

Optimisation de la prise de décision en phase de tir au but chez les hockeyeurs à l'aide de la réalité virtuelle

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

déposé par

Thibault Devaud

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, Février 2021

Table des matières

Résumé	3
1 Introduction	4
1.1 Thématique	4
1.2 La prise de décision	5
1.3 Apprentissage en laboratoire	9
1.4 Objectif du travail.....	11
2 Méthode.....	14
2.1 Participants	14
2.2 Matériel	14
2.3 Protocole de passation	16
2.4 Analyse statistique des données	21
3 Résultats	23
3.1 Amélioration pré-post.....	23
3.2 Progression moyenne	24
3.3 Différence pré-test.....	25
3.4 Différence Eye-Puck	26
4 Discussion	28
4.1 Objectifs principaux	28
4.2 Liens avec la littérature	29
4.3 Limitations de l'étude.....	31
4.4 Améliorations potentielles de l'étude.....	32
5 Conclusion.....	34
Bibliographie	35
Annexe	41
Remerciements	44

Résumé

La présente étude a pour objectif d'optimiser la prise de décision en phase de tir au but chez les hockeyeurs à l'aide de la réalité virtuelle. A défaut de s'intéresser à un apprentissage moteur comme la force ou l'endurance, notre étude s'est tournée vers un apprentissage de type cognitif. Ce dernier influence les compétences cognitives du sportif soit la prise de décision et d'informations. Un casque de réalité virtuelle a été utilisé afin d'immerger l'utilisateur dans une simulation de tir au but avec une vue à la première personne. Le design de l'étude comprenait 3 blocs : un pré-test, une phase d'apprentissage et un post-test. Les participants devaient choisir la meilleure cible parmi 5 proposées au moment du tir. Les 20 participants ont été séparés de manière randomisée en 2 groupes, un groupe d'apprentissage et un groupe contrôle. Le groupe d'apprentissage dit « Full » recevait un retour sur leur tir (uniquement dans la phase d'apprentissage) sous forme de 2 feedbacks, un feedback avec une coloration des cibles (CC) selon leur taux de réussite et un feedback avec une vue du but depuis le puck dit « Puck View » (PV). Nous avons mis en relation nos résultats avec l'étude de Sauthier (2020) qui a pris les deux types de feedback séparément. L'objectif était d'analyser chaque groupe d'apprentissage (CC, PV, Full et contrôle) et de les comparer. Le groupe Full, avec les deux types de feedback, a eu la plus importante progression significative entre le pré-test et le post-test avec 32 % d'amélioration du score ($p = 0.002$, $R = 0.89$ (fort)). Seulement la comparaison entre le groupe Full et contrôle a montré une amélioration significative malgré une différence également significative entre les groupes ($\chi^2(3) = 9.77$, $p = 0.021$). Ce qui a indiqué que la meilleure méthode d'apprentissage était la combinaison des deux types de feedback. La différence Eye-Puck n'expliquait que très faiblement (7 % au pré-test et < 1 % au post-test) la variance au niveau du score. C'est-à-dire que l'erreur au niveau du score n'est que faiblement attribuable à cette différence et qu'il est donc utile de s'entraîner avec différents angles.

Les résultats démontrent bien une progression des compétences cognitives, notamment la prise de décision, à l'aide de la réalité virtuelle. De plus, notre étude suppose que cette optimisation de la prise de décision pourrait se transférer sur la glace, c'est-à-dire en situation réelle. Seulement, plusieurs remarques des participants concernant le positionnement du gardien ont montré qu'il était nécessaire de travailler de manière plus précise la simulation du gardien afin que les joueurs arrivent à faire plus de parallèles avec des situations réelles. Dès lors, il sera probablement plus facile de d'observer des transferts de compétences dans de futures études.

1 Introduction

1.1 Thématique

La thématique abordée dans ce travail se penche sur l'apprentissage perceptivo-cognitif par des hockeyeurs à l'aide de la réalité virtuelle (RV). Les sportifs recherchent le plaisir, la santé mais également l'optimisation de leurs performances au travers de leurs entraînements. Les méthodes d'entraînement visant à améliorer les aspects physiologiques comme la force, l'endurance, la souplesse, la coordination ou la rapidité sont depuis longtemps étudiées et en constance évolution. Or, les performances d'un athlète sont définies de nature motrice et perceptivo-cognitive (Williams & Ericsson, 2005). Cet aspect cognitif lié à la performance dans le sport est un sujet relativement nouveau et mérite une attention particulière afin d'optimiser l'amélioration des performances sportives. Notre étude tente d'éclaircir ce point au travers de la RV.

La perception et la cognition travaillent conjointement afin de développer deux compétences : l'anticipation et la prise de décision (Williams, Ward, Smeeton, & Allen, 2004). Plusieurs études ont d'ailleurs montré que des athlètes experts se distinguent des novices par ces compétences de traitement de l'information et soulignent l'importance des programmes d'entraînements visant à les améliorer autant chez les experts que chez les novices (Hagemann, Strauss, & Cañal-Bruland, 2006; Mann, Williams, Ward, & Janelle, 2007; Mulligan, McCracken, & Hodges, 2012; Voss, Kramer, Basak, Prakash, & Roberts, 2010). Vestberg, Gustafson, Maurex, Ingvar, et Petrovic (2012) ont démontré que les joueurs de football experts avaient de meilleures fonctions cognitives que les novices. De plus, les scores supérieurs aux tests cognitifs prédisaient de meilleures performances sportives. Les sportifs experts possèdent plus particulièrement une plasticité structurelle et fonctionnelle augmentée dans les réseaux neuronaux en comparaison aux sportifs novices (Chang, 2014). Lors d'un apprentissage, comme dans le cadre de notre étude, le cerveau adopte des modifications structurelles et fonctionnelles selon sa neuroplasticité. Toutes ces explications montrent l'intérêt de travailler avec des participants experts dans leur sport dans une étude comme celle-ci.

Le hockey sur glace est un sport de vitesse où les joueurs doivent prendre des décisions impliquant des changements rapides de distances et d'angles pour les passes ou les tirs. Ils doivent pouvoir s'adapter à ces changements et donner une meilleure réponse d'accommodation possible (Erickson et al., 2011). La perception joue également un grand rôle sur leur faculté à extraire des informations visuelles afin de faire le bon choix au bon moment. De plus, au hockey sur glace, une problématique liée à la différence de perspective est observée. Les joueurs

manient une crosse pour prolonger leur corps ce qui implique que le point de vue depuis les yeux n'est pas le même que celui depuis le puck. De ce fait, lors d'un tir au but, les angles de tir possibles que voit le joueur ne représentent pas réellement les angles depuis la position du puck. Cette problématique est également prise en compte dans notre étude et justifie également le choix de ce sport avec cette contrainte de perspective pour pouvoir observer un apprentissage dans la qualité des prises de décision.

Ljach, Witkowski, Gutnik, Samovarov, et Nash (2012) ont démontré que les programmes d'entraînement pourraient être revus afin d'inclure un apprentissage des capacités sensorielles, motrices et cognitives du fait de leur importance. De plus, le style d'apprentissage permet un développement complet du sportif et donne des informations afin d'optimiser son entraînement (Gabbett & Masters, 2011). La preuve que l'ajout d'un entraînement de type cognitif amène à des performances améliorées est une des motivations principales au travers de la réalisation de notre étude.

La RV est utilisée dans cette étude afin d'acquérir un apprentissage cognitif. Selon la littérature scientifique, la RV permet de donner la possibilité aux sportifs d'accéder à un apprentissage cognitif d'une manière facilement accessible et modulable en renforçant leurs habiletés cognitives et leurs stratégies (Patterson, Pierce, Bell, Andrews, & Winterbottom, 2009). Vignais, Kulpa, Brault, Presse, et Bideau (2015) avancent également que la RV permet une analyse plus efficace de la perception et de l'action dans le sport que les méthodes habituelles. Ces diverses conclusions dans la littérature expliquent le choix du casque de RV utilisé dans notre étude.

Les prochains points mettent en évidence de manière plus spécifique et complète les capacités perceptivo-cognitives qui rentrent en jeu lors de la prise de décision selon la littérature scientifique actuelle. De plus, les méthodes d'apprentissage de ces capacités seront examinées afin de légitimer l'utilisation de la RV dans notre étude comme outil d'apprentissage et d'optimisation de la prise de décision.

1.2 La prise de décision

La littérature scientifique ressort deux points de vue distincts et complémentaires sur la prise de décision (Bossard & Kermarrec, 2011). Le premier, cognitif, définit la décision comme un processus du traitement de l'information par identification et interprétation des signaux pertinents de l'environnement sur une base de connaissances à l'aide de la mémoire (Schmidt & Lee, 2005). Le processus de décision est analysé dans un contexte expérimental. Ross, Shafer, et Klein (2006) considèrent la décision d'un point de vue naturaliste comme une adaptation à la situation présente. En revanche, les études dites « naturalistes » se font en situation naturelle,

par exemple lors d'un match dans une patinoire pour le hockey sur glace. L'objectif est d'étudier l'activité dans un contexte naturel, c'est-à-dire en situation réelle. Notre étude recherche une optimisation de la prise de décision et une recherche d'apprentissage perceptivo-cognitif. Pour ce faire, l'étude a été réalisée dans un contexte expérimental, c'est-à-dire d'un point de vue cognitif, afin d'atteindre les objectifs établis. Les méthodes d'entraînements varient selon l'objectif à atteindre. Un entraînement peut viser à améliorer la force, l'endurance, la coordination, l'équilibre ou encore la vitesse. Une multitude de domaines peuvent être ainsi entraînés, selon le type de discipline et la spécificité. Dans notre étude, c'est l'efficacité d'un apprentissage perceptivo-cognitif qui est testée. Les compétences perceptuelles et cognitives amènent à une identification et acquisition des informations de l'environnement afin de les assimiler aux notions déjà connues pour établir ensuite des réponses adaptées à la situation (Marteniuk, 1976). La littérature scientifique recense plusieurs types de recherches dans la compréhension du processus de la prise de décision dans le sport : la prise d'informations, les bases de connaissances et le fonctionnement de la mémoire (Bossard & Kermarrec, 2011). Ces trois types de recherches se complètent afin d'avoir une idée plus précise sur le fonctionnement de la prise de décision d'un sportif. La méthode utilisée dans ces différentes recherches a été de comparer des novices et des experts pour déterminer les procédés de la prise de décision.

1.2.1 Stratégie de la prise d'information. Dans le domaine du sport, la perception visuelle permet aux sportifs de savoir où et quand chercher. Seulement, le champ de vision contient énormément d'informations qui ne sont pas toutes pertinentes pour la tâche à réaliser. L'objectif du sportif est de pouvoir distinguer les zones avec le plus d'informations dans son champ de vision et de les utiliser à son avantage de la manière la plus efficiente et efficace possible (Williams, Davids, & Williams, 1999). La perception visuelle est définie par Faubert (2011) comme le développement d'amélioration des capacités perceptivo-cognitives pour l'interprétation des images et des scènes dynamiques. Il soutient également que la perception visuelle serait un des processus cérébraux les plus importants et sélectif dans le domaine du sport car si les messages ne sont pas perçus assez précisément et rapidement par le système visuel, une potentielle baisse des performances est alors constatée. Erickson et al. (2011) ont observé une corrélation entre les compétences visuelles spécifiques et la réussite dans le sport. Une autre étude a suggéré que ces compétences devraient être intégrées à l'entraînement quel que soit le type de sport (Ciuffreda & Wang, 2004). Notre étude a pour but d'amener un apprentissage de ces compétences au participant afin qu'il puisse acquérir de meilleures performances. Un sujet de recherche fréquent dans la littérature a été de déterminer la façon dont les athlètes experts

utilisent leur système visuel comparé aux novices pour obtenir de meilleures prises de décision. La littérature s'est accordée pour affirmer que les athlètes experts avaient effectivement un traitement visuel plus développé (Poltavski & Biberdorf, 2015). Les études sur ce sujet se sont penchées sur plusieurs aspects comme la perception de la profondeur (Laby et al., 1996), la coordination œil-main, l'efficacité de déplacer les yeux autour d'un écran dans un effort pour extraire des informations (Roca, Ford, McRobert, & Williams, 2011) et le temps de réaction visuel (Berg & Killian, 1995) ou encore le traitement de l'information (Overney, Blanke, & Herzog, 2008; Williams et al., 2004). Plus spécifiquement, Williams (2000) a observé que les joueurs expérimentés ont la capacité de récupérer, encoder et reconnaître des informations spécifiques au sport plus facilement. Il explique qu'ils adoptent une meilleure stratégie pour la recherche et la collecte d'informations. Leur stratégie est dite plus « globale », ils sont capables d'extraire des informations sur plusieurs domaines et de manière simultanée (Jackson, Warren, & Abernethy, 2006; J.L. Starkes & Ericsson, 2003; Williams, Huys, Cañal-Bruland, & Hagemann, 2009). Plus précisément, ils ont une récolte anticipée des informations et celle-ci est dirigée sur l'orientation posturale d'un adversaire avant un événement clé (Müller, Abernethy, & Farrow, 2006). Bard, Fleury, et Goulet (1994) se sont également intéressés à ce sujet avec des joueurs de hockey sur glace et ils ont effectivement observé que les joueurs experts ont une attention augmentée vers les zones les plus riches en informations et évitent les zones pauvres en informations. Helsen et Starkes (1999) ajoutent que les stratégies visuelles mises en place par les joueurs changent selon l'intention du joueur et le type d'action, soit une phase d'attaque ou de défense.

1.2.2 Base de connaissances. La base de connaissances est définie comme un réseau de savoir stocké dans la mémoire à long terme (Causer, Janelle, Vickers, & Williams, 2012). Ces connaissances sont déclaratives (savoir quoi faire) et/ou procédurales (savoir comment faire) (Ericsson, 2014). Ericsson (2014) avance également que ces bases de connaissances que les athlètes utilisent pour identifier et interpréter les signaux pertinents dans leur environnement sont facilement accessibles pour les experts et les développent spécifiquement à leur domaine. La pratique régulière et intense de leur sport permet aux sportifs d'acquérir une base de connaissances mieux organisée, plus développée et plus élargie (Gimeno, 2005; McPherson, 1993). McPherson et Vickers (2004) se sont intéressés à ce sujet en étudiant les connaissances sélectionnées par des joueurs experts de volleyball afin de réceptionner un service et faire une passe. Ils ont remarqué que les joueurs mettaient en place des plans d'action avant d'effectuer leur mouvement et les adaptaient au besoin au cours de l'action. Leur planification était faite en

associant des informations sur la situation actuelle et des informations sur des situations similaires passées. Une étude moins récente était arrivée aux mêmes conclusions concernant l'organisation des bases de connaissances des sportifs experts mais cette fois-ci au hockey sur gazon, sport plus proche du hockey sur glace (Christensen & Glencross, 1993).

1.2.3 Fonctionnement de la mémoire. Les travaux qui se sont penchés sur ce domaine de recherche ont cherché à savoir quels étaient les processus cognitifs utilisés pour décider et comment ils fonctionnaient. Comme vu précédemment, les sportifs experts peuvent intégrer beaucoup plus facilement des informations nécessaires à l'action présente pour prendre une décision pertinente (Williams, 2000). De plus, Chase et Simon (1973) ont également avancé que les sportifs experts ont une mémoire spécifique plus développée. Ils peuvent donc intégrer un plus grand nombre d'informations. Toujours dans le même sens, il a été démontré que les sportifs experts s'adaptent beaucoup plus rapidement aux situations spécifiques à leur sport (Janet L Starkes, 1987) et reconnaissent plus vite des situations de jeux déjà rencontrées auparavant (North, Williams, Hodges, Ward, & Ericsson, 2009; Smeeton, Ward, & Williams, 2004). Une situation familière est un événement similaire déjà vécu par le joueur, qu'il utilise pour établir une décision appropriée à l'événement présent (Macquet, 2009). La situation mise en scène dans notre étude est propre au hockey sur glace, le participant l'a déjà vécue et a pu donc faire un lien avec un scénario antérieur en situation réelle et cela afin d'entreprendre sa décision. Ces compétences perceptuelles et cognitives distinctes amènent à l'anticipation et au processus de prise de décisions (Williams, 2009; Williams & Ward, 2003). L'acquisition et le développement de ces compétences chez les experts sont dû à leur structure de mémoire et leurs connaissances spécifiques à leur sport (Williams & Ward, 2007). Toutes ces études montrent que les compétences perceptuelles et cognitives jouent un rôle majeur dans le sport, surtout dans l'optimisation des performances chez les athlètes experts. Afin d'obtenir un processus de prise de décision optimal, ces compétences doivent interagir de manière conjointe (Lenzen, Theunissen, & Cloes, 2009; Williams, Ford, Eccles, & Ward, 2011). Au travers de notre étude, les participants ont été mis dans une situation où ils ont dû développer ces compétences afin d'optimiser leur choix.

1.2.4 L'anticipation. Dans les sports de renvoi comme le tennis, le temps requis à la balle pour arriver à l'adversaire est plus court que le temps de réaction de ce dernier. Il est donc nécessaire de former une réponse avant que l'adversaire ne frappe la balle (Williams et al., 1999). Cette réponse réalisée avant le mouvement à proprement parler est l'anticipation. Pour des sports

dynamiques comme le hockey sur glace, les joueurs doivent également traiter les informations dans des situations limitées par le temps. Williams et al. (2011) expliquent que les athlètes s'adaptent en utilisant des processus cognitifs qui leur donnent la possibilité d'anticiper. Ils soulignent également que ces compétences perceptuelles et cognitives qui facilitent l'anticipation sont spécifiques au sport et au rôle et sont acquises par la pratique prolongée de situations spécifiques. L'anticipation permet d'avoir plus de temps afin de réaliser une réponse plus adaptée et appropriée à la situation. Dans notre étude, ce qui est recherché c'est la qualité de la prise de décision et non pas la vitesse à laquelle la décision est prise. Il est cependant important de rappeler que l'anticipation influe indirectement sur la qualité de la prise de décision.

1.3 Apprentissage en laboratoire

L'objectif de cette étude est de mettre en place un entraînement dans un contexte expérimental, soit en laboratoire, qui recrée des situations potentielles et qui offre au participant plusieurs possibilités dans son choix d'action. Cette méthodologie permet à ce dernier d'entraîner ce processus hors compétition et d'évaluer quelle serait la meilleure option dans chaque situation. De plus, les intérêts de cette simulation sont la « jouabilité » des séquences de jeu et l'analyse des conséquences des choix effectués. Néanmoins, le système mis en place doit permettre d'introduire une action et une perception réalistes afin d'étudier les déterminants de la performance (Bideau et al., 2009). Ce sont les techniques vidéo qui ont été le plus exploitées pour ces évaluations de performance (Crognier & Féry, 2007).

1.3.1 Apprentissage par feedback vidéo. Le feedback vidéo (FV) consiste à filmer un athlète en phase d'action, puis de donner un retour vidéo de son propre comportement afin d'observer s'il y a un apprentissage et donc une amélioration des performances. La phase de visualisation de la vidéo permet également de parfaire la pertinence et l'efficacité des choix réalisés, soit les compétences cognitives (García-González, Moreno, Moreno, Gil, & del Villar, 2013). Plus précisément, les sportifs apprennent à identifier des informations visuelles pertinentes et à reconnaître des modèles de jeu spécifiques, comme le tir au but, afin d'utiliser ces connaissances pour choisir l'action la plus appropriée face à une situation similaire lors d'un match (Pagé, Bernier, & Trempe, 2019). Le FV doit néanmoins être pratiqué sur de longues périodes et avec beaucoup de répétitions afin d'acquérir un apprentissage implicite et explicite des capacités perceptivo-cognitives (Raab, 2005). La méthode utilisée dans les études avec du FV concernant la prise de décision est souvent « l'occlusion temporelle ». À différents moments, l'expérimentateur arrête la vidéo et les participants doivent identifier expliquer quelle action ils

entreprendraient s'ils étaient sur le terrain (Broadbent, Causer, Williams, & Ford, 2015). C'est cette technique qui a été le plus utilisée dans les expériences précitées qui étudiaient les différences de la perception et le prise d'information entre les experts et les novices. Cependant, le FV comporte quelques limites relevées par les chercheurs : une différence entre les situations virtuelles mises en place et la réalité (Williams, Davids, Burwitz, & Williams, 1994) et un accès limité à toutes les informations visuelles par un affichage 2D (Petit & Ripoll, 2008). Du fait de ces limitations et d'un développement des technologies ces dernières années, une autre technique vidéo est utilisée dans notre étude : la réalité virtuelle.

1.3.2 Apprentissage en réalité virtuelle. La littérature scientifique comporte déjà plusieurs études travaillant dans des environnements virtuels et pour différentes disciplines sportives qui montrent une tendance à la capacité des athlètes de profiter de ce type d'entraînement malgré des résultats pas toujours significatifs (Panchuk, Klusemann, & Hadlow, 2018; Romeas, Guldner, & Faubert, 2016; Vignais et al., 2015). La RV apporte beaucoup plus d'avantages en comparaison aux autres méthodes : l'immersion dans une scène virtuelle qui permet un point de vue égocentrique (Petit & Ripoll, 2008), l'interaction des sujets avec la scène virtuelle afin d'étudier un maximum de comportements clés lors de l'action, comme la prise de décision (Vignais et al., 2015), un contrôle total de l'environnement virtuel mis en place et de ses paramètres comme la cinématique (Brault, Kulpa, Duliscouët, Marin, & Bideau, 2015; Caramenti et al., 2019a, 2019b), le point de vue sur la scène (Schomaker, Tesch, Bühlhoff, & Bresciani, 2011), ou encore le caractère de reproductibilité entre les différents essais sans une baisse de la qualité du stimulus (Tarr & Warren, 2002). Cette configuration extrêmement contrôlée est d'autant plus utile dans une discipline comme le hockey sur glace, avec une grande quantité de variations très précises possibles dans les séquences de jeu.

D'autres études ont utilisé la RV dans un contexte sportif et démontré son efficacité comme pour le rugby (Correia, Araújo, Cummins, & Craig, 2012), le football (Cortes, Blount, Ringleb, & Onate, 2011), le baseball (Gray, 2017), le football américain (Le Naour, Hamon, & Bresciani, 2019), la gymnastique (Le Naour, Ré, & Bresciani, 2019), ou encore le hockey sur glace (Buns, 2020) (Le Naour, Hayoz, & Bresciani, 2020). La RV est adaptée à un apprentissage implicite (Patterson, Pierce, Bell, Andrews, & Winterbottom, 2009) et également à un apprentissage de type cognitif (Faubert & Allard, 2013). Dans notre étude l'apprentissage en RV et l'immersion s'effectuent au moyen d'un casque à RV proposant une vue à 200°. Kittel, Larkin, Elsworthy, et Spittle (2019) ont considéré la RV à 360° comme plus spécifique aux processus de prise de décision dans le jeu ce qui indique une forte validité écologique.

1.3.3 La transférabilité. Toutes ces études montrent une efficacité de l'utilisation de l'entraînement par RV sur les performances en laboratoire. Plusieurs études se sont penchées sur la question de transférabilité des performances acquises en laboratoire, sur le terrain en situation réelle, notamment dans un contexte similaire à notre étude. Les résultats de ces études diffèrent mais la conclusion est que si l'athlète apprend quels choix entreprendre dans un maximum de situations, il pourra alors reproduire ce processus de décision sur le terrain, en situation réelle (Hagemann et al., 2006; Schul & Memmert, 2017; Williams, Ward, Knowles, & Smeeton, 2002). Pagé et al. (2019) ont évalué la prise de décision de joueurs universitaires de basketball avec différentes méthodes, soit à l'aide du FV ou de la RV. Les résultats ont montré des gains transférables et généralisés pour la méthode RV mais non généralisés pour la méthode FV. Une autre étude a démontré l'efficacité de l'entraînement en RV pour améliorer les performances des hockeyeurs sur la glace. Selon ces différentes recherches, notre étude s'appuie sur le fait que ce mode d'entraînement en RV, avec des actions répétées dans de multiples situations, peut amener à un transfert de performances du laboratoire à la glace.

1.4 Objectif du travail

1.4.1 Objectif principal. L'objectif principal de cette étude est d'améliorer la capacité des joueurs de hockey sur glace experts à estimer visuellement la zone de but avec la plus grande partie « d'espace dégagé » lorsqu'ils sont face au gardien de but et sur le point de tirer, à l'aide de la RV et ainsi de prendre la meilleure décision possible entre les différents choix qui s'offrent à eux. Afin d'améliorer cette prise de décision, l'apprentissage en RV devrait être adapté. Il permet au participant de visualiser l'action d'un point de vue égocentrique mais également du point de vue du puck afin qu'il prenne conscience de cette différence de perspective. Les hockeyeurs savent très probablement déjà qu'elle existe, mais de manière intuitive. En effet, en pleine phase d'action, les hockeyeurs prennent leur décision selon leur perspective, soit l'interprétation des informations visuelles et tous les processus cognitifs et sensoriels impliqués dans la prise de décision, mais ne calculent pas cette différence d'angles consciemment. De ce fait, lors de la prise de décisions pour marquer, ils seront induits en erreur par leur propre perspective.

Il est évident que cette différence de perspective est compensée naturellement. Comme observé dans plusieurs études, il est probable que le niveau de jeu des joueurs influe sur la capacité à compenser cette différence. Cependant, cet aspect n'est pas traité dans cette étude. Il est ici question de mettre en évidence l'efficacité de la RV pour la visualisation de la perspective du

puck pour finalement permettre un apprentissage par feedbacks. Le casque de RV utilisé dans cette étude permet au joueur de s'immerger dans une situation virtuelle mais similaire à une action de jeu réelle avec une perspective à la première personne. L'avantage principal de l'utilisation du casque RV, c'est la capacité de donner au joueur une perspective du puck au moment de son tir. Il peut alors bénéficier d'une perspective inédite et impossible à avoir dans la réalité. Cette perspective accompagnée d'un retour visuel sur la qualité des choix proposés sont donnés au joueur juste après son tir en vue première personne, ce qui implique qu'il peut non seulement savoir qu'elle était le meilleur choix mais également observer cette différence d'angles. Il peut alors adapter sa prise de décision par un changement de processus cognitifs et de stratégies lors des prochains tirs. La « jouabilité » et la situation proche de la réalité offertes par cette méthode permettent un entraînement de cette capacité à imaginer les meilleurs angles de tir selon le point de vue du puck en situation réelle. Dans un premier temps, il s'agit de voir si un apprentissage avec cette combinaison de ces deux types de feedbacks permet une amélioration des performances. Ensuite, une autre étude (Sauthier, 2020) a suivi un protocole quasiment identique à notre étude dans le but de pouvoir comparer les résultats obtenus. La différence de l'étude de Sauthier (2020) résidait dans les feedbacks. Le feedback visuel et la perspective du puck étaient évalués séparément afin de déterminer lequel des deux était le plus efficace et permettait d'observer une amélioration de la prise de décision. À travers cette comparaison, l'objectif est de pouvoir distinguer le meilleur type de feedback entre le visuel, la perspective du puck ou une combinaison des deux.

En résumé, les questions de recherche de ce travail sont les suivantes :

- a) Un apprentissage en réalité virtuelle, offrant des feedbacks visuels et/ou avec perspective du puck, permet-il à des hockeyeurs élités d'améliorer leur capacité de prise de décision ?
- b) Quel type de feedback dans un apprentissage en réalité virtuelle offre la meilleure amélioration à des hockeyeurs élités dans leur capacité de prise de décision ?

Afin d'examiner scientifiquement cette question, les hypothèses qui en découlent sont formulées de la manière suivante :

H0 : L'apprentissage avec un feedback visuel et/ou une perspective du puck n'apporte aucune amélioration sur le plan cognitif et la prise de décision par rapport au niveau du sujet avant l'expérience.

H1 : L'apprentissage avec un feedback visuel et/ou une perspective du puck améliore la capacité de prise de décision par rapport au niveau du sujet avant l'expérience.

H2 : La combinaison d'un feedback visuel et d'une perspective du puck présente le meilleur taux d'amélioration de la capacité de prise de décision.

1.4.2 Objectifs secondaires. Cette étude a aussi comme objectif d'amener la problématique de la différence de perspective, plus particulièrement au hockey sur glace qui peut biaiser les choix d'angles de tir, soit la prise de décision, puisqu'elle ne représente pas les angles réellement atteignables depuis la position du puck. Cette problématique est également présente dans d'autres sports où un prolongement du corps de l'athlète est nécessaire comme une raquette ou une crosse, d'où l'intérêt d'obtenir des explications qui pourraient faire des liens avec ces autres sports. Les situations dans lesquelles sont immergés les participants de notre étude ne sont pas à chaque fois les mêmes. Une analyse des deux différents points de vue et du score, devrait donner quelques précisions sur cette problématique.

Enfin, un autre objectif de notre étude est de démontrer l'efficacité de la RV pour l'entraînement des capacités cognitives et plus particulièrement la prise de décision au hockey sur glace chez les hockeyeurs.

2 Méthode

2.1 Participants

Les participants de cette étude étaient âgés de 20.77 ± 5.55 ans. Ils pratiquaient tous le hockey sur glace depuis au moins 3 ans et étaient considérés comme joueurs de niveau « élite ». Tous les joueurs étaient gauchers, c'est-à-dire qu'ils tenaient leur crosse à gauche, leur côté fort. Ils ont pris connaissance des conditions de l'expérience, ont donné leur consentement et indiqué leurs données personnelles nécessaires à l'étude. Ils étaient libres de quitter l'étude à tout moment.

Deux groupes randomisés ont été constitués avec 10 participants par groupe. Le groupe d'apprentissage a bénéficié de deux types de feedbacks lors de l'intervention : un premier feedback sur la qualité du choix effectué, c'est-à-dire une coloration des cibles (CC), suivi du second qui permettait au sujet de voir le point de vue du puck au moment du shoot dit « Puck View » (PV). Le groupe contrôle n'avait quant à lui pas accès aux feedbacks. La comparaison statistique des pré-tests de chaque groupe a indiqué qu'il n'y avait aucune différence entre les groupes en ce qui concerne la performance de base au départ de l'étude, et donc aucun problème de répartition.

2.2 Matériel

Le casque RV employé pour cette étude était un Pimax 5K XR composé de deux écrans QuadHD (résolution : 2560x1440). Le casque nécessitait un branchement Displayport 1.4 ainsi qu'un branchement USB 3.0. Un ajustement du casque était nécessaire afin d'obtenir une image parfaitement nette pour profiter d'une vue à 200° en immersion dans l'action. Le participant était en situation de tir au but au hockey sur glace, c'est-à-dire qu'il avançait seul face au gardien pour ensuite effectuer un choix de tir sur les 5 cibles circulaires, de surface identique, à l'intérieur du but et correspondantes aux 5 boutons d'un boîtier réponse (voir figure 1) mis à disposition devant lui afin de choisir la cible qu'il estime la plus accessible. Le boîtier réponse a été conçu afin que la réponse soit la plus instinctive possible, étant donné que le participant a son champ de vision couvert par le casque RV et n'a donc pas de possibilité de voir le boîtier réponse. Ce boîtier se reliait également par un port branchement USB 3.0.

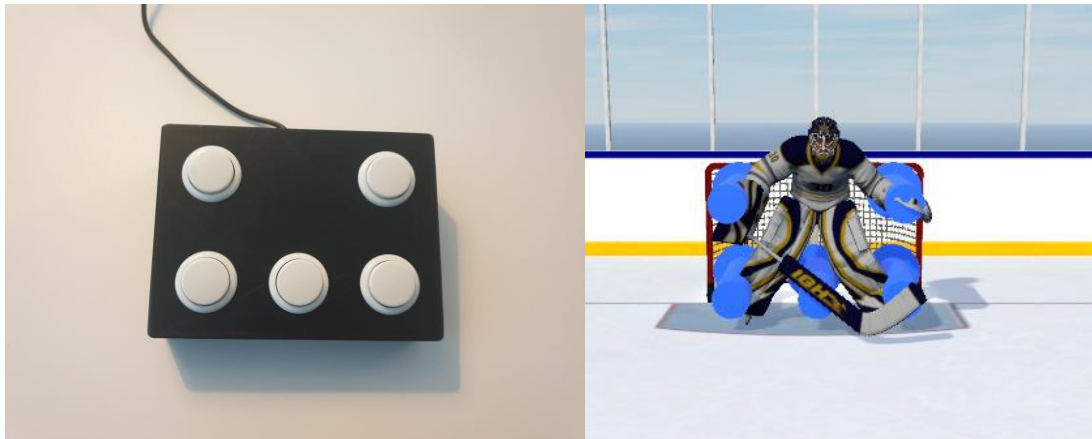


Figure 1. A gauche, boîtier réponse avec les 5 touches correspondant aux cibles bleues dans le but, illustrées à droites.

Le logiciel utilisé simulait une situation de tir au but à travers du casque RV. En vue première personne, le participant avançait à une vitesse de 30 km/h depuis l'entrée de la zone offensive située à environ 15 mètres du but jusqu'à une distance variable selon la séquence, soit 3.5, 4 ou 4.5 mètres du but. L'angle d'approche du joueur variait également selon la séquence, soit de 40°, 20°, 0°, -20° et -40° dans les phases de pré et post-test. Les angles étaient définis par rapport au demi-cercle du gardien. Celui-ci était à 1 mètre devant sa cage sur différents points du demi-cercle qui correspondaient aux angles d'approche du joueur étant donné que le joueur arrivait systématiquement en face du gardien. L'angle 0° correspondait donc à la position du gardien sur son demi-cercle qui était perpendiculaire au centre de la ligne de but. Cependant, par souci d'éviter un biais possible d'apprentissage, les angles étaient décalés de 10° lors de la phase d'entraînement. De ce fait, les angles étaient de 50°, 30°, 10°, -10°, -30 et -50° et permettaient que la séance d'entraînement ne soit pas identique aux séances pré et post-test (voir figure 2). Le logiciel randomisait donc 3 distances et 5 ou 6 angles différents selon la phase pour faire une série de séquence. Cette dernière était répétée trois fois par bloc, ce qui amenait le nombre de séquences à 45 (15*3) pour le pré et post-test et 54 (18*3) pour l'entraînement. Les participants réalisaient alors un total de 144 séquences sur l'ensemble de l'intervention. Comme il s'agit d'une simulation, le logiciel prenait en compte les données anthropométriques des joueurs afin de personnaliser l'immersion pour chaque joueur. Dans la situation exposée au participant, trois mesures basées un système d'axes en trois dimensions étaient mesurées et insérer dans le logiciel avant le début de la simulation. Ces mesures comprenaient 1) la distance verticale depuis les yeux du sujet au point de contact avec le sol en position de tir ; 2) la distance horizontale de ce point de contact jusqu'à la projection du centre du puck ; 3) la distance de ce point de projection au centre réel du puck. Ces mesures sont nécessaires pour une reproduction maximum de la situation réelle qui est propre à chaque joueur. Effectivement, la distance puck-

joueur au moment du shoot est très variable selon les joueurs, de même que leur taille qui influe sur l'angle perçu. De plus, malgré une taille similaire, les positions prises au moment du tir peuvent différer d'un joueur à l'autre. Enfin, le feedback de la position du puck donné lors de la phase d'entraînement est d'autant plus impactant s'il est adapté aux mesures du participant. Ces derniers points démontrent la nécessité de personnaliser la représentation virtuelle au maximum.

Dans notre étude, le temps de réponse ou de réaction n'a pas été enregistré car l'objectif n'était pas de mesurer l'amélioration de manière temporelle mais bien de manière qualitative. La variable de réaction n'a pas été prise en compte dans le risque d'avoir des effets différents pour chaque sujet et donc de biaiser les résultats.

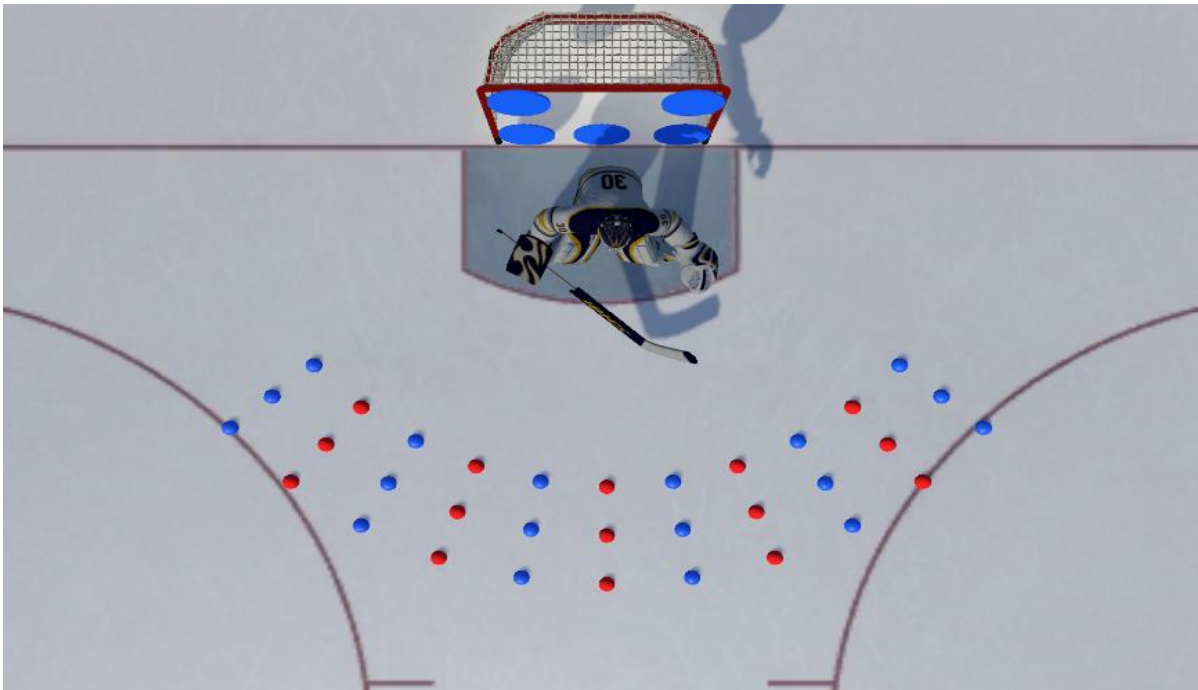


Figure 2. Représentation des différents angles d'approches, en rouge (pré- et post-test) et en bleu (phase d'apprentissage).

Les 3 points de chaque angle représentent les 3 distances de shoot.

2.3 Protocole de passation

2.3.1 Design de l'étude. Après la prise des mesures anthropométriques effectuée, les consignes données et les conditions acceptées, l'expérience se divisait en 3 blocs : le pré-test, la phase d'apprentissage ou de contrôle et le post-test. Comme le montre la figure 3, chaque bloc était séparé d'une brève pause afin que les participants reprennent leurs esprits. A la fin des trois blocs, il était demandé aux participants de donner quelques retours sur l'expérience, comme le

ressenti, la qualité de l’immersion par rapport aux situations réelles et tous autres points concernant l’intervention. La durée totale de l’expérience variait entre 45 et 60 minutes selon les questions de précisions demandées par les participants ou le groupe du bloc 2. Le groupe contrôle n’ayant pas de feedback, le temps de passation pour ce bloc était légèrement inférieur au groupe d’apprentissage avec les feedbacks après chaque séquence.

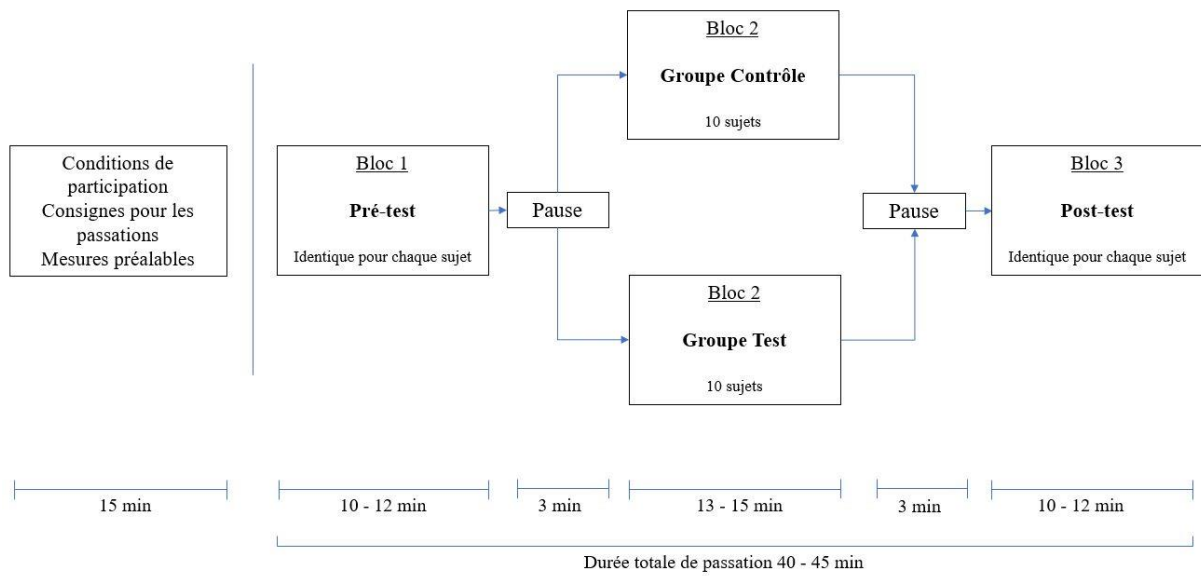


Figure 3. Design de l’étude avec les temps approximatifs de chaque partie.

2.3.2 Consignes et mesures préalables. A leur arrivée, les participants recevaient préalablement les conditions de participation et les consignes concernant l’expérience. Après avoir lu ces dernières, leur données personnelles nécessaires à l’expérience ainsi qu’une signature de la feuille de consentement leur étaient demandées. Toutes ces données, consignes et mesures sont disponibles dans la partie des annexes à la fin de ce travail. Les participants s’équipaient ensuite de leurs patins, gants et crosse afin de procéder aux prises de mesures anthropométriques. Il leur était demandé d’adopter une position de tir au poignet, en situation de 1 contre 1 face au gardien, prêt à tirer, de la manière la plus naturelle possible. Une fois en place, un puck était déposé contre la palette du joueur. Depuis cette position figée, trois distances étaient mesurées à l’aide de mètres et d’un fil à plomb. Ces trois mesures sont imagées par un système d’axe en 3D (figure 4) : la distance DY, la distance verticale du point entre les yeux du sujet au point de contact avec le sol lorsqu’il est en position de tir ; distance DX, la distance horizontale de ce point de contact jusqu’à la projection du centre du puck ; distance DZ, la distance de ce point de projection au centre réel du puck. Une fois les mesures relevées, elles étaient entrées dans le

logiciel, tout comme les données personnelles du joueur. Celui-ci prenait alors place dans un siège avec devant lui un écran d'ordinateur et le boîtier réponse. Une fois le casque RV installé et les dernières précisions indiquées, l'expérience pouvait débuter.

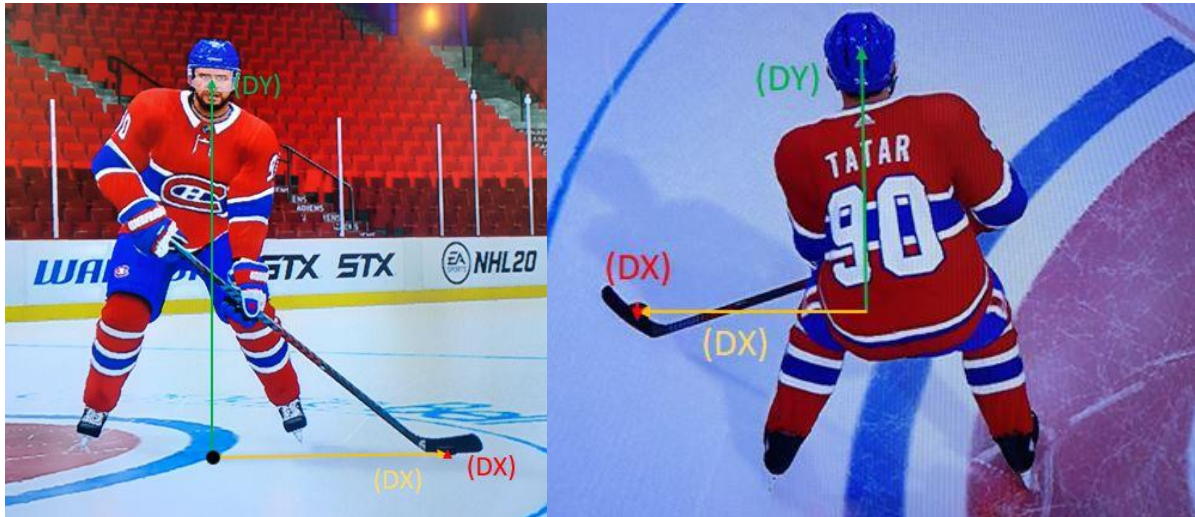


Figure 4. Représentations du système d'axes correspondant aux trois mesures anthropométriques.

2.3.3 Pré-test. Le premier bloc était composé du pré-test. Les participants étaient plongés dans une situation virtuelle à la première personne de tir au but au hockey sur glace. Un total de 15 séquences différentes étaient proposées, qui combinaient 3 différentes distances et 5 différents angles d'approches. Ces derniers correspondaient à la position du gardien afin que le joueur arrive face à celui-ci. Les 15 séquences étaient répétées trois fois, ce qui donnait un total de 45 séquences pour ce bloc. Afin d'éviter un biais lié à l'ordre de passage, la diffusion des séquences s'est faite de manière randomisée. Au début de chaque séquence, une seconde de préparation était donnée au participant avant que l'approche soit démarrée afin de marquer le début de chaque séquence. L'approche jusqu'au gardien était de 1-2 secondes depuis un des cinq différents angles, puis l'action se stoppait à une des trois distances du gardien et c'est à ce moment que le participant devait, dans une fenêtre de 4 secondes, choisir quelle cible il estimait être la plus accessible pour un but, c'est-à-dire la zone qui était la moins couverte / protégée par le gardien de but et ensuite appuyer sur le bouton du boîtier réponse correspondant à la cible choisie. Si le participant dépassait le temps imparti pour répondre, un texte s'affichait au-dessus du but : « Time out ! ». Dans ce cas, l'essai n'était pas comptabilisé et un essai randomisé de plus s'ajoutait aux essais restants pour atteindre le nombre total de séquences. Une fois la cible choisie et le bouton appuyé, la séquence suivante démarrait après 3 secondes (durée de la fenêtre de feedbacks dans le groupe d'apprentissage) sans qu'aucun feedback ne soit proposé. La capacité

cognitive à estimer visuellement la zone la « meilleure » en termes d'espace libre a été mesurée en utilisant un score allant de 0 à 1. Le score 1 a été obtenu lorsque la zone sélectionnée par le joueur correspondait à la zone la moins protégée du point de vue du puck. En pratique, nous avons créé cinq cônes de lancer de rayons, en partant de la position de tir du puck et en pointant vers les cibles. En d'autres termes, chaque cible était la base d'un cône de lancer de rayons. Chaque cône de lancer de rayons était composé de 121 rayons uniformément répartis dans le volume. Ce nombre de rayons est un compromis que nous avons fait entre la précision de la discrétisation et l'efficacité du calcul. Chaque rayon a ensuite été tracé de la position du puck à sa position dédiée dans une cible. Les rayons intersectant le maillage virtuel du gardien de but (c'est-à-dire sa forme) ont été « arrêtés » (voir figure 5). La cible recevant le nombre maximum de rayons a été élue le meilleur choix. En divisant le nombre de rayons reçus pour chaque zone circulaire par le nombre maximum, nous avons pu créer une valeur de score normalisée allant de 0 à 1. Les résultats étaient enregistrés automatiquement en temps réel dans un fichier texte selon le format JSON. Le score n'a jamais été donné aux participants durant l'expérience. A la fin du bloc, une pause de 3 min était octroyée afin de retirer le casque RV et se désaltérer si besoin. Durant ce laps de temps, les consignes pour le bloc suivant étaient expliquées au participant.



Figure 5. Rayons projetés du puck vers les cibles.

2.3.4 Apprentissage. Tous les participants ont réalisé le pré-test. Une fois celui-ci effectué, deux groupes étaient formés pour le deuxième bloc : le groupe contrôle et le groupe d'apprentissage. Ce dernier n'était pas totalement identique au pré-test pour éviter les biais

d'apprentissage. Le nombre d'angles d'approche s'élevaient à 6, comme ils étaient décalés de 10° (de 50° à -50°), mais les distances restaient les mêmes ce qui donnait un total de 18 séquences différentes, répétées également trois fois, pour un total de 54 passations. Une fois le choix de tir réalisé et à la fin de la fenêtre de réponse, deux feedbacks de 1.5 secondes chacun, soit 3 secondes au total, apparaissaient l'un après l'autre (voir figure 6). Le premier, le feedback CC (coloration de cibles) donnait une indication sur le degré de réussite du tir, soit une coloration des cibles dans différents teints de vert ou de rouge selon la qualité du choix effectué. Le vert pour les choix à des taux de réussites de plus de 50 % et le rouge pour des choix à des taux de réussite inférieur à 50 %. En outre, le meilleur choix sur les 5 possibles était mis en évidence sous forme de tube vert 3D qui ressortait du but. Ainsi, à l'aide de ce feedback, le participant savait explicitement, contrairement au pré-test, si son choix était le meilleur, bon ou mauvais. L'objectif de du feedback CC était de donner la possibilité au participant d'améliorer son taux de réussite par l'apprentissage de ses potentielles erreurs grâce aux retours visuels donnés. Le second, le feedback PV (Puck View) apparaissait directement après le premier. Il offrait une vue depuis l'angle de vue du puck, comme si une caméra était directement posée sur le puck. Le participant avait donc 1.5 secondes pour observer le but avec les cibles depuis ce point de vue au moment du tir. Ce feedback, placé après le feedback CC, permettait au participant de comprendre pourquoi son choix était bon ou mauvais. Effectivement, cet angle de vue offrait une autre perception des cibles et permettait de voir l'angle effectif du tir depuis le puck, qui n'est pas le même que celui des yeux. Ainsi le participant avait une vue directe depuis le puck sur les cibles et pouvait observer l'aire ou l'ouverture des cibles et plus particulièrement celle qu'il avait choisie. Une fois conscient de la qualité de son choix par le feedback CC, le participant pouvait alors comprendre, au travers du feedback PV, la raison de la qualité de son choix. Ce double feedback avait comme but d'améliorer le taux de réussite du participant par un apprentissage en développement ses capacités cognitives servant à la prise d'information et la prise de décision. Le groupe contrôle était quasiment identique au pré-test, le seul élément différent était le nombre de séquences. Toujours dans un but d'éviter le biais d'apprentissage, le groupe contrôle avait les mêmes conditions de passation que le groupe apprentissage, soit un total de 54 séquences. L'objectif du groupe contrôle, qui sert de références, est de tester l'effet de l'apprentissage en ne donnant aucun feedback aux participants du groupe.



Figure 6. Captures d'écran du logiciel après le choix d'une cible en phase d'apprentissage. A gauche, le feedback CC et à droite le feedback PV.

2.3.5 Post-test. Après les 3 minutes de pause accordées après le bloc d'apprentissage/contrôle, le participant entamait la dernière série de séquences, soit 45 comme le pré-test et dans les mêmes conditions, soit sans feedback. L'objectif du post-test, identique au pré-test, était de pouvoir comparer statistiquement les résultats spécifiquement comme les distances ou les angles d'approches et a été utilisé pour mesurer l'amélioration des performances évoquée par les feedbacks dans la phase d'apprentissage. Une fois ce dernier terminé, quelques retours sur l'expérience était demandés au participant, ses ressentis et la qualité de la représentation virtuelle de la situation de tir au but par rapport à une situation réelle. Une fois les éventuels retours donnés à l'expérimentateur, le participant était libre de quitter l'expérience définitivement. Par la suite, aucun test de rétention à plus long terme n'a été effectué lors de cette étude.

2.4 Analyse statistique des données

L'analyse des résultats se fera avec les deux groupes de cette étude, soit le groupe d'apprentissage dit « Full » avec la combinaison des deux types de feedback et le groupe contrôle, et à l'aide des résultats des groupes de l'étude de Sauthier (2020), un groupe dit « CC » avec uniquement le feedback de la coloration des cibles et un groupe dit « PV » uniquement avec le feedback de la vue du puck. Pour chaque groupe pris séparément, nous avons d'abord évalué si le feedback fourni lors de la session de formation avait entraîné une amélioration significative de la performance d'estimation (score de 0 à 1). Nous avons donc comparé le score moyen obtenu en pré-test avec le score moyen obtenu en post-test. Pour la comparaison de mesures répétées de deux moyennes, le test de rang signé de Wilcoxon a été utilisé et le d de Cohen a été calculé comme indicateur de la taille de l'effet. Lorsque le résultat du test de Wilcoxon

n'était pas significatif, nous avons en outre calculé le facteur de Bayes pour estimer la probabilité que l'hypothèse nulle soit vraie. Ensuite, pour chaque participant, nous avons calculé la différence entre le score obtenu lors du post-test et le score obtenu lors du pré-test. Nous avons ensuite comparé la progression moyenne entre les 4 groupes. Entre les groupes, des comparaisons de plus de deux moyennes ont été effectuées à l'aide du test de la somme des rangs de Kruskal-Wallis. Par la suite, des comparaisons multiples par paires des sommes moyennes des rangs ont également été effectuées à l'aide du test de Kruskal-Wallis. Pour écarter la possibilité que les différences observées en termes d'amélioration puissent résulter en partie de différences initiales entre les groupes (même si les participants ont été assignés aléatoirement aux différents groupes), les scores moyens mesurés lors du pré-test ont été comparés entre les 4 groupes. Le test de Kruskal-Wallis a été utilisé afin de réaliser ces comparaisons.

De plus, nous avons évalué si la performance d'estimation, c'est-à-dire le score, était liée à la différence entre la cible optimale du point de vue du puck et la même cible du point de vue d'un œil, c'est-à-dire la différence Eye-Puck. Dans la pratique, cette différence a été calculée en soustrayant la couverture des rayons projetés (0 % -100 %) de la cible optimale du point de vue du puck par la couverture des rayons projetés de la même cible du point de vue des yeux (0 % -100 %). La force de la relation entre la différence Eye-Puck et le score a été quantifiée à l'aide d'un coefficient de corrélation. Nous avons également ajusté un modèle linéaire aux données et calculé la qualité de l'ajustement en utilisant R-carré. Cela a été fait séparément pour les données collectées lors du pré-test et post-test.

3 Résultats

3.1 Amélioration pré-post

Les moyennes et l'écart-type du score obtenu en pré-test et post-test pour chaque groupe est représentée sur le tableau 1. Pour les trois groupes dans lesquels un feedback a été fourni, les performances d'estimation étaient significativement meilleures dans la session post que dans la pré-session ($p = 0.004$, $R = 0.85$ (fort) pour le groupe PV, $p = 0.004$, $R = 0.85$ (fort) pour le groupe CC, et $p = 0.002$, $R = 0.89$ (fort) pour le groupe Full). La figure 8 démontre les différences de score entre le pré-test et le post-test.

Tableau 1

Moyennes avec écarts-types des scores obtenus lors du post- et pré-test pour chaque groupe ainsi que la différence entre ces derniers

Groupe	Post	Pré	Diff
	$M \pm SD$	$M \pm SD$	$M \pm SD$
Coloration cibles ($n = 10$)	0.87 ± 0.05	0.70 ± 0.05	0.17 ± 0.09
Puck View ($n = 10$)	0.82 ± 0.11	0.70 ± 0.07	0.12 ± 0.07
Full ($n = 10$)	0.90 ± 0.06	0.69 ± 0.09	0.22 ± 0.04
Contrôle ($n = 10$)	0.76 ± 0.11	0.69 ± 0.11	0.07 ± 0.12

Note. Les valeurs représentent les moyennes et écarts-types du score obtenu (compris en 0 et 1) pour chaque groupe. « Post » signifie après la phase d'apprentissage et « Pré » avant celle-ci. « Diff » indique la différence entre les valeurs du post-test et du pré-test. $M \pm SD$ = valeur moyenne \pm écart-type. n = nombre de participants.

En revanche, il n'y avait pas de différence significative entre les sessions post et pré pour le groupe témoin, c'est-à-dire le groupe qui n'a reçu aucun retour d'information pendant la session de formation ($p = 0.188$, $R = 0.44$ (moyen)). Pour ce groupe, le facteur de Bayes calculé était de 0.98:1.

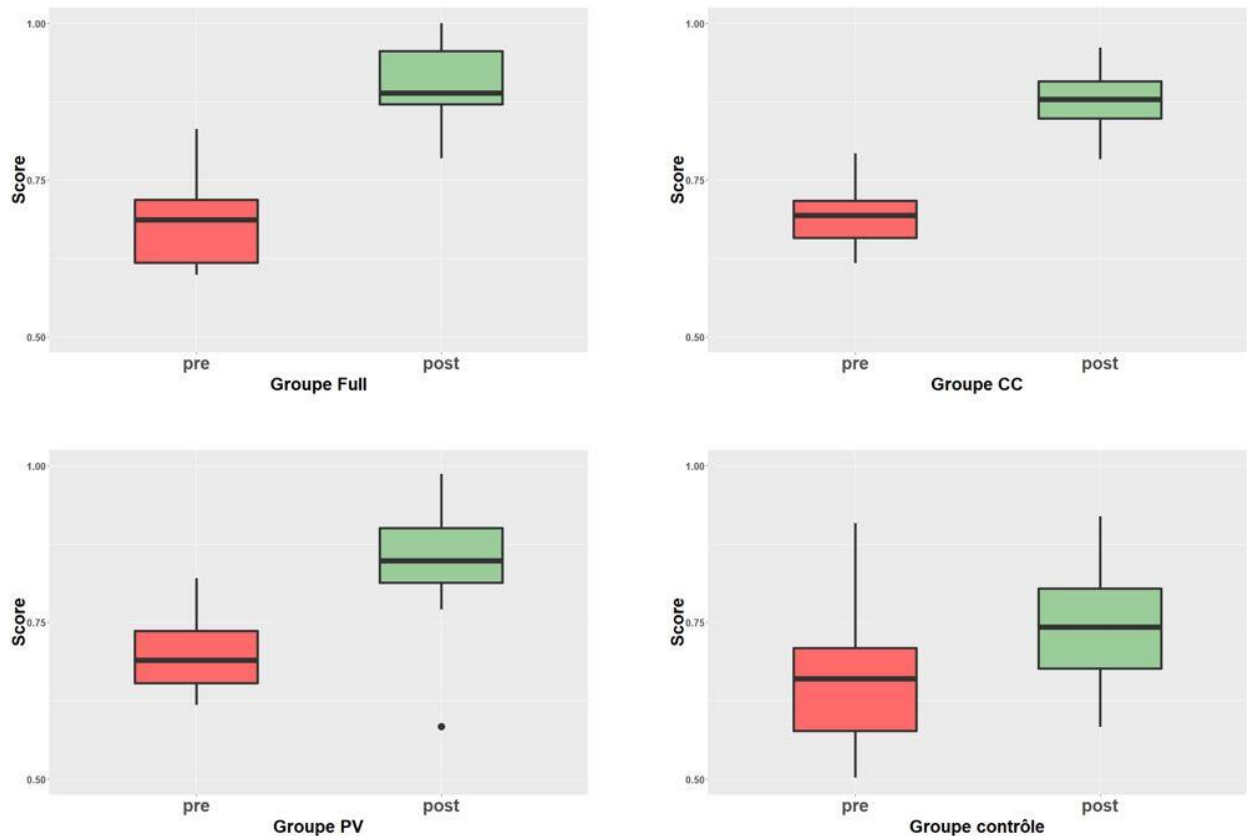


Figure 8. Boxplot représentant les moyennes pré et post test pour chaque groupe.

3.2 Progression moyenne

Afin de de comparer la potentielle progression des joueurs entre le pré-test et le post-test, la différence entre le score du post-test et du pré-test a été calculée pour chaque participant dans les 4 différents groupes. Le tableau 1 contient également la moyenne et l'écart-type pour chaque groupe de cette différence.

Nous avons ensuite comparé l'amélioration moyenne entre les groupes. Le test de la somme des rangs de Kruskal-Wallis a indiqué une différence significative entre les groupes ($\chi^2(3) = 10.33$, $p = 0.016$, Epsilon carré = 0.27, soit un effet important). La meilleure progression significative a été observée dans la comparaison du groupe Full avec le groupe contrôle. Aucune des autres comparaisons appariées n'a obtenu une signification même si, comme le montre la figure 9, les scores d'amélioration pour les groupes CC et PV étaient plus grands que pour le groupe témoin.

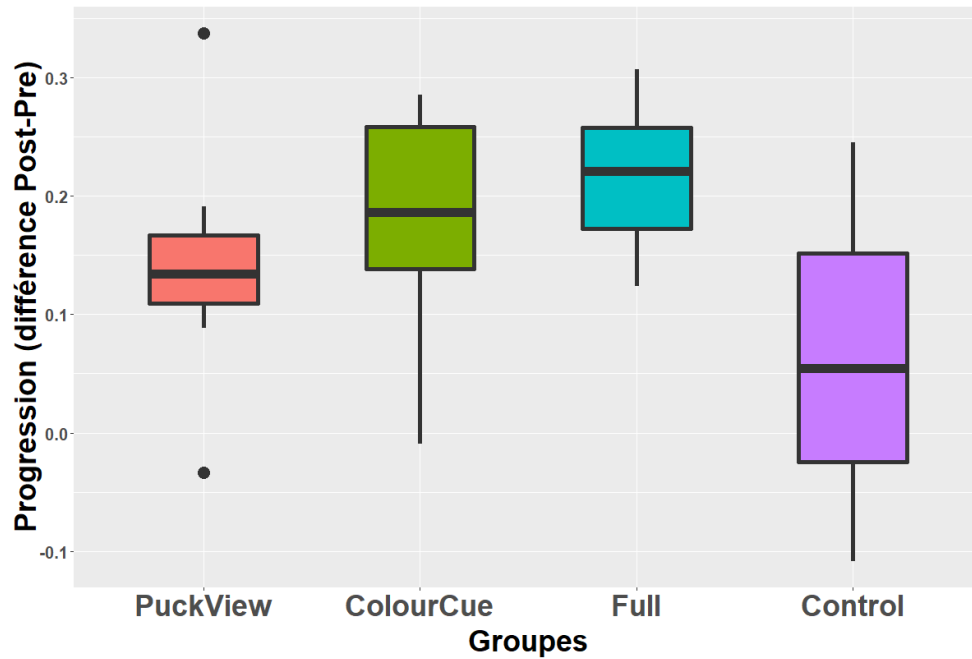


Figure 9. Boxplot représentant les moyennes de progression de chacune des 4 groupes d'apprentissage.

3.3 Différence pré-test

Afin de légitimer les progressions observées, un test de Kruskal-Wallis a été réalisé en comparant les scores moyens du pré-test de chaque groupe. Il a indiqué qu'il n'y avait aucune différence entre les groupes en ce qui concerne la performance de base ($\chi^2(3) = 1.78$, $p = 0.619$, Epsilon-carré = 0.05, soit un petit effet). La figure 10 montre la comparaison des scores moyen au pré-test pour chaque groupe.

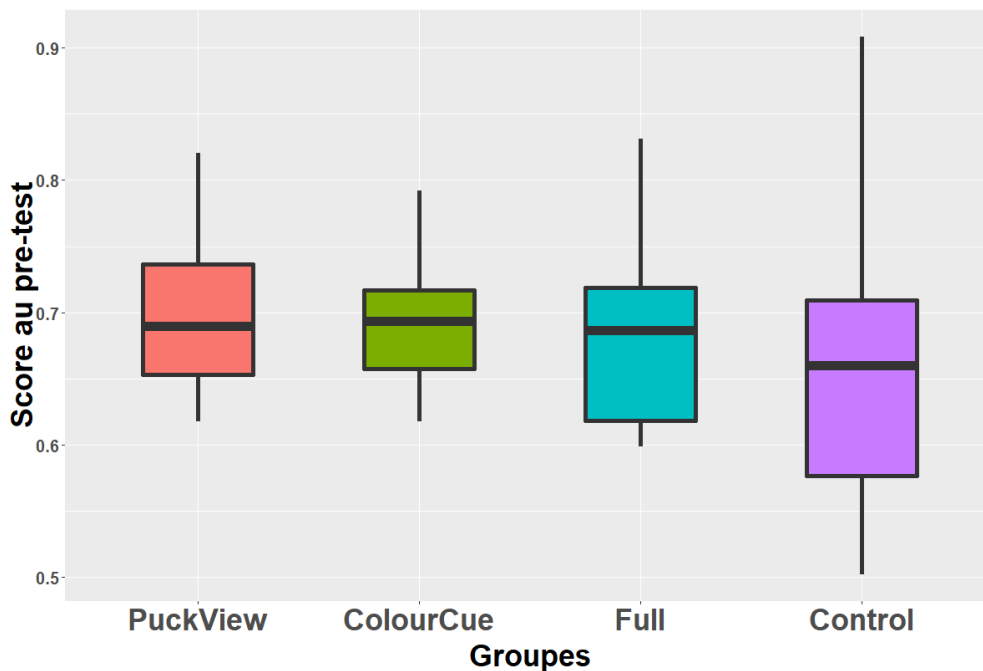


Figure 10. Boxplot représentant les moyennes des scores de chacune des 4 méthodes d'apprentissage au pré-test.

3.4 Différence Eye-Puck

Le coefficient de corrélation mesuré, c'est-à-dire le rho de Spearman, était de -0.26, ce qui indique une corrélation faible et négative entre les deux variables. Notez que nous avons utilisé le rho de Spearman plutôt que le R de Pearson car les résidus du modèle linéaire n'étaient pas normalement distribués. L'équation de la droite de régression représentée en rouge sur la figure 11 était : $Y = -0.22X + 0.80$, et la pente était significativement différente de 0 ($p < 0.001$). Le R-carré ajusté était de 0.072, indiquant que la différence Eye-Puck n'expliquait que 7 % de la variance du score. Pour ce qui est du post-test, le rho de Spearman mesuré était de 0.15, indiquant une faible corrélation positive entre les deux variables. L'équation de la droite de régression en vert sur la figure 11 était: $Y = 0.06X + 0.84$, et là encore, la pente était significativement différente de 0 ($p < 0.05$). Le R-carré ajusté était de 0.008, ce qui signifie que la différence Eye-Puck expliquait < 1 % de la variance du score.

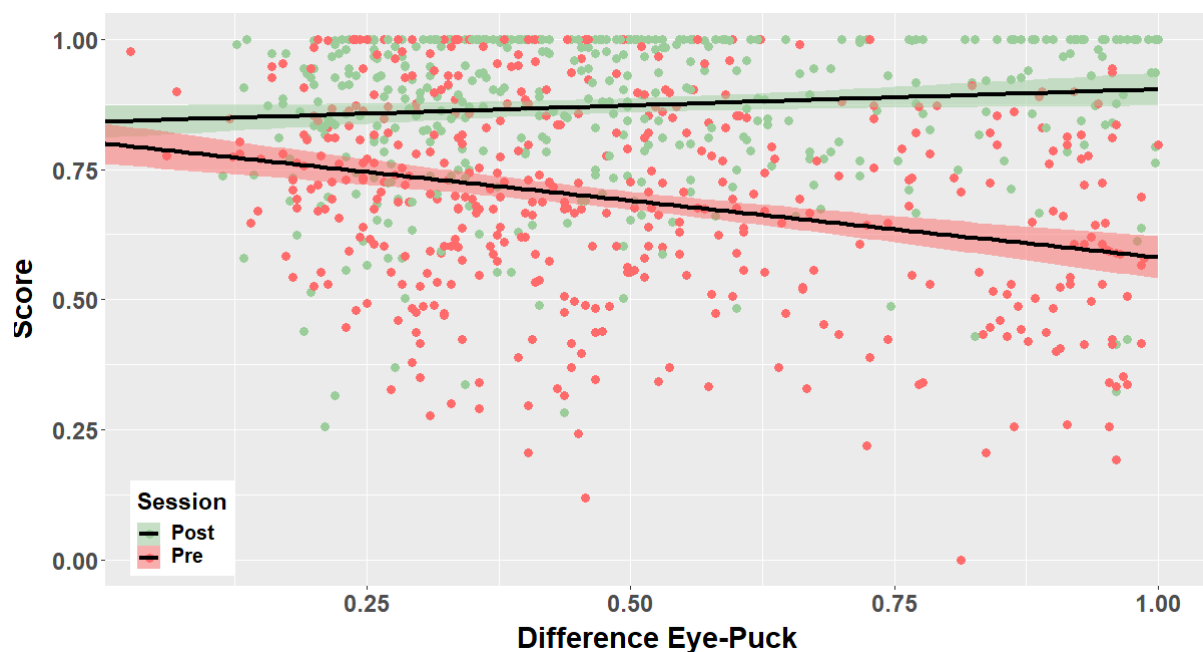


Figure 11. Droite de régression de la distance Eye-Puck et du score de chaque joueur en pré-test (rouge) et post-test (vert).

Les données recueillies dans le groupe contrôle n'ont pas été incluses dans cette analyse car il n'y avait pas aucune différence significative entre le pré-test et le post-test.

Une comparaison visuelle des deux graphiques et des valeurs de pente mesurées avec les deux modèles linéaires suggère que l'effet de la différence Eye-Puck sur le score n'est pas le même pour le post-test et pré-test. Plus précisément, lors du pré-test, des différences Eye-Puck plus élevées ont tendance à entraîner des scores inférieurs (points rouges). Cette tendance «disparaît» au post-test (points verts). Nous avons évalué si les pentes des deux modèles linéaires

entre le pré-test et le post-test étaient effectivement différentes en ajustant un modèle linéaire avec un terme d'interaction, à savoir entre la différence Eye-Puck et le pré-/post-test. Le terme d'interaction a significativement affecté le score ($p < 0.001$), indiquant une différence significative entre les deux pentes.

4 Discussion

4.1 Objectifs principaux

Après analyse des résultats, plusieurs observations sont à relever. Dans un premier temps, les résultats sont comparés aux objectifs principaux de l'étude. Pour chaque différent groupe nous avons pu observer une différence, soit une amélioration, des scores au post-test en comparaison avec le pré-test. Cependant uniquement les 3 groupes avec un feedback avaient une amélioration significative. Le groupe contrôle, sans feedback, n'avait pas de différence significative. De ce fait, le facteur de Bayes a été calculé et son score indiquait une faible preuve en faveur de l'hypothèse nulle (H0). Du fait de sa preuve anecdotique en faveur de H0, le groupe contrôle invite à penser que les améliorations observées dans les 3 groupes de feedback étaient effectivement dues à la phase d'apprentissage entre le pré-test et le post-test. Ces résultats nous ont donc permis de réfuter H0.

Chaque groupe avec un type de feedback a acquis une amélioration dans le score post-test par rapport au pré-test : 17 % pour le groupe PV, 24 % pour le groupe CC et 32 % pour le groupe Full. Ces différentes améliorations ont montré une progression considérable et ont permis, avec l'absence de différence significative pour le groupe contrôle, de confirmer l'hypothèse H1.

La comparaison des scores pour chaque groupe au pré-test n'avait indiqué aucune différence significative entre les sujets des 4 groupes. La recherche de l'homogénéité entre les différents groupes permet d'éviter des biais qui influenceraient les résultats. Dans notre cas, les participants de tous les groupes sont partis avec des conditions similaires et n'avaient pas de différences dès le départ qui auraient probablement montré des résultats différents au pré-test avec des performances de bases non égales.

Après avoir comparé la progression des 4 groupes, ces derniers étaient significativement différents. Seulement, selon les comparaisons appareillées, seule la paire Full vs contrôle était ressortie comme amélioration significative. En d'autres termes, la phase d'apprentissage avec le feedback CC combiné au feedback PV a permis l'amélioration la plus marquée et significative comparé aux autres méthodes de feedback, soit le feedback CC seul et le feedback PV seul. Ce qui nous a permis, du fait que l'apprentissage Full était le seul groupe comparé au groupe contrôle avec une amélioration significative, de confirmer l'hypothèse H2 de notre étude.

4.2 Liens avec la littérature

Le fait que les 3 groupes contenant un type de feedback aient eu une amélioration significative montre bien que les compétences perceptuelles et cognitives peuvent dans un premier temps être entraînées et deuxièmement qu'elles tendent vers une acquisition de meilleures performances propre à la situation mise en place. L'échantillon de participants ne comprenait que des joueurs d'un niveau élite. Cette amélioration significative pourrait alors également s'expliquer par leur niveau de jeu. En effet, comme relevé dans la littérature scientifique, il a été démontré que les joueurs experts développent mieux leurs compétences cognitives que des novices. Plus précisément, ils reconnaissent plus vite des situations de jeux déjà rencontrées auparavant, soit le principe même de la méthodologie de notre étude. Il aurait été donc intéressant de comparer le taux de progression avec des participants d'un niveau débutant pour confirmer cette différence d'apprentissage propre au niveau du sport réalisé.

Plusieurs études relevées dans ce travail ont déjà démontré le caractère transférable des performances acquises en laboratoire, comme notre étude, sur le terrain. De ce fait, il est très probable qu'en introduisant un entraînement de ce type, soit des compétences perceptivo-cognitives, dans le programme hebdomadaire d'équipe expertes de hockey sur glace, une amélioration des scores au tir au but soit observée. Comme le précisent Bideau et al. (2009) dans leur étude, il est important de créer une situation avec une action et une perception réaliste afin que les participants puissent correctement s'immerger dans la RV. La situation virtuelle proposée aux participants dans notre étude était donc, au vu des résultats, suffisante pour créer un apprentissage cognitif. Nous avons pu également confirmer l'utilisation de la RV au travers d'un casque RV comme outil d'apprentissage de type cognitif. Les différents avantages de la RV comme le caractère de reproductibilité entre les différents essais sans une baisse de la qualité du stimulus (Tarr & Warren, 2002), ont certainement permis cette progression. Comme les joueurs avaient à chaque essai un retour sur la qualité de leur tir, par un feedback visuel, un feedback d'angle de vue ou une combinaison des deux, ils ont certainement pu ajuster leur prochain tir en fonction de la qualité de leur choix au tir précédent. C'était le but de cette méthodologie afin d'observer un apprentissage de type cognitif.

Le groupe contrôle n'a quant à lui pas montré de différence significative entre le pré-test et le post-test. Cela légitime également l'impact et la nécessité des différents types de feedback pour observer une amélioration du score et donc un apprentissage cognitif. La très légère et non significative différence du groupe contrôle pourrait s'expliquer par des mauvais premiers tirs au pré-test du fait que les participants devaient se familiariser avec le logiciel et la RV.

En outre, les résultats de progression significative des 3 groupes feedback montrent que les feedbacks choisis ont été déterminants. Cependant, le groupe PV avait le moins haut taux de progression. Plusieurs raisons peuvent expliquer ceci. Tout d'abord, le groupe PV n'avait pas les cibles colorées au moment du feedback avec l'angle de vue au niveau du puck. C'est-à-dire que les participants avaient une information sur le point de vue du puck mais ça ne leur donnait pas d'information si leur tir était bon ou pas. C'était à eux d'estimer quelles cibles, depuis ce point de vue, étaient les meilleures et ensuite observer si leur choix correspondait aux cibles les plus exposées au tir. Cette méthode demandait donc plus de travail cognitif mais sans avoir une garantie que la cible choisie par le participant, depuis le point de vue du puck, soit effectivement le meilleur choix possible. Ce n'était pas le cas pour les participants du groupe CC. Ils n'avaient pas accès à la vue depuis le puck mais ont progressé dans leur score par apprentissage des meilleurs choix selon les situations et ont adapté leurs tirs selon l'angle d'approche, en ayant les informations des bonnes cibles aux tirs précédents. Ces informations, sous forme de colorations des cibles et de mise en évidence du meilleur choix sous forme 3D, ont probablement été plus concrètes et les participants ont su en profiter davantage. Ensuite venait le groupe Full avec la plus grande progression. Ce groupe disposait d'une combinaison des deux précédents feedbacks, soit CC et PV. Cependant, il faut rappeler qu'au lieu de 3 secondes complètes de feedback, les participants de ce groupe avaient deux fois 1.5 secondes par type de feedback. Il était important de respecter ce temps pour comparer les résultats avec ceux des autres groupes. Ici, la question était de savoir si, malgré un double feedback de deux différents types, les 1.5 secondes allaient suffire pour que le participant puisse analyser chaque feedback et adapter son tir lors de l'essai suivant. Selon les résultats et les retours des participants à la fin de l'expérience, le temps mis à disposition était suffisant et a permis un apprentissage. Effectivement, le groupe Full a été le feedback le plus impactant dans l'amélioration du score au post-test comparé au pré-test. L'avantage d'avoir les deux feedbacks était que non seulement les participants savaient quel était le meilleur choix durant les 1.5 premières secondes mais également durant 1.5 secondes suivantes, soit pendant la vue depuis le puck. Ce n'était pas le cas du groupe PV, qui avait accès à la vue du puck mais sans savoir clairement quel était le meilleur choix. Selon les retours des participants, cette combinaison de feedbacks, présentés dans cet ordre, leur a permis de savoir dans un premier temps quel était le meilleur choix, par la coloration des cibles, puis de comprendre pourquoi, grâce à la vue depuis puck. Il était alors probablement plus facile, par ce biais, d'acquiescer un effet d'apprentissage.

Afin de chercher des explications concernant la perspective particulière dans les sports de raquette comme le hockey sur glace, nous nous sommes intéressés à la différence entre la cible

optimale du point de vue du puck et la même cible du point de vue d'un œil et son influence sur le score obtenu. La différence Eye-Puck n'expliquait que 7 % respectivement < 1 % de la variance du score au pré-test et post-test. Ces valeurs sont faibles et leur significativité vient du grand nombre de données. En outre, ces résultats montrent que l'erreur au niveau du score n'est que faiblement attribuable à la différence Eye-Puck et donc qu'il est utile de s'entraîner avec différents angles. Cela confirme que l'apprentissage a été utile et notamment à progresser là où les joueurs étaient plus faibles.

En résumé, les différentes constatations précitées mènent à penser qu'il existe un potentiel d'amélioration des capacités cognitives, c'est-à-dire la prise de décision et d'information au niveau de la perception, pour les sportifs pratiquant une discipline impliquant un biais de perspective. Les propriétés de la RV ont permis de mettre en place un tel type d'apprentissage et d'observer des résultats encourageants. Notre étude a permis de sélectionner le meilleur feedback possible, soit la combinaison de la coloration des cibles et de la vue du puck, afin d'offrir le meilleur apprentissage possible, qui s'est vu dans les résultats du post-test. Il serait donc intéressant, d'exploiter plus sérieusement et régulièrement cet outil qu'est la RV dans le sport afin de développer l'apprentissage cognitif qui est un domaine avec beaucoup de potentiels de progression comme le suggèrent les résultats de notre étude.

4.3 Limitations de l'étude

Malgré le caractère réaliste de la situation virtuelle mise en place dans notre étude, plusieurs points ont été remis en question en ce qui concerne le réalisme des passations. Dans un but de réduction de potentiels biais, la situation proposée aux participants était très simple. C'est-à-dire qu'en réalité, beaucoup plus de facteurs sont pris en compte dans la décision du joueur au moment du tir. Notamment la possibilité d'effectuer un drible ou geste technique au moment du face à face avec le gardien et de ne pas s'avancer en ligne toute droite avec uniquement un tir du poignet comme c'était le cas dans notre étude. Cette contrainte a demandé aux participants de s'adapter à la situation proposée et ne pas bouger comme ils le souhaitent ou le feraient en situation réelle.

Une autre limite observée dans notre étude était l'échantillon sélectionné. Seuls des joueurs maniant la canne sur leur côté gauche ont participé à l'étude. Pour de prochaines études, il serait intéressant d'alterner avec des joueurs/gardiens droitiers. Cette limite ne remet pas en cause la validité des résultats étant donné que la méthode suivait une ligne de conduite identique pour tous les participants. Cette méthodologie, qui avait pour objectif de développer l'apprentissage cognitif dans la prise de décision, contenait tout de même une limitation : l'enregistrement du

temps de réaction. Effectivement, afin d'éviter une contrainte temporelle durant les passations et pour que les participants puissent faire le meilleur choix possible, nous avons décidé de ne pas mesurer le temps de réponse pour la prise de décision et avons déterminé une fenêtre de réponse maximum. Cette décision a potentiellement influencé les résultats obtenus. De futures recherches pourraient cependant mettre en corrélation le temps de réaction et les scores obtenus dans des tests similaires.

4.4 Améliorations potentielles de l'étude

Dans notre étude, les joueurs venaient le temps des passations et leur participation était ensuite terminée. Or, il aurait été intéressant d'implémenter un test supplémentaire de rétention. C'est-à-dire un test similaire au pré- et post-test mais plusieurs mois après les passations initiales. L'objectif d'un tel test est d'observer la durée d'assimilation de l'apprentissage acquis au post-test. Il aurait permis de redéfinir quel groupe serait le plus efficace pour ce type d'apprentissage sur le long terme. Seulement, pour des questions de délais, ce test n'a pas pu être ajouté à notre étude.

Grâce aux retours des participants après leur passation, plusieurs remarques concernant le gardien ont été relevées, notamment concernant ses mensurations, sa position et son inaction durant le tir au but. La remarque qui a été la plus relevée concernait la taille et la position du gardien. Il était effectivement très grand et positionné haut dans le but. Or, en situation réelle, selon les participants, le gardien est beaucoup plus sur ses appuis, dit « en papillon » et bas dans le but. Les joueurs ont expliqué qu'en situation réelle, il est très difficile de prendre des tirs entre les jambes du gardien par sa position qui ferme les angles à ras le sol. De plus, dans notre situation, les bonnes cibles se trouvaient souvent en bas à droite, gauche ou entre les jambes. Les participants qui ont eu l'occasion d'avoir un retour sur la qualité des cibles proposées, soit par le feedback CC, ont également noté que normalement beaucoup de « bons » tirs sont en haut dans les lucarnes et que dans notre expérience les cibles du haut n'étaient quasiment jamais colorées en vert, indication d'une bonne cible. Cette remarque pourrait amener à se demander si certains participants n'ont pas développé une habitude à choisir plus souvent les cibles en bas par défaut, étant donné qu'elles étaient très souvent considérées comme bonnes. Pour de futures études s'appuyant sur une méthodologie similaire, il serait également intéressant que le gardien adopte plusieurs positions différentes et selon les angles de tir, notamment pour les angles d'approches dans les extrémités. De plus, les joueurs adaptent leurs tirs selon l'emplacement de la mitaine et du « biscuit » du gardien. Il pourrait être intéressant de varier les tirs avec des gardiens droitiers et gauchers afin que les participants s'adaptent encore plus en développant leur

prise de décision. D'autres variables intervenant dans la prise de décision d'un tir au but en situation réelle ont été relevées par certains participants, comme la couleur des jambières, leur habitude de tir, le regard du gardien etc. Ces différentes problématiques ont demandé aux joueurs de s'adapter sur les premiers tirs à une situation qui n'était pas parfaitement comme sur la glace, mais au vu du nombre de tirs et des résultats, elles n'ont probablement que faiblement impacté l'objectif premier de cette étude. Malgré une représentation pas suffisamment complète et écologique en termes de réalismes, au vu des résultats et de la littérature déjà relevée, il n'est pas forcément nécessaire d'avoir des situations parfaitement réalistes dans l'apprentissage en RV. Une mise en situation comme dans notre étude permet déjà d'observer des résultats encourageants mais demande de prendre en compte ces différentes problématiques, et si possible de les modifier, lors d'études futures.

Les compétences acquises au cours des passations, soit en laboratoire, n'ont pas été validées en situation réelle. Notre étude a pris la littérature actuelle comme référence en ce qui concerne la transférabilité des progrès de la situation virtuelle sur la glace. Il aurait été intéressant au niveau de la validité de l'apprentissage de recréer les situations virtuelles proposées dans notre étude dans une patinoire. Seulement, cette mise en situation aurait demandé beaucoup de moyens logistiques, pas disponibles pour notre étude. De plus, comme mentionné plus haut, le gardien restait fixé dans la même position et couvrait à chaque essai, selon l'angle d'approche, les mêmes angles. Situation impossible à reproduire en réalité, de même que les distances des tirs, variante très difficile à garder précise par le caractère dynamique du tir au but au hockey sur glace. Un système tel que l'OptiTrack permettrait de se rapprocher le plus possible de la réalité sans pour autant recréer une situation totalement réaliste. Ce système permet de recréer des mouvements complets 3D, à l'aide de caméras infrarouges et de marqueurs. L'avantage de ce système réside dans la liberté de mouvements et du choix de l'angle au moment du tir. Cependant, une mise en place d'un tel système demande une logistique et un budget élevés. Enfin, dans un but de transférer ces compétences cognitives améliorées en laboratoire sur le terrain, il est tout de même important que les situations proposées aux participants soient, de leur point de vue, réalistes et concrètes. Certains participants ont fait part de leur doute sur la transférabilité potentielle sur la glace de leurs compétences acquises au cours de l'expérience. Cependant ils ont souligné qu'avec des situations de tir au but plus travaillées notamment dans le positionnement du gardien, la couverture des angles de but, la position des cibles proposées, ils étaient enclins à essayer d'appliquer leur apprentissage sur la glace.

5 Conclusion

Dans le cadre de notre étude, l'apprentissage cognitif, sous forme de réalité virtuelle à l'aide d'un feedback visuel et/ou une perspective du puck, a permis d'améliorer la capacité de prise de décision par rapport au niveau du sujet avant l'expérience. Tous les groupes avec un type feedback ont observé une amélioration significative de leur score. De plus, l'absence de progression significative du groupe contrôle, a soutenu l'efficacité de l'apprentissage cognitif à l'aide de la réalité virtuelle. Nous avons également observé que le groupe avec la combinaison des deux feedbacks a obtenu la plus importante progression en comparaison avec le groupe contrôle, en plus d'être la seule significative. Enfin, ces observations impliquent qu'il existe bien un potentiel d'amélioration des capacités cognitives pour les sportifs pratiquant une discipline impliquant un biais de perspective. L'analyse de la différence Eye-Puck a également montré l'importance de s'entraîner sous différents angles pour noter une progression.

Il serait intéressant pour des travaux ultérieurs et les perspectives sur la recherche dans ce domaine d'implémenter quelques points d'étude pertinents comme un relevé du temps de réaction au moment de la prise de décision afin de vérifier l'efficacité de l'apprentissage en situation plus stressante, un test de rétention à long terme afin d'observer la longévité de la progression selon les différents groupes, un échantillon de joueurs avec la canne à droite pour comparer les angles d'approche ou encore un test dans des conditions réelles, c'est-à-dire dans une patinoire, pour établir une comparaison avec les résultats obtenus en situation virtuelle et déterminer une potentielle transférabilité des compétences acquises. Les résultats relevés dans notre étude sont exploitables et révélateurs, seulement nous avons remarqué que quelques points sont à améliorer notamment au niveau de la position du gardien. Il était primordial pour les participants d'être immergés dans une situation virtuelle convaincante. Dans le cas contraire, il leur était difficile de s'imaginer appliquer en situation réelle leur apprentissage acquis en laboratoire.

Soutenue par la littérature à ce sujet, notre étude démontre l'importance de la réalité virtuelle, nouvelle technologie, dans le domaine de l'apprentissage cognitif en sport, bien moins étudié que l'apprentissage moteur. La situation sanitaire particulière liée au COVID-19 qui a frappé la Suisse et le reste du monde a provoqué des arrêts complets des entraînements et compétition dans le milieu du sport pour contrer la pandémie. Ce temps « perdu » pour des hockeyeurs dans l'impossibilité d'aller sur glace pourrait être comblé par des exercices similaires à ceux proposés dans notre étude.

Bibliographie

- Bard, C., Fleury, M., & Goulet, C. (1994). Relationship between perceptual strategies and response adequacy in sport situations. *International Journal of Sport Psychology*.
- Berg, W. P., & Killian, S. M. (1995). Size of the visual field in collegiate fast-pitch softball players and nonathletes. *Perceptual and Motor Skills*, 81(3_suppl), 1307-1312.
- Bideau, B., Kulpa, R., Vignais, N., Brault, S., Multon, F., & Craig, C. (2009). Using virtual reality to analyze sports performance. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 30(2), 14-21.
- 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. doi: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. doi: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. *European Journal of Sport Science*, 15(4), 322-331. doi: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.
- Caramenti, M., Lafortuna, C. L., Mugellini, E., Abou Khaled, O., Bresciani, J.-P., & Dubois, A. (2019a). No evidence that frontal optical flow affects perceived locomotor speed and locomotor biomechanics when running on a treadmill. *Applied Sciences*, 9(21), 4589.
- Caramenti, M., Lafortuna, C. L., Mugellini, E., Abou Khaled, O., Bresciani, J.-P., & Dubois, A. (2019b). Regular physical activity modulates perceived visual speed when running in treadmill-mediated virtual environments. *PLoS One*, 14(6), e0219017.
- Causer, J., Janelle, C., Vickers, J., & Williams, A. M. (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). doi: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*. Paper presented at the 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.
- Correia, V., Araújo, D., Cummins, A., & Craig, C. M. (2012). Perceiving and Acting Upon Spaces in a VR Rugby Task: Expertise Effects in Affordance Detection and Task Achievement. *34*(3), 305. doi: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 Biomechanics*, *10*(1), 22-34. doi: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*(3), 9-35.
- 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. doi: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. (2011). *Visual Perception Training : Cutting Edge Psychophysics and 3 D Technology*.
- 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. doi: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. doi:10.1371/journal.pone.0082270
- Gimeno, E. C. (2005). Transfer of tactical knowledge from invasion games to floorball. *Journal of Human Movement Studies*, *49*, 193-213.
- Gray, R. (2017). Transfer of Training from Virtual to Real Baseball Batting. *Frontiers in psychology*, *8*(2183). doi:10.3389/fpsyg.2017.02183
- Hagemann, N., Strauss, B., & Cañal-Bruland, R. (2006). Training Perceptual Skill by Orienting Visual Attention. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, *28*, 143-158. doi:10.1123/jsep.28.2.143

- Helsen, W. F., & Starkes, J. L. (1999). A multidimensional approach to skilled perception and performance in sport. *Applied Cognitive Psychology: The Official Journal of the Society for Applied Research in Memory and Cognition*, 13(1), 1-27.
- Jackson, R. C., Warren, S., & Abernethy, B. (2006). Anticipation skill and susceptibility to deceptive movement. *Acta psychologica*, 123(3), 355-371.
- Kittel, A., Larkin, P., Elsworth, N., & Spittle, M. (2019). Using 360° virtual reality as a decision-making assessment tool in sport. *J Sci Med Sport*, 22(9), 1049-1053. doi:10.1016/j.jsams.2019.03.012
- Laby, D. M., Davidson, J. L., Rosenbaum, L. J., Strasser, C., Mellman, M. F., Rosenbaum, A. L., & Kirschen, D. G. (1996). The visual function of professional baseball players. *American journal of ophthalmology*, 122(4), 476-485.
- Le Naour, T., Hamon, L., & Bresciani, J.-P. (2019). Superimposing 3D Virtual Self+ Expert Modeling for Motor Learning: Application to the Throw in American Football. *Frontiers in ICT*, 6, 16.
- Le Naour, T., Hayoz, L., & Bresciani, J.-P. (2020). Human-Avatar Interaction in Virtual Environment to Assess and Train Sensorimotor Skills: Application to the Slap Shot in Hockey. *International Journal of Virtual Reality*, 20(2), 36-54.
- Le Naour, T., Ré, C., & Bresciani, J.-P. (2019). 3D feedback and observation for motor learning: Application to the roundoff movement in gymnastics. *Human Movement Science*, 66, 564-577.
- Lenzen, B., Theunissen, C., & Cloes, M. (2009). Situated analysis of team handball players' decisions: An exploratory study. *Journal of Teaching in Physical Education*, 28(1), 54-74.
- Ljach, V., Witkowski, Z., Gutnik, B., Samovarov, A., & Nash, D. (2012). Toward effective forecast of professionally important sensorimotor cognitive abilities of young soccer players. *Percept Mot Skills*, 114(2), 485-506. doi: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.
- Mann, D., Williams, A., Ward, P., & Janelle, C. (2007). Perceptual-Cognitive Expertise in Sport: A Meta-Analysis. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 29, 457-478. doi:10.1123/jsep.29.4.457
- Marteniuk, R. G. (1976). 7 - Cognitive Information Processes in Motor Short-Term Memory and Movement Production. In G. E. Stelmach (Ed.), *Motor Control* (pp. 175-186): Academic Press.

- McPherson, S. L. (1993). Knowledge representation and decision-making in sport. In *Advances in psychology* (Vol. 102, pp. 159-188): Elsevier.
- McPherson, S. L., & Vickers, J. N. (2004). Cognitive control in motor expertise. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 2(3), 274-300.
- Müller, S., Abernethy, B., & Farrow, D. (2006). How do world-class cricket batsmen anticipate a bowler's intention? *Quarterly journal of experimental psychology*, 59(12), 2162-2186.
- 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. doi:10.1080/1612197X.2012.672009
- 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.
- Overney, L. S., Blanke, O., & Herzog, M. H. (2008). Enhanced temporal but not attentional processing in expert tennis players. *PLoS One*, 3(6), e2380.
- 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. doi: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. *Frontiers in psychology*, 9(2315). doi:10.3389/fpsyg.2018.02315
- Patterson, R., Pierce, B., Bell, H. H., Andrews, D., & Winterbottom, M. (2009). Training Robust Decision Making in Immersive Environments. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 3(4), 331-361. doi:10.1518/155534309X12599553478836
- 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), 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. *Journal of Sports Sciences*, 33(6), 597-608. doi:10.1080/02640414.2014.951952
- Raab, M. (2005). An explicit investigation of implicit decision-making processes. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 3, 91-97. doi:10.1080/1612197X.2005.9671760

- Roca, A., Ford, P. R., McRobert, A. P., & Williams, A. M. (2011). Identifying the processes underpinning anticipation and decision-making in a dynamic time-constrained task. *Cognitive processing*, 12(3), 301-310.
- 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. doi:<https://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. 403-419). New York, NY, US: Cambridge University Press.
- Sauthier, Q. (2020). *Optimisation du choix de l'angle de tir au hockey sur glace par un apprentissage en réalité virtuelle*. Université de Fribourg.
- Schmidt, R. A., & Lee, T. D. (2005). *Motor control and learning: A behavioral emphasis, 4th ed.* Champaign, IL, US: Human Kinetics.
- Schomaker, J., Tesch, J., Bühlhoff, H. H., & Bresciani, J.-P. (2011). It is all me: the effect of viewpoint on visual-vestibular recalibration. *Experimental brain research*, 213(2-3), 245.
- Schul, K., & Memmert, D. (2017). Evaluating cognitive training system for football players. In: Zenodo.
- Smeeton, N. J., Ward, P., & Williams, A. M. (2004). Do pattern recognition skills transfer across sports? A preliminary analysis. *Journal of Sports Sciences*, 22(2), 205-213.
- Starkes, J. L. (1987). Skill in field hockey: The nature of the cognitive advantage. *Journal of sport and exercise psychology*, 9(2), 146-160.
- Starkes, J. L., & Ericsson, K. A. (2003). *Expert Performance in Sports: Advances in Research on Sport Expertise*: Human Kinetics.
- Tarr, M. J., & Warren, W. H. (2002). Virtual reality in behavioral neuroscience and beyond. *nature neuroscience*, 5(11), 1089-1092.
- 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. doi: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. *Hum Mov Sci*, 39, 12-26. doi: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. doi:10.1002/acp.1588
- Williams, A. M. (2000). Perceptual skill in soccer: implications for talent identification and development. *J Sports Sci, 18*(9), 737-750. doi:10.1080/02640410050120113
- Williams, A. M. (2009). Perceiving the intentions of others: how do skilled performers make anticipation judgments? *Progress in brain research, 174*, 73-83.
- Williams, A. M., Davids, K., Burwitz, L., & Williams, J. G. (1994). Visual search strategies in experienced and inexperienced soccer players. *Research quarterly for exercise and sport, 65*(2), 127-135.
- Williams, A. M., Davids, K., & Williams, J. G. P. (1999). *Visual perception and action in sports*. London: E. & F. N. Spon.
- 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. doi:https://doi.org/10.1016/j.humov.2005.06.002
- 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. doi:10.1002/acp.1710
- Williams, A. M., Huys, R., Cañal-Bruland, R., & Hagemann, N. (2009). The dynamical information underpinning anticipation skill. *Human Movement Science, 28*(3), 362-370.
- Williams, A. M., & Ward, P. (2003). Perceptual expertise: Development in sport. In: Human Kinetics Publishers.
- Williams, A. M., & Ward, P. (2007). Anticipation and decision making: Exploring new horizons.
- Williams, A. M., Ward, P., Knowles, J. M., & Smeeton, N. J. (2002). Anticipation skill in a real-world task: measurement, training, and transfer in tennis. *Journal of Experimental Psychology: Applied, 8*(4), 259.
- 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. doi:10.1080/10413200490518002

Annexe

Annexe 1. Fiche décrivant les conditions de participation et du protocole.

Apprentissage par la réalité virtuelle

Conditions et protocole de l'expérience :

L'expérience à laquelle vous allez participer va s'intéresser à l'utilité de la réalité virtuelle dans le cadre de situations particulières au hockey sur glace. L'utilisation d'un casque de réalité virtuelle sera requise. L'expérience se déroulera en 3 blocs pour un total d'environ 45 minutes. Un premier bloc sans préparation et avec un minimum de consigne vous sera imposé en guise de pré-test. Un second bloc avec consignes vous servira ensuite de phase d'entraînement. Puis, un troisième et dernier bloc (dans les mêmes conditions que le premier bloc) vous sera soumis comme post-test pour terminer l'expérience.

Aucune méthode invasive ne sera nécessaire durant la totalité de cette expérience. En participant à cette expérience, vous acceptez et attestez remplir les conditions suivantes :

- Vous êtes hockeyeur amateur, semi-professionnel ou professionnel, de sexe masculin.
- Vous avez un minimum de 3 ans d'expérience dans le hockey sur glace.
- Vous êtes utilisateurs de canne « Left » (gaucher).
- Vous ne souffrez d'aucune lésion, gêne physique ou psychologique pouvant nuire au bon déroulement de l'expérience.
- Vous n'êtes actuellement soumis à aucun traitement médical, ni consommateur de drogues ou autres substances psychotropes.
- La consommation d'alcool ou de tabac n'est pas un critère d'exclusion de l'étude, tant qu'elle reste modérée et contrôlée. Si l'expérimentateur estime que les résultats d'un participant peuvent être faussés pour cette raison, il se réserve le droit d'exclure le participant en question.
- Vous avez le droit, à tout moment, de quitter librement l'expérience.
- Les résultats de cette étude peuvent possiblement être publiés, mais toutes les données récoltées seront présentées de manière anonyme.

Par votre signature (au verso), vous déclarez avoir pris connaissance de toutes les conditions ci-dessus et attestez que vous les remplissez, sans exception. Dans le cas où un participant ne remplirait plus l'une voire plusieurs de ces conditions au cours de l'étude, l'expérimentateur se réserve le droit de l'exclure. Merci pour votre participation.

Annexe 2. Consignes reçues par les sujets pour les passations

Consignes

Pré-test :

Vous allez vous retrouver en situation virtuelle d'échappée, seul face au gardien. Derrière le gardien, à l'intérieur du but, 5 cibles vertes seront affichées en permanence, dans la même configuration que les boutons du boîtier-réponse. Vous vous verrez donc avancer en direction du gardien depuis différents angles et vous devrez sélectionner la cible qui représente le plus de chance de marquer, c'est -à-dire, la cible la moins couverte par le gardien.

N' imaginez pas faire de gestes techniques pour dribbler le gardien. C'est un simple tir, de l'endroit où vous vous situez, avec le puck sur votre côté fort (gauche, « forehand »). Le gardien reste positionné de la même manière du début à la fin d'une action, n'essayez pas d'anticiper un éventuel mouvement, ne choisissez pas un côté plutôt qu'un autre en vous disant : « les gardiens sont souvent moins habile de ce côté ». Imaginez simplement que ce gardien est parfaitement standard et qu'il n'aura pas plus de facilité ou plus de peine à effectuer un arrêt plutôt qu'un autre.

Cherchez simplement la cible la plus accessible pour votre tir.

Entraînement :

Même principe qu'au pré-test mais cette fois-ci, après chacun de vos tirs, vous aurez droit à 2 feedbacks de quelques secondes.

Tout d'abord, comme premier feedback, les cibles se coloreront en vert ou rouge selon la qualité du choix, les cibles de couleur verte représentant les meilleurs choix et de couleur rouge les moins bons. De plus, « le » meilleur choix possible sera en vert mais ressortira également sous la forme d'un tube en 3D.

Ensuite, comme deuxième feedback, vous obtiendrez un angle de vue comme si une caméra était placée directement sur le puck au moment de votre tir.

Vous pourrez ainsi estimer si votre choix de tir était le bon, ou s'il semblerait en avoir un meilleur afin de vous améliorer pour les tirs suivants.

Post-test :

Même principe que le pré-test : choisissez la meilleure cible au moment du tir. Aucun feedback ne vous sera accordé, appliquez au mieux ce que vous avez appris de la phase d'entraînement.

Annexe 3. Informations personnelles des sujets ainsi que leurs mesures.

Participant	Canne (G/D)	Main dominante (G/D)	Position (G/D/C/A)	Années d'expérience	Groupe d'entraînement	Mesure yeux (DY)	Mesure canne (DX)	Mesure puck (DZ)
1	G	D	A	12	Full	1.5	0.8	0.12
2	G	D	A	11	Full	1.45	0.82	-0.24
3	G	D	C	12	Contrôle	1.61	0.64	0.05
4	G	D	C	8	Contrôle	1.58	0.74	0.33
5	G	D	C	11	Full	1.48	0.43	-0.43
6	G	D	A	12	Contrôle	1.51	0.6	-0.11
7	G	D	A	8	Full	1.43	0.5	-0.1
8	G	D	A	9	Full	1.5	0.79	-0.16
9	G	D	A	11	Contrôle	1.5	0.79	-0.06
10	G	D	D	10	Full	1.51	0.65	-0.4
11	G	D	D	8	Full	1.58	0.78	-0.41
12	G	D	D	9	Contrôle	1.44	0.42	0.23
13	G	D	G	12	Contrôle	1.53	0.58	-0.07
14	G	D	D	12	Contrôle	1.56	0.71	0.07
15	G	D	A	12	Full	1.6	0.91	-0.18
16	G	D	D	7	Contrôle	1.61	0.99	-0.05
17	G	D	C	13	Full	1.47	0.7	-0.23
18	G	D	D	24	CC	1.62	0.77	-0.19
19	G	D	A	20	PV	1.52	0.75	-0.4
20	G	G	A	20	Contrôle	1.52	0.32	-0.66
21	G	D	A	20	Full	1.41	0.32	-0.83
22	G	D	D	17	CC	1.64	0.7	-0.3
23	G	D	A	24	PV	1.67	0.55	-0.33
24	G	D	A	22	Contrôle	1.71	0.62	0.16
25	G	D	G	12	PV	1.57	0.70	0.20
26	G	D	G	17	CC	1.59	0.80	0.03
27	G	D	D	22	PV	1.47	0.99	0.00
28	G	G	D	22	CC	1.61	0.78	-0.08
29	G	D	A	14	PV	1.47	0.91	-0.19
30	G	D	A	17	CC	1.62	0.94	-0.18
31	G	G	D	19	PV	1.51	0.85	-0.15
32	G	D	A	19	CC	1.40	0.68	-0.19
33	G	D	A	20	PV	1.40	0.83	-0.12
34	G	D	D	12	CC	1.46	0.59	-0.29
35	G	D	A	23	PV	1.60	0.83	0.00
36	G	D	A	14	CC	1.63	0.86	0.19
37	G	D	D	17	PV	1.64	0.85	-0.05
38	G	D	A	10	CC	1.44	0.87	-0.28
39	G	D	A	14	PV	1.49	0.82	-0.21
40	G	D	A	11	CC	1.56	0.85	0.35

Remerciements

Je tiens à adresser mes plus sincères remerciements au Prof. Jean-Pierre Bresciani pour m'avoir encadré tout au long de ce travail et qui m'a partagé ses précieux conseils. Sa permanente disponibilité m'a permis d'avancer sans arrêt dans mes recherches.

Je remercie également le Dr. Jean-Luc Bloechle qui a su me donner des explications et précisions concernant le logiciel utilisé et la méthode réalisée dans cette étude.

Un grand merci à tous les joueurs qui ont participé à cette étude. J'ai pu apprécier leur intérêt pour ce travail notamment pour leur retour sur l'expérience et leur implication sérieuse lors des passations. Je souhaite donc tout naturellement remercier Serge Volet, entraîneur des U-17 élite de Fribourg Gottéron qui a pu me mettre à disposition des joueurs et avec qui le contact a été excellent. C'est aussi un grand merci que j'adresse à Ludovic Hayoz qui m'a grandement facilité le recrutement des joueurs notamment auprès du HC Düdingen Bulls.

Enfin, je tiens à remercier Alex Segovia pour son travail de relecture.