

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

Yohann Waeber

à

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

en collaboration avec la
Haute école fédérale de sport de Macolin

Référent

Prof. Jean-Pierre Bresciani

Conseiller

Dr. Jean-Luc Bloechle

Fribourg, juin 2023

Résumé

Un joueur professionnel de hockey sur glace ne se résume pas simplement à avoir un niveau technique au-dessus de la moyenne ou un physique hors du commun. Bien que ces aspects techniques et physique rentrent en compte pour qu'un joueur soit compétent, ce dernier doit également présenter des capacités de perception et de cognition considérable pour traiter les informations externes et ainsi accentuer la prise de décision. L'objectif de ce travail de Master consiste donc à démontrer que l'utilisation de réalité virtuelle peut être utilisée pour optimiser les capacités perceptives et cognitives des joueurs professionnels de hockey sur glace lors de tirs au but. Pour atteindre l'objectif, l'utilisation d'un casque de réalité virtuelle a été nécessaire pour ainsi immerger l'utilisateur dans des situations de jeu illimitées visant à créer une expérience la plus vraisemblable et réaliste possible. Pour cette étude les sujets ont été répartis dans deux groupes : un premier groupe test recevant deux sortes de feedbacks et un deuxième groupe contrôle ne recevant aucun feedback. Le groupe test recevait un feedback explicite signalant la qualité de leurs choix grâce à la coloration des cibles ainsi que l'appréciation en couleur de la réussite du tir, et un deuxième feedback, cette fois-ci implicite, provenant du point de vue du puck au niveau du sol. Le deuxième groupe, nommé groupe contrôle, ne disposait quant à eux d'aucun feedback lors pour la phase d'apprentissage. Un échantillon de dix-huit joueurs professionnels, âgé en moyenne de 20.22 ans, a été répartis en deux groupes homogènes. Ils ont participé une expérience qui était divisée en trois phases : un pré-test, une phase d'apprentissage et un post-test. Chacune de ces phases comprenait 54 essais. Les sujets ont, dans le cadre de cette simulation virtuelle, effectué des attaques au but à des distances et des angles variables. Leur objectif était de sélectionner, à l'aide d'un boîtier réponse, la cible qu'ils jugeaient être la moins protégée par le gardien de but.

Le groupe contrôle a vu ses résultats s'améliorer de manière légère et non significative ($p = 0.73$) contrairement au groupe test qui a démontré une amélioration significative ($p < 0.01$) grâce aux bénéfices des deux types de feedbacks. Dans l'analyse de la corrélation du groupe test entre la différence Eye-Puck et le score, 3% de variance lors du pré-test était expliqué et lié au score dû à la différence de perspective entre le puck et yeux alors qu'il était de 0% lors du post-test. Cela prouve l'efficacité d'un feedback sur la performance lors des tirs au but. Les résultats obtenus mettent en évidence l'efficacité de la réalité virtuelle dans l'amélioration des capacités de prise de décision. L'utilisation de cette approche immersive sous forme de jeux auprès des jeunes pourrait être stimulante et contribuerait également au développement des capacités perceptivo-cognitives de ces derniers.

Table des matières

Résumé.....	2
1 Introduction	4
1.1 Contexte et situation initiale.....	4
1.2 La prise de décision.....	6
1.3 Apprentissage en laboratoire	10
1.4 Objectif du travail.....	12
2 Méthode.....	14
2.1 Participants	14
2.2 Instruments de recherche.....	14
2.3 Le software	15
2.4 Protocole de passations	18
2.5 Analyse statistique.....	25
3 Résultats	27
3.1 Effet d'apprentissage.....	27
3.2 Comparaison de l'effet d'apprentissage	28
3.3 Corrélation entre la différence Eye-Puck et le score	29
4 Discussion	31
4.1 Interprétation des résultats	31
4.2 Limites de l'étude.....	32
4.3 Améliorations de l'étude	34
5 Conclusion.....	36
Bibliographie.....	37
Annexes	44
Remerciements	47

1 Introduction

1.1 Contexte et situation initiale

L'objectif de ce travail est d'examiner comment les joueurs de hockey professionnels peuvent tirer parti de l'apprentissage perceptivo-cognitif en utilisant la technologie de réalité virtuelle (RV). Les personnes intègrent le sport à leur quotidien pour des motifs variés notamment dans le maintien de leur forme physique, la recherche de performance, l'accomplissement de soi ou la préservation de la santé. Comme le souligne Benoit et al. (2009), chaque athlète est unique sur les plans physiologique, psychologique, technique et tactique. L'amélioration des aspects physiologiques tels que la force, l'endurance, la souplesse, la coordination ou la rapidité sont des objectifs courants des méthodes d'entraînement. C'est dans une approche d'optimisation de la performance travaillée durant les entraînements que les athlètes professionnels peuvent créer la différence et changer le cours du match grâce à une action de jeu décisive.

Le hockey sur glace est un sport spectaculaire et captivant en raison de la vitesse de jeu, de la brutalité dans les contacts physiques, des acrobaties des gardiens de but exigeant souplesse et agilité, et de l'audace des joueurs à se jeter devant une rondelle pouvant dépasser les 150 km/h. En outre, la précision du patinage et le maniement de la canne en possession du palet sont difficiles à reproduire pour les fans de hockey. Grâce aux études effectuées au cours des dernières décennies, les joueurs professionnels et leur staff technique ont accès aux méthodes d'entraînement les plus performantes. Dans le domaine des sciences du sport, des analyses ont été utilisées dans les domaines tels que la biomécanique, la physiologie, la biochimie, les neurosciences et la psychologie pour comprendre et observer les capacités des athlètes. Les approches en vigueur pour développer les capacités physiques et techniques sont finement élaborées et sont inscrites dans les habitudes et le quotidien du sportif. Même si les aptitudes physiques et techniques des sportifs ont un impact considérable sur leurs performances, celles-ci ne dépendent pas exclusivement de ces deux facteurs (Williams et al., 1992). Selon Williams et Ericsson (2005), la performance dépend non seulement de l'aspect physique et technique du joueur, mais également de ses compétences cognitives et perceptives en jeu. C'est pourquoi les sciences du sport s'intéressent plus intensément aux aspects cognitifs et perceptifs dans le but d'optimiser l'amélioration des performances sportives. Ce travail de Master vise à éclairer cette approche et à examiner l'efficacité de l'utilisation de la RV dans les entraînements des sportifs professionnels.

En étudiant la perception et la cognition, Williams et al. (2004) ont déterminé que l'anticipation et la prise de décision sont des compétences essentielles de traitement de l'information. Ces deux fonctions mentales travaillent conjointement permettant la compréhension du milieu qui nous entoure, de par l'interprétation des stimuli sensoriels grâce à la perception et le traitement puis l'utilisation de ces stimuli grâce à la cognition. Plusieurs études soulignent que les athlètes professionnels se distinguent des débutants en possédant une meilleure capacité de traitement des stimuli, englobant les compétences de l'anticipation et la prise de décision, notamment celles de Hagemann et al. (2006), Mann et al. (2007), Mulligan et al. (2012) et Voss et al. (2010). Ces études signalent l'importance de bénéficier de programmes d'entraînement de ces compétences autant pour les professionnels que pour les novices. Dans le football professionnel, l'étude de Vestberg et al en 2012, a permis de démontrer que les sportifs obtiennent des résultats plus élevés lors des tests cognitifs grâce à des fonctions cognitives supérieures aux sportifs débutants se traduisant par un indicateur de meilleures performances sportives. Indépendamment du niveau de l'athlète, l'anticipation et la prise de décision sont des compétences clés en termes de performances sportives et méritent donc une attache particulière lors des entraînements. D'après Chang (2014), les athlètes expérimentés présentent une plasticité neuronale supérieure à celle des athlètes débutants. Au cours de la phase d'apprentissage, le cerveau s'adapte de manière fonctionnelle et structurelle en fonction de sa neuroplasticité. L'un des objectifs de cette étude sera précisément de tester ce type d'apprentissage et d'évaluer sa pertinence auprès d'athlètes professionnels.

Les joueurs de hockey sur glace évoluent dans un sport où une prise de décision constante est demandée concernant des changements de distances et d'angles de tir ou de passe due à la rapidité de jeu. Ils doivent par conséquent être en mesure de réagir continuellement et rapidement en prenant des décisions éclairées afin de donner une position d'accommodation rigoureuse pour gérer au mieux les divers facteurs de jeu au fil du match (Erickson et al., 2011). Dans ce sport collectif qu'est le hockey sur glace, un facteur propre à ce sport est l'emploi d'une crosse allongeant leur corps provoquant un point de vue divergeant entre celui du palet et les yeux du joueur. De ce fait une différence notable de perspective est remarquée dans ce sport où la perception tient un rôle primordial sur la capacité à dégager les informations visuelles importantes en vue d'entreprendre le bon choix au moment opportun. L'étude prend en compte cette problématique, ce qui a motivé le choix d'opter pour ce sport ayant comme contrainte une différence de perspective afin de mieux appréhender l'évolution de la qualité des prises de décision pendant l'apprentissage. En 2012, une reconsidération jugée importante du programme

d'entraînement en y incluant un apprentissage des capacités sensorielles, motrices et cognitives a été mise en avant dans l'étude de Ljach et al. De surcroît, le style d'apprentissage favorise, chez le sportif, une croissance du développement dans son ensemble en offrant des informations nécessaires pour maximiser son entraînement (Gabbett & Masters, 2011). L'optimisation, un complément de travail cognitif à l'entraînement de base, se traduit par de meilleures performances, voici qui a motivé la réalisation de ce travail avec des joueurs professionnels. Selon Patterson et al. (2009b), la réalité virtuelle offre aux sportifs une possibilité simple et adaptable d'acquérir des compétences cognitives pour améliorer leurs stratégies et leurs capacités mentales. L'utilisation de la RV au sein du monde sportif est vantée par Vignais, Kulpa, Brault, Presse et Bideau, en 2015, comme une méthode d'analyse plus efficace que les méthodes dites traditionnelles pour la perception et l'action. Le choix d'utiliser un casque RV dans l'étude est motivé par ces différentes ressources littéraires. Toujours selon la littérature scientifique existante, les points suivants détailleront plus spécifiquement les compétences perceptivo-cognitives essentielles et impliquées dans la prise de décision. De plus, afin de justifier et légitimer l'utilisation de la RV lors de notre étude, les méthodes d'apprentissage de ces compétences seront étudiées en tant qu'outil d'apprentissage et d'optimisation de la prise de décision.

1.2 La prise de décision

Deux points de vue visibles et complémentaires sur le thème de la prise de décision sont présentés dans la littérature scientifique de Bossard et Kermarrec (2011). Le premier point de vue, nommé « cognitif », voit la décision tel un processus impliquant l'identification puis l'interprétation des stimuli pertinents de l'environnement en utilisant l'association des bases de connaissances stockées en notre mémoire (Schmidt & Lee, 2005). C'est principalement dans un cadre expérimental que cette approche décisionnelle est examinée. Pour Ross, Shafer et Klein (2006), la prise de décision est un point de vue « naturaliste » et se manifeste en tant qu'adaptation à une situation actuelle donnant pour exemple, un match de hockey sur glace se déroulant dans une patinoire, afin d'avoir un contexte authentique pour mener l'activité étudiée dans des conditions naturelles.

L'étude menée utilise une approche expérimentale axée sur l'aspect cognitif pour atteindre l'objectif d'optimiser la prise de décision et d'améliorer l'apprentissage perceptivo-cognitif chez le sportif. Les caractéristiques physiques et fonctionnelles telles que la vitesse, la force, l'endurance ainsi que la coordination entraînent une performance chez le sportif. Suivant les besoins de l'activité sportive, les entraînements vont privilégier les différents facteurs physiques cités

dans une recherche d'amélioration contribuant à une performance optimale. Il s'agira, dans notre étude, d'expérimenter l'efficacité d'un apprentissage de type perceptivo-cognitif avec la RV. En sport, pour établir des réponses adaptées aux situations de jeu, les compétences perceptives et cognitives sont primordiales pour assimiler les stimuli environnementaux en les combinant à des connaissances préalables (Marteniuk, 1976). Sur le thème du processus décisionnel, la littérature scientifique couvre plusieurs aspects, y compris la prise d'informations, les bases de connaissances et le fonctionnement de la mémoire (Bossard & Kermarrec, 2011).

1.2.1 Prise d'informations stratégiques

En situation d'entraînement et de match, la perception visuelle du sportif détient un rôle majeur pour déterminer où et quand chercher. Le champ visuel retient une grande quantité d'informations. Toutefois, toutes ces informations ne sont pas nécessaires à l'accomplissement de la tâche souhaitée. Le sportif doit être en mesure de distinguer dans son champ visuel les zones riches en informations et de les employer de façon optimale et performante (Williams et al. 1999). La perception visuelle désigne le progrès des capacités perceptivo-cognitives à déchiffrer les images et les scènes dynamiques, telle est la définition par Beauchamp et Faubert (2011). Ces derniers affirment que toute lenteur ou imprécision dans la perception des messages visuels peut causer une diminution des performances attendues. En effet, pour les sportifs ce processus cérébral nommé perception visuelle est crucial et sélectif pour atteindre une performance. En 2011, Erickson et al., ont associé les compétences visuelles spécifiques et la réussite dans le sport. Dans une étude précédente, Ciuffreda et Wang (2004), recommandaient, peu importe le sport pratiqué, d'incorporer ces compétences aux entraînements des athlètes. L'intérêt de ce travail est la recherche d'amélioration des performances visuelles des participants en proposant un apprentissage ciblé sur les compétences visuelles. Les athlètes professionnels ont une capacité accrue dans l'utilisation système du visuel afin de prendre des bonnes décisions, une capacité amoindrie chez les novices. C'est pourquoi les littératures scientifiques s'intéressent particulièrement aux raisons de cette différence. Il est admis par le consensus de la communauté scientifique que les sportifs experts possèdent une capacité de traitement plus sophistiquée que les sportifs novices (Poltavski & Biberdorf, 2015). Plusieurs études scientifiques recensées ont permis la collecte d'information pour comprendre les aspects tels que : le temps de réaction visuel par Berg et Kilian (1995) ; la perception de la profondeur (Laby et al., 1996) ; le traitement de l'information (Overney et al., 2008 ; Williams et al., 2004) et la coordination œil - main (Roca et al., 2011) en lien avec la capacité de traitement. C'est en 2000 que Williams et al., ont perçu qu'une partie de la différence en sport entre les experts et les novices résultait de

l'efficacité des experts dans la récupération, l'encodage et la reconnaissance des informations spécifiques. Il s'agit alors d'une stratégie « globale » qu'utilise les sportifs chevronnés. Leur stratégie de collecte d'informations semble permettre d'extraire simultanément les informations de plusieurs domaines facilitant ainsi le traitement visuel et la prise de décision (Jackson et al., 2006 ; Starke & Ericsson, 2003 ; Williams et al., 2009). Muller, Abernethy et Farrow (2006) précisent que les sportifs experts procèdent avant un événement majeur, à une récolte d'informations précoce venant particulièrement de l'orientation de la posture qu'adoptent leurs adversaires. L'attention des joueurs de hockey sur glace est portée principalement sur les zones généreuses en information tout en délaissant les zones faibles en information (Bard et al., 1994). Une action défensive va cautionner, selon Helsen et Starkes (1999), un changement différent de stratégie visuelle en fonction de l'intention du joueur qu'une action de type offensive.

1.2.2 La base de connaissances

La base de connaissances est une composition d'un réseau de connaissances stocké dans la mémoire à long terme, telle est définie par Causer et al. (2012). Cette base de connaissances inclue deux types de connaissances. La première, déclarative, déterminant le savoir quoi faire et la deuxième, procédurale, déterminant le savoir comment faire (Ericsson, 2014). Les athlètes experts développent cette base de connaissances dans leur domaine de prédilection pour reconnaître et analyser aisément les signaux environnementaux (Ericsson, 2014). D'après Contreras Jordán et al. (2005), une pratique régulière et intense d'un sport peut développer une base de connaissances plus sophistiquée, mieux organisée et plus étendue. Dans une étude consacrée aux volleyeurs experts et leurs connaissances utilisées pour réussir une réception de service ainsi qu'une passe à un coéquipier, McPherson et Vickers (2004) ont constaté que ces sportifs planifiaient un plan d'action avant l'exécution et le modifiaient en cours de mouvement en fonction des besoins. Ces plans étaient établis en combinant des informations de l'action présente et des expériences antérieures proche de la situation actuelle. Après l'étude sur le volleyball, une étude de Christensen et Glencross (1993) concernant le hockey sur gazon. Les résultats de cette étude démontrent que les bases de connaissances des joueurs pratiquants un sport proche du hockey sur glace, s'organisaient de manières similaires aux bases de connaissances des joueurs experts provenant d'autres sports.

1.2.3 Le fonctionnement de la mémoire

Les processus cognitifs utilisés pour prendre des décisions et la façon qu'ils fonctionnent chez les athlètes font l'objet de recherche pour les scientifiques. Comme mentionné dans les points

précédents, contrairement aux novices, les sportifs experts intègrent plus aisément les informations environnementales afin de prendre une décision appropriée (Williams, 2000). De surcroît, les sportifs experts possèdent une mémoire spécifique plus développée selon Chase et Simon (1973). Ils sont donc capables d'enregistrer un nombre d'informations important et ainsi s'adapter plus promptement aux situations typiques du sport pratiqué (Starkes, 1987) et dès lors, reconnaissent plus rapidement des situations de jeux similaires, déjà vécues (North et al., 2009 ; Smeeton et al., 2004). Une situation familière selon Macquet (2009) se définit par la similarité d'une expérience antérieure à laquelle le sportif a recours pour adapter sa prise de décision à la situation actuelle. Lors de la mise en scène, les sujets de l'étude peuvent établir des liens entre leurs situations antérieures vécues sur la glace et la projection de l'action se déroulant dans le casque RV permettant ainsi la prise de décisions appropriées. Comme l'a démontré Williams (2009), les compétences perceptivo-cognitives spécifiques mènent à l'anticipation et au processus décisionnel. Grâce à la structure de la mémoire et aux connaissances spécifiques, les sportifs génèrent et développent, dans leur sport, des compétences perceptuelles et cognitives (Williams & Ward, 2007). Les études exposées donnent confirmation qu'en vue d'une optimisation de performance, les aptitudes perceptivo-cognitives jouent un rôle prépondérant. En vue de parvenir à un processus décisionnel optimal, les deux compétences doivent impérativement interagir en synergie (Lenzen et al., 2009 ; Williams et al., 2011). Les participants ont été projetés en situation, lors de notre étude, où ils devaient développer ces compétences par eux-mêmes de façon à maximiser leur choix.

1.2.4 La capacité d'anticipation

La formation d'une réponse avant que l'adversaire ne frappe la balle est nécessaire dans les sports de renvoi tel que le tennis, compte tenu du temps inférieur requis à la balle pour parvenir à l'opposant au temps de réaction que suscite ce dernier pour donner le coup suivant (Williams et al., 1999). Les athlètes ont, pour s'adapter et anticiper facilement, des processus cognitifs à disposition (Williams et al., 2011). Cette étude de Williams et al. (2011) souligne, en outre, que les capacités perceptives et cognitives, caractérisées du sport, facilitant la fonction d'anticipation sont intégrées par une pratique sportive continue dans des conditions spécifiques. En anticipant, cela nous permet de disposer d'un temps supplémentaire pour produire une réponse plus adaptée à la situation. Pour notre étude, le focus est posé sur la qualité des choix entrepris lors de la décision plutôt que la mesure de la vitesse de prise de décision. Toujours est-il important de préciser que la qualité de prise de décision est influencée de manière indirecte par l'anticipation.

1.3 Apprentissage en laboratoire

C'est dans un contexte expérimental se déroulant en laboratoire que cette étude a pour but de placer un entraînement recréant des situations de jeu virtuelles mais potentielles tout en proposant aux participants une panoplie de possibilité dans leurs choix d'action. Cette approche mise en place à l'avantage de pouvoir entraîner le processus décisionnel hors de la glace et notamment hors compétition, en laissant le sujet désireux de s'entraîner d'évaluer quelle option serait la plus adaptée dans chaque phase d'action. Un autre avantage de cette simulation se tient dans la faculté de répéter les séquences de jeu en gardant une analyse des choix effectués et leurs effets. Toutefois, Bideau et al. (2010) rend attentif qu'afin d'étudier les facteurs influençant la performance, il est essentiel d'avoir un système proposant une perception ainsi que des actions réalistes. Les techniques vidéo sont les plus couramment employées dans les évaluations de performance (Crognier & Féry, 2007).

1.3.1 Le feedback vidéo pour l'apprentissage

Le retour visuel du sportif en action, notamment appelé feedback vidéo (FV), a pour principe de capturer le sportif en activité, puis lui montrer la vidéo dans le but qu'il visionne si apprentissage il y a et distingue son potentiel d'amélioration. Le sportif apprend de ces choix lors de la phase de visualisation et lui permettant de prendre, à l'avenir, des décisions plus judicieuses en termes d'efficacité et de pertinence (García-González et al., 2013). Acquérir un apprentissage implicite et explicite des aptitudes perceptivo-cognitives demande de longues périodes de pratique de la FV et de répéter à plusieurs reprises ce schéma (Raab, 2005). Cela implique aux sportifs d'identifier les informations visuelles pertinentes et de reconnaître des schémas de jeu particuliers tel que le shoot au goal, dans l'optique de choisir, à l'aide de ses connaissances, l'action la plus propice face à une situation du même acabit en match (Pagé et al., 2019). La technique courante de l'occlusion temporelle est régulièrement employée dans les travaux moyennant le FV pour étudier la prise de décision. L'occlusion temporelle consiste à stopper le flux vidéo à certains moments donnés afin que les sujets s'immergent visuellement dans le moment de jeu et identifient quelle action ils entreprendraient (Broadbent et al., 2015). Pour comprendre la différence de perception et de prise d'information entre les sportifs experts et novices, cette technique était régulièrement utilisée dans les précédentes études. Le FV affiche quelques limites concernant, par exemple, une différence entre les situations virtuelles créées et la réalité, malgré son utilisation répandue (Williams et al., 1994), ainsi qu'une limitation de l'accès aux informations visuelle due à un affichage en 2D (Petit & Ripoll, 2008). Pour pallier

ces limites et profiter des progrès technologiques, une alternative avec la réalité virtuelle comme méthode vidéo a été préférée.

1.3.2 La réalité virtuelle pour l'apprentissage

Bien qu'à première vue, cela puisse sembler étonnant qu'un sportif puisse développer et renforcer ses capacités perceptivo-cognitives à l'aide de la RV et sans essuyer d'effort physique, cette perspective de renforcement suscite un intérêt grandissant dans les recherches. Une tendance générale semble se dégager dans les études menées jusqu'à présent concernant le sport en milieu virtuel. Une tendance bénéfique de ce type d'entraînement, bien que toutes les études ne présentent pas des résultats significatifs (Panchuk et al., 2018 ; Romeas et al., 2016 ; Vignais et al., 2015). La méthode de la RV permet l'immersion du sportif, dans un environnement contrôlé par l'expérimentateur, avec des situations semblables à la réalité. Tout en étant assis devant un ordinateur dans un endroit quelconque, le sportif se voit plongé virtuellement dans un certain environnement à l'aide du casque RV. Cette méthode offre plusieurs avantages en comparaison avec d'autres méthodes d'apprentissage. En effet, elle immerge le sportif d'un point de vue égocentrique dans un univers virtuel (Petit & Ripoll, 2008). Elle donne accès à une interaction entre cet univers et les personnes profitant de la RV pour scruter différents comportements tel que la prise de décision (Vignais et al., 2015). Autre avantage notable, la modification des variables ainsi que le contrôle du monde virtuel développé (Brault et al., 2015), tout en ayant le choix du point de vue du sujet (Schomaker et al. 2011). Le dernier avantage se trouve dans la faculté à garder la qualité du stimulus sollicité en effectuant de multiples tentatives (Tarr & Warren, 2002). Des recherches dans des domaines différents : les fléchettes (Tirp et al., 2015) ; de l'aviron (Rauter et al., 2013) ; du baseball (Gray, 2017) ; du rugby (Correia et al., 2012) ; du football (Cortes et al, 2011) ; ou plus intéressant pour notre étude, le hockey sur glace (Buns, 2020) montrent des effets bénéfique de la RV sur les apprentissages moteurs.

La configuration de la RV peut être utilisée de manière intéressante pour un sport comme le hockey sur glace qui comporte de nombreuses variations de jeu et dans la prise en considération des multiples paramètres lors de la confection des séquences de jeu. Le monde virtuel est personnalisable par l'expérimentateur pour les besoins de l'étude. Les précédentes études ont prouvé qu'un apprentissage avec la RV, en contexte expérimental était possible et que celui-ci avait un impact positif sur les performances des sportifs. La capacité de transfert de ces performances réalisées en laboratoire à des situations réelles sur le terrain ont fait l'objet de recherches. De manière générale, les résultats démontrent qu'un sportif pratiquant la prise de

décisions en contexte expérimental, est en mesure de répéter ce processus dans un cadre réel malgré que certains résultats diffèrent selon les études (Hagemann et al., 2006 ; Schul & Memmert, 2017). La différence résultant de l'étude de Pagé et al. (2019), évaluant à l'aide des méthodes de RV et FV les capacités décisionnelles des joueurs de basketball universitaires, démontre que l'utilisation de la méthode RV obtient des bénéfices transférables et généralisés. De son côté le FV obtient uniquement des avantages transférables. Dans cette étude, la méthode RV a pour objectif de favoriser le transfert des performances des sujets, de la salle d'expérimentation à la glace.

1.4 Objectif du travail

Ce travail a pour objectif de vérifier si l'utilisation de la RV avec un feedback sur la qualité du choix et un autre feedback sur le point de vue du palet au moment de la frappe au goal occasionne, chez les joueurs de hockey professionnels une amélioration en situation de 1 contre 1 face au dernier rempart qu'est le gardien, une amélioration de la prise de décision. Cette étude vise à déterminer si un apprentissage est possible lors d'un entraînement à la prise de décision avec deux feedbacks différents, en vue d'améliorer les performances des sujets par rapport à un groupe contrôle qui ne reçoit aucun feedback lors de ses tentatives. Ce travail s'appuie sur trois travaux de master abordant le même thème (Devaud, 2021 ; Mertennat, 2022 ; Sauthier, 2020) et traitant d'une population comparable mais différente afin de déterminer si les résultats observés dans ces trois études se rejoignent. L'étude de Devaud (2021) et de Sauthier (2020) ont été menées auprès de joueurs de types « élites » tandis que l'étude de Mertennat (2022) porte sur des joueurs de types « professionnels » correspondant à la catégorie de sujets testés pour cette étude. Le choix de cette population de sujets a pour objectif d'avoir une continuité des études précédentes et de pouvoir confirmer ou non la tendance des résultats perçus jusqu'à présent. Les trois études référencées sur le hockey sur glace montrent une amélioration de la précision et, par conséquent, de la performance des tirs grâce à la RV. En recourant à la RV via les lunettes pour simuler des situations de jeu entre l'attaquant et le gardien de but, les performances de tirs au but augmentent dues à un travail spécifique des compétences cognitives et perceptuelles (Mertennat, 2022 ; Devaud 2021 ; Sauthier, 2020). Ce travail reprend le même logiciel utilisé que les trois travaux précédents. Les situations de jeu proposées de plus en plus réalistes dans le programme se sont affinées à l'aide des retours et commentaires perçus des anciens travaux. Cette étude cherche, en utilisant la RV, à observer et comprendre comment les hockeyeurs professionnels peuvent bénéficier d'une amélioration de l'apprentissage des

capacités cognitives et perceptives. La question de recherche à laquelle ce travail tente de répondre est :

- Une amélioration de la capacité de prise de décision des joueurs de hockey professionnel est-il favorisé lors d'un apprentissage en réalité virtuelle, fournissant un feedback visuel sur le point de vue du puck ainsi que sur la qualité du choix ?

Deux hypothèses ont été formulées pour aborder cette question de manière scientifique, soit :

H0 : L'apprentissage en réalité virtuelle, fournissant un feedback visuel sur le point de vue du puck ainsi que sur la qualité du choix du hockeyeur professionnel, n'a aucun impact sur la capacité de prise de décision.

H1 : L'apprentissage en réalité virtuelle, fournissant un feedback visuel sur le point de vue du puck ainsi que sur la qualité du choix du hockeyeur professionnel, favorise la capacité de prise de décision.

En plus des hypothèses et des objectifs précédemment cités, cette étude se penchera sur la problématique de la différence de perspective à laquelle les joueurs de hockey sur glace sont confrontés. Au travers l'emploi de la RV, nous porterons une attention particulière sur l'efficacité du casque à minimiser les problèmes rencontrés de différences de perspectives entre le point de vue du puck et celui des joueurs.

2 Méthode

2.1 Participants

Tous les participants, des hockeyeurs professionnels, prenant part à cette étude provenaient d'équipes de la National League suisse. L'étude incluait uniquement des hommes avec une moyenne d'âge de 20.22 ans. Le poste qu'ils occupaient sur la glace ainsi que le côté avec lequel ils maniaient la canne n'ont pas été pris en compte pour cette étude. Les joueurs autant droitiers que gauchers recevaient des explications sur les conditions de passation et les règles de l'expérience. Ils ont confirmé l'exactitudes des données personnelles transmises en fournissant un consentement écrit. Les participants étaient conscients qu'à tout moment ils leur étaient permis d'abandonner l'étude.

La formation de deux groupes homogènes comprenant neuf sujets chacun a été faite lors de la répartition des participants. Un des groupe appelé groupe test, a bénéficié de deux types de feedbacks lors de l'expérience tandis que l'autre groupe, appelé groupe contrôle, n'a reçu aucun feedback. Le groupe test qui représentait le groupe d'apprentissage a reçu, dans un premier temps, un feedback explicite reflétant la qualité du choix effectué et dans un second temps a bénéficié d'un feedback, cette-fois implicite montrant l'angle de vue au sol depuis le puck. Afin d'assurer une répartition équitable dans les deux groupes, une analyse statistique comparative a été effectuée lors du pré-test. Ceci afin de vérifier et d'exclure toute différence de performance de base entre les deux groupes.

2.2 Instruments de recherche

L'instrument de mesure choisi pour l'étude un casque de réalité virtuelle de la marque Pimax, modèle 5K XR, équipé de deux écrans QuadHD ayant une résolution 2560x1440 pixels. Le casque était connecté à un ordinateur par un câble USB 3.0 et un Displayport 1.4. Le casque de RV était ajustable grâce à des straps et une molette permettant une meilleure immersion et un certain confort. Le réglage individuel de la distance entre les yeux et les écrans était essentiel pour jouir d'une vision nette et une immersion réaliste à 200°. Pour réaliser leur tir en confrontation 1 contre 1 avec le gardien, les sujets devaient sélectionner une des 5 zones en forme de cible ronde de taille identique. Ces différentes cibles visibles en arrière-plan du gardien correspondaient aux 5 boutons blancs du boîtier réponse noir (voir figure 1) disponible devant les sujets pendant l'expérience. Pour tenter de marquer un but, le sujet appuyait sur le bouton

présentant la meilleure opportunité de marquer et correspondant à une cible derrière le gardien de but. Le boîtier réponse branché par câble USB 3.0 à l'ordinateur, a été conçu de manière ergonomique et pour être simple de manipulation, étant donné que la vision du sujet était cachée par le casque de RV.

Figure 1

Les 5 boutons blancs présents sur le boîtier réponse sont associés chacun à une cible présente dans la cage du gardien.



2.3 Le software

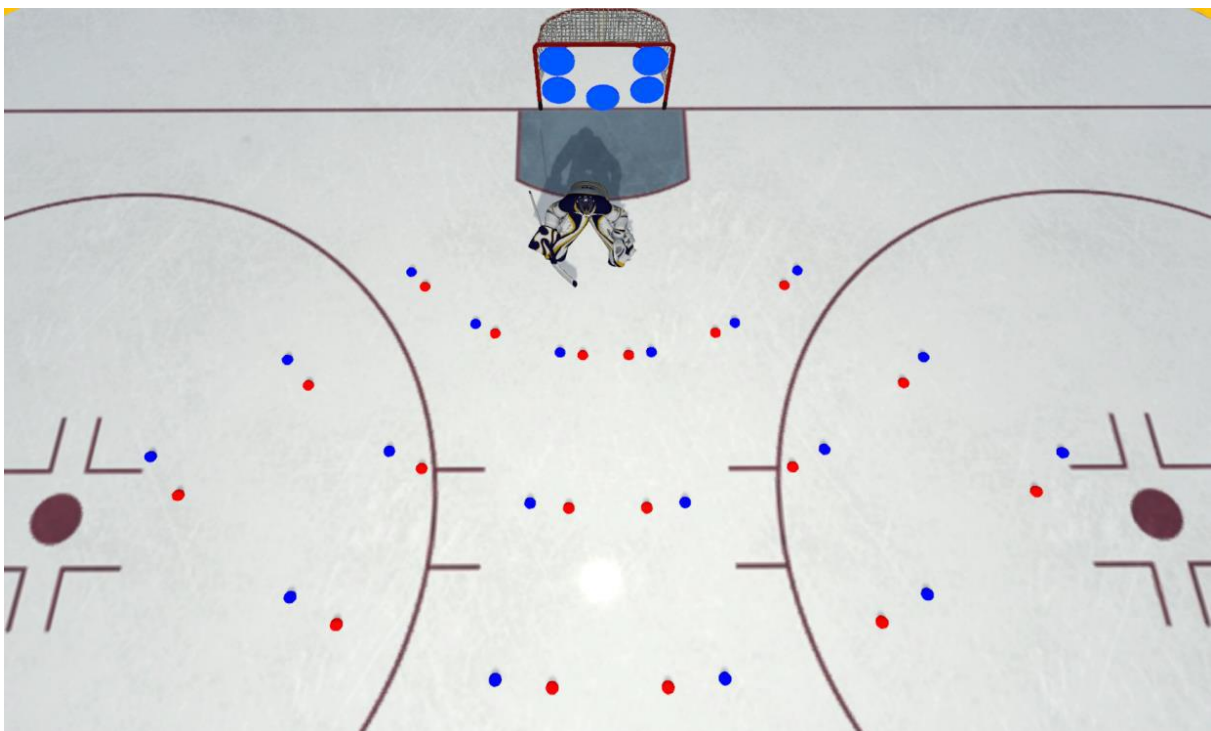
L'Université de Fribourg via son laboratoire CoPe a développé ce software utilisé dans l'étude. Ce software est destiné à la simulation de situations de jeu de tir où le joueur se retrouve seul face au gardien et était employé par le biais du casque de RV. Les situations de tirs commençaient à partir de la zone offensive se trouvant à 15 mètres de la cage du gardien de but. Les situations ont continué à des distances variables allant de 3.5 à 7.5, passant par 5.5 mètres. A une vitesse de 30km/h, le sujet se dirigeait vers la cage gardien sous des angles d'attaque changeant selon les séquences. En phase de pré- et post-test, les angles d'attaque pouvaient être de 45°, 25°, 5°, -5°, -25°, -45°. Le demi-cercle de la zone du gardien, situé à 1 mètre de la cage, déterminait les angles d'approche du joueur. Le gardien, quant à lui, se positionnait sur la courbe située devant ses cages en début de chaque nouvelle séquence. Lors de chaque approche, le joueur se dirige de façon systématique face au gardien. Un angle de 5° correspondait à l'approche d'un joueur débutant sa séquence proche du centre de la zone offensive, le gardien se proposait alors perpendiculairement au milieu de la ligne de but face au joueur venu effectuer son tir. Lors du deuxième bloc, tous les angles ont été décalés de 5°, dans un souci d'éviter tout

biais potentiels d'apprentissage. Les sujets commençaient lors de la phase d'apprentissage aux angles 50°, 30°, 10°, -10°, -30°, -50°. Par conséquent, le deuxième bloc différait des blocs 1 (pré-test) et 3 (post-test (voir figure 2)).

Pour générer une série de séquences, le software sélectionnait aléatoirement 3 distances et 6 angles différents. Chaque bloc consistait en la répétition de 3 séries pour parvenir à un nombre total de 54 (3*18) séquences. Ce nombre d'essai garanti une collecte suffisante de données afin de réaliser une analyse fiable. En tout, chaque sujet prenant part à l'étude réalisera 162 (3*54) séquences.

Figure 2

L'illustration présente en bleu les angles d'approche de la phase d'apprentissage et en rouge ceux du pré- et post-test, ainsi que les différents points qui correspondent aux distances de tir.



Note. Les cibles bleues positionnées dans le but sont les mêmes que celles qui sont associées aux boutons blancs sur le boîtier réponse illustré dans la figure 1.

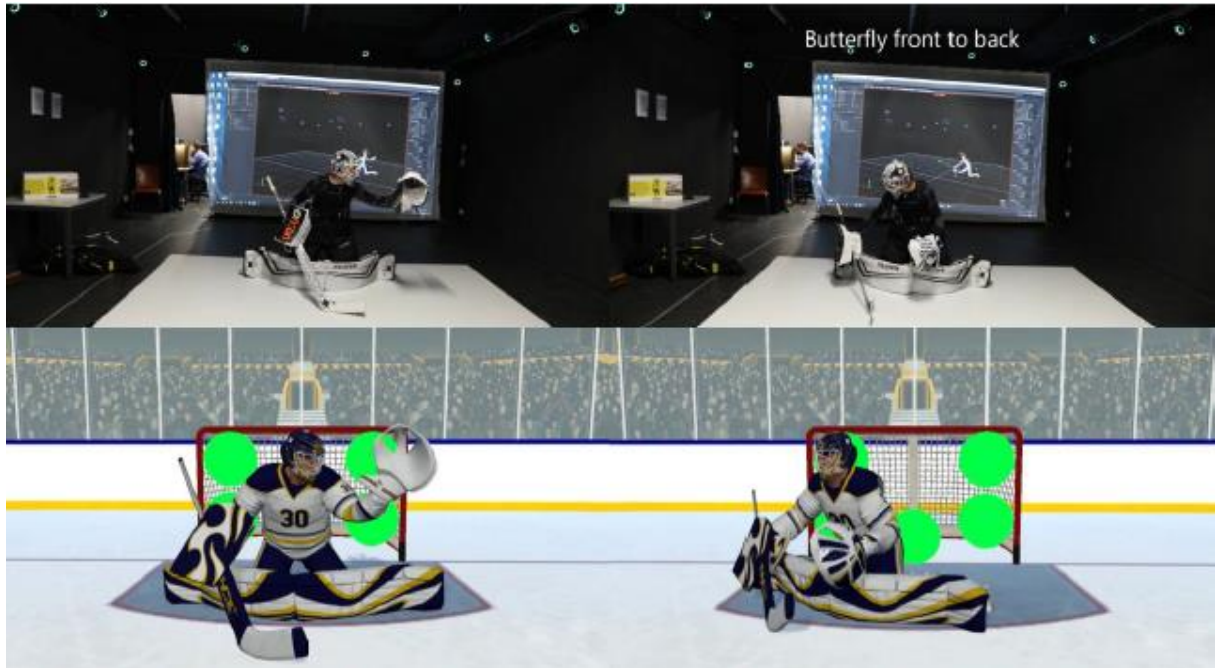
Sur chaque participant, trois mesures ont été prises et par la suite entrées dans le logiciel afin de rapprocher le test le plus possible de la réalité. En utilisant un système d'axe en trois dimensions, les trois valeurs propres à chaque joueur comprenaient : 1) la distance verticale entre les yeux du joueur et le point de contact perpendiculaire avec la glace au moment du tir ; 2) la distance horizontale entre ce point de contact avec la glace jusqu'au le milieu de la projection du puck ; 3) la distance de ce point de projection au milieu réel du puck. Le chapitre 2.3.2 ainsi que la figure 5 fournissent des informations complémentaires sur les mesures effectuées. Ces trois valeurs individuelles sont importantes pour créer une expérience de simulation au plus près de la réalité pour les hockeyeurs. En effet, la distance entre le joueur et le puck peut considérablement varier indépendamment des joueurs et ses préférences individuelles en matière de tir. L'avatar reproduit dans le software est influencé par les différentes valeurs anthropométriques utilisées en fonction de la taille du sujet et de sa position au tir au but. Les angles perçus durant l'expérience, peuvent par conséquent varier fortement en raison de leur position lors du tir, même entre des sujets ayant la même taille. La représentation virtuelle devient optimale en personnalisant chaque avatar avec les mesures individuelles. Il est à noter que cette étude n'a pas cherché à mesurer les temps de réaction ni de réponse car l'objectif était de trouver une amélioration qualitative et non temporelle. Pour éviter des risques d'effet non désirés chez les participants à l'étude et par conséquent biaiser les résultats recherchés, le temps de considération n'a pas été pris en compte.

2.3.1 Optimisation du logiciel

Le laboratoire CoPe Lab de l'Université de Fribourg a bénéficié de la collaboration de David Aebischer, ancien gardien de but et actuel entraîneur des gardiens du HC Fribourg-Gottéron, dans le but d'offrir aux participants une simulation des plus réalistes. L'expertise de cet ancien gardien a permis de définir les angles d'approche des joueurs et les distances de tirs. A chaque séquence, le gardien était mobile face au joueur s'approchant et tentait d'arrêter le tir en effectuant un des 4 types de parades modélisées, tout en se déplaçant légèrement en arrière à l'approche du hockeyeur. Sous les conseils avisés de Monsieur Aebischer et à l'aide de l'OptiTrack, la modélisation a pris lieu dans le laboratoire CoPe de l'Université de Fribourg, en utilisant un gardien du HC Fribourg-Gottéron. Pour créer l'avatar (voir figure 3), les captures du côté droite et gauche de deux arrêts différents en style papillon (Butterfly) ont été nécessaires. Ces arrêts, distribués lors du test de manière équitable, ont par la suite été modélisés et programmés pour devenir des arrêts terminés ou non terminés.

Figure 3

Le laboratoire CoPe Lab a utilisé l'OptiTrack pour illustrer la modélisation des types de parades de l'avatar du gardien.



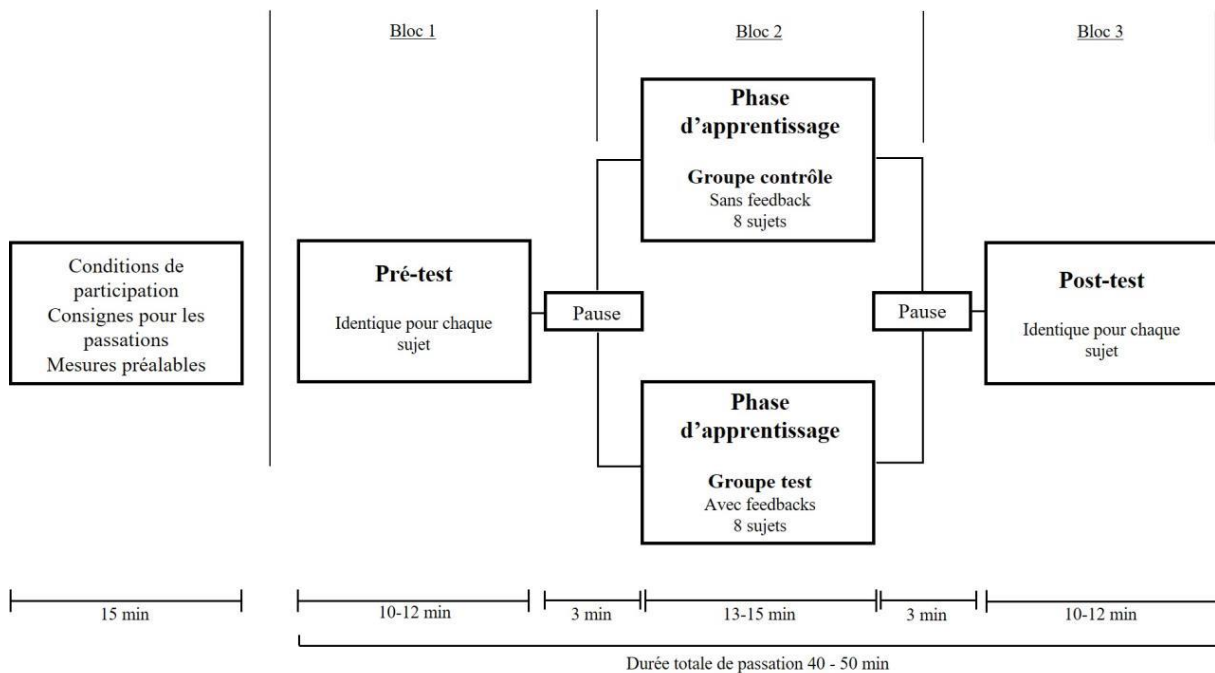
2.4 Protocole de passations

2.4.1 Design de l'étude

Après la collecte des trois données anthropométriques (voir point 2.3.2), l'explication des règles et des conditions au sujet, l'expérience était scindée en trois étapes à savoir un pré-test, une phase d'apprentissage et un post-test. La figure 4 permet une meilleure compréhension en procurant une vue d'ensemble claire de l'expérience. Les participants à l'étude avaient le choix de prendre une petite pause entre les différentes étapes pour enlever le casque. Une fois les trois étapes terminées, les participants étaient invités à donner leur avis sur l'expérience ainsi que leur ressenti sur l'immersion à laquelle ils venaient de participer. La durée totale de l'expérience variait entre 45 et 60 tout en incluant les commentaires des sujets. Etant donné que les participants du groupe contrôle n'ont reçu aucun feedback pendant le test, une différence de la durée totale de l'expérience est à noter. En effet, le temps était souvent réduit à 45 minutes contrairement au groupe test qui était au bénéfice de deux feedbacks lors de la phase d'apprentissage.

Figure 4

Schéma illustrant la conception de l'étude avec des estimations approximatives de la durée de chaque partie.



2.4.2 Explications et prise de mesures préalables

Pour faciliter la compréhension du test, les participants ont reçu, avant leur passage, des instructions détaillées concernant les consignes de l'expérience (voir annexes 1 & 2). Ces mêmes instructions leur étaient données lors de notre rencontre. Après cette deuxième prise de connaissance des consignes, les joueurs avaient l'opportunité de poser des questions en cas de doute. Ils donnaient leur accord pour participer à l'expérience et d'utiliser leurs données récoltées contre signature. Dans les annexes il est possible de consulter la globalité des mesures, données et consignes. Une fois les patins aux pieds et en possession de sa canne, le joueur se mettait en position de tir au poignet lors d'un face à face avec le gardien, afin d'effectuer les mesures anthropométriques. Après que le joueur s'est positionné correctement, l'expérimentateur positionnait une rondelle contre la palette de sa canne. Une position figée que devait garder le joueur afin de procéder, à l'aide d'un fil à plomb et de mètres, aux mesures des trois valeurs. La figure 5 permet d'avoir une meilleure vue d'ensemble des valeurs mesurées sur un axe à trois dimensions. Cet axe prend son origine au point sur la glace précisément perpendiculaire au point situé entre les deux yeux du joueur en position figée. La première mesure (DY) prend la valeur du joueur en position de tir, de l'éloignement vertical des yeux au point de contact perpendiculaire avec la glace, correspondant à l'origine de l'axe. La seconde mesure (DX)

quantifiait l'éloignement horizontal de ce point de contact perpendiculaire avec la glace jusqu'au milieu de la projection du puck. La dernière mesure (DZ) signifiait l'éloignement de ce point de projection au milieu réel du puck. Après avoir obtenu ces trois mesures anthropométriques, les différentes valeurs étaient saisies dans le software, accompagnées des données individuelles des sujets. Après les entrées des mesures faites, le joueur était invité à déposer sa canne et ses patins pour prendre place dans le local où se trouvait l'ordinateur ainsi que le boîtier réponse prévu pour faire le test. Une fois assis sur la chaise et les réglages établis sur le casque de RV, l'expérience débutait.

Figure 5

Illustration des trois distances mesurées pour la personnalisation de l'expérience, représenté dans un système d'axes en trois dimensions.



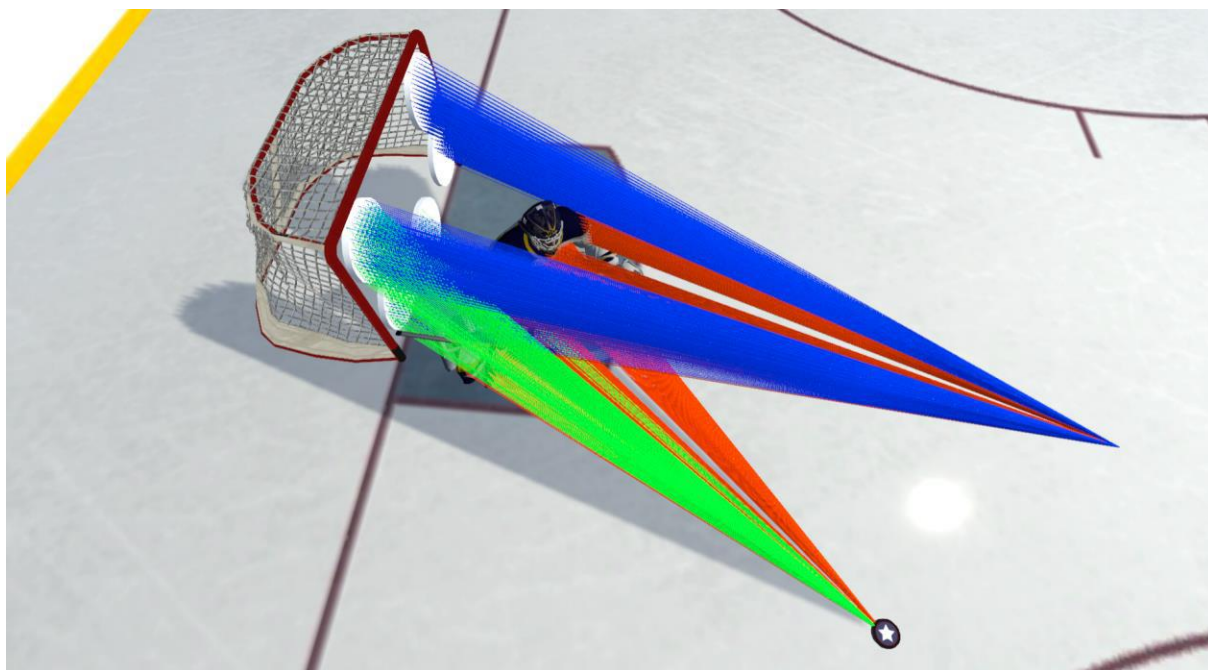
2.4.3 Pré-test

Les participants commençaient par le bloc 1, le pré-test, d'une dizaine de minutes dès l'ajustement des straps du casque de RV et les mesures prises. Le pré-test donnait l'occasion de se plonger dans l'expérience de l'immersion virtuelle en situation de face à face avec le gardien de but. Ce pré-test totalisait 18 séquences de face à face combinant trois distances de tirs différentes et 6 angles d'approche différents. Les trois angles d'approche employés étaient ajustés pour correspondre à l'orientation du dernier rempart, garantissant ainsi que le joueur avance toujours en face de lui. Au cours du premier bloc, les participants ont effectué 54 approches au total, réparties en 18 séquences d'approche répétées par trois fois. Le programme des séquences était randomisé par le software pour prévenir tout biais lié avec la chronologie de passation. Avant que l'avatar n'avance au début de chaque séquence, une seconde était accordée aux participants pour qu'ils se préparent. Après cela, l'avatar prenait une à deux secondes pour atteindre l'un des six emplacements de tir, puis s'arrêtait à l'un des trois éloignements possibles du gardien. Une fois l'immobilisation faite, le sujet avait une fenêtre de 2 secondes pour appuyer sur le boîtier réponse. Le sujet devait tenter de marquer un but en pointant la zone qu'il jugeait la moins défendue par le gardien parmi les cinq cibles proposées. Si le sujet ne réussissait pas à appuyer sur l'un des boutons du boîtier réponse pendant le temps imparti alloué, le message « Time out, please try again » s'affichait au-dessus du but pour indiquer que le temps était épuisé. Un nouvel essai programmé aléatoirement était rajouté aux 54 séquences nécessaires pour terminer le bloc. Après la sélection de la cible et de la pression du bouton correspondant, trois secondes s'écoulaient et une nouvelle séquence débutait. Des points entre 0 et 1 étaient attribués à chaque séquence dans le but d'évaluer la capacité cognitive du participant à identifier la « meilleure » cible. Après chaque choix de cible, le sujet ne percevait aucun feedback et n'avait aucun retour sur le nombre de points engendrés par son choix. Un score de 1 était attribué si le sujet choisissait la cible avec la plus faible protection du puck. Dans le but de mesurer la capacité du sujet à choisir la zone la plus optimale lors du tir, le software générait, pour chaque nouvel essai, des cônes de rayons partant du point de tir et allant en direction des 5 cibles circulaires proposées dans les buts. Les cônes de rayons étaient formés en prenant comme base les zones situées dans les cages du gardien. Les cônes étaient composés de 121 rayons uniformément répartis dans l'espace. Pour concilier efficacité et précision de la discrétisation du calcul, le nombre spécifique de 121 a été choisi. Ces rayons étaient tous systématiquement reliés depuis la position du puck jusqu'à leur destination finale dans la cible. Lorsque dans le software, l'avatar du gardien interceptait des rayons grâce à son maillage, ces derniers étaient bloqués (voir figure 6). Le choix optimal était déterminé en fonction de la cible

circulaire qui recevait la plus grande quantité de rayons. En divisant, pour chaque cible, le nombre de rayons perçus par le nombre maximum de rayons, l'obtention d'un score normalisé allant de 0 à 1 pouvait être généré. Ces données engendrées par le software étaient automatiquement enregistrées sous forme de document texte en format JSON. A la fin ce bloc, une pause de trois minutes pouvait être accordée au sujet pour retirer son casque et boire quelque chose s'il jugeait nécessaire. Pendant ce laps de temps, les instructions pour le second bloc lui étaient transmises. A noter que les joueurs n'avaient aucune connaissance de leur score pendant l'expérience.

Figure 6

Illustration présentant les cônes de « lancés de rayons » depuis l'emplacement de la rondelle (en vert et rouge) ainsi que ceux depuis le point de vue du participant (en bleu et rouge).



Note : Les rayons verts et bleus représentent ceux qui atteignent les cibles dans le but, tandis que les rayons rouges sont ceux qui sont bloqués par le gardien

2.4.4 La phase d'apprentissage

Le pré-test étant le même pour tous, une fois celui-ci effectué, les participants sont répartis en deux groupes homogènes pour le bloc 2 appelé phase d'apprentissage. Pour éviter les biais d'apprentissage du pré-test aux deux nouveaux « contrôle » et « test », les angles d'approche ont été corrigés de 5°, variant à présent entre 50° et -50°. Concernant les distances et le nombre de séquences qui était de 54, aucun ajustement n'a été effectué entre le bloc 1 et 2. Une fois l'un des boutons pressés pour valider un tir, deux types de commentaires venaient s'inscrire à l'écran pendant une durée de 2,5 secondes chacun. Au cours de ces 5 secondes, les feedbacks se succédaient dans les lunettes RV (voir figure 7). Le feedback comportant la coloration des cibles (CC) était donné en premier et représentait la qualité du choix en termes de réussite du tir. Les colorations de nuances de vert et de rouge exprimaient la justesse du choix entrepris. Le vert signifiait un taux de réussite supérieur à 50% équivalant à un choix réussi tandis que le rouge représentait un choix moins optimal avec un taux de réussite inférieur à 50%. En plus de la coloration verte ou rouge de la cible choisie, le software mettait en évidence le choix optimal parmi les cinq cibles, caractérisé par un cylindre vert en trois dimensions (voir figure 7). Ce feedback permettait une prise de conscience explicitant la qualité de leur choix. Ce retour visuel donnait la possibilité aux participant de connaître si leur choix figurait parmi le meilleur, bon ou mauvais, contrairement au pré-test où il n'était pas possible de connaître la qualité de son choix. De cette manière, ce processus d'apprentissage permettait aux participants de tirer des enseignements de leurs erreurs et de minimiser leurs mauvais choix afin d'augmenter leur taux de réussite par la suite.

Figure 7

Illustration du feedback CC représentant le point de vue du joueur (à gauche), tandis que le feedback PV était représenté du point de vue de la rondelle (à droite) dans l'illustration.



Le deuxième retour d'information avec la vue depuis le puck (Puck View) était immédiatement présenté après le premier feedback. Le Puck View (PV) offrait aux participants le point de vue du puck au niveau de la glace, comme si une caméra se situait sur le sol de la patinoire (voir figure 7 et 8). Un laps de temps de 2,5 secondes était laissé aux sujets pour observer la cage du gardien et les cibles depuis le point de tir. Ce feedback PV présenté dans un second temps après le feedback CC, proposait une visualisation des raisons pour lesquelles son choix était en adéquation ou non. En ayant cette vue supplémentaire depuis la glace, le sujet avait une vision différente des cibles situées à l'arrière du gardien. Cette vue complémentaire offrait l'angle de tir réel depuis le puck qui diffère de l'angle que le joueur percevait au moment d'armer son tir. Cette vision directe depuis le puck servait au sujet à comprendre les différents espaces laissés libres et sans protection par le gardien, ainsi que le choix qu'il avait entrepris. En additionnant le feedback CC qui évaluait la qualité du choix, le participant pouvait désormais prendre conscience de cette qualité grâce au feedback PV et à l'explication visuelle de la qualité de sa réponse proposée.

Figure 8

Captures d'écran supplémentaires du logiciel présentant le feedback CC vu du point de vue du joueur (à gauche), ainsi que le feedback PV vu du point de vue de la rondelle (à droite).



Le but était d'accroître le taux de réussite des participants en leur permettant de développer leurs compétences cognitives grâce à l'utilisation de ces deux types de feedback, essentielles pour la prise de décision et la collecte d'information. Concernant le groupe contrôle pour ce deuxième bloc, un test comparable au pré et post-test leur a été administré, à l'exception des angles d'approche qui ont été décalés de 5° afin d'éviter les biais d'apprentissage dans le deuxième bloc. L'objectif du groupe contrôle se muait à être une référence pour tester les effets potentiels d'apprentissage sans feedback donné aux participants.

2.4.5 Post-test

Après une pause optionnelle de 3 minutes suivant la phase d'apprentissage, le joueur entamait la dernière partie du test appelée post-test. Un bloc composé d'une série de 54 séquences de tirs sans feedback, similaire au pré-test. L'objectif de ce bloc fait office de comparaison des résultats statistiques entre le pré-test et le post-test, compte tenu de leur ressemblance. Une dernière sollicitation auprès des joueurs était demandée pour recevoir un feedback sur l'expérience. Dans cet échange, leurs impressions et leur ressenti quant à l'immersion des situations de jeu administrées via le casque de RV, par rapport à des situations de jeu réelles était discutés. Après que le joueur ait rendu ses potentielles remarques à l'examineur, il était autorisé à quitter l'expérience. Pour pousser davantage l'étude, il aurait été envisageable de réaliser un test de rétention à long terme. Cependant, cette option n'a pas été faisable en raison des divers camps d'entraînement auxquels les joueurs ont dû prendre part.

2.5 Analyse statistique

Nous avons commencé par examiner les deux groupes individuellement en déterminant si les feedbacks proposés lors du deuxième bloc ont conduit à une amélioration significative de l'estimation de la performance (0-1). Pour ce faire nous avons comparé la moyenne des scores obtenus lors du post-test (située après la phase d'entraînement) avec la moyenne des scores obtenus lors du pré-test (située avant la phase d'entraînement). Pour comparer les deux moyennes, le test des rangs signé Wilcoxon pour des mesures répétées a été utilisé. Le R a fait office d'indicateur de taille de l'effet pour chaque comparaison calculée. De plus l'évaluation de la probabilité que l'hypothèse nulle (H_0) soit vraie par rapport à l'hypothèse alternative (H_1) a été calculée au travers du facteur de Bayes dans chaque cas.

Après cela, la comparaison de l'amélioration provoquée par le feedback entre les deux groupes a été réalisée. Ensuite la différence de score entre le post-test et le pré-test a été calculée pour l'ensemble des participants. Le test des rangs signé de Wilcoxon a permis de calculer l'amélioration moyenne, R étant utilisé comme indicateur de taille de l'effet. Le calcul du facteur de Bayes permettant d'évaluer la probabilité de la véracité de l'hypothèse nulle plutôt que de l'hypothèse alternative a été réalisé.

De surcroît, l'estimation de la performance a été évaluée, à savoir le score, pour déterminer si elle était associée à la différence entre la cible optimale avec point de vue du puck et la cible optimale avec point de vue de l'œil, cette différence étant nommée œil-rondelle (Eye-Puck).

Cependant, des informations complémentaires sont indispensables pour comprendre le mode de calcul de cette différence. Pour quantifier la force de la relation entre la différence Eye-Puck et le score, nous avons employé un coefficient de corrélation, tout en ajustant un modèle linéaire aux valeurs. La qualité de l'ajustement a été également quantifiée par l'utilisation du R-carré ajusté. Ces analyses ont été exécutées séparément pour les valeurs obtenues durant le pré et post-test. Etant donné l'effet non-significatif de la phase d'entraînement (pas de différence significative entre le pré-test et le post-test) dans le groupe contrôle de cette analyse, les valeurs obtenues n'ont pas été incluses. Pour déterminer le coefficient de corrélation approprié à employer, tel que le R de Pearson ou le rho de Spearman, nous avons extrait les résidus du modèle linéaire ajustés aux données et nous avons utilisé le test de Shapiro-Wilk pour évaluer leur distribution.

Après avoir appliqué deux modèles linéaires distincts aux valeurs pré- et post-test, nous avons vérifié statistiquement si les pentes de ces deux modèles différaient l'une de l'autre. Ce nouveau modèle linéaire ajusté aux valeurs comprenait le bloc 1 ou 2 comme prédicteur et un terme d'interaction entre la différence Eye-Puck et la session. Pour tenir compte du fait que les résidus du modèle linéaire ne suivaient pas une distribution normale, une approche de modélisation linéaire à effet mixte a été employée. Cette approche impliquait l'ajout des interceptions pour les sujets en tant qu'effets aléatoires et permettait à chaque session d'avoir une pente aléatoire.

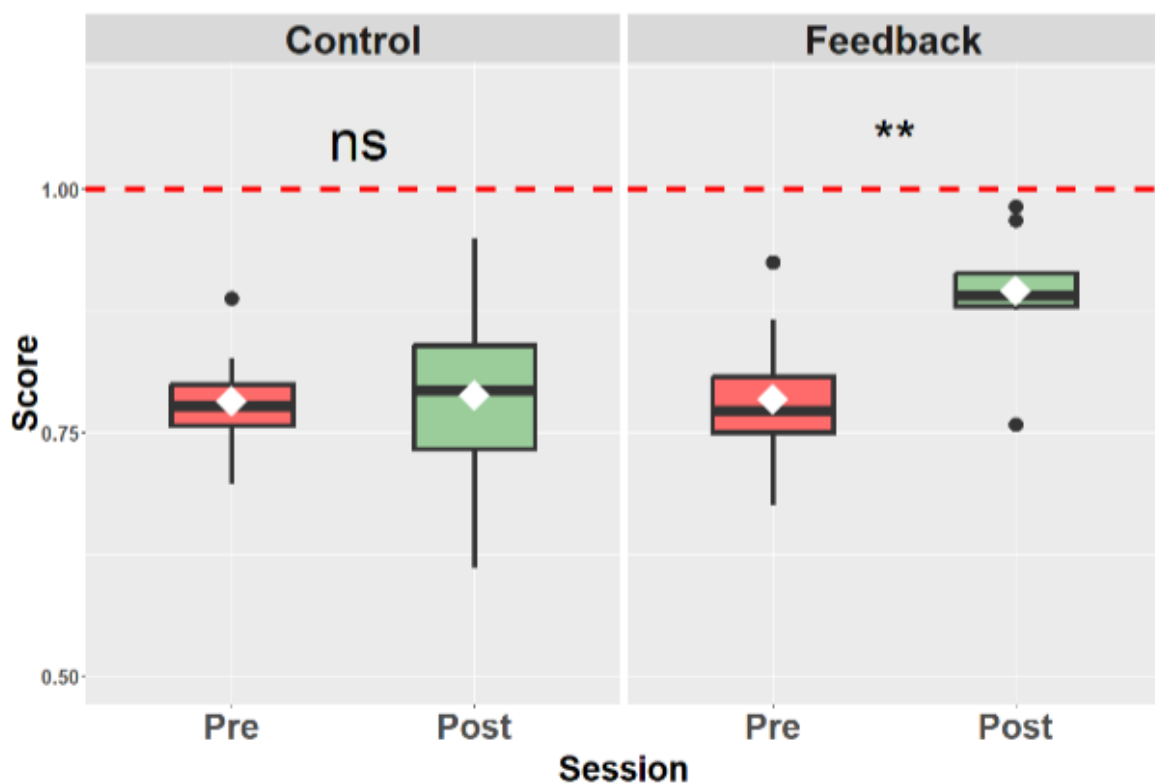
3 Résultats

3.1 Effet d'apprentissage

Le groupe contrôle, bénéficiant d'aucun feedback lors de la phase d'apprentissage, a obtenu une amélioration légère de la performance d'estimation dans la session post-test (moyenne = $0,79 \pm 0,11$) comparé à la session du pré-test (moyenne = $0,78 \pm 0,06$). Pour autant cette différence minime n'était pas significative [$p = 0,73$, $R = 0,14$, c'est-à-dire une faible ampleur de l'effet]. L'absence de différence entre la session pré-test et post-test, calculée à l'aide du facteur de Bayes (0.33) tend à réfuter l'hypothèse nulle (H_0). En contrepartie, une amélioration significative de la performance d'estimation dans la session post-test (moyenne = $0,90 \pm 0,06$) en comparaison au pré-test (moyenne = $0,78 \pm 0,07$) [$p < 0,01$, $R = 0,85$, c'est-à-dire, une grande ampleur de l'effet], a été constatée pour le groupe bénéficiant des feedbacks lors de la phase d'apprentissage. Le facteur de Bayes calculé pour ce dernier groupe était de 37, évoquant une réelle différence entre le pré-test et le post-test, confirmant solidement l'hypothèse alternative (H_1).

Figure 9

Représentation graphique des moyennes à l'aide de boxplots correspondant aux pré- et post-tests des groupes contrôle et feedback

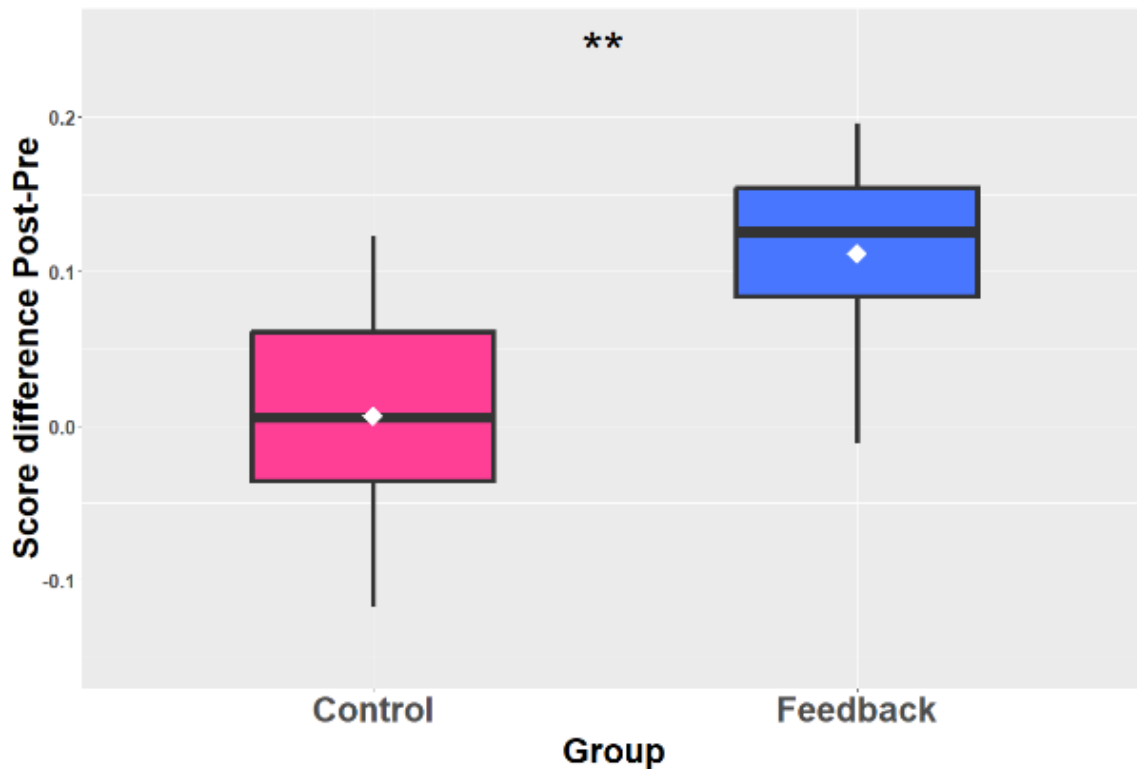


3.2 Comparaison de l'effet d'apprentissage

En comparant directement l'effet de l'entraînement entre les deux groupes, nous avons constaté que le groupe Feedback obtenait une amélioration moyenne (moyenne = $0,11 \pm 0,07$) significativement supérieure que le groupe contrôle (moyenne = $0,01 \pm 0,08$) [$p < 0,01$, $R = 0,64$, c'est-à-dire, ampleur de l'effet élevé]. Le facteur de Bayes s'élevant à 6, fournit des preuves modérées en faveur de l'hypothèse alternative, indiquant une réelle différence entre les deux groupes testés.

Figure 10

La moyenne des différences de scores entre le pré- et post-tests, illustrée à l'aide de boxplots



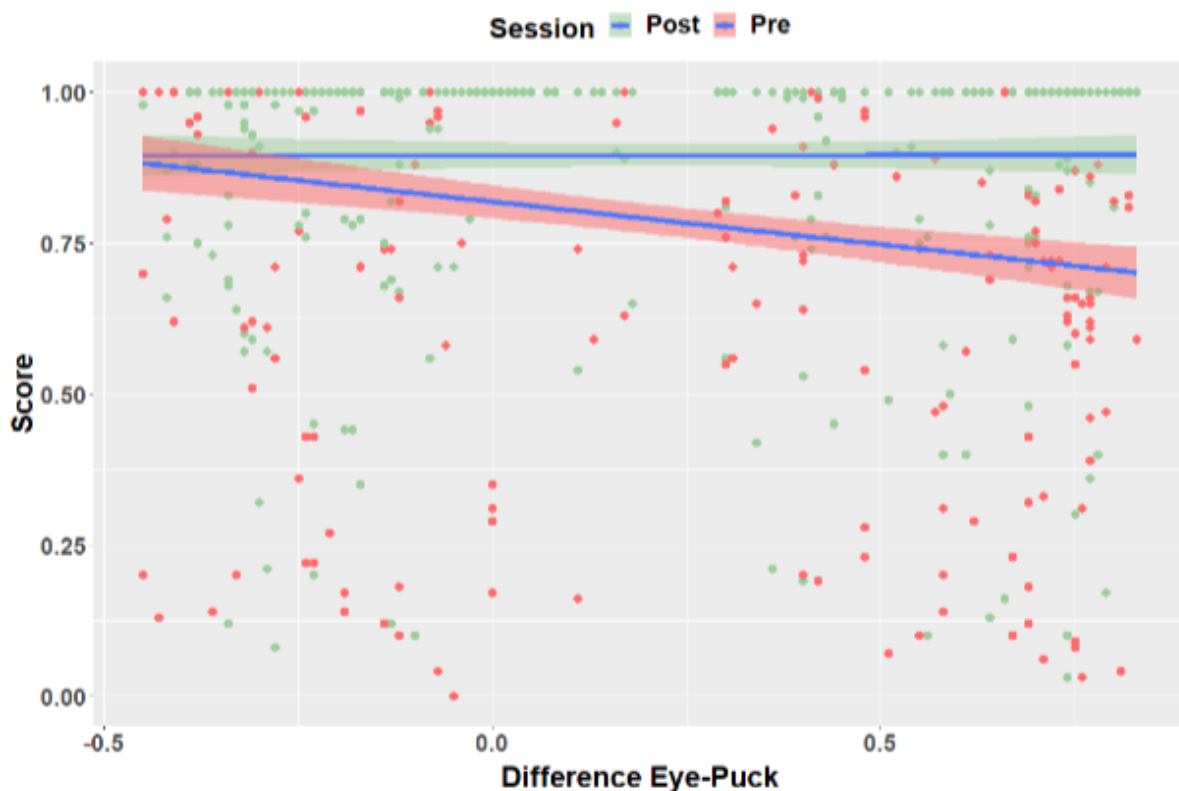
L'évaluation comparative effectuée par le test de rang de Wilcoxon de la performance des deux groupes pour la session pré-test a révélé une absence de différences significatives concernant la performance de référence ($0,78 \pm 0,06$ vs $0,78 \pm 0,07$, $p = 0,80$, $R = 0,07$, c'est-à-dire un effet de faible ampleur). La faible preuve de l'hypothèse nulle apportée par le facteur de Bayes mesuré (0.41) montre qu'il n'y a aucune différence entre les deux groupes. Autrement dit, la différence résultant de l'entraînement entre le groupe contrôle et le groupe feedback ne peut pas être expliquée par une différence initiale de niveau/performance entre les deux groupes.

3.3 Corrélation entre la différence Eye-Puck et le score

Pour la session pré-test du groupe feedback, le rho de Spearman calculé était de -0.20, exprimant une faible corrélation négative entre la différence Eye-Puck et le score. En raison des résidus du modèle linéaire distribués de façon anormale, le rho de Spearman a été utilisé plutôt que le R de Pearson. L'équation de la droite était : $Y = -0,11X + 0,81$ ($-0,13X + 0,87$ en utilisant une régression robuste), et la pente était significativement différente de 0 ($p < 0,001$). La différence entre l'œil et le puck R-carré ajusté à 0.03, expliquait que trois pourcents de la variance du score. Concernant la session post-test, le rho de Spearman était quant à lui de 0.14, mesurant une corrélation faible et positive entre les deux variables. L'équation de la droite de régression était : $Y = 0X + 0,90$ ($0,01X + 0,98$ en utilisant une régression robuste), et la pente n'était pas significativement différente de 0 ($p > 0,05$). Le R-carré ajusté à 0.00 démontrait qu'aucune variance concernant le score était expliquée par la différence entre l'œil et le puck.

Figure 11

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



La comparaison visuelle des données des points rouges et verts du pré- et post-tests sur la figure 11 ainsi qu'une analyse des valeurs des pentes mesurées à l'aide de deux modèles linéaires ont révélé que l'effet de la différence entre Eye-Puck sur le score n'était pas le même pour la session post-test que pour la session pré-test. Les différences Eye-Puck plus élevées, avaient tendance à entraîner des scores / performances d'estimation plus faibles (points rouges) alors que ce n'était plus observable lors de la session post-test. (points verts). Par conséquent, nous avons procédé à l'ajustement d'un nouveau modèle linéaire aux données pour évaluer la différence entre les pentes des deux modèles (pré- vs post-test). La session était dès lors, un prédicteur de ce nouveau modèle ainsi qu'un terme d'interaction entre la différence entre Eye/Puck et la session. Les résultats ont montré une interaction significative entre la différence entre l'œil et la rondelle et la Session [$F(1, 967) = 15, p < .001$], validant une différence significative entre les deux pentes mesurées. Autrement dit, les feedbacks reçus lors de la session d'entraînement ont permis d'atténuer considérablement l'influence de la différence Eye/Puck sur la performance.

4 Discussion

4.1 Interprétation des résultats

Dans un premier temps, nous allons interpréter les résultats de chaque groupe concernant l'effet d'apprentissage. Le groupe ayant reçu des feedbacks lors de la phase d'apprentissage a dévoilé un effet d'apprentissage significatif ($p < 0.01$) du score en comparant le pré-test du post-test. Le groupe contrôle quant à lui, montre une différence anecdotique entre le pré-test et le post-test qui équivaut à un effet d'apprentissage non significatif ($p = 0.73$). Le facteur de Bayes du groupe sans feedback (0.33) a démontré une faible preuve de l'hypothèse nulle (H_0) tandis que le facteur de Bayes du groupe test (37) établissait une preuve solide de l'hypothèse alternative (H_1). En se basant sur ces observations, il nous est possible de rejeter l'hypothèse nulle en concluant que les améliorations du score entre le pré-test et post-test du groupe expérimental sont liées aux feedbacks fournis par le logiciel durant la phase d'apprentissage. La moyenne du groupe test ($0,11 \pm 0,07$) comparé à la moyenne du groupe contrôle ($0,01 \pm 0,08$) ont permis de montrer qu'il y a une amélioration significative de l'effet de l'entraînement ($p < 0.01$). Une preuve modérée en faveur de l'hypothèse alternative, correspondant à une réelle différence entre les deux groupes, est le calcul du facteur de Bayes (6). L'absence de différences significatives de performance permettait en comparant les sessions pré-test des deux groupes permettait de valider l'hypothèse H_1 .

L'analyse de la corrélation entre la différence Eye-Puck et le score calculé pour groupe test a permis de démontrer que 3% pourcents de variance, lors du pré-test, était lié au score dû à la différence de perspective entre le puck et les yeux. Pour le post-test, la variance entre l'œil et le puck était expliquée par aucune variance car la corrélation mesurée était de 0.00, expliquant ainsi 0% de la différence.

Une amélioration significative des résultats du groupe test obtenus des suites de la phase d'apprentissage, prouve que les compétences perceptivo-cognitives peuvent être développées. Elles conduisent ainsi à de meilleures performances dans les situations simulées. Ces constatations appuient Faubert et Allard (2013) qui mettaient en avant que la RV était bénéfique pour un apprentissage cognitif et implicite (Patterson et al., 2009a). L'amélioration constatée pourrait s'expliquer à travers le grand nombre d'essai sans altérer la qualité du stimulus recherché, comme le soulignent en 2002, Tarr et Warren. En plus du grand nombre d'essai, la pratique

répétée des conditions spécifiques mise en place au cours de l'expérience du groupe test pourrait être une explication possible de l'amélioration perceptivo-cognitive (Williams et al, 2011). A noter que dans les travaux de master réalisés par Devaud (2021) et Sauthier (2020), des similitudes concernant des améliorations de performances significatives ont été mesurées pour les groupes feedbacks ayant des joueurs élités. Un travail (Mertennat, 2023) encore plus étroitement lié à cette étude, offre une comparaison d'autant plus pertinente, du fait qu'il a également observé une amélioration significative des performances pour le groupe ayant reçu des feedbacks, en utilisant la même population de participants, à savoir des hockeyeurs professionnels. Cela renforce la validité et la pertinence des résultats trouvés dans cette étude.

En conclusion, l'apprentissage en RV accompagné d'un feedback sur le point de vue du puck et un autre, cette fois-ci visuel, sur la qualité des choix permettent une évidente amélioration de la capacité de prise de décision des joueurs de hockey professionnels. Ce type d'entraînement cognitif offre une augmentation et une optimisation de la performance des joueurs et nous pouvons que vivement recommander aux équipes d'inclure cette méthode d'entraînement dans leurs programmes respectifs.

4.2 Limites de l'étude

Certains aspects sont discutables tel que le nombre de parades effectués par le gardien bien que la conception de l'étude ait été créée pour se rapprocher au plus près de la réalité, ou le nombre de participants. Un taux de parade du gardien étant faible en rapport avec celui de la réalité qui avoisine les 90% malgré que le software ait proposé différentes variations de programmation d'arrêts et ceci avec des angles différents en fonction de l'approche du joueur. Au fil de l'expérience et en dépit du nombre conséquent de séquences créées, les participants ont pu comprendre les solutions à choisir lors du type de situation présenté. Les décisions cognitives n'ont alors aucun impact sur l'expérience si le sujet a mémorisé les réponses adéquates et donnant le maximum de point. Afin de prévenir le phénomène de mémorisation, les angles de tir du pré- et post-test ont été corrigés lors de la phase d'apprentissage. Toutefois, il n'a pas été possible d'éliminer complètement ce risque. Pour obtenir des résultats fiables, il faudrait inclure un plus grand nombre de sujet. Malheureusement et en dépit de mes connaissances dans le monde du hockey, il était difficile d'avoir l'aval des clubs de hockey pour venir prendre les mesures. En effet, les clubs ne donnaient soit pas de réponse aux mails envoyés ou étaient retissant à offrir de leur temps et un nombre suffisant de joueurs pour l'étude.

Les séquences proposées au travers du casque de RV grâce au software pouvaient quelque peu discorder avec les situations réelles vécues lors d'une rencontre de hockey sur glace. Lors d'un vrai match de hockey sur glace, un joueur qui arrive seul face au gardien a plusieurs choix qui s'offrent à lui, comme dribbler avec la canne ou effectuer une feinte de corps pour déstabiliser l'adversaire. Les séquences n'offraient pas ces possibilités car une analyse claire devait pouvoir être établie, il a fallu par conséquent, donner une vitesse d'approche standardisée et obliger l'arrêt de l'avatar à un endroit donné afin de choisir la cible. Une autre divergence concernant le manque de pression des adversaires ainsi que l'absence de pression temporelle habituellement présents lors des matchs de hockey pouvaient être des facteurs limitants à l'étude, bien que cette dernière objectivait à être écologique. Lorsqu'il s'agit de programmation d'un logiciel, il est courant de devoir procéder à des compromis. Bien que ces choix puissent être facilement critiquables, ils sont indispensables pour limiter le nombre de variables, se concentrer sur les variables spécifiques et faciliter l'observation des résultats analytiques. L'objectif de notre étude était de prouver l'efficacité de l'apprentissage avec feedbacks en employant la RV au travers de situations de jeu simplifiées, comme expliqué dans la méthode au point 2. Les résultats obtenus lors de l'étude démontrent cette efficacité au travers d'une amélioration significative du groupe test grâce à ce type d'apprentissage comparé au groupe contrôle, répondant à notre objectif. L'apprentissage utilisé lors de l'expérience des tirs au but en situation de 1 contre 1 a par conséquent été démontré scientifiquement, pour un cadre précis et convenu lors de la conception du software. L'ajout de nouveaux paramètres, comme la clameur des supporters ou des chants rendrait l'expérience plus réaliste et immersive, cependant les résultats seraient plus compliqués à analyser. Un dernier biais limitant concerne le groupe contrôle, qui a effectué trois blocs quasiment identiques et sans feedback, ce qui a pu impacter leur motivation et leur concentration, pouvant légèrement affecter les résultats. L'exposition prolongée au casque de RV durant toute la durée du test, à savoir soixante minutes environ, a pu entraîner une fatigue mentale et a été jugée assez longue pour l'ensemble des participants.

Plus l'on cherche à se rapprocher de la réalité, plus l'expérience devient complexe. En somme, il est difficile de faire une analyse des résultats et de parvenir à des conclusions plus la quantité de paramètres est importante. C'est un défi inhérent à toute expérience qui nécessite de trouver un compromis entre la réalité et la faisabilité. Pour mener à bien cette expérience, il était indispensable de faire des compromis pour éviter de devoir analyser un nombre démesuré de combinaisons. Afin d'arriver à des analyses fiables et rationnelles permettant une compréhension

accessible, le formatage des tests a été structuré et simplifié. Par conséquent, il était inévitable et nécessaire que l'expérience dispose de quelques défauts pour parvenir à un résultat.

4.3 Améliorations de l'étude

Afin d'assurer la fiabilité des données pour des futures recherches, il serait judicieux de recruter un nombre plus conséquent de joueur. Bien que la population testée, à savoir des joueurs de hockey professionnels jouant en National League en suisse, reste restreinte, 18 participants ne permettent pas d'obtenir des résultats représentatifs. De plus, dans les 18 participants il y a l'obligation de former un groupe contrôle qui n'est pas au bénéfice de feedbacks lors de l'expérience.

La durée de passation de l'expérience est relativement longue, ce qui rend difficile de la planifier entre les entraînements et les matchs qui s'enchaînent. Pour mieux utiliser les temps libres accordés par les équipes de hockey, il serait opportun de disposer d'un deuxième casque de RV ainsi qu'un autre boîtier réponse. Cette double passation serait intéressante pour envisager une heure de passage identique à chaque joueur pour maximiser la qualité des résultats et limiter tout biais potentiel lié à des facteurs hors du contrôle de l'expérimentation. En effet un joueur qui a une heure de passage en début d'après-midi se retrouve en phase de digestion lors du test contrairement à un joueur qui passe en fin de matinée. Cette différence d'état peut être simplement évitée en proposant une heure fixe et à l'aide d'un matériel d'expérimentation double. Dans le but de d'améliorer davantage le réalisme de l'expérience immersive, l'utilisation du casque de RV de dernière génération avec une résolution supérieure serait souhaitable. Dans le cadre d'une continuation de l'étude, une sensibilisation quant aux risques de nausées liés à l'emploi du casque de RV serait judicieux. En effet, les joueurs sensibles à l'immersion en réalité virtuelle pourraient s'abstenir de participer à l'étude et ainsi éviter toute expérience déplaisante.

Un projet d'application pourrait être développé grâce aux résultats significatifs obtenus. En effet, l'expérience oblige à garder certains paramètres pour obtenir les résultats souhaités mais une application d'entraînement disponible pour les joueurs offrirait une immersion plus réaliste et un entraînement plus concret. L'utilisation d'une application permettrait une plus grande flexibilité dans la programmation des paramètres pour sélectionner les caractéristiques morphologiques et techniques des gardiens de but que les joueurs doivent affronter lors du prochain match. Pour une approche plus complète face au gardien, des options supplémentaires telles

que des variations d'angle et de distance ainsi que l'avancement non linéaire du joueur seraient nécessaires dans la conception de l'application. Cette application serait un outil polyvalent et transférable lors d'action de match. Il serait donc recommandé de s'entraîner pendant des déplacements ou des temps de repos en l'utilisant de manière ludique, similaire à celle d'un jeu vidéo. Enfin pour compléter cette application, il serait intéressant d'inclure un dernier mode paramétré sur les tirs de pénalité basé sur les caractéristiques morphologique et d'arrêt du gardien. Un mode d'entraînement proche duquel les joueurs ont participé lors de l'expérience et donc une fonctionnalité importante pour une action de jeu ayant un impact significatif afin de basculer l'issue d'un match.

Une telle différence de perspective entre le point de vue depuis le puck et le point de vue des yeux pourrait être atténuée si l'utilisation ludique de cette application est proposée dès les classes de hockey inférieures. Si le point de vue depuis le puck est expérimenté et compris chez les enfants ou adolescent, leurs performances face au gardien augmenteraient et les hockeyeurs se sentiraient plus confiant lors du tir.

5 Conclusion

Afin d'exceller dans un environnement sportif professionnel, il est indispensable de disposer de rigoureuses capacités perceptives et cognitives complémentaires aux capacités motrices. Les résultats lors de cette étude confirment de manière convaincante que l'efficacité de la RV pour un apprentissage perceptivo-cognitif, qui sont des aptitudes essentielles pour atteindre une performance optimale. Effectivement, l'apprentissage en RV présente deux types de feedbacks ; un feedback pour visualiser la perspective depuis le puck et un autre visuel sur la qualité du choix entrepris. Ce type d'apprentissage perceptif et cognitif se veut stimulant pour la capacité des joueurs à prendre les meilleures décisions. L'analyse comparative des résultats obtenus entre le groupe contrôle et celui du groupe test met en évidence une amélioration significative de la performance lors du post-test pour le groupe bénéficiant de feedback. Concernant le groupe contrôle, aucune amélioration significative de la performance entre le pré-test et le post-test n'a été observée. Nous pouvons dire que l'apprentissage cognitif via la RV fonctionne de manière satisfaisante, se traduisant par une amélioration des résultats et à quel point il serait judicieux d'inclure une telle approche dans des sports où un biais de perspective est présent.

Les conclusions de cette étude ainsi que les résultats, validés scientifiquement, soumet l'idée que cette technologie pourrait être exploitée en créant un logiciel d'entraînement simulant les aspects d'un jeu en y incluant divers paramètres, y compris les statistiques et caractéristiques des gardiens adverses. Cela permettrait virtuellement aux joueurs de s'entraîner à affronter le gardien pour être mieux préparé lors des matchs. En plus de son utilisation pour les joueurs expérimentés, le développement d'un tel logiciel offrirait aux jeunes joueurs une approche stimulante à la notion de différence de perspective dans leur sport respectif. Un dernier avantage de ce type d'entraînement se trouve dans l'utilité précieuse pour des joueurs diminués physiquement ou blessés, leur donnant ainsi la possibilité de maintenir un certain niveau d'entraînement des séquences de jeu sans fournir d'efforts physiques intenses.

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.
- Benoit, N. B., Olivier-Marique, T., Duchateau, J., & Francaux, M. (2009). Optimisation de la performance sportive chez l'athlète de haut niveau: l'importance de l'évaluation scientifique. Centre d'Evaluation de la Performance sportive (CEPS).
- 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>
- Buns, M. (2020). Impact of Virtual Reality Training on Real-World Hockey Skill: An Intervention Trial. *Journal of Sports Science*, 8, 8-16.
- 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 hockeys à l'aide de la réalité virtuelle* [Travail Master non publié]. 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>
- Ljach, 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>
- 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>
- Mertennat, Q. (2022). *Optimisation de la prise de décision lors de tirs au but auprès de hockeyeurs professionnels grâce à la réalité virtuelle* [Travail Master non publié]. Université de Fribourg.
- 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., 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 Raai, 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. *Cogn Process*, 12(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* [Travail Master non publié]. 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., Bülthoff, 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. La première feuille expliquant les conditions et le protocole de l'expérience.

Conditions et protocole de l'expérience – Travail de Master : Apprentissage par réalité virtuelle

Vous allez participer à une expérience visant à étudier l'efficacité de la réalité virtuelle dans des situations spécifiques liées au hockey sur glace. Cette expérience se tiendra avec un casque de réalité virtuelle et sera divisée en trois segments pour une durée totale d'environ 45 minutes :

1. Bloc pré-test : sans préparation et avec un minimum de consigne

2. Bloc entraînement : quelques consignes spécifiques vous permettront d'effectuer cette phase

3. Bloc post-test : les mêmes conditions que le bloc pré-test





Vous pouvez participer à cette expérience de recherche sans que des méthodes invasives soient utilisées. Avant le début du test, vous devrez signer et accepter le formulaire de consentement fourni par l'examineur.

Nous vous remercions d'avance pour votre participation !



Illustration d'une personne effectuant l'expérience de réalité virtuelle.

Annexe 2. La deuxième feuille du document exposant les modalités de participations ainsi que le protocole à respecter.

Expérience – Consignes	
1. Pré-test	
<p>Après avoir mis le casque de réalité virtuelle, vous allez vous retrouver en situation de 1 vs 1 face au gardien. Vous verrez 5 cibles bleues dans le but, disposées de la même manière que le boîtier de réponse devant vous.</p>	
	
<p>En fonction de votre angle d'approche, vous devrez choisir la cible la plus dégagée, c'est-à-dire celle qui est la moins couverte par le gardien.</p>	
	
<p>Il n'est pas permis de dribbler, seulement de tirer depuis votre côté fort. Ne présumez pas que le gardien bougera, imaginez simplement qu'il est figé et visez la cible la moins protégée par le gardien.</p>	
2. Entraînement	
<p>Pendant l'entraînement, la méthode reste identique à celle du pré-test, mais cette fois-ci, les participants du groupe test recevront deux feedbacks après chaque tir.</p>	
<p>Le premier feedback affichera les cibles colorées en fonction de la qualité de votre choix et le meilleur choix sera présenté sous forme de tube 3D :</p>	
<ul style="list-style-type: none">- Vert = Meilleur choix- Orange = Choix moyen- Rouge = Mauvais choix	
<p>Le deuxième feedback vous donnera un aperçu de la scène depuis le point de vue du puck, vous aidant à mieux comprendre le résultat de votre tir et à améliorer votre performance lors des prochaines tentatives.</p>	
	
<p>Les participants du groupe control n'auront pas accès à ces feedbacks.</p>	
3. Post-test	
<p>Le principe pour ce test est identique à celui du pré-test : vous devrez choisir la meilleure cible (la cible la moins protégée) au moment du tir. Contrairement à l'entraînement, il n'y aura pas de feedback pour vous guider, vous devrez donc utiliser les compétences acquises pendant l'entraînement pour prendre les décisions les plus avisées.</p>	

Annexe 3. Tableau des données anthropométriques et personnelles des sujets de l'étude.

Sujet	Année de naissance	Canne (G/D)	Main dominante (G/D)	Position (G/D/C/A)	Années d'expériences	Groupe d'entraînement (FB/Control)	Mesure yeux (DY)	Mesure canne (DZ)	Mesure puck (DZ)
1	2004	G	D	D	12	Feedback	1.33	0.76	- 0.17
2	1991	G	D	A	28	Feedback	1.44	0.71	-0.15
3	1994	G	D	D	22	Control	1.60	0.90	-0.23
4	2003	D	G	A	14	Control	1.56	0.94	-0.09
5	1995	G	D	A	25	Feedback	1.40	0.75	-0.27
6	2004	G	D	D	13	Control	1.49	0.70	-0.14
7	2004	G	D	C	12	Feedback	1.56	0.80	-0.16
8	2002	G	D	A	17	Control	1.53	0.68	-0.23
9	2001	G	D	A	18	Feedback	1.52	0.57	-0.25
10	2003	G	D	A	15	Control	1.47	0.64	-0.044
11	2002	D	D	A	13	Feedback	1.36	0.75	-0.12
12	2003	G	D	C	13	Control	1.42	0.77	-0.11
13	2004	D	D	C/A	14	Feedback	1.46	0.76	-0.10
14	1996	G	D	G	20	Control	1.51	0.77	-0.17
15	2003	D	D	A	15	Control	1.54	0.90	-0.22
16	2003	D	D	A	14	Control	1.35	0.63	-0.30
17	2002	G	D	C/A	16	Feedback	1.50	0.73	-0.11
18	2003	D	G	D	15	Feedback	1.42	0.78	-0.18

Remerciements

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements au Prof. Jean-Pierre Bresciani et au Dr. Jean-Luc Bloechle pour le soutien et la supervision apportés lors de mon travail. Je souhaite également adresser des remerciements à Messieurs René Matte, Ludovic Waeber et Nathan Cantin qui m'ont permis de pouvoir réaliser cette étude dans un cadre propice à la passation des sujets, en plus de leur rôle majeur lors de la mise en lien avec les joueurs lors de l'expérience.