 15, ce qui démontre une preuve solide en faveur de l'hypothèse alternative, à savoir une réelle différence entre les deux groupes.

Figure 10

Boxplots illustrant la moyenne des différences de score entre post- et pré-test



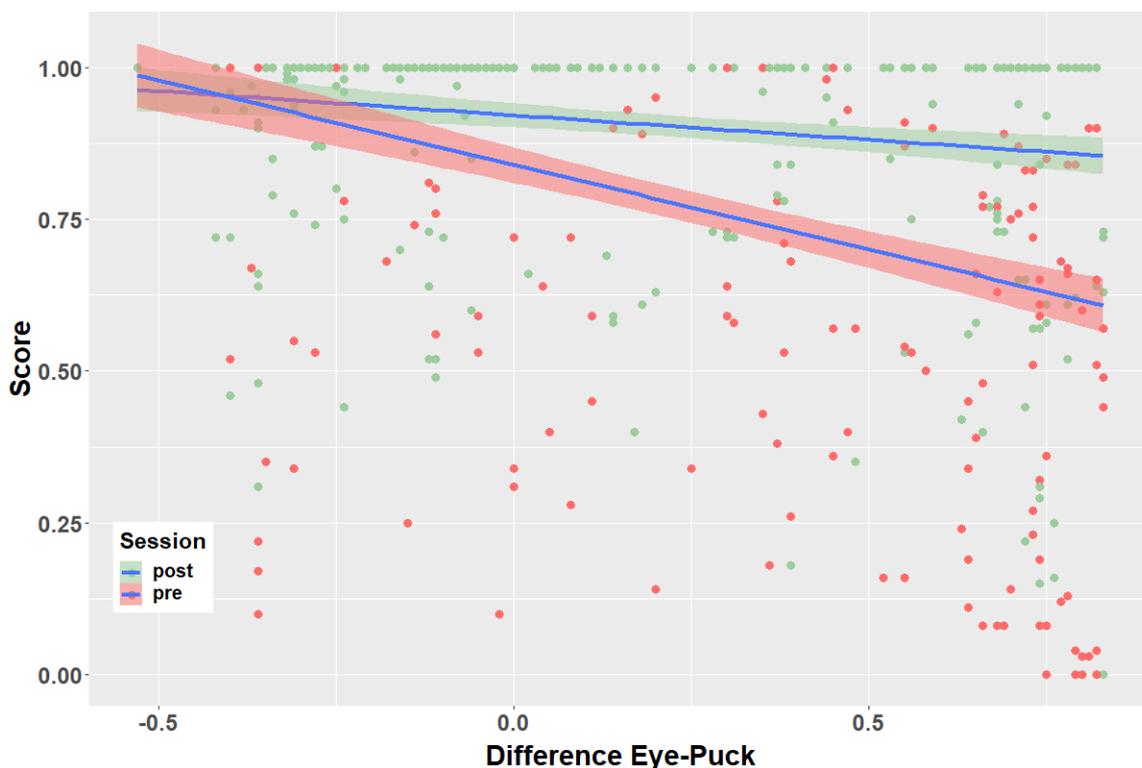
Dans le but d'exclure la possibilité que les différences d'améliorations démontrées découlent en partie des différences initiales entre les deux groupes (même si les participants ont été répartis aléatoirement aux différents groupes), les moyennes des scores mesurées au moment du pré-test ont été comparées parmi les deux groupes. Le test des rangs signés de Wilcoxon a montré qu'il n'y avait pas de différence entre les groupes concernant les performances de base [$p = 0.33$, $R = 0.26$, (faible effet)]. Le facteur de Bayes mesuré était de 0.56, ce qui représente une faible preuve en faveur de l'hypothèse nulle, à savoir aucune différence entre le groupe contrôle et le groupe test. À noter que, lorsque l'on compare directement les moyennes des scores obtenus lors du post-test entre les groupes, nous remarquons une différence significative entre les groupes [$p < 0.01$, $R = 0.71$, (grande effet)]. Le facteur de Bayes de 15 indiquait de surcroît une preuve solide en faveur d'une réelle différence entre le groupe contrôle et le groupe test.

3.3 Corrélation entre la différence Eye-Puck et le score

Pour le pré-test, le rho de Spearman évalué était de -0.38, ce qui signale une faible corrélation négative entre la différence Eye-Puck et le score. À noter que nous avons préféré faire usage du rho de Spearman plutôt que le R de Pearson du fait de la distribution anormale des résidus du modèle linéaire. L'équation de la droite de régression était : $Y = -0.25X + 0.83$, et la pente représentée dans la figure 11 était significativement différente de 0 ($p < 0.001$). La valeur du R-carré ajusté correspondait à 0.12, démontrant que la différence Eye-Puck expose 12 % de la variance liée au score. En ce qui concerne le post-test, la valeur du rho de Spearman calculée était de -0.02, ce qui signifie qu'il n'y a pas de corrélation entre les deux variables. L'équation de la droite de régression était : $Y = -0.08X + 0.92$ et, à nouveau, la pente était significativement différente de 0 ($p < 0.001$). La valeur du R-carré ajusté était de 0.03, démontrant que la différence Eye-Puck révèle seulement 3 % de la variance liée au score.

Figure 11

Illustration des droites de régression de la différence Eye-Puck et score pour le post-test (en vert) et le pré-test (en rouge)



Une comparaison visuelle des valeurs pré- et post-tests (points rouges et verts sur la figure 11) ainsi qu'un contrôle des valeurs de la pente calculée avec les deux modèles linéaires ont

démontré que l'effet de la différence Eye-Puck sur le score n'était pas le même pour le post-test (après la phase d'apprentissage) en comparaison avec le pré-test. Plus précisément, pendant le pré-test, des différences Eye-Puck supérieures avaient tendance à entraîner une baisse des scores et de la performance d'estimation (points rouges). Cela n'était pas le cas lors du post-test (points verts). C'est pourquoi, nous avons ajusté un nouveau modèle linéaire aux valeurs dans le but d'évaluer si les pentes des deux modèles linéaires (pré- et post-test) étaient statistiquement différentes l'une de l'autre. Ce nouveau modèle linéaire incluait la session comme prédicteur, ainsi qu'un terme d'interaction entre la différence Eye-Puck et la session. Les résultats ont démontré une interaction significative entre la différence Eye-Puck et la session [$F(1, 855) = 30.82, p < 0.001$], confirmant ainsi une différence significative entre les deux pentes. Autrement dit, donner un feedback lors de la phase d'entraînement a permis de réduire fortement l'influence de la différence Eye-Puck sur la performance.

4 Discussion

4.1 Interprétation des résultats

Pour débiter l'interprétation des résultats, nous nous intéressons à l'effet d'apprentissage pour chaque groupe. Cette comparaison du score entre le post- et pré-test a permis de démontrer un effet d'apprentissage significatif ($p < 0.01$) pour le groupe test qui a bénéficié des feedbacks tandis que le groupe contrôle a obtenu un effet d'apprentissage non significatif ($p = 0.15$). Le facteur de Bayes calculé pour ce groupe-ci (0.64) a indiqué une faible preuve en faveur de l'hypothèse H0, tandis que le facteur de Bayes calculé pour le groupe test (448) constituait une preuve extrême en faveur de l'hypothèse H1. Ces constatations nous ont permis d'affirmer que les améliorations du score entre le pré- et post-test pour le groupe test sont dues aux feedbacks donnés lors de la phase d'apprentissage. Nous pouvons donc réfuter l'hypothèse H0. La comparaison directe de l'effet de l'entraînement entre les deux groupes a permis de démontrer une amélioration significative ($p < 0.01$) pour le groupe test (moyenne de 0.13) en comparaison avec le groupe contrôle (moyenne de 0.03). Le facteur de Bayes calculé (15), démontrait encore une preuve solide en faveur de l'hypothèse H1, c'est-à-dire, une réelle différence entre les deux groupes. Pour garantir l'absence de différences initiales entre les deux groupes, les moyennes des scores du pré-test ont été comparées et aucune différence n'a été constatée. Ces observations ont permis de confirmer l'hypothèse H1. En complément, l'analyse de la corrélation entre la différence Eye-Puck et le score (voir chapitre 2.4) a été calculée pour le groupe test. Cette dernière a démontré que lors du pré-test, 12% de variance lié au score était dû à la différence de perspective entre les yeux et la rondelle. Au contraire du post-test où seulement 3% de variance lié au score était estimé, confirmant ainsi que le feedback permet de réduire fortement l'influence de la différence de perspective Eye-Puck sur la performance.

Le groupe test bénéficiant des deux types de feedbacks a obtenu une amélioration significative de ses résultats après la phase d'apprentissage, démontrant que les compétences perceptivo-cognitives ont pu être entraînées et que ces dernières permettent l'obtention de meilleures performances dans les situations spécifiques simulées. Cela confirme que la RV est appropriée pour un apprentissage cognitif (Faubert & Allard, 2013) et implicite (Patterson et al., 2009a). La capacité d'avoir un grand nombre d'essais, sans pour autant en diminuer la qualité du stimulus recherché (Tarr & Warren, 2002), pourrait également être la cause de cette amélioration. La pratique en continue des conditions spécifiques mises en place durant l'expérience peuvent

également expliquer l'amélioration perceptivo-cognitive (Williams et al., 2011) du groupe test. Il est également intéressant de constater que dans les travaux de master similaires de Devaud (2021) et Sauthier (2020), des améliorations de performance significatives ont également été observées pour les groupes avec feedbacks mais avec un échantillon de participants différents (joueurs « élites »). Ce travail, qui s'inscrivait dans la lignée des deux travaux précédemment cités, démontre bien que l'apprentissage au travers de feedbacks avec un casque de RV permet un apprentissage cognitif qui augmente les performances que ce soit des participants élites ou professionnels du hockey sur glace.

Il est désormais question de savoir si ces travaux expérimentaux sont transférables dans la réalité. Pour ce faire, il faudrait effectuer une étude complémentaire qui testerait cette transférabilité sur la glace. Néanmoins, en se basant sur les études de Hagemann et al. (2006) et Schul et Memmert (2017), il serait possible d'observer une certaine transférabilité du laboratoire au terrain grâce à l'apprentissage répété de la prise de bonne décision. Ce processus de décision entraîné avec la RV pourrait être répété dans un cadre réel. Avec ce constat, les équipes de hockey sur glace pourraient donc insérer ce type d'entraînement cognitif dans les programmes d'entraînement, comme le préconisait l'étude de Ljac et al. (2012).

Pour conclure, nous pouvons affirmer qu'un apprentissage en réalité virtuelle, offrant un feedback visuel sur la qualité du choix et le point de vue du puck, favorise la capacité de prise de décision chez les hockeyeurs professionnels. Nous pouvons donc recommander aux équipes professionnelles d'inclure ce type d'entraînement dans leur programme d'entraînement dans le but d'optimiser et augmenter la performance de leurs joueurs.

4.3 Limitations

Bien que cette étude ait été pensée pour être la plus réaliste possible, certains aspects pourraient être remis en question. Le nombre de parades du gardien était trop faible en comparaison avec la variation des positions des gardiens dans la réalité. Bien que les quatre variations d'arrêts programmés dans le logiciel étaient sous des angles différents selon l'approche du joueur et offraient un nombre de combinaison plus important, cela restait un nombre faible de possibilité en comparaison avec la réalité. Le sujet pouvait au bout d'un certain temps avoir appris les bonnes solutions dans le type de situation proposé, malgré le nombre important de séquences. Il se peut que le sujet ait, au bout d'un certain temps, appris les types de réponse par cœur, ne l'obligeant ainsi plus à prendre de réelles décisions cognitives par la suite. Pour contrer ce

phénomène, les angles de tirs étaient différents en phase d'apprentissage par rapport à ceux du pré- et post-tests. Cependant, ce risque n'était pas totalement écarté. L'échantillon de 16 participants ne représentait pas un nombre assez élevé pour obtenir des résultats solides. Il faudrait trouver davantage de sujets pour une futur étude.

Bien que le logiciel eût pour objectif de se rapprocher le plus proche possible de la réalité, les séquences proposées restaient différentes des situations réelles rencontrées lors d'un vrai match de hockey sur glace. Par exemple, les séquences de simulation, qui faisaient arriver le joueur à une vitesse donnée et qui s'arrêtaient à un temps donné, se rapprochaient de la réalité mais ont dû être adaptées afin de les rendre analysables. Il n'était pas possible d'effectuer de feintes comme cela peut-être le cas en situation réelle. Cette étude avait pour but d'être écologique, mais il y avait quand même toujours de grandes divergences avec la réalité et restait relativement loin de la réalité notamment avec l'absence de pression des adversaires et pression temporelle que l'on peut retrouver pendant un match. Il est toujours question de compromis et il est relativement simple de critiquer les choix de la programmation du logiciel. Le fait est que, pour pouvoir analyser des résultats sans avoir un nombre infini de variable qui entre en considération, il faut faire des compromis pour observer que certaines variables. Dans notre cas, il est question de prouver l'efficacité d'un apprentissage avec feedbacks grâce à la RV dans certaines situations « simplifiées » (voir méthode). Le contrat semble rempli car les résultats ont démontré des améliorations significatives grâce à ce type d'apprentissage en comparaison avec un groupe contrôle sans feedback. Cet apprentissage dans le cadre des tirs au but en situation de 1 contre 1 a démontré son efficacité scientifique dans le cadre précis dans lequel le logiciel a été développé. Maintenant, libre à nous ou à d'autres chercheurs de rajouter de nouveaux paramètres afin de rendre l'immersion encore plus réaliste sans pour autant être capable d'en analyser les résultats car trop difficile à interpréter à cause du trop grand nombre de paramètres en jeu. Par exemple, en rajoutant une dimension sonore, pour essayer de mettre le joueur sous pression comme c'est le cas dans la réalité. La durée du test, jusqu'à presque 60 minutes pour le groupe test s'est avérée être assez longue et fatigante à cause de l'exposition au casque de RV. Il est possible que la concentration et la motivation, surtout pour le groupe sans feedback qui effectuaient trois blocs quasiment identiques aient été impactées. Les résultats pourraient avoir été légèrement impactés par ce biais.

En résumé, plus il y a de paramètres dans le logiciel, plus il est difficile d'analyser des résultats et d'en ressortir quelque chose de crédible. C'est un phénomène propre aux expériences où il

est toujours question de compromis entre réalité et faisabilité. Plus on veut se rapprocher d'une certaine réalité, plus l'expérience devient complexe. Mais, comme il s'agit d'une expérience, il est obligatoire de faire des compromis afin de ne pas avoir à analyser une infinité de combinaisons. Les tests sont très formatés et « simplifiés » pour l'expérience dans le but d'en retirer des analyses crédibles. C'est pour cela qu'il y a des défauts « nécessaires » pour mener l'expérience à bien.

4.4.1 Retour de terrain de l'expérimentateur

La réalisation des tests de ce travail a nécessité du matériel électronique spécifique à la VR. Ce type de matériel n'est pas à l'abri de bugs ou d'éventuels problèmes durant les tests, ce qui peut induire un stress pour l'expérimentateur. Heureusement, aucun problème durant les tests n'a été à déplorer. Cependant, certains joueurs ont eu des problèmes de nausée durant les tests mais, grâce aux pauses entre les différents blocs, le taux de nausée a pu être maintenu sous contrôle. Pour les participants concernés par ce « problème », le test n'était malheureusement pas très agréable.

Durant toute la durée du test, l'expérimentateur restait dans la même salle que le participant faisant le test. Cela permettait d'intervenir rapidement en cas de problèmes ou de questions mais c'était aussi l'opportunité de les observer. Il est intéressant de relever que les différents sujets ne réagissaient pas tous de la même manière durant le test. Certains restaient très calme et immobile pendant toute l'expérience assis sur leur chaise tandis que d'autres étaient plus expressifs et bougeaient régulièrement sur leur siège. Il est également intéressant de constater que le groupe test, qui a bénéficié des feedbacks durant la phase d'apprentissage, réagissait plus dès l'apparitions des feedbacks devant leurs yeux. Il n'était pas rare de les entendre marmonner quelque chose quand leur choix ne correspondait pas forcément avec la meilleure réponse possible. Pour finir, il est notable de préciser que les retours des joueurs à la fin du test étaient tous très positifs et qu'aucun joueur ne s'est plaint du logiciel.

4.5 Améliorations pour de futures recherches

Pour de futures recherches, il faudrait bénéficier de plus de participants pour obtenir des données plus solides. En effet, 16 participants ne sont pas assez pour démontrer des résultats représentatifs, sachant qu'il faut de toute façon un groupe contrôle qui ne bénéficie pas de feedbacks. Il est évident que le type population spécifique recherché (joueurs professionnels de hockey sur glace) pour cette étude n'est pas très grande. Néanmoins, si la prise de contact avec les

dirigeants et responsables des clubs est faite suffisamment en avance, il est certainement envisageable d'obtenir un plus grand nombre de sujets. Il faut que les interlocuteurs au niveau des équipes professionnelles soient motivés et convaincus par ce type de travaux. Si cela est le cas, il sera peut-être plus facile d'avoir accès aux joueurs professionnels. Une prise de contact anticipée permettra aussi de mieux identifier et planifier les périodes disponibles pour effectuer les tests, comme durant les vacances scolaires d'été où la plupart des équipes ont plus de temps à disposition que pendant le championnat. Il serait également intéressant de contacter directement deux équipes professionnelles pour effectuer des tests en parallèle. Comme les tests doivent prendre part durant la pause du championnat pendant l'été, la plupart des joueurs étrangers des équipes jouant en *Nationale League* sont absents à ce moment-là et il serait donc judicieux de contacter plusieurs équipes pour arriver au nombre de sujets espéré.

Pour cette étude, nous n'avons pas pu choisir le moment où les participants effectuaient les tests. Pour une future étude et avec l'intention d'optimiser encore plus les paramètres, il serait intéressant que les joueurs passent le test tous au même moment, soit par exemple après le premier entraînement du matin. Ainsi, il serait envisageable d'éviter d'éventuels biais liés à des facteurs non maîtrisables par l'expérimentateur qui pourraient biaiser les résultats. En effet, si un joueur effectue le test en début d'après-midi directement après avoir mangé, son état d'alerte ne sera pas forcément le même qu'une personne qui passe le test en fin d'après-midi et qui n'est pas en phase de digestion. Il serait également judicieux, d'utiliser les casques de VR de dernière génération qui disposent d'une résolution encore plus importante dans le but de rendre l'immersion toujours plus réaliste. Il serait judicieux lors de futurs travaux, d'avertir les participants du risque de nausée que peut provoquer l'utilisation du casque de VR. Ainsi, les personnes sensibles renonceraient au test et ne seraient pas confrontées à des moments désagréables.

Il serait également intéressant de faire un test de rétention pour observer si le gain d'apprentissage dure dans le temps. Une autre proposition serait de tester la transférabilité de ce type d'apprentissage sur le terrain. Cela a déjà été fait par certains auteurs (Hagemann et al., 2006; Schul & Memmert, 2017) mais la mise en place de telles études est très complexe et n'est pas envisageable dans le cadre d'un travail de master. Cela pourrait par contre, à l'avenir, représenter un sujet d'étude très intéressant pour des travaux de plus grande envergure.

Comme les résultats sont significatifs pour cette expérience, un logiciel dédié spécifiquement au hockey sur glace pourrait être développé. Dans cet exemple, on ne serait plus dans un

contexte d'expérience mais plutôt sur une application d'entraînement, une version commercialisable où les paramètres programmés pourraient être plus nombreux et ainsi rendre l'immersion la plus réaliste possible. Il ne serait plus question de faire des compromis entre le nombre de paramètres et l'analyse à réaliser. On pourrait rajouter de nombreuses variations de distance et d'angle. L'approche pourrait se faire en zigzag et pas seulement de manière linéaire. Le joueur pourrait aussi contourner la cage du gardien et serait forcé à tourner la tête pour aller chercher les informations. Dans une utilisation plus concrète pour les équipes de hockey sur glace, il serait également intéressant, avant une rencontre planifiée, de programmer les caractéristiques du gardien selon les statistiques des types d'arrêts qu'un gardien effectue. Imaginons, lors de la préparation des matchs, que les joueurs auraient la possibilité de s'entraîner à tirer au but avec un gardien qui effectue des arrêts comme lors de vrais matchs. Les joueurs pourraient par exemple utiliser le temps de transport entre les différentes patinoires pour s'entraîner virtuellement face au gardien qu'ils vont affronter sur la glace le soir-même. Il serait intéressant d'entrer les statistiques du futur gardien adverse pour s'habituer à ce dernier et trouver plus facilement les failles, lors du match. Pour élaborer un tel logiciel, il faudrait des moyens supplémentaires pour rendre l'immersion encore plus réaliste. On pourrait comparer ce logiciel à un jeu vidéo avec des graphismes de qualité pour une immersion au plus près de la réalité. Le fait d'avoir l'impression de jouer à un jeu vidéo pourrait être perçu comme une distraction tout en étant utile pour un apprentissage cognitif. Ce type de logiciel, serait d'autant plus intéressant s'il est utilisé chez des jeunes joueurs friands de jeux vidéo.

L'utilisation d'un tel logiciel pour des enfants ou adolescents serait ludique pour cette population et permettrait également de mieux appréhender cette différence de perspective qui existe entre le point de vue du joueur et le point de vue réel depuis la rondelle. Ils auraient la capacité d'expérimenter les différents points de vue, notamment le point de vue inédit depuis la glace qui permet de se rendre compte et de comprendre pourquoi la rondelle ne rentre pas dans le but alors que, depuis les yeux du joueurs, un espace pour la rondelle est disponible.

5 Conclusion

Ce travail, bien que modeste, a permis de mettre en avant et de prouver l'efficacité de la RV pour un apprentissage perceptivo-cognitif auprès de joueurs professionnels de hockey sur glace. En effet, l'apprentissage en réalité virtuelle, offrant un feedback visuel sur la qualité du choix et le point de vue du puck, favorise la capacité de prise de décision des hockeyeurs. Le groupe test, bénéficiant de feedbacks lors de la phase d'apprentissage, a montré des résultats significativement meilleurs lors du post-test, tandis que, pour le groupe contrôle, aucune amélioration significative entre le pré- et le post-test n'a été constatée. Ces résultats nous ont permis de démontrer que l'apprentissage cognitif au travers de la RV fonctionne et que cet apprentissage permet d'augmenter les performances de perception et de cognition, deux aptitudes essentielles et complémentaires aux capacités motrices dans le but de performer dans un milieu professionnel. Il ne reste cependant plus qu'à prouver la transférabilité sur la glace d'un tel apprentissage ainsi que de sa durée dans le temps avec des tests de rétention. Ces résultats encourageants montrent à quel point il serait utile d'inclure ce type d'apprentissage dans les sports où l'on retrouve un biais de perspective comme le hockey sur glace.

Ce nouveau type d'entraînement pourrait également s'avérer utile pour les joueurs blessés qui pourraient continuer de s'entraîner sans effectuer d'efforts physiques. Il serait également intéressant d'utiliser cette méthode lors de pandémies ou d'événements extraordinaires où l'accès aux infrastructures classiques est impossible. Enfin cette technologie, désormais validée scientifiquement par cette étude, pourrait être, au travers de moyens conséquents, développée pour créer un logiciel d'entraînement reprenant les codes d'un jeu. Ce logiciel pourrait inclure une multitude de paramètres, notamment les statistiques des gardiens des différentes équipes pour permettre aux joueurs de s'entraîner virtuellement lors des déplacements entre les matchs. Le développement d'un tel logiciel pourrait également servir pour entraîner les jeunes à appréhender la différence de perspective dès leur plus jeune âge sous une forme stimulante.

Bibliographie

- Bard, C., Fleury, M., & Goulet, C. (1994). Relationship between perceptual strategies and response adequacy in sport situations. *International Journal of Sport Psychology*, 25, 266-281.
- Beauchamp, P., & Faubert, J. (2011). Visual perception training: cutting edge psychophysics and 3D technology applied to sport science. *High Perform. SIRCuit EJ*, 1, 12-16.
- Berg, W. P., & Killian, S. M. (1995). Size of the visual field in collegiate fast-pitch softball players and nonathletes. *Percept Mot Skills*, 81(3 Pt 2), 1307-1312. <https://doi.org/10.2466/pms.1995.81.3f.1307>
- Bideau, B., Kulpa, R., Vignais, N., Brault, S., Multon, F., & Craig, C. (2010). Using virtual reality to analyze sports performance. *IEEE Comput Graph Appl*, 30(2), 14-21. <https://doi.org/10.1109/mcg.2009.134>
- Bossard, C., & Kermarrec, G. (2011). La prise de décision des joueurs de sports collectifs. Une revue de question en psychologie du sport. *Movement & Sport Sciences*, 73(2), 3-22. <https://doi.org/10.3917/sm.073.0003>
- Brault, S., Kulpa, R., Duliscouët, L., Marin, A., & Bideau, B. (2015). Virtual kicker vs. real goalkeeper in soccer: a way to explore goalkeeper's performance. *Movement & Sport Sciences*, 89(3), 79-88. <https://doi.org/10.3917/sm.089.0079>
- 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. *Eur J Sport Sci*, 15(4), 322-331. <https://doi.org/10.1080/17461391.2014.957727>
- Causer, J., Janelle, C., Vickers, J., & Williams, A. (2012). Perceptual training: What can be trained. *Skill acquisition in sport: research, theory and practice*, 306-324.
- Chang, Y. (2014). Reorganization and plastic changes of the human brain associated with skill learning and expertise. *Frontiers in human neuroscience*, 8, 35. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00035>
- Chase, W., & Simon, H. (1973). Skill in chess. *American Scientist*, 61(4), 394-403.
- Christensen, S., & Glencross, D. (1993). Expert knowledge and expert perception in sport: Anticipating a field hockey goal shot. *Sport psychology: An integrated approach. Proceedings of the 8th World Congress on Sport Psychology*,
- Ciuffreda, K. J., & Wang, B. (2004). Vision training and sports. In *Biomedical engineering principles in sports* (pp. 407-433). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8887-4_16

- Contreras Jordán, O., Garcia Lopez, L. M., & Cervelló Gimeno, E. (2005). Transfer of tactical knowledge from invasion games to floorball. *Journal of Human Movement Studies*, 49(3), 193-214.
- Correia, V., Araujo, D., Cummins, A., & Craig, C. (2012). Perceiving and Acting Upon Spaces in a VR Rugby Task: Expertise Effects in Affordance Detection and Task Achievement. *Journal of sport & exercise psychology*, 34, 305-321. <https://doi.org/10.1123/jsep.34.3.305>
- Cortes, N., Blount, E., Ringleb, S., & Onate, J. A. (2011). Soccer-specific video simulation for improving movement assessment. *Sports Biomech*, 10(1), 22-34. <https://doi.org/10.1080/14763141.2010.547591>
- Crognier, L., & Féry, Y.-A. (2007). 40 ans de recherches sur l'anticipation en tennis : une revue critique. *Movement & Sport Sciences*, 62(3), 9-35. <https://doi.org/10.3917/sm.062.0009>
- Devaud, T. (2021). *Optimisation de la prise de décision en phase de tir au but chez les hockeyeurs à l'aide de la réalité virtuelle*. Université de Fribourg.
- Erickson, G. B., Citek, K., Cove, M., Wilczek, J., Linster, C., Bjarnason, B., & Langemo, N. (2011). Reliability of a computer-based system for measuring visual performance skills. *Optometry*, 82(9), 528-542. <https://doi.org/10.1016/j.optm.2011.01.012>
- Ericsson, K. A. (2014). *The road to excellence: The acquisition of expert performance in the arts and sciences, sports, and games*. Psychology Press.
- Faubert, J., & Allard, R. (2013). Stereoscopy benefits processing of dynamic visual scenes by disambiguating object occlusions. *Journal of Vision*, 13(9), 1292-1292. <https://doi.org/10.1167/13.9.1292>
- Gabbett, T., & Masters, R. (2011). Challenges and solutions when applying implicit motor learning theory in a high performance sport environment: Examples from Rugby League. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 6(4), 567-575. <https://doi.org/10.1260/1747-9541.6.4.567>
- García-González, L., Moreno, M. P., Moreno, A., Gil, A., & del Villar, F. (2013). Effectiveness of a Video-Feedback and Questioning Programme to Develop Cognitive Expertise in Sport. *PloS one*, 8(12), e82270. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082270>
- Gray, R. (2017). Transfer of Training from Virtual to Real Baseball Batting [Original Research]. *Frontiers in Psychology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.02183>
- Hagemann, N., Strauss, B., & Cañal-Bruland, R. (2006). Training perceptual skill by orienting visual attention. *Journal of sport and exercise psychology*, 28(2), 143-158.

- Helsen, W. F., & Starkes, J. L. (1999). A multidimensional approach to skilled perception and performance in sport. *Applied cognitive psychology*, 13(1), 1-27. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-0720\(199902\)13:1<1::AID-ACP540>3.0.CO;2-T](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0720(199902)13:1<1::AID-ACP540>3.0.CO;2-T)
- Jackson, R. C., Warren, S., & Abernethy, B. (2006). Anticipation skill and susceptibility to deceptive movement. *Acta Psychol (Amst)*, 123(3), 355-371. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2006.02.002>
- Laby, D. M., Rosenbaum, A. L., Kirschen, D. G., Davidson, J. L., Rosenbaum, L. J., Strasser, C., & Mellman, M. F. (1996). The visual function of professional baseball players. *Am J Ophthalmol*, 122(4), 476-485. [https://doi.org/10.1016/s0002-9394\(14\)72106-3](https://doi.org/10.1016/s0002-9394(14)72106-3)
- Lenzen, B., Theunissen, C., & Cloes, M. (2009). Situated Analysis of Team Handball Players' Decisions: An Exploratory Study. *Journal of Teaching in Physical Education*, 28. <https://doi.org/10.1123/jtpe.28.1.54>
- Ljac, V., Witkowski, Z., Gutni, B., Samovarov, A., & Nash, D. (2012). Toward effective forecast of professionally important sensorimotor cognitive abilities of young soccer players. *Perceptual and motor skills*, 114(2), 485-506. <https://doi.org/10.2466/05.10.25.PMS.114.2.485-506>
- Luke, S. G. (2017). Evaluating significance in linear mixed-effects models in R. *Behavior Research Methods*, 49, 1494-1502. <https://doi.org/10.3758/s13428-016-0809-y>
- 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>
- Mann, D. T., Williams, A. M., Ward, P., & Janelle, C. M. (2007). Perceptual-cognitive expertise in sport: A meta-analysis. *Journal of sport and exercise psychology*, 29(4), 457-478.
- Mark Williams, A., Huys, R., Cañal-Bruland, R., & Hagemann, N. (2009). The dynamical information underpinning anticipation skill. *Hum Mov Sci*, 28(3), 362-370. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2008.10.006>
- Marteniuk, R. G. (1976). Cognitive information processes in motor short-term memory and movement production. In *Motor control* (pp. 175-186). Elsevier.
- McPherson, S. L., & Vickers, J. N. (2004). Cognitive Control in Motor Expertise. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 2, 274-300. <https://doi.org/10.1080/1612197X.2004.9671746>

- Müller, S., Abernethy, B., & Farrow, D. (2006). How do world-class cricket batsmen anticipate a bowler's intention? *Q J Exp Psychol (Hove)*, 59(12), 2162-2186. <https://doi.org/10.1080/02643290600576595>
- Mulligan, D., McCracken, J., & Hodges, N. J. (2012). Situational familiarity and its relation to decision quality in ice-hockey. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 10(3), 198-210.
- North, J. S., Williams, A. M., Hodges, N., Ward, P., & Ericsson, K. A. (2009). Perceiving patterns in dynamic action sequences: Investigating the processes underpinning stimulus recognition and anticipation skill. *Applied Cognitive Psychology: The Official Journal of the Society for Applied Research in Memory and Cognition*, 23(6), 878-894. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/acp.1581>
- Overney, L. S., Blanke, O., & Herzog, M. H. (2008). Enhanced temporal but not attentional processing in expert tennis players. *PloS one*, 3(6), e2380. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0002380>
- Pagé, C., Bernier, P. M., & Trempe, M. (2019). Using video simulations and virtual reality to improve decision-making skills in basketball. *J Sports Sci*, 37(21), 2403-2410. <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1638193>
- Panchuk, D., Klusemann, M. J., & Hadlow, S. M. (2018). Exploring the Effectiveness of Immersive Video for Training Decision-Making Capability in Elite, Youth Basketball Players [Original Research]. *Frontiers in Psychology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02315>
- Patterson, R., Pierce, B., Bell, H., Andrews, D., & Winterbottom, M. (2009a). Training Robust Decision Making in Immersive Environments. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 3, 331-361. <https://doi.org/10.1518/155534309X12599553478836>.
- Patterson, R., Pierce, B., Bell, H. H., Andrews, D., & Winterbottom, M. (2009b). Training robust decision making in immersive environments. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 3(4), 331-361.
- Petit, J. P., & Ripoll, H. (2008). Scene perception and decision making in sport simulation: A masked priming investigation. *International Journal of Sport Psychology*, 39, 1-19.
- Poltavski, D., & Biberdorf, D. (2015). The role of visual perception measures used in sports vision programmes in predicting actual game performance in Division I collegiate hockey players. *J Sports Sci*, 33(6), 597-608. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.951952>

- Raab, M. (2005). An explicit investigation of implicit decision-making processes. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 3(1), 91-97. <https://doi.org/10.1080/1612197X.2005.9671760>
- Rauter, G., Sigrist, R., Koch, C., Crivelli, F., van Raaij, M., Riener, R., & Wolf, P. (2013). Transfer of complex skill learning from virtual to real rowing. *PLoS one*, 8(12), e82145. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082145>
- Roca, A., Ford, P. R., McRobert, A. P., & Mark Williams, A. (2011). Identifying the processes underpinning anticipation and decision-making in a dynamic time-constrained task. *Cognition*, 123(3), 301-310. <https://doi.org/10.1007/s10339-011-0392-1>
- Romeas, T., Guldner, A., & Faubert, J. (2016). 3D-Multiple Object Tracking training task improves passing decision-making accuracy in soccer players. *Psychology of Sport and Exercise*, 22, 1-9. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.psychsport.2015.06.002>
- Ross, K. G., Shafer, J. L., & Klein, G. (2006). Professional Judgments and “Naturalistic Decision Making”. In *The Cambridge Handbook of Expertise and Expert Performance* (pp. 403-420). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511816796.023>
- Sauthier, Q. (2020). *Optimisation du choix de l'angle de tir au hockey sur glace par un apprentissage en réalité virtuelle*. Université de Fribourg.
- Schmidt, R. A., & Lee, T. D. (2005). *Motor control and learning: A behavioral emphasis, 4th ed.* Human Kinetics.
- Schomaker, J., Tesch, J., Bühlhoff, H. H., & Bresciani, J.-P. (2011). It is all me: The effect of viewpoint on visual-vestibular recalibration. *Experimental Brain Research*, 213, 245-256. <https://doi.org/10.1007/s00221-011-2723-y>
- Schul, K., & Memmert, D. (2017). Evaluating cognitive training system for football players. *Zenodo*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.835432>
- Smeeton, N. J., Ward, P., & Williams, A. M. (2004). Do pattern recognition skills transfer across sports? A preliminary analysis. *J Sports Sci*, 22(2), 205-213. <https://doi.org/10.1080/02640410310001641494>
- Starkes, J. L. (1987). Skill in field hockey: the nature of the cognitive advantage. *Journal of sport psychology*, 9(2), 146-160. <https://doi.org/10.1123/jsp.9.2.146>
- Starkes, J. L., & Ericsson, K. A. (2003). Expert performance in sports: Advances in research on sport expertise.
- Tarr, M. J., & Warren, W. H. (2002). Virtual reality in behavioral neuroscience and beyond. *Nat Neurosci*, 5 Suppl, 1089-1092. <https://doi.org/10.1038/nn948>

- Tirp, J., Steingröver, C., Wattie, N., Baker, J., & Schorer, J. (2015). Virtual realities as optimal learning environments in sport—A transfer study of virtual and real dart throwing. *Psychological Test and Assessment Modeling*, *57*, 57-69.
- Vestberg, T., Gustafson, R., Maurex, L., Ingvar, M., & Petrovic, P. (2012). Executive functions predict the success of top-soccer players. *PloS one*, *7*(4), e34731. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0034731>
- Vignais, N., Kulpa, R., Brault, S., Presse, D., & Bideau, B. (2015). Which technology to investigate visual perception in sport: Video vs. virtual reality. *Human movement science*, *39*, 12-26. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2014.10.006>
- Voss, M. W., Kramer, A. F., Basak, C., Prakash, R. S., & Roberts, B. (2010). Are expert athletes ‘expert’ in the cognitive laboratory? A meta-analytic review of cognition and sport expertise. *Applied cognitive psychology*, *24*(6), 812-826. <https://doi.org/10.1002/acp.1588>
- Williams, A., Davids, K., Burwitz, L., & Williams, J. (1992). Perception and action in sport. *Journal of Human Movement Studies*, *22*(4), 147-204.
- Williams, A. M. (2000). Perceptual skill in soccer: implications for talent identification and development. *J Sports Sci*, *18*(9), 737-750. <https://doi.org/10.1080/02640410050120113>
- Williams, A. M. (2009). Perceiving the intentions of others: how do skilled performers make anticipation judgments? *Prog Brain Res*, *174*, 73-83. [https://doi.org/10.1016/s0079-6123\(09\)01307-7](https://doi.org/10.1016/s0079-6123(09)01307-7)
- Williams, A. M., Davids, K., Burwitz, L., & Williams, J. G. (1994). Visual search strategies in experienced and inexperienced soccer players. *Res Q Exerc Sport*, *65*(2), 127-135. <https://doi.org/10.1080/02701367.1994.10607607>
- Williams, A. M., Davids, K., & Williams, J. G. P. (1999). *Visual perception and action in sport*. E & FN Spon. Publisher description <http://www.loc.gov/catdir/enhancements/fy0914/98025207-d.html>
- Williams, A. M., & Ericsson, K. A. (2005). Perceptual-cognitive expertise in sport: Some considerations when applying the expert performance approach. *Human movement science*, *24*(3), 283-307.
- Williams, A. M., Ford, P. R., Eccles, D. W., & Ward, P. (2011). Perceptual-cognitive expertise in sport and its acquisition: Implications for applied cognitive psychology. *Applied cognitive psychology*, *25*(3), 432-442. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/acp.1710>

- Williams, A. M., & Ward, P. (2007). Anticipation and decision making: Exploring new horizons. In *Handbook of sport psychology, 3rd ed.* (pp. 203-223). John Wiley & Sons, Inc.
- Williams, A. M., Ward, P., Smeeton, N. J., & Allen, D. (2004). Developing Anticipation Skills in Tennis Using On-Court Instruction: Perception versus Perception and Action. *Journal of applied sport psychology, 16*, 350-360. <https://doi.org/10.1080/10413200490518002>
- Williams, A. M., Ward, P., Smeeton, N. J., & Allen, D. (2004). Developing anticipation skills in tennis using on-court instruction: Perception versus perception and action. *Journal of applied sport psychology, 16*(4), 350-360.

Annexes

Annexe 1. Première page du document expliquant les conditions de participation et le protocole.

Apprentissage par la réalité virtuelle

Conditions et protocole de l'expérience

L'expérience à laquelle vous allez participer étudie l'intérêt de la réalité virtuelle dans le cadre de situations particulières au hockey sur glace. L'expérience se déroulera à l'aide d'un casque de réalité virtuelle, elle se divisera en 3 blocs pour un total d'environ 45 minutes :

1. Un bloc « pré-test » sans préparation et avec un minimum de consignes
2. Un bloc « entraînement » avec quelques consignes spécifiques vous permettra d'effectuer la phase dite d'entraînement.
3. Un bloc « post-test » effectué dans les mêmes conditions que le bloc « pré-test »

Aucune méthode invasive ne sera nécessaire durant la totalité de cette expérience. Pour participer à ce travail de recherche, vous devez accepter le et signer formulaire de consentement (document fourni par l'examineur avant le début du test).

Merci d'avance pour votre participation !



Exemple d'une personne faisant le test, assise avec le casque de réalité virtuelle.

Consignes

1. Pré-test

Vous allez vous retrouver en situation virtuelle d'échappée, seul face au gardien.

Derrière le gardien, à l'intérieur du but, 5 cibles bleues seront affichées en permanence, dans la même configuration que le boîtier-réponse. Vous vous verrez avancer en direction du gardien depuis différents angles et devrez sélectionner la cible qui représente le plus de chance de marquer, c'est-à-dire, la cible la moins couverte/protégée par le gardien.

N'oubliez pas de faire de gestes techniques pour dribbler le gardien. C'est un simple tir, de l'endroit où vous vous situez, avec le puck sur votre côté fort. N'essayez pas d'anticiper un éventuel mouvement, ne choisissez pas un côté plutôt qu'un autre en vous disant : « les gardiens sont souvent moins habiles de ce côté ».

Imaginez simplement que ce gardien s'est soudainement figé dans le temps et que vous devez dès lors viser la cible la plus dégagée du point de vue du puck.

→ Cherchez simplement la cible la plus accessible pour votre tir.

2. Entraînement

Même principe qu'au pré-test mais cette fois-ci, après chacun de vos tirs, vous aurez droit à un feedback de quelques secondes. *Attention, les joueurs faisant partie du groupe « control » n'auront pas de feedback.*

Un premier feedback affichera les cibles colorées en vert ou rouge selon la qualité de votre choix, vert pour les meilleurs choix, rouge pour les mauvais choix et orangé pour les choix moyens. De plus, « le meilleur » choix possible sera affiché en vert mais ressortira également sous la forme d'un tube en 3D.

Un deuxième feedback vous permettra d'observer la scène depuis le point de vue du puck, comme si la caméra était placée directement sur le puck au moment de votre tir.

Cela vous permettra de mieux comprendre le résultat de votre tir. Votre choix était-il le bon ? Existait-il une meilleure solution ? Dans ce cas, votre observation vous permettra d'améliorer vos décisions lors des prochains tirs.

3. Post-test

Même principe que pour le pré-test : choisissez la meilleure cible au moment du tir. Il n'y aura pas feedback, appliquez simplement au mieux ce que vous avez appris lors de la phase d'entraînement.

Annexe 3. Tableau regroupant les données personnelles des participants ainsi que leurs données anthropométriques.

| Sujet | Annee de naissance | Canne (G/D) | Main dominante (G/D) | Position (G/D/C/A) | Annees d'experiences | Groupe d'entrainement (FB/Control) | Mesure yeux (DY) | Mesure canne (DX) | Mesure puck (DZ) |
|-------|--------------------|-------------|----------------------|--------------------|----------------------|------------------------------------|------------------|-------------------|------------------|
| 1 | 2002 | D | D | A | 16 | FB | 1.64 | 1 | 0.08 |
| 2 | 1995 | G | D | D | 21 | FB | 1.31 | 0.68 | -0.29 |
| 3 | 1994 | G | D | D | 20 | Control | 1.67 | 0.7 | -0.44 |
| 4 | 1992 | D | G | D | 21 | Control | 1.6 | 0.9 | -0.35 |
| 5 | 1989 | G | D | D | 29 | FB | 1.67 | 0.94 | -0.27 |
| 6 | 2001 | G | D | A | 17 | Control | 1.52 | 0.88 | -0.12 |
| 7 | 1991 | G | D | A | 22 | FB | 1.68 | 0.9 | -0.37 |
| 8 | 1986 | D | G | A | 33 | Control | 1.6 | 0.82 | -0.32 |
| 9 | 2003 | D | G | A | 13 | FB | 1.53 | 0.82 | -0.14 |
| 10 | 2004 | G | D | A | 12 | Control | 1.6 | 0.82 | -0.32 |
| 11 | 2000 | G | D | A | 17 | FB | 1.58 | 0.93 | -0.15 |
| 12 | 1991 | D | D | A | 27 | control | 1.6 | 0.74 | 0.27 |
| 13 | 1990 | L | D | A | 26 | FB | 1.63 | 0.93 | -0.25 |
| 14 | 1997 | L | D | A | 20 | control | 1.45 | 0.76 | 0.43 |
| 15 | 1986 | D | D | D | 31 | FB | 1.38 | 0.88 | 0.32 |
| 16 | 1995 | G | D | D | 20 | Control | 1.45 | 0.56 | 0.24 |

Remerciements

Je souhaite remercier le Prof. Jean-Pierre Bresciani et le Dr. Jean-Luc Bloechle pour la supervision et le bon déroulement de ce travail. Je remercie également les joueurs du HC Fribourg Gottéron qui ont accepté de prendre part à cette étude. Un grand merci à Monsieur Gerd Zenhäuser pour avoir fait le lien entre les joueurs et moi-même pour le déroulement de l'expérience. Finalement, un grand merci à Jérémy Egger pour la relecture de ce travail.