

**Utilisation de la réalité virtuelle en hockey sur glace pour comparer la prise de décision « côté dominant vs non-dominant » lors de tirs aux buts chez des sujets inexpérimentés**

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

déposé par

**Andy Perroud**

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 / Conseillère  
Dr. Jean-Luc Bloechle

Fribourg, mai 2021

## Table des matières

Résumé .....	3
1 Introduction .....	4
1.1 Thématique de l'étude.....	4
1.2 La prise de décision .....	5
1.3 La réalité virtuelle.....	7
1.4 Le transfert cognitif d'habiletés dominantes et non dominantes .....	10
1.5 Etudes antérieures avec un programme identique .....	11
1.6 Objectifs de l'étude.....	12
2 Méthode .....	15
2.1 Description de l'échantillon .....	15
2.2 Matériel .....	15
2.3 Protocole et passations.....	18
2.4 Analyse statistique des données .....	22
3 Résultats .....	24
3.1 Comparaison des scores moyens .....	24
3.2 Différence Eye-Puck.....	26
3.3 Qualité de l'ajustement .....	27
3.4 Comparaison de la différence de score entre un groupe inexpérimenté et expert.....	27
4 Discussion .....	29
4.1 Mise en perspective des résultats avec les objectifs de l'étude.....	29
4.2 Liens avec la littérature .....	31
4.3 Limites .....	33
4.4 Améliorations / travaux futures .....	33
5 Conclusion .....	35
Bibliographie.....	36
Remerciements .....	44

## Résumé

L'étude présentée vient en complément à une série de publications effectuée sur le même thème. Ce thème principal, socle à de nombreux travaux, est la prise de décision lors d'une séance de tirs au but en hockey sur glace, grâce à la réalité virtuelle. Plus précisément, cette étude se porte sur la comparaison de performance de prise de décision entre le côté dominant et non-dominant chez des joueurs inexpérimentés. Cette recherche a pour but d'apporter un sujet quasiment inédit au monde des sciences, qui est le transfert de représentation de mouvement entre le côté préféré et faible d'un même sujet. Plus formellement, on voudrait savoir si détecter la cible idéale en fonction de l'angle d'attaque et de la position du gardien diffère entre les deux conditions. De plus, un questionnaire d'historique sportif vise à établir un lien avec les résultats obtenus.

22 sujets se sont portés volontaires pour nos tests. À travers deux phases de 54 tirs, ils ont indiqué au moyen d'un boîtier laquelle des 5 cibles présentées, selon eux, offraient la plus grande disponibilité, c'est-à-dire le moins d'interférences possibles entre le puck et celle-ci. Distribuée de manière égale, la moitié des participants commençaient du côté dominant, et l'autre du côté non-dominant, avant d'inverser pour la seconde phase.

Les scores récoltés, allant de 0 à 1 lors de chaque tir, a permis d'attribuer un score moyen à chaque participant pour chaque phase. La comparaison des ces résultats étant non significative, aucune prédiction de performance peut être faite en fonction du type de côté. Une différence Eye-Puck, offrait de la validité à l'expérience en confirmant que le sujet a réussi à s'immerger dans la situation demandée. Pour finir, la comparaison de la différence de score entre nos résultats et un échantillon d'experts (Sudan, 2021) a permis d'établir que l'expérience élevée du sujet n'offrait pas une meilleure possibilité de représentation d'un mouvement sur le côté non-dominant.

Suite à l'exposition des résultats, une discussion portant sur ceux-ci, mise en relation avec la littérature scientifique actuelle et les différents retours récoltés auprès des participants, a permis d'observer les résultats ainsi que les conditions de l'expérience avec un regard critique. Finalement, une ouverture quant aux recherches futures afin d'approfondir ce thème est présentée.

# 1 Introduction

## 1.1 Thématique de l'étude

La thématique de ce travail compare, chez des sujets inexpérimentés, la prise de décision en position dominante ou non-dominante dans une phase de tir au hockey grâce à la réalité virtuelle. Dans le monde de la technologie, la réalité virtuelle est en pleine expansion ces dernières décennies. Alors que la construction automobile, l'aviation, la médecine ou encore les industries chimique et physique servent à son développement et à son arrivée sur le marché (Burkhardt, 2003), ses bénéfices dans le domaine de la formation, des loisirs et de la santé sont d'ores et déjà reconnus (Tyndiuk et al., 2007). Par exemple, Gao, Lee, McDonough et Albers (2020) ont pu démontrer les bienfaits de la réalité virtuelle chez les personnes âgées sur des caractères physiques, cognitifs et psychologiques, prouvant ainsi son utilité dans la promotion de la santé et du bien-être dans cette catégorie de personnes. De nombreuses études ont également déjà été faites dans le monde de la formation, notamment à travers le sport (Bideau et al., 2010). Ses bienfaits dans la recherche de performance dans les sports d'équipe ont aussi été source de travaux (Faure, Limballe, Bideau, & Kulpa, 2020).

Toute performance sportive, que ça soit pour un expert ou un novice, demande des compétences clés telles que l'anticipation et la prise de décision. Celles-ci requièrent des aptitudes perceptivo-cognitives qui servent à détecter, identifier et traiter des informations issues de l'environnement (Broadbent, Causer, Williams, & Ford, 2015). La perception de l'information joue alors un rôle clé dans la prise de décision. Cette dernière aboutira à une réponse moteur appelée action.

Lors d'une tâche en réalité virtuelle où le but est de donner la prise de décision en sélectionnant une réponse plutôt qu'en exécutant réellement l'action, l'utilisateur doit se représenter le plus fidèlement possible l'action à réaliser afin d'en désigner la meilleure. Cette représentation est plus difficile dans un sport comme le hockey, étant donné que le puck est situé à la fois au sol et non à hauteur de vue, ainsi qu'à l'extrémité d'une canne et non d'un segment perçu par le sujet comme par exemple le bout de ses doigts au handball ou de ses pieds au football. Ajouté à cela, la représentation du mouvement à effectuer est entravée par le niveau de compétence (de Oliveira et al., 2009). À travers une déduction similaire, on peut penser également que cette représentation chez un même sujet est différente selon si on lui demande de l'imaginer avec son côté fort (dominant) ou faible (non-dominant).

La réalité virtuelle est utilisée dans cette étude pour comparer la prise de décision côté dominant ou non-dominant chez un même sujet. De tels résultats pourront ainsi permettre aux créateurs d'environnements virtuels de savoir si une personnalisation de ce type est nécessaire lors de l'élaboration d'outils de formation incluant la réalité virtuelle. En effet, alors que certaines études prônent les bienfaits de la personnalisation des avatars (Waltemate, Gall, Roth, Botsch, & Latoschik, 2018) ou de la différence de performance entre une tâche motrice dominante ou non dominante (Park, Choi, Jo, Lee, & Kim, 2020), aucune ne fait le lien entre une performance réalisée avec un avatar personnalisé sur le côté dominant ou non de l'utilisateur.

Les sections suivantes détaillent de manière plus scientifique et spécifique la prise de décision, la réalité virtuelle, et la représentation cognitive d'habiletés dominantes et non dominantes. De précédentes recherches sur ces différents thèmes ainsi que les études antérieures avec un programme identique au notre seront également abordées afin de légitimer l'intérêt de notre étude pour la personnalisation de l'avatar sur son côté dominant dans la recherche d'une performance sportive.

## **1.2 La prise de décision**

Comment un rugbyman choisit s'il va courir avec le ballon, faire une passe courte ou faire une passe longue (Correia, Araújo, Cummins, & Craig, 2012) ? Dans quelle direction partira le coup de mon adversaire au badminton (Hagemann, Strauss, & Cañal-Bruland, 2006) ? La prise de décision et l'anticipation demandent aux sportifs, qu'ils soient experts ou novices, des compétences perceptives et cognitives. L'aptitude perceptivo-cognitive consiste à la faculté d'intégrer des informations environnementales pour sélectionner une réponse (Broadbent, Causer, Williams, & Ford, 2015). Ces informations environnementales peuvent être divisées en : utilisation de repères posturaux, reconnaissance de formes et probabilités situationnelles (Roca & Williams, 2016). Par exemple, des défenseurs centraux au football font essentiellement référence à des repères posturaux lorsque l'action est lointaine, et des à reconnaissances de formes et probabilités situationnelles lorsqu'elle est proche (Williams, Ford, Eccles, & Ward, 2011). Ainsi, l'interaction de ces compétences de prise d'informations dépend de plusieurs facteurs : la tâche, la situation et le joueur. En effet, un sport collectif comme le football ou le hockey ne demandera pas les mêmes compétences de prise d'informations qu'un sport de renvoi comme le badminton ou le tennis de table. Comme cité en exemple, la position du joueur par rapport à l'action ou encore le score ou le temps restant influencent également les critères de prise d'informations. Enfin, l'état psychologique ou émotionnel du joueur a également son rôle à jouer (Williams, 2009).

Araújo et Hritovski (2006) se sont également intéressés à la prise de décision dans le sport mais en tant que dynamique écologique, c'est-à-dire les liens entre l'individu et l'environnement dans son entier, comprenant caractéristiques physiques des lieux et encore facteurs sociaux et culturels. Elle propose un regard différent des approches habituelles dites « systèmes fermés » qui envisagent une série d'options présente dans des modèles mentaux et neuronaux dans la recherche de performance. L'approche écologique soutient que le processus de prise de décision dépend de ses capacités de perception et d'action, considérant l'environnement comme une distribution d'énergie ambiante. L'action résulte de la contrainte de but, limitée par les contraintes physiques de l'individu. L'information est une forme d'énergie structurée et le comportement un système dynamique. La prise de décision est alors un processus fonctionnel et apparaissant où une option est prise pour atteindre un but. Cette option se trouve dans un paysage d'attracteurs dont la fin est de trouver le plus fort. Toutefois, les autres attracteurs maintiennent leur influence dans l'évolution du système, permettant le passage d'un attracteur à l'autre. Ajouté à cela, la contrainte de la tâche, en tant que caractéristique environnementale, modèle la prise de décision. Les exercices expérimentaux doivent donc assurer une énergie ambiante similaire à celle de la réalité. Trois différentes études sur les prises de décision sont présentées : celle dans une tâche continue, la catégorielle et la catégorielle dans une tâche continue. Dans une tâche continue de basket, l'attaquant a pour but d'atteindre le panier, mais est influencé par des interférences incarnées par le défenseur. La prise de décision catégorielle peut être représentée par une régate de voile qui modifie leurs manœuvres avant le départ en fonction de la direction du vent et de la ligne de départ. La dynamique de décisions catégorielles dans une tâche continue peut, elle, être imagée par une variété de frappes en boxe dans un sac. Quelques résultats ressortis sont que la prise de décision dans le monde du sport a la possibilité d'émerger en fonction de l'évolution immédiate de la tâche et des contraintes environnementales, par exemple lors de la présence d'un système dynamique de contrainte représenté par la présence d'un défenseur, ou qu'une sélection de prise de décision prend en compte les informations anthropométriques du sujet, comme pour le choix de frappes de boxe. La prise de décision est donc de nature émergente et dépend des interactions entre l'individu et les contraintes spécifiques de chaque situation de performance. Elle provient d'un cheminement d'interactions personnelles avec l'environnement orienté vers un objectif.

Dans un même ordre d'idée, Oliveira et al. (2009) caractérisent les liens bidirectionnels entre la prise de décision, la perception et l'action. Ils insistent ainsi sur l'absence d'une suite consécutive, à savoir : perception – prise de décision – action, mais d'une interaction continue et

dynamique entre ces éléments, soumis à la contrainte. Une prise de décision peut donc ne pas aboutir à l'action qu'elle a générée car une nouvelle perception, contrainte ou option d'action est venue interférer, nuire ou interrompre, soit la prise de décision initiale, soit son action elle-même. Ajouté à cela, l'apprentissage améliore les connexions du sujet, qui renforcera la qualité de ses prises de décision et de ses actions. Néanmoins, ces liens bidirectionnels sont soumis à plusieurs contraintes ou limites, soit les contraintes organisationnelles (caractéristiques de la personne : taille, poids, fatigue, satiété, anxiété), les contraintes de la tâche (équipement, règlement) ou les contraintes environnementales (lumière, température, présence de spectateurs, surface de jeu). Dans une étude où le sujet décrit les différentes options qu'il possède et sa décision en fonction de la visualisation d'une vidéo, il perd l'interaction entre la perception, la prise de décision, et l'action soumises aux différentes contraintes. Cela peut donc être une limite à la fiabilité de l'expérience.

### **1.3 La réalité virtuelle**

**1.3.1 Outil pour la prise de décision en sport.** De nombreuses études ont déjà été faites sur l'anticipation, la prise de décision ou les aptitudes perceptivo-cognitives dans de multiples sports comme le rugby (Jackson, Warren, & Abernethy, 2006), le football (Roca, Ford, McRobert, & Williams, 2011), la course (Caramenti et al., 2018) ou le volley (MacQuet, 2009). Des outils pouvant être utilisés à ces fins sont le rapport verbal, l'enregistrement des mouvements oculaires ou l'occlusion visuelle (Crognier & Féry, 2007 ; Mann, Williams, Ward, & Janelle, 2007). Etant donné que, dans une situation réelle, un athlète peut toujours observer la scène dans son intégralité, l'occlusion visuelle restreint la visualisation d'informations et peut donc nuire à la prise de décision (Mann et al., 2007). Un autre outil pour étudier les aptitudes perceptivo-cognitives, qui ne connaît pas de limitation quant à la visualisation d'informations est la réalité virtuelle.

**1.3.2 Caractéristiques.** Les avancées technologiques permettent actuellement la création d'environnements virtuels à des coûts abordables. Ajouté à cela, la réalité virtuelle permet le contrôle de certains facteurs de l'environnement comme la présence ou non d'adversaires ou de pression temporelle, la prise de données et un accès illimité à l'environnement, contrairement à une piste de ski réelle en été. Le niveau de difficulté d'un environnement peut aussi à tout instant être ajusté selon les aptitudes de l'utilisateur (Michalski et al., 2019). L'entraîneur

ou le chercheur peut ainsi contrôler les paramètres de positions et contraintes temporelles. S'il le souhaite, il peut également ajouter des feedbacks et influencer la quantité ou la qualité de ceux-ci (Faure, Limballe, Bideau, & Kulpa, 2020).

Burkhardt (2007) distingue quatre catégories de systèmes d'interaction : la capture de position et de mouvement, la présentation visuelle, le retour proprioceptifs et cutanés, ainsi que l'entrée et présentation sonore. Parmi ceux-là, les dispositifs de présentation visuelle feront l'objet de notre intérêt. Ces systèmes peuvent en temps quasiment réel réagir aux mouvements de l'observateur. De plus, des objets tridimensionnels réalistes possédant ombres et textures peuvent être insérés à l'environnement (Tarr & Warren, 2002). Un dispositif d'affichage permettant cela est le visiocasque. Il s'agit d'un casque muni d'un écran miniature devant chaque œil. Ce casque permet la stéréoscopie, c'est-à-dire la vue en 3D, et un point de vue adaptatif, soit un ajustement du point de vue en fonction des mouvements de l'utilisateur. Même des oscillations microscopiques de la tête ont la possibilité de fournir des informations de perception et de profondeur indispensables à certaines situations sportives (Faure et al., 2020). Les murs immersifs, comme des écrans géants, peuvent également être utilisés pour mettre en place un environnement virtuel (Tyndiuk et al., 2007).

La qualité de l'interaction entre l'utilisateur et un environnement virtuel est soumise à trois dimensions qui sont l'immersion, la présence et le réalisme. Toutefois, il est difficile de caractériser ces différentes notions. L'immersion est le niveau de contrôle des entrées sensorielles par le dispositif de réalité virtuelle. La présence peut être définie comme la qualité d'expérience perceptive et cognitive entre l'utilisateur et le monde virtuel. Elle est souvent associée à notre dernière notion, le réalisme. Celui-ci peut être compris comme le degré de fidélité de l'environnement (Burkhardt, 2003). Ainsi, la réalité virtuelle permet une meilleure immersion dans la situation par rapport à un visionnage 2D (Brault, Kulpa, Duliscouët, Marin, & Bideau, 2016), ce qui donnera lieu à une plus grande impression de présence, d'autonomie, et de compétence. Les sentiments de présence et d'autonomie se sont avérés être des indicateurs du plaisir, nécessaire à la motivation. En effet, ces résultats sont ressortis suite à une étude, dans laquelle les sujets ont effectué un exergame en condition de réalité virtuelle, puis ont répondu à un questionnaire prenant en compte le modèle PENS (Player Experience of Needs Satisfaction). Ils ont également suggéré que la conception de plates-formes d'exercice de réalité virtuelle devrait prendre en compte les compétences, attentes et intérêts des utilisateurs à travers une personnalisation (Ijaz, Ahmadpour, Wang, & Calvo, 2020).

L'impression de présence est également nécessaire à la réalisation d'une performance (Bideau



et al., 2010). Ce principe est confirmé par Vignais, Kulpa, Brault, Presse et Bideau (2015), qui ont comparé les performances de gardiens de handball avec des méthodes de clips vidéo ou de réalité virtuelle. L'analyse perceptivo-visuelle s'est montrée plus efficace dans un environnement de réalité virtuelle, qu'il s'agisse d'une tâche non couplée (uniquement traitement de l'information pour déterminer la direction d'un tir) ou couplée (perception-action où le gardien tente d'intercepter une balle virtuelle). Ainsi, la performance a été meilleure et le temps de réaction plus rapide grâce à la réalité virtuelle.

Il a également été démontré que la réalité virtuelle (360°) était une méthode fiable, valide et écologiquement valable pour analyser les performances perceptivo-cognitives (Kittel, Larkin, Elsworth, & Spittle, 2019). La validité écologique est définie à son origine à travers le fait que l'homme utilise des indices imparfaits pour en déduire des événements ou des aspects de celui-ci. En exemple, un sportif s'appuie sur des informations provenant de ses adversaires pour déclencher son propre mouvement. Cependant, ce terme a été détourné par certains scientifiques pour faire mention de conception représentative. Cette dernière requiert que le comportement visant à l'objectif de l'étude en laboratoire soit représentatif de celui trouvé dans un cadre naturel. La conception représentative est considérée comme indispensable pour l'analyse de résultats expérimentaux (Pinder, Davids, Renshaw, & Araújo, 2011). À ces fins, la fonctionnalité et la fidélité de l'action sont nécessaires à la conception d'un apprentissage par réalité virtuelle. Ainsi, la compétence perceptive entraînée, les stimuli d'entraînement et la réponse à l'action doivent se rapprocher un maximum de la réalité pour permettre le soutien de ces facteurs. Il a été démontré qu'il était possible de mettre toutes ces conditions en œuvre lors d'un entraînement de tennis en réalité virtuelle. En effet, un bon sentiment de présence et une fidélité d'action ont pu être prouvés (Le Noury, Buszard, Reid, & Farrow, 2021), ce qui laisse suggérer que pareils résultats peuvent être obtenus dans d'autres sports.

Différentes limites que l'on peut trouver à l'emploi de la réalité virtuelle avec un visiocasque, en plus du besoin d'immersion, de présence et de réalisme, sont le cybersickness (sentiment de désagrément ou malaise) ou le manque de feedbacks haptiques ou visuels. Il est toutefois difficile de savoir comment ces éléments interfèrent avec le processus de perception, d'action ou d'apprentissage (Faure et al., 2020).

**1.3.3 Le point de vue.** Dans une situation d'immersion, un point de vue égocentrique permet de mieux interagir avec la scène virtuelle (Brault et al., 2016), ce qui améliore la représentativité de la tâche. Par exemple, Schomaker, Tesch, Bühlhoff et Bresciani (2011) ont démontré

que, pour un exercice de recalibrage visuo-vestibulaire, la vue à la première personne (égocentrique) était préférable à une vue non naturelle du dessus. En effet, les sujets devaient pointer du doigt une bouteille pendant qu'un retour visuel manipulé donnait l'illusion d'une rotation moindre par rapport à une rotation passive réelle. La vue du dessus n'a pas eu de diminution significative de la variabilité des performances entre le pré et le post test contrairement à la vue égocentrique. Toutefois, Faure, Limballe, Bideau et Kulpa (2020) mentionnent que le point de vue préférable peut dépendre du niveau d'expertise des utilisateurs. Ainsi, un recours à un point de vue à la troisième personne pourrait être intéressant chez des débutants dans un objectif de formation. Alors qu'un point de vue à la première personne, offrant comme cité auparavant un plus grand sentiment de présence et donc de situation réelle, serait conseillé chez les experts.

**1.3.4 L'avatar.** Lorsque l'activité demandée dans l'environnement virtuel le nécessite, l'utilisateur a la possibilité de voir son incarnation dans le monde virtuel auquel il est confronté. Celle-ci est communément appelée avatar. L'acceptation et l'identification à son avatar peuvent avoir une influence psychophysique sur le joueur. Dans leurs recherches, Waltemate, Gall, Roth, Botsch et Latoschik (2018) ont comparé l'appropriation, la présence et la dominance à travers un avatar personnalisé ou non. Ils ont pu noter une augmentation significative de chacun de ces points grâce à l'utilisation d'un avatar personnalisé. L'individualisation a donc un effet sur le degré d'immersion des utilisateurs, qui augmente la perception de soi et l'identité.

#### **1.4 Le transfère cognitif d'habiletés dominantes et non dominantes**

Stöckel et Weigelt (2012) se sont intéressés aux effets d'un apprentissage de compétences de lancer. Ils ont comparé l'influence d'une pratique initiale de la main dominante ou non dominante chez des sujets droitiers. Dans une tâche de précision de lancer au basketball, les sujets ayant débuté par une pratique de la main non dominante ont développé une meilleure acquisition que le groupe commençant du côté dominant. À l'inverse, dans un tir au handball exigeant de la force, ce sont les participants qui ont débuté avec la main dominante qui ont obtenu les meilleurs scores. Ceci s'expliquerait par le fait que l'hémisphère gauche du cerveau est essentiellement responsable du contrôle temporel, séquentiel et dynamique du mouvement (donc sa trajectoire et sa force), alors que le droit, lui, s'occupe des configurations visuels et spatiaux (donc le contrôle de la position de la cible). Ainsi, il serait préférable de commencer

avec la main dominante pour des tâches de force, et la main non dominante pour des tâches de précision. Bien évidemment, ces résultats sont spécifiques à des sujets droitiers.

Park, Choi, Jo, Lee et Kim (2020) se sont eux intéressés aux caractéristiques de contrôle des mains dominantes et non dominantes. En comparant leurs mouvements transitoires sur une cible tournante dans un environnement de réalité virtuelle, ils ont suggéré que les mains dominantes et non dominantes possédaient un modèle interne identique, mais que la main dominante était plus expérimentée pour répondre aux commandes neurales. Toutefois, la question est de savoir si la représentation d'une tâche motrice diffère selon si on la visualise avec un mouvement dominant ou non dominant dans le sport.

Jones, Van Gemmert et Dalecki (2020) donnent une piste. Lors de tâches d'intégrations cognitivo-motrices avec différents découplages œil-main, ils ont constaté une différence de performance entre la main dominante et non dominante pour une tâche avec un seul niveau de découplage œil-main. En effet, lorsqu'il s'agissait de relier du doigt deux points sur un écran tactile en suivant le tracé du doigt qui agissait sur un autre écran, des erreurs de direction initiale et de longueur de mouvement ont été observées avec la main non dominante, suggérant une coordination et cognition amoindrie. Ce résultat est intéressant étant donné que bon nombre de pratiques sportives demandent un type de découplage plus ou moins similaire. On pourrait donc penser que lors d'un tir au hockey ou un coup-droit au tennis du côté non dominant, un sujet serait perturbé à la fois dans la représentation et dans l'exécution de son mouvement.

### **1.5 Etudes antérieures avec un programme identique**

Dans le cadre de cette étude, la prise de décision sera analysée grâce à un casque de réalité virtuelle au travers d'une vision égocentrique. Plus précisément, le choix de l'angle d'un tir au hockey sera l'objet de notre recherche. De précédents projets se sont penchés sur la progression de sujets grâce à des moyens de feedbacks (Sauthier, 2020 ; Devaud 2021). Sauthier (2020) et Devaud (2021) ont utilisé un programme d'immersion similaire à celui employé dans cette étude, la seule différence résidant dans l'emploi de feedbacks dans un but de progression entre un pré et un post test. Sauthier, avec des hockeyeurs d'une expérience d'au moins trois ans et évoluant en ligue nationale ou une des deux meilleures régionales en Suisse, a obtenu une progression significative grâce à deux types de feedbacks, séparés en deux groupes distincts. Le premier, appelé « puck view », permettait après chaque décision de tir d'obtenir une vue depuis la position du puck. Celle-ci permettait d'observer les ouvertures

du goal en fonction de l'emplacement du puck. Le second offrait un feedback explicite, puisqu'un jeu de couleur et de dimension des cibles montraient la qualité de la réponse ainsi que le meilleur choix. Devaud a travaillé avec des sujets d'une expérience d'au moins trois ans dans le hockey et considérés comme ayant un niveau « élite ». Il disposait également d'un troisième groupe qui possédait les deux feedbacks réunis. À nouveau, il a pu constater une progression significative dans chacun de ces groupes.

Suite à ces résultats encourageants, chacun s'est demandé si ces résultats étaient transférables sur le terrain. En effet, le but d'un entraînement en réalité virtuelle dans un quelconque sport est d'obtenir une augmentation de la performance dans le monde réel. Ce transfert de compétences a par exemple déjà été prouvé grâce au programme d'entraînement intelligym chez des footballeurs de moins de quatorze ou quinze ans. En effet, les joueurs entraînés avec ce programme ont amélioré leur performance de prise de décision de manière significative par rapport au groupe témoin (Schul & Memmert, 2017). Michalski et al (2019) ont également constaté des progrès quantitatifs (revers, coup-droit, coups alternés et service) et qualitatifs (hauteur de la balle, force, régularité, technique et coordination) chez cinquante-sept joueurs de tennis de table novices grâce à l'utilisation de la réalité virtuelle.

## **1.6 Objectifs de l'étude**

**1.6.1 Objectif principal.** Les chercheurs de l'université de Fribourg ont mis au point un entraînement de réalité virtuelle pour les joueurs de hockey. Ceux-ci sont soumis à un test cognitif de prise de décision. Le visiocasque a été considéré comme le plus adapté et pratique pour ce test. De plus, une vision égocentrique a été choisie pour augmenter le sentiment d'immersion et la visualisation de la perspective, indispensable au bon fonctionnement de l'analyse. En effet, les sujets doivent identifier la cible optimale présente dans le goal, c'est-à-dire celle qui est la moins couverte par le gardien lors d'une situation donnée. Aucune capacité motrice n'est requise pour cette exercice, il s'agit uniquement de déterminer la zone idéale pour adresser un tir du poignet. Comme annoncé en amont, la qualité de l'immersion du sujet dans un environnement virtuel joue un rôle important dans la performance qui sera réalisée. C'est d'ailleurs pour cela que des mesures sont prises sur les sujets pour que l'avatar possède des dimensions équivalentes au joueur.

Alors que de précédents travaux écrits sur ce sujet, comme décrits dans le chapitre antérieur, ont démontré une progression grâce à cet entraînement en réalité virtuelle lié à des feedbacks, une étude en cours n'a pas réussi à démontrer une différence de performance significative

chez des joueurs d'une équipe élite non professionnelle (U17 et U20) (Sudan, 2021). Cette étude se portait sur deux séances effectuées par le même sportif, mais une fois en « left-player » et une fois en « right-player ». Il aurait été attendu que le joueur représenté par un avatar jouant du même côté que celui-ci ait une performance plus élevée que lors de l'inversion du côté de la canne. En effet, le manque de similarité entre le sujet et l'avatar créerait un déséquilibre dans son immersion, et donc entraînerait une baisse de performance. Ajouté à cela, le sujet devrait faire un transfert de ses aptitudes acquises sur son côté dominant vers son côté non-dominant. Ce changement de latéralité et les difficultés de transfert qui vont avec devraient générer une baisse globale de la performance. Mon travail viendra donc en complément du travail en cours, mais avec un public cible différent, afin de confirmer le résultat obtenu par mon collègue, ou, à l'inverse, d'obtenir un résultat plus proche de notre hypothèse de base. Voici donc les questions auxquelles les résultats obtenus devraient pouvoir répondre :

- a) Lors d'un exercice de tir au but au hockey-sur-glace en réalité virtuelle, quelle performance globale obtient un sujet à expérience minimale dans la pratique du hockey en tirant de son côté non-dominant, par rapport à son côté dominant ?
- b) La prise de décision, est-elle équivalente lors de tirs du côté dominant que du côté non-dominant pour un même sujet à expérience minimale dans la pratique du hockey ?
- c) Est-ce que certains sujets sont plus à même de se représenter leurs aptitudes en dominance latérale sur leur côté non-dominant ?
- d) Eventuellement, peut-on établir des critères de qualité de transfert de représentation ?

De manière à examiner scientifiquement ces questions, les hypothèses suivantes ont été formulées :

- H0 : La performance lors d'une prise de décision en réalité virtuelle est meilleure chez un sujet dont l'avatar joue du côté dominant par rapport à non dominant.
- H1 : La performance lors d'une prise de décision en réalité virtuelle est équivalente entre un avatar jouant du côté dominant ou non dominant chez un même sujet
- H2 : Les sujets ayant une expérience dans les sports d'équipe avec goal (foot, handball, etc.) ou les sports où la dominance joue un rôle prépondérant (badminton, tennis, baseball), possèdent une meilleure représentation d'une action sur le côté non-dominant.

**1.6.2 Objectif secondaire.** Le fait d'attribuer à l'avatar une dominance équivalente à celle de l'utilisateur fait référence à des critères de personnalisations. Ainsi, les résultats de cette étude pourraient venir en complément à la littérature actuelle qui semble appuyer que la personnalisation

sation de l'avatar permet une meilleure identification de l'utilisateur avec son personnage numérisé. Celle-ci entraîne une meilleure immersion et parallèlement une meilleure performance globale de l'utilisateur.

## **2 Méthode**

### **2.1 Description de l'échantillon**

Les participants à cette étude étaient âgés entre 16 et 34 ans (moyenne 25.5 ans). Ils ont déclaré avoir une expérience minimale dans le hockey ou l'unihockey. Aucune distinction de sexe ou de côté dominant n'a été faite. Ainsi, l'expérience comptait 15 hommes et 7 femmes pour un total de 22 participants. Parmi-eux, 7 (6 hommes et 1 femme) se considéraient comme droitiers, c'est-à-dire avec la palette de la canne à leur droite, et 15 gauchers (9 hommes et 6 femmes). Après avoir pris connaissance des conditions ainsi que du protocole de l'expérience (cf. annexe 1), ils ont rempli un questionnaire comprenant les informations personnelles utiles à notre étude, qui sont recueillies dans l'annexe 2 à la fin du travail. De par leur signature, ils ont indiqué leur consentement et qu'ils remplissaient les critères demandés. À tout instant, ils pouvaient quitter l'expérience.

### **2.2 Matériel**

Avant de débiter l'expérience en réalité virtuelle, plusieurs mesures devaient être faites afin que l'avatar représente les mêmes caractéristiques anthropométriques que le sujet. Il était donc demandé aux volontaires de se munir des bases de l'équipement de hockey, soit patins, gants, canne. Travaillant avec des sujets inexpérimentés, aucun d'eux ne possédait du matériel personnel. De ce fait, nous disposions de : deux paires de patins différentes (une de pointure 41 et une 44), une paire de gant et deux cannes (une gauchère et une droitère). Etant donné que la hauteur de la canne dépend de la taille du joueur (le bout de la canne doit arriver entre le menton et la bouche du joueur avec ses patins), un embout en bois pouvait être fixé, grâce à du ruban adhésif, à l'extrémité de chaque canne dans le but de la rallonger. Un puck était également utilisé comme point référence du tir du poignet. Afin de ne pas abimer le sol ou les lames des patins, un tapis de protection était installé sous chaque participant. Un fil à plomb et 3 double-mètres servaient à la prise des différentes mesures.

Lors de la récolte des données, un visiocasque Pimax 5K XR, muni de deux écrans QuadHD d'une résolution 2560x1440, était branché à un ordinateur pouvant supporter le logiciel ainsi que le casque (Asus Republic of gamers Strix) par le Displayport 1.4 et un port USB 3.0. Depuis le casque, trois systèmes de fermeture auto agrippante (scratch) permettaient de maintenir le casque sur la tête du participant, et de lui offrir une vue nette en immersion à 200°. Dès le programme lancé, l'utilisateur se retrouvait dans une situation de tir au but au hockey sur

glace. Une fois arrivé à une certaine distance du gardien, il devait choisir, entre cinq cibles circulaires de surfaces identiques, laquelle était la meilleure, c'est-à-dire la moins couverte par le gardien pour son puck. Ce choix se faisait grâce à un boîtier réponse équipé de cinq touches disposées de manière identique aux différentes cibles du goal (cf. figure 1 et 2). Ainsi, une simple pression du doigt suffisait à sélectionner la prise de décision. Ce boîtier devait être le plus intuitif possible pour pouvoir valider une réponse rapide et efficace, surtout que le participant n'avait pas la possibilité de voir ses mains, ni le boîtier en question durant l'expérience dû à l'immersion. Un port de branchement USB 3.0 était requis pour son fonctionnement.

Un logiciel, CopeLab 2020, permettait la création de l'environnement virtuel du joueur. Durant les deux phases du test, les conditions étaient identiques. D'un point de vue égocentrique, le participant, à une distance de 15 mètres du but, partait depuis un certain angle de la patinoire en direction du but. Le joueur se déplaçait en ligne droite entre son point de départ et le centre du but, « l'origine », à une vitesse de 10 m/s, soit 36 km/h. L'origine est un point de référence pour chaque position ou déplacement du joueur et du gardien, située sur la ligne de but à équidistance entre les deux poteaux du goal (cf. figure 1 et 2). Une fois arrivé à une des trois distances de l'origine variable selon la séquence (3.5, 4, 4.5m), le participant disposait d'une fenêtre de 3 secondes pour valider son choix. Entre le but et le joueur se dressait un gardien, en position toujours identique et gaucher, à 1 mètre de l'origine. Celui-ci était toujours orienté avec le même angle que celui d'attaque du joueur. Il se trouvait ainsi toujours perpendiculairement au tracé de l'attaquant. Il y avait 6 angles d'attaque différents. L'angle 0° correspondant à la droite passant par l'origine et découpant perpendiculairement la ligne de but. Ainsi, des offensives de 50°, 30°, 10°, -10°, -30°, -50° étaient disponibles (cf. figure 2). Chaque test comprenait une séance de 54 tirs au but, ou plutôt prises de décision. Ainsi, le logiciel permettait par randomisation d'effectuer trois tirs depuis chaque angle et chaque distance (6 angles, 3 distances, 3 fois chaque position).



*Figure 1.* À gauche, boîtier réponse équipé de cinq touches disposées de manière identique aux différentes cibles du goal. À droite, présence de « l'origine » (point jaune), c'est-à-dire le point de référence pour chaque position ou déplacement du joueur ou du gardien.



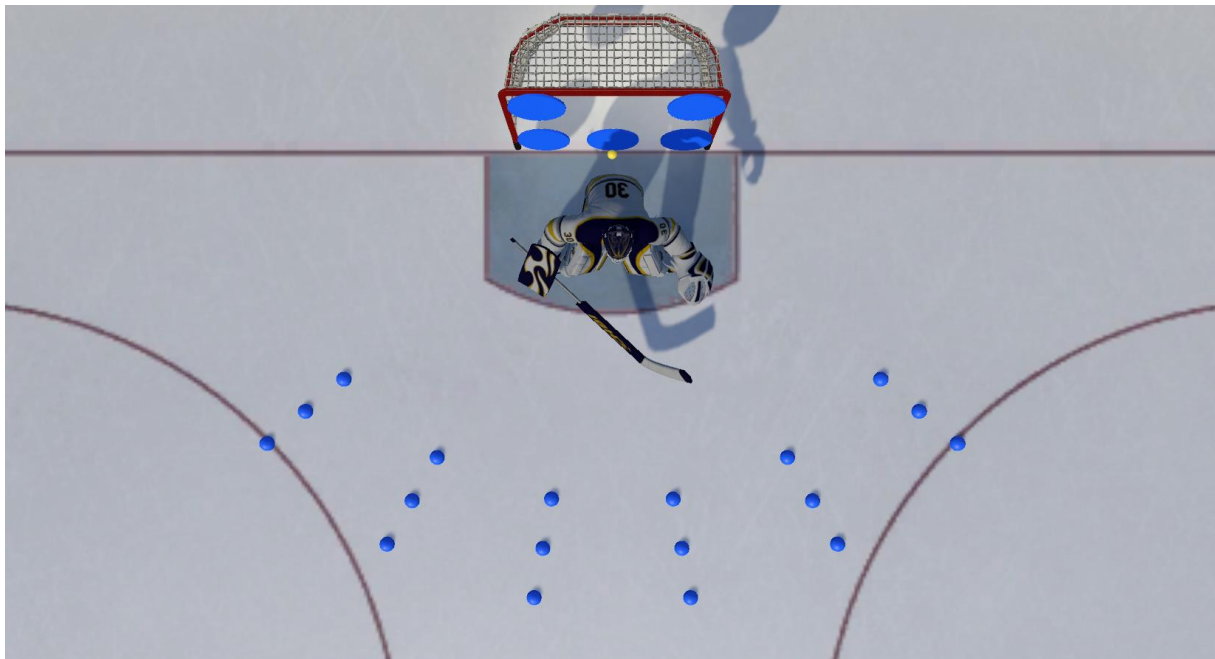


Figure 2. Représentation des 5 cibles (disques bleues) et de l'origine (point jaune) derrière le gardien, ainsi que des 3 distances à chacun des 6 angles d'attaque possibles devant celui-ci.

Pour obtenir une meilleure qualité d'immersion, nous avons, comme conseillé en introduction, personnalisé l'avatar. Ainsi, trois mesures, définissant un système d'axes à trois dimensions étaient entrées dans le logiciel afin que la taille du joueur ainsi que le positionnement de sa canne soient similaires à ceux qu'il aurait eu dans un monde réel. Celles-ci comprenaient :

- 1) la distance verticale du point situé entre les deux yeux du joueur jusqu'au sol en position de tir,
- 2) la distance parallèle au but imaginaire entre le point au sol du point 1 jusqu'à hauteur du centre du puck,
- 3) la distance à hauteur du centre du puck du point 2 et le réel centre du puck.

La nécessité d'inclure ces distances dans le logiciel s'explique du fait que chaque joueur possède une taille et une position idéale de tir du poignet uniques. Ainsi, deux personnes de même taille peuvent avoir un angle de vue totalement différent selon leur écartement des jambes, leur flexion des genoux, leur position du tronc, etc. De même, deux individus à angle de vue identique peuvent avoir des distances au puck (distances 2 et 3 dans notre situation) complètement divergentes selon la position de tir du joueur et la taille de la canne dépendante de celle du participant. La prise en compte de ces éléments était donc indispensable à la qualité de l'immersion du joueur, et donc potentiellement à sa performance. Pour la condition non-dominante, une inversion de la distance DX était utilisée (cf. figure 3), considérant que la position idéale du côté fort, serait la même du côté faible moins habitué à ce genre de situation.

Malgré un temps à disposition de trois secondes depuis l'arrêt du joueur au point de tir, aucune donnée n'était récoltée à ce sujet. Ceci s'explique du fait que seule la qualité de la prise de décision faisait l'objet de notre travail. Nous avons effectivement estimé que le temps de réaction moyen de chaque participant ne rentrerait pas en compte quant aux résultats globaux de la performance. Toutefois, le temps minimum de trois secondes était imposé pour éviter une trop grande réflexion, pouvant nuire à un traitement de l'information perceptivo-cognitive plus proche de la réalité. À noter que pour chaque dépassement de temps, le terme « Time out, Please try again » s'affichait dans le champ de vision du sujet et le tir n'était pas compté. C'est-à-dire que le sujet devait faire un 55<sup>ème</sup> tir à la fin de sa séance pour compenser la prise de décision sélectionnée hors temps.

Etant donnée les conditions sanitaires plus strictes avec la crise de la COVID-19 que nous vivions au moment de l'expérience, chaque participant avait l'obligation de se désinfecter les mains au commencement de l'expérience avec un gel hydroalcoolique, et le matériel était désinfecté directement après le passage du sujet avec du papier ménage humidifié à l'aide d'un spray désinfectant.

## **2.3 Protocole et passations**

**2.3.1 Design de l'étude.** L'étude en elle-même se composait de 2 phases. Aucun pré-test ou post-test n'était prévu vu que seule la performance « à vif » nous intéressait. Lors de la première phase, la moitié des participants (11) effectuaient les 54 tirs de la phase 1 depuis leur côté dominant, alors que les onze autres débutaient par leur côté non dominant. Suite à la première phase, quelques minutes étaient données au participant pour qu'il puisse enlever son casque et éventuellement s'hydrater pendant l'explication de la phase suivante. Lors de celle-ci, les participants qui avaient débuté par le côté dominant enchaînaient avec le non-dominant et vice-versa. Cette distribution dominante vs non-dominante a été faite manuellement pour avoir un nombre équivalent de chaque première phase entre les hommes et les femmes. De plus, lorsque deux sujets ou plus étaient présents dans la salle de test, ils ne commençaient pas par la même phase. Ajouté à cela l'écran était tourné de manière à ce que le suivant ne puisse pas percevoir comment se présentait le test, et potentiellement s'y préparer, ce qui aurait été un biais à notre expérience. Cette distribution avait également pour but de limiter les interférences. En effet, alors qu'un participant pouvait, au fil de l'exercice, s'habituer à l'exercice et s'y améliorer, un autre, dû à la longueur de la séance et à son caractère répétitif pouvait se lasser et diminuer sa performance. La distribution semblait alors un bon moyen de contrecar-

rer ces effets indésirables. Suite aux deux phases, une discussion sous forme de quelques feedbacks était demandée aux participant pour connaître leur ressenti, s'ils avaient eu l'impression de faire une meilleure performance d'un côté spécifique, de la qualité de l'exercice proposé ou tout autre élément jugé intéressant dans le cadre de notre recherche. Au final, l'expérience dans son entier prenait entre 35 et 45 minutes selon les participants.

**2.3.2 Consignes et mesures préalables.** Dès leur arrivée, les volontaires lisaient les conditions et protocole de l'expérience, puis complétaient les informations personnelles nécessaires à celle-ci. Une fois le document dûment rempli et signé, les sujets étaient invités à s'équiper de patins, gants et canne de hockey afin de procéder aux mesures anthropométriques (cf. annexe 2). Habillés, ils se mettaient debout et positionnaient leur main forte (celle du haut) sur leur canne tenue à la verticale, à une hauteur entre le menton et la bouche, comme plusieurs sites sportifs le suggèrent. Ensuite, il leur était demandé de se mettre dans la position, jugée par eux idéale, qu'ils auraient pour effectuer un tir du poignet, palette au sol. Dès lors, un puck était déposé contre leur palette et il était convié aux participants de maintenir un regard droit en direction d'un but imaginaire, puis de rester immobile le temps des mesures. À cet instant, 3 mesures ont été prises dans le but de définir un système d'axes tri dimensionnel : la distance DY, la distance verticale du point situé entre les deux yeux du joueur jusqu'au sol en position de tir ; la distance DX, parallèle au but imaginaire entre le point au sol de la distance DY jusqu'à hauteur du centre du puck ; la distance DZ à hauteur du centre du puck de la distance DX et le réel centre du puck (cf. figure 3). Quand toutes les mesures requises étaient inscrites sur la feuille d'informations personnelles, les sujets pouvaient ôter leur équipement et se remettre en tenue civile. Pendant ce temps, le nom des sujets ainsi que les mesures prises à l'instant étaient inscrits dans le logiciel. Les sujets prenaient ensuite place devant l'ordinateur. Après la lecture des consignes de la phase 1, correspondant à l'ordre de passage qui leur était attribué (cf. annexe 3 et 4), et à un complément oral de ce qui allait se passer, le visiocasque était mis en place et les fermetures auto agrippantes réglées. Le boîtier réponse était alors posé devant les sujets qui, guidés en cas de difficultés, se familiarisaient tactilement avec les différents boutons, la vue leur étant ôtée par le casque de réalité virtuelle. La phase 1 pouvait alors commencer.

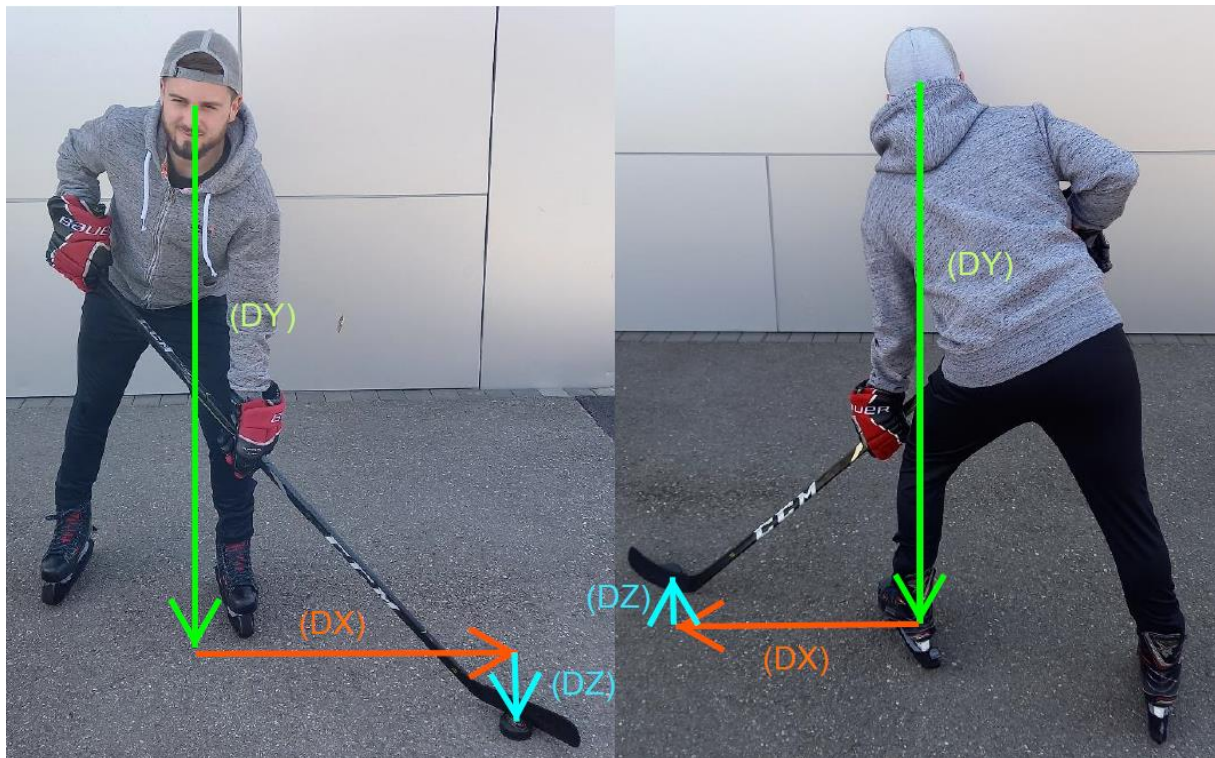


Figure 3. Représentation du système d'axes tri dimensionnel

**2.3.3 Phase 1.** Les participants se retrouvaient immergés dans un environnement de réalité virtuelle. Depuis un point de vue égocentrique, ils étaient dans une situation de tir au hockey sur glace. Selon la distribution établie au préalable, ils retrouvaient leur canne, soit sur leur côté dominant, soit sur leur côté non-dominant. Ce changement de position joue un rôle déterminant dans le choix d'un tir au hockey. En effet, si le puck se situe à la droite ou à la gauche du hockeyeur, une distance allant jusqu'à presque 2 mètres peut les séparer ( $2 \times$  la distance  $DX$ ). De cette manière, les possibilités de tir sont totalement redistribuées entre les deux côtés, car la perspective des cibles en fonction du puck est divergente (cf. figure 4). Dès lors, débutait une session de 54 tirs. Avant chaque avancée vers le but, le sujet disposait d'une seconde de préparation. Il pouvait alors déjà identifier l'angle d'attaque qu'il aurait vers le but, ainsi que le positionnement du gardien, qui était toujours face à lui. Suite à son avancée, arrivé à une des 3 distances depuis un des 6 angles possibles devant le goal, le joueur s'arrêtait. À cet instant, l'utilisateur possédait une fenêtre de 3 secondes afin de choisir, c'est-à-dire d'appuyer sur le bouton du boîtier réponse correspondant, quelle était la meilleure cible à atteindre pour le puck, à savoir celle dont la trajectoire potentielle du puck était la moins entravée par le gardien. Dans le cas où la réponse survenait après le temps imparti, cela était signalée à l'utilisateur par l'inscription « Time out, Please try again » en lévitation au-dessus du but. Le choix n'était alors pas validé et un essai randomisé venait s'ajouter aux tirs res-

tants. Dans le cas où la décision intervenait au bon moment, la cible choisie s'affichait en vert dans le but (contrairement aux autres qui étaient jaunes), et 3 secondes d'attentes indiquaient la fin du tir. Ensuite, le joueur se retrouvait téléporté à un nouvel endroit de la patinoire avec un nouvel angle d'attaque, marquant le début d'une autre séquence.

Durant toute la phase 1, chaque essai validé rapportait au joueur entre 0 et 1 point. L'attribution du score fonctionnait comme suit. Le logiciel envoyait 121 rayons depuis la position finale du puck (lorsque le participant s'arrêtait devant le but) dans chaque cible proposée, couvrant la surface de celle-ci du centre vers les extrémités. Si un rayon rencontrait la figure numérisée du gardien, il était stoppé net et n'atteignait pas sa cible (cf. figure 5). Ensuite, le ratio de la meilleure cible était défini comme : nombre de rayons qui atteignent la cible / 121 (nombre total de rayons envoyés). Enfin le score final attribué correspondait à : (nombre de rayons qui atteignent la cible choisi / 121) / le ratio de la meilleure cible. Ainsi, le participant obtenait 1 point si son choix se portait sur la cible dont le plus grand nombre de rayons y accédaient (exemple : 0.907/0.907). De cette manière, le sujet obtenait un score entre 0 et 1 après chaque tir validé. À aucun moment les résultats étaient communiqués durant l'entier de l'expérience (phase 1 et phase 2). Ceux-ci étaient directement enregistrés sur l'ordinateur en format JSON, dans un fichier texte.

Une fois la totalité de la séance terminée, soit après 54 tirs valides, une inscription « Experience done ! » s'affichait dans l'environnement virtuel des joueurs. Dès lors, il leur était proposé d'ôter leur casque et de profiter d'une pause de trois minutes. Cette pause était l'occasion de se désaltérer et de lire les consignes de la phase 2 (cf. annexe 3 et 4).



Figure 4. Représentation des différentes possibilités de tir en position « stick at left » ou « stick at right ».





Figure 5. 121 rayons étaient envoyés depuis le puck sur chaque cible

**2.3.4 Phase 2.** La phase 2 se déroulait exactement de la même manière que la phase 1, à une condition près : l'orientation de la canne. À nouveau, il était demandé aux participants d'effectuer une séance de 54 tirs, soit 3 tirs à chaque position de chaque angle, sauf avec une randomisation différente que lors de la première phase.

Néanmoins, cette fois-ci, si un participant avait eu une position de gaucher en phase 1, sa position en phase 2 aura été droitier, et vice-versa. De ce fait, comme mentionné en phase 1, pour une distance et un angle similaire à la première phase, la qualité des décisions se retrouvait modifiée. Une fois la séance terminée et le visiocasque retiré, un feedback sous forme d'une discussion était demandé aux sujets. L'éventuelle amélioration au fil des tirs, le ressenti quant à la qualité de l'immersion, du « jeu », de la prise de décision ou encore les cibles le plus souvent visées étaient abordés. Quand la discussion était close, les participants étaient libres de partir de l'expérience.

## 2.4 Analyse statistique des données

Nous avons comparé les scores moyens (c'est-à-dire la performance de prise de décision) mesurés lorsque les joueurs tenaient la canne de leur côté dominant (préféré) et de leur côté non-dominant (faible). En d'autres termes, le score moyen était la variable dépendante, et le côté de la canne (préféré ou faible) était la variable indépendante. La comparaison de ces mesures

répétées a été effectuée à l'aide du test des rangs signés de Wilcoxon, et R a été calculé comme indicateur de la taille de l'effet. Lorsque le résultat du test de Wilcoxon était non significatif, nous avons également calculé le facteur de Bayes pour estimer la probabilité que l'hypothèse nulle soit vraie. Nous avons aussi évalué si la performance de prise de décision (score) était liée à la différence entre la cible optimale du point de vue du palet et du point de vue de l'œil, c'est-à-dire la différence œil-palet (Eye-Puck). Plus précisément, la différence entre le ratio de la meilleure cible depuis le puck (nombre de rayons qui atteignent la cible / 121) et le ratio entre le nombre de rayons qui atteignent cette même cible depuis l'œil et 121 était calculée. Pour résumer, un second faisceau de 121 rayons était projeté depuis l'œil du joueur sur la meilleure cible depuis la vision du puck. La force de la relation entre la différence Eye-Puck et le score a été quantifiée à l'aide d'un coefficient de corrélation. En cas de résidus normalement distribués, le R de Pearson était utilisé. À l'inverse, le rho de Spearman servait en cas de résidus anormalement distribués. D'après nos données, le rho de Spearman était nécessaire. Nous avons également ajusté un modèle linéaire aux données et calculé la qualité de l'ajustement en utilisant le R-carré ajusté. Ceci a été fait séparément pour le côté préféré et le côté faible. Enfin, dans un but de continuité des travaux effectués en amont de ce travail, nous avons comparé la différence des scores obtenus du côté dominant avec le non-dominant entre notre groupe de sujets dits « inexpérimentés » et celui dit « experts » du travail de Rémi Sudan (Sudan, 2021) grâce au test de la somme des rangs de Wilcoxon.

### **3 Résultats**

#### **3.1 Comparaison des scores moyens**

Suite aux 54 tirs effectués sur le côté préféré et le côté faible des sujets, la moyenne de chaque côté a été calculée. De plus, la moyenne générale ainsi que la différence entre ces deux moyennes ont été évaluées. Tous ces résultats se trouvent sur le Tableau 1.

Le côté de la canne n'a pas eu d'effet significatif sur le score ( $p=0,30$ ,  $R=0,22$ , c'est-à-dire une petite taille d'effet). Le facteur de Bayes calculé était de 0,48:1, ce qui indique une preuve modérée au bénéfice de l'hypothèse nulle. La figure 6 illustre les résultats obtenus lors de nos deux phases de test. Une moyenne et une médiane légèrement plus élevées peuvent être constatées lors de la phase dominante des participants (moyenne côté préféré : 0.66, moyenne côté faible : 0.62). Un sujet a obtenu un score moyen maximal lors de la phase dominante et non-dominante, soit 1.



Tableau 1

*Scores moyens de chaque sujet, pour la phase dominante (préféré) et non-dominante (faible)*

Sujet	Préféré	Faible	Différence (préféré-faible)	Moyenne
1	0,53	0,75	-0,22	0,64
2	0,64	0,52	0,12	0,58
3	0,52	0,6	-0,08	0,56
4	0,71	0,56	0,15	0,635
5	0,75	0,74	0,01	0,745
6	0,72	0,64	0,08	0,68
7	0,58	0,6	-0,02	0,59
8	1	1	0	1
9	0,55	0,67	-0,12	0,61
10	0,63	0,57	0,06	0,6
11	0,43	0,56	-0,13	0,495
12	0,62	0,64	-0,02	0,63
13	0,64	0,66	-0,02	0,65
14	0,58	0,62	-0,04	0,6
15	0,57	0,57	0	0,57
16	0,79	0,56	0,23	0,675
17	0,63	0,54	0,09	0,585
18	0,77	0,52	0,25	0,645
19	0,84	0,58	0,26	0,71
20	0,74	0,46	0,28	0,6
21	0,65	0,56	0,09	0,605
22	0,64	0,76	-0,12	0,7
<b>Moyenne</b>	<b>0,66</b>	<b>0,62</b>		

*Note.* Tableaux des scores moyens. Le score moyen est la moyenne obtenue par le sujet sur une phase de 54 tirs (scores allant de 0 à 1). Chaque sujet a effectué 2 phases (côté préféré et côté faible). La colonne de droite représente la moyenne des deux phases, alors que la colonne intitulée « différence » s'obtient en soustrayant le résultat « préféré » du sujet par le « faible ». Enfin la moyenne générale est calculée tout en bas.

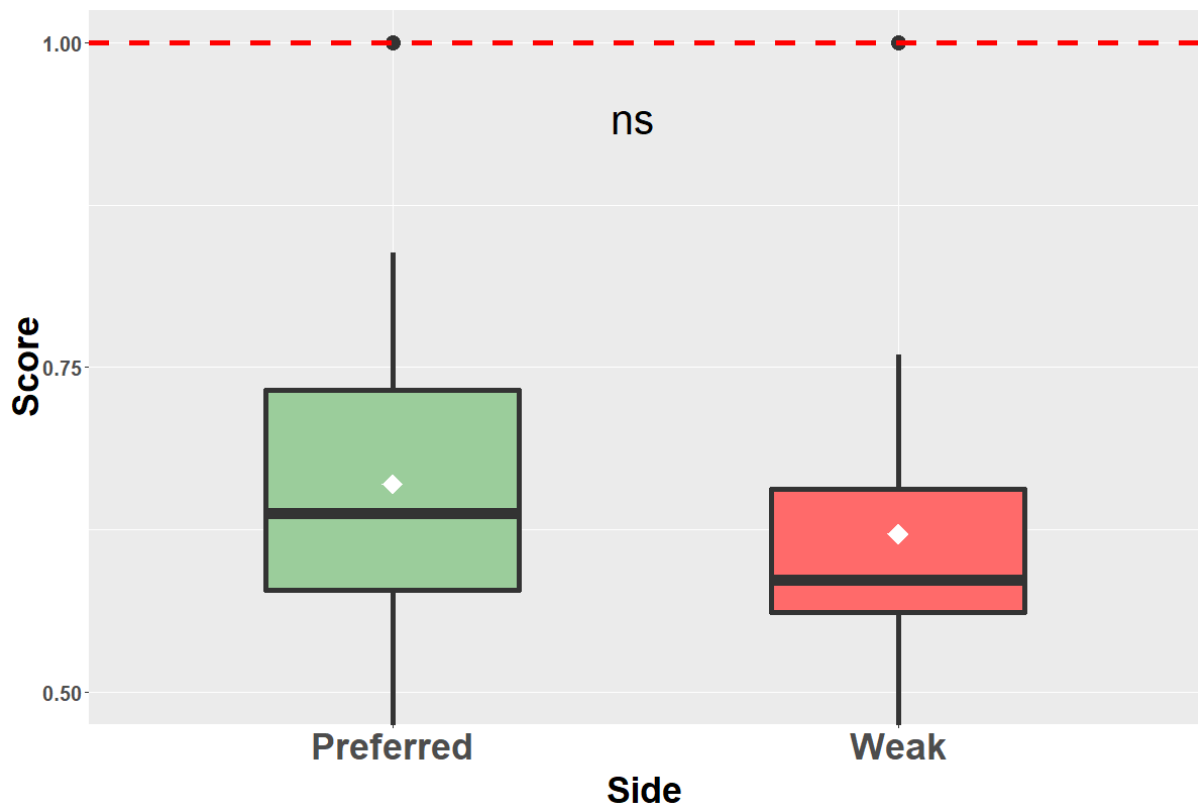


Figure 6. Boxplot représentant la moyenne (barre noire), la médiane (losange blanc), les quartiles, les minima et les maxima des résultats obtenus du côté préféré et faible

### 3.2 Différence Eye-Puck

Lorsque la canne était tenue du côté préféré, le rho de Spearman mesuré était de -0,003, ce qui indique une minime corrélation négative entre le score et la différence entre les yeux et la canne. 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 ligne de régression était :  $Y=0,01X+0,65$ , et la pente n'était pas significativement différente de 0 ( $p=0,70$ ) (cf. figure 7). Le R-carré ajusté était de 0, indiquant que la différence Eye-Puck n'expliquait aucunement la variance du score.

Similairement, une légère corrélation était trouvée lorsque la crosse était tenue du côté faible, avec un rho de Spearman de 0,01. L'équation de la ligne de régression était :  $Y=0,01X+0,62$ , et la pente n'était pas significativement différente de 0 ( $p=0,78$ ) (cf. figure 7). Le R-carré ajusté était de 0, indiquant que la différence Eye-Puck n'avait aucun pouvoir prédictif sur le score.

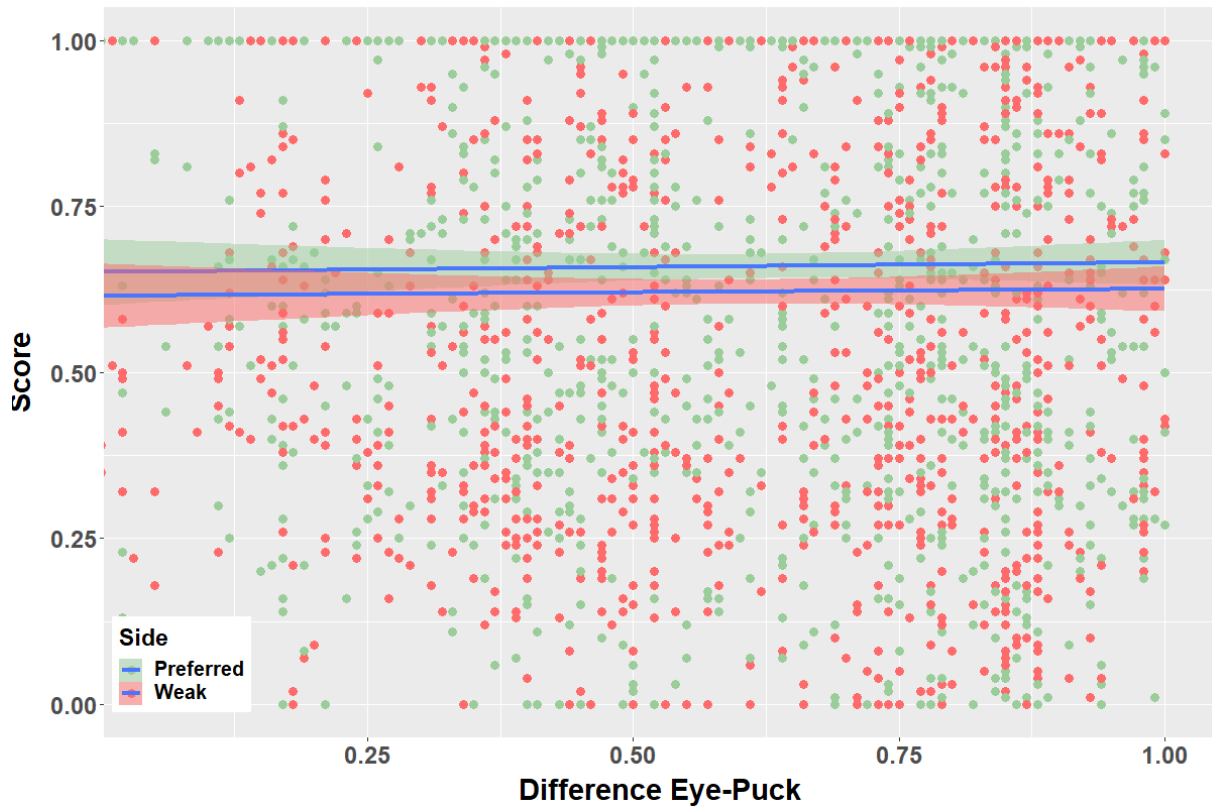


Figure 7. Illustration par des droites de régression du lien entre le score et la distance entre la cible idéale du point de vue du puck et de l'œil lors des deux phases.

### 3.3 Qualité de l'ajustement

Nous avons ensuite évalué si les pentes des deux modèles linéaires (préférée = 0,01 vs faible = 0,01) étaient statistiquement différentes l'une de l'autre. Pour cela, nous avons adapté un nouveau modèle linéaire aux données, et ce modèle incluait le côté comme prédicteur, ainsi qu'un terme d'interaction entre la différence Eye-Puck et le côté. Nous avons utilisé une approche de modélisation linéaire à effets mixtes dans laquelle les intercepts des participants ont été saisis comme des effets aléatoires (c'est-à-dire que chaque session pouvait avoir un intercept aléatoire). Nous avons choisi cette approche car les résidus du modèle linéaire n'étaient pas normalement distribués. Les résultats n'ont montré aucune interaction significative entre la différence Eye-Puck et la session ( $F(1, 2355)=0,11, p=0,74$ ), ce qui indique que les pentes ne sont pas significativement différentes. Notez que pour calculer la valeur  $p$ , les degrés de liberté ont été estimés à l'aide de la méthode de Satterthwaite (Luke, 2017).

### 3.4 Comparaison de la différence de score entre un groupe inexpérimenté et expert

Pour chaque participant, nous avons calculé la différence entre le score obtenu lorsque la canne était tenue sur le côté préféré vs le côté faible. La différence moyenne calculée avec les

joueurs novices a ensuite été directement comparée à celle des joueurs experts (Sudan, 2021) (cf. figure 8). Cette comparaison a été effectuée à l'aide du test de la somme des rangs de Wilcoxon, qui n'a révélé aucune différence significative entre les deux groupes ( $p=0,26$ ). En d'autres termes, la différence préféré-faible mesurée avec les joueurs novices n'était pas significativement différente de celle mesurée avec les joueurs experts.

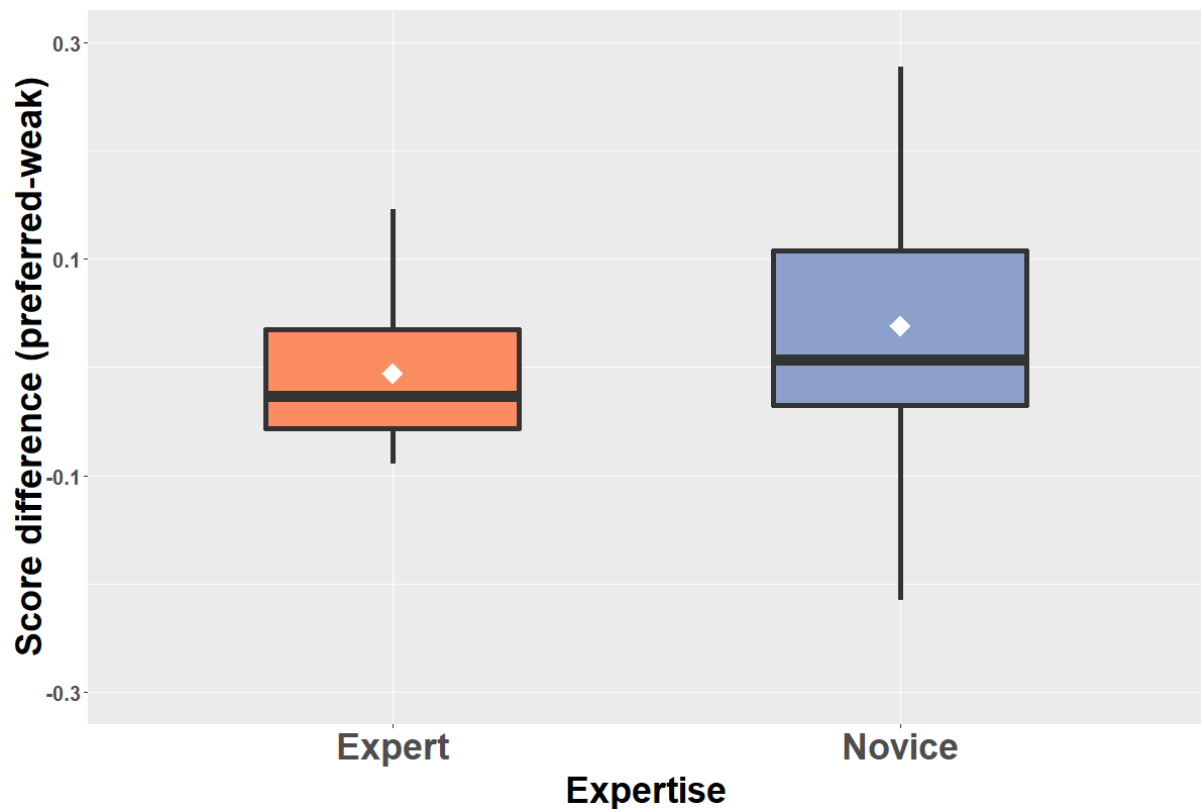


Figure 8. Boxplot représentant la différence moyenne des scores entre le côté préféré et faible chez des experts et des novices.

## 4 Discussion

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

L'étude comprenait les résultats obtenus par 22 participants, inexpérimentés dans le hockey, lors de deux phases de tir au but distinctes randomisées, une effectuée du côté dominant, l'autre du côté non-dominant. Les analyses statistiques sont sans appel, aucun élément significatif peut être ressorti de cette étude, qu'il s'agisse de la comparaison des scores moyens entre les deux phases, de la différence Eye-Puck, de la qualité de l'ajustement ou de la différence des scores entre la présente étude avec des sujets novices et celle de Rémi Sudan avec des experts. Toutefois, même si cela ne correspond pas à nos attentes, quelques éléments sont à mettre en exergue.

**4.1.1 Comparaison des scores moyens.** Ce résultat répond à l'objectif principal de l'étude, soit de savoir s'il y avait une différence de performance entre une prise de décision du côté dominant ou non-dominant. Tout comme Rémi Sudan l'a démontré, aucune différence significative est à noter. Ainsi, on peut donc penser qu'experts et novices ne sont pas à même d'obtenir de meilleures prises de décision selon un exercice de tir au but au hockey sur glace du côté dominant ou non-dominant. Ainsi, l'hypothèse 1 est validée, alors que l'hypothèse nulle est rejetée.

En plus de leurs caractères non significatifs, les résultats sont plus que variés et disparates, étant donné que seulement 12 des 22 sujets ont obtenu un meilleur score moyen sur leur côté dominant (cf. tableau 1). Ajouté à cela, on pourrait penser que cette homogénéité vienne d'une éventuelle progression des sujets entre les deux phases. Alors que la première phase plongeait les participants dans un monde de réalité virtuelle dans lequel ils n'étaient pas habitués avec une nouvelle tâche, la seconde, étant similaire à la première dans sa forme, était déjà pour eux plus familière. Toutefois, à ce niveau-là également, on retrouve une certaine homogénéité dans les scores vu que 10 sujets étaient meilleurs sur la phase 1. Parmi les volontaires, 11 pratiquaient au moment de la prise de donnée un sport à dominance latérale, le tennis de table, et 6 d'entre eux avaient pratiqué ou pratiquaient un sport collectif (cf. annexe 2). À nouveau, aucune tendance peut être ressortie étant donné que 6 de ces sujets étaient meilleurs en phase dominante, et 5 non, avec des différences similaires aux autres sujets (résultats pas présentés). Ainsi, on ne peut pas établir de critères de qualité de transfert comme le propose notre hypothèse 3. Dans un même ordre d'idée, même si les sujets avaient soumis durant la

discussion avoir eu de la peine à se projeter dans la peau d'un joueur sur leur côté non-dominant, rien ne permet de prouver que la personnalisation de l'avatar sur le côté dominant de l'utilisateur avait pu influencer la performance de celui-ci de manière positive, comme le suggère notre objectif secondaire.

Sur les 7 femmes présentes dans notre test (sujets 16 à 22), 6 avaient obtenu un meilleur score sur leur côté dominant, avec, pour 4 d'entre-elles, des différences relativement élevées. À noter que 6 sujets avaient avoué n'avoir jamais pratiqué un sport collectif avec but. la septième, elle, évoluait au moment de l'expérience en championnat féminin de football. Toutefois, on ne peut rien conclure à partir de ces résultats.

Le tableau 1 nous montre également qu'un sujet avait obtenu un score moyen de 1 lors des deux phases de notre test. La probabilité que le participant choisisse, durant la totalité de l'expérience, soit 108 tirs, la meilleure solution, paraît suffisamment proche de zéro pour estimer qu'un problème technique est survenu lors de son passage.

**4.1.2 Différence Eye-Puck et qualité de l'ajustement.** Cette analyse, même si elle n'entre pas directement dans l'objectif de notre étude, apporte de la validité à notre expérience. En effet, la corrélation minimale trouvée entre la performance réalisée et la différence entre la cible optimale du point de vue de l'œil ou du puck, démontre que les sujets n'ont pas appuyé leur prise de décision sur ce que leur vue leur offrait comme perspective, mais en se projetant à la place du puck. Il est important de mettre en évidence ce résultat car, travaillant avec des sujets inexpérimentés, aucun élément pouvait nous garantir que le participant ne serait pas influencé par ce que lui offrait sa vue, ou encore qu'il puisse se projeter dans la situation d'un hockeyeur, et donc d'une perspective depuis le puck, tant celle-ci est inhabituelle pour lui.

**4.1.3 Comparaison de la différence de score entre un groupe inexpérimenté et expert.** Etant donné que notre étude vient en complément à l'étude de Rémi Sudan, il était indispensable de comparer les résultats des deux groupes. En effet, le manque de significativité chez les sujets experts pourrait s'expliquer par leur expérience. Le nombre d'heures passé sur la glace à effectuer des séances de tirs, les tirs en « backhand » relativement similaires aux tirs de type non-dominants quant aux perspectives des cibles optimales, ou encore certains exercices de coordination présents lors des entraînements auraient pu faciliter le transfert de compétences pour un tir non-dominant. Les novices, eux, vierges de toute expérience dans le hockey, pouvaient uniquement s'appuyer sur leur aisance naturelle meilleure sur leur côté dominant, pouvant créer un déséquilibre notable sur le côté non-dominant. Ainsi, les résultats

réfutent cette idée et démontrent que, quel que soit le niveau de formation du sujet, la différence de performance entre le côté dominant et non-dominant reste similaire.

## **4.2 Liens avec la littérature**

Il existe peu, si ce n'est aucune littérature actuelle, qui traite à la fois la prise de décision en situation de réalité virtuelle et la différence de performance entre le côté dominant et non-dominant chez un même sujet. Ajouté à cela, un certain nombre de travaux, impliquant des notions semblables, se sont plutôt intéressés aux experts plutôt qu'aux novices. Néanmoins, grâce à la littérature, quelques pistes peuvent être envisagées pour expliquer nos résultats.

Comme expliqué en introduction, la représentation d'un mouvement est entravée par le niveau de compétence. Ainsi, travaillant dans la présente étude avec des novices, il est compliqué de savoir à quel point il leur était difficile de se concevoir devant un gardien de but en situation de tir, canne à la main. De plus, la différence de compétence réelle entre le côté dominant et non-dominant n'a pas été quantifiée lors de notre expérience. Ainsi, on peut imaginer que, pour certains sujets, le niveau était relativement semblable lors des deux phases, ce qui pourrait expliquer l'équilibre des résultats.

Concernant le processus de prise de décision, Roca et Williams (2016) mentionnent l'utilisation de repères posturaux, la reconnaissance de forme et les probabilités situationnelles comme outils d'informations environnementales. Malgré que les probabilités situationnelles étaient absentes dans nos exercices proposés, il est à nouveau compliqué de savoir comment ces informations environnementales sont prises, privilégiées chez un novice, et comment elles diffèrent si le novice doit les intégrer pour son côté faible. Il est d'ailleurs à noter que certains participants ont cru que des situations d'attaque équivalentes survenaient plusieurs fois durant une même phase, ce qui n'était pas le cas. Cela peut représenter le fait que les novices n'étaient pas à même de distinguer les variations d'informations qui s'offraient à eux. Les émotions et l'état psychologique du joueur influencent également la prise d'informations. Malgré un temps de passage par sujet relativement court, de 35 à 45 minutes, la qualité de la concentration a pu fluctuer entre l'excitation de la nouveauté au début de l'expérience, la lassitude du caractère répétitif des tirs, la distraction des bruits environnants, la frustration de ne pas connaître le résultat du tir, l'impression de choisir toujours la même cible, etc. Cette distraction se ressent dans certains de nos commentaires récoltés. Alors que des sujets ont fait part qu'ils s'étaient trompés de boutons lors de certains essais, d'autres ont avoué changer de tactique, pouvant même découvrir « la science du shoot » au fil de l'expérience. Même si les conditions mises en place avaient pour but de limiter un maximum

ce genre de biais, aucun contrôle de la qualité de la concentration était fait, ce qui a peut-être pu influencer certains résultats. D'autre part, Araujo et Hritovski (2006) présentent l'action comme une contrainte de but, limitée par les contraintes physiques de l'individu. Même si les sujets ne devaient pas accomplir l'action, leur prise de décision, dépendante selon les auteurs de leur capacité de perception et d'action, a pu donc être directement influencée. En effet, certains sujets ont mentionné avoir quasiment tout le temps choisi les cibles situées au sol. Cela peut se traduire du fait que les sujets en question ne disposaient pas des capacités d'action nécessaires pour glisser le puck dans la lucarne, influençant donc leur prise de décision. Cette dernière avait également la possibilité de ne pas aboutir, ou de changer si une nouvelle perception, contrainte ou option venait l'interférer. Il est arrivé que des sujets voulaient, dès leur projection à 15 mètres du but, choisir une cible. Il est envisageable que, dans certains cas, le sujet novice reste bloqué ou influencé sur sa prise de décision initiale à 15 mètres du but, sans pouvoir prendre en compte les nouvelles interférences, dû à un manque de pratique. Le fait que certains sujets ont eu le sentiment qu'une meilleure cible s'offrait à eux, directement après leur choix, renforce également cette thèse. Ce dernier point est corrélé avec l'idée de fidélité de l'action dans la réalité virtuelle évoquée plus bas.

La réalité virtuelle requiert les dimensions d'immersion, présence et réalisme. L'immersion était entravée du fait d'un manque sonore. En effet, aucun dispositif audio, avec des bruitages correspondant à la séquence de tir, était prévu. De ce fait, il est envisageable que l'immersion et donc la qualité de la performance était légèrement faussée, en prenant compte des bruits externes que le sujet a pu entendre, pouvant nuire à la concentration, comme évoqué auparavant. La fidélité de l'action peut également être remise en doute. Le programme étant prévu pour des joueurs experts, le déplacement à une vitesse de 36 km/h ne correspond probablement pas à la vitesse de pointe des sujets novices présents dans cette étude. Ils ont ainsi pu être déstabilisés par cette situation peu probable dans le monde réel. Quelques sujets ont également évoqué un léger cybersickness lors de leur expérience en réalité virtuelle. Même s'ils ont tout de même pu effectuer les tests en entier, cela a pu gêner leur concentration, et donc potentiellement leur prise de décision.

Néanmoins, malgré ces quelques plausibles biais à notre expérience, il ne paraît pas envisageable de douter de la fiabilité et de la validité des différents tests, ainsi que de leurs résultats. En effet, même si le participant a pu être influencé, déconcentré, décontenancé au cours des différentes phases, cela a pu se faire de manière minime, les objectifs et conditions restant clairs et concis. De surcroît, même si certains des éléments mentionnés, comme le cybersickness ou le bruit environnant, ont également pu perturber les experts du travail de Rémi Sudan,



l'analogie des résultats semblent tout simplement indiquer qu'une prise de décision équivalente a été faite, entre le côté dominant et non-dominant, chez les experts comme les novices.

### **4.3 Limites**

La limite principale que l'on trouve dans cette expérience est sa fidélité de l'action, couplée à la capacité d'action du groupe testé. En effet, alors que l'attaque semble beaucoup plus rapide que la probable vitesse de pointe des sujets en conditions réelles, les options de cible paraissent également utopiques quant à la difficulté de soulever un palet au hockey sur glace. Malgré tout, prenant en compte que ce travail vient en complément d'autres travaux, il aurait été inconcevable de modifier ces conditions, sous peine de ne pouvoir effectuer de comparaisons entre les différents groupes.

Une autre limite réside dans le temps de réaction. Une fenêtre de 3 secondes étant accordée aux sujets dès leur arrêt devant le portier, il est envisageable qu'un laps de temps de réflexion puisse interférer la prise de décision instantanée présente au hockey. Cependant, cette fenêtre a été jugée comme nécessaire afin d'obtenir de la part de l'utilisateur son meilleur choix possible, en ôtant une contrainte de temps trop importante pouvant générer un stress émotionnel supplémentaire, et donc un biais potentiel. La récolte de données du temps de réaction lors de chaque essai pourrait alors être envisagée, ce qui permettrait de pouvoir tirer des liens entre le temps de réaction et la qualité de prise de décision.

### **4.4 Améliorations / travaux futures**

Un des biais centraux présenté est celui de la qualité de la concentration. Alors que certains facteurs plausibles de distraction ne sont pas modifiables, sous peine de perdre en fiabilité et validité des résultats, celui du bruit environnant peut, quant à lui, être contrôlé. Une première option serait d'effectuer les tests dans une salle fermée et insonorisée, où seul le participant s'y trouve. En effet, par un souci de praticité, les tests avaient lieu à domicile, chez le sujet ou moi-même, ce qui ne garantissait pas l'environnement souhaité. Une autre option, qui proposerait de surcroît une meilleure qualité d'immersion, serait l'ajout d'un casque audio à notre logiciel, fournissant au sujet les retours audio correspondant à la situation. Toutefois, cela demande un effort informatique supplémentaire conséquent, pour une amélioration des conditions de l'expérience relativement moindre. Enfin, un questionnaire avec une échelle de concentration pour chaque phase pourrait être proposé aux sujets afin de pouvoir la quantifier et la comparer à la qualité des résultats obtenus ainsi que son éventuelle évolution entre les deux phases.

Une modification quant à la disposition du gardien a été demandée de la part de plusieurs participants. Alors que certains ont souligné l'absence de mouvement du gardien en fonction de l'avancé du joueur, ou sa position trop haute sur ses jambes, créant un espace relativement ouvert entre celles-ci, d'autres ont relevé le fait que le gardien était, lors de l'entier du test, gaucher, favorisant donc par moment la cible du milieu lors de tirs en tant que gaucher, et obstruant celle-ci en tant que droitier. Ainsi, des changements de position, une attitude plus basse correspondant plus à la position d'un gardien face à un joueur en situation de tir au but et une randomisation équivalente d'une prise de canne gauchère/droitière du portier permettraient un meilleur réalisme, une augmentation de la qualité d'immersion et une prise de décision plus fiable. Nonobstant, cela vient en contre-indication du point précédemment soulevé quant à la cohérence entre le niveau moyen implémenté dans le logiciel et le niveau moyen des sujets, novices dans ce cas précis. Un juste milieu serait alors à trouver, même si, encore une fois, notre étude succédant une autre, des conditions identiques étaient alors requises.

Des travaux futurs pourraient reprendre notre travail, tout en se spécifiant sur le caractère novice de nos participants, et modifiant ainsi les éléments mis en évidence, notamment sur la fidélité de l'action et le réalisme. Ajouté à cela, il serait intéressant de comparer des résultats sur la prise de décision entre côté dominant et non-dominant, chez des joueurs inexpérimentés, mais avec deux groupes distincts : un groupe « contrôle », et un groupe évoluant en ligue nationale dans des sports à dominance latérale, avec éventuellement différents niveaux de dominance (dominance latérale sans présence de but : tennis, badminton, tennis de table / dominance latérale avec présence de but : handball, football, etc.). Cela permettrait de démontrer si le fait d'évoluer à niveau d'expert dans un sport à dominance latérale offre une prédisposition à transférer ses compétences sur leur côté dominant en faveur de leur côté non-dominant.

## 5 Conclusion

Nos recherches avaient pour but de comparer la performance de prise de décision sur le côté dominant et non-dominant, chez des sujets inexpérimentés, lors d'une phase de tir au hockey sur glace en situation de réalité virtuelle. Les résultats les plus directs, grâce au score moyen de chaque phase, nous ont démontré qu'aucune différence significative de performance n'était à signaler entre le côté préféré et faible du joueur. L'analyse individuelle des données, comme la comparaison des scores moyens en phase 1 et 2 ou entre certains groupes de sujets quant à une éventuelle facilité de transfert due à leur historique sportif, n'a permis d'identifier aucune potentielle progression au cours des tests et aucun critère de qualité de transfert. Même si quelques potentiels biais à l'expérience ont pu être identifiés à l'aide de littératures scientifiques et de remarques de la part des sujets, il semblerait majoré d'estimer que ceux-ci aient pu suffisamment influencer les performances enregistrées pour nuire à la validité et fiabilité de l'expérience. De plus, une analyse comme la différence Eye-Puck, de par sa non significativité, a prouvé que les sujets ont, comme le souhaitait l'étude, recherché à se projeter dans une perspective depuis le puck. Cette découverte renforce la validité de notre expérience. Enfin, aucune significativité entre la comparaison de la différence de score entre le groupe novice du travail ici présent et le groupe expert d'un collègue n'a pu être trouvée, laissant penser que les aptitudes acquises n'ont pas corroboré à une meilleure qualité de transfert de compétence.

Il semblerait que certaines conditions des tests, à travers le logiciel, pourraient être améliorées afin d'offrir aux sujets une expérience plus proche de la réalité et de leurs habiletés personnelles. La vitesse d'attaque des joueurs, l'ajout de déplacements, de changements droitier/gaucher ainsi qu'une meilleure position initiale du gardien seraient à affiner. Des questionnaires de concentration et une prise de données du temps de réaction des sujets donneraient également la possibilité d'une analyse plus riche.

Des recherches futures pourraient s'intéresser plus spécifiquement à la comparaison de performances entre gestuelle dominante et non dominante chez des novices, en caractérisant d'avantage les logiciels à l'image de ceux-ci. L'élaboration de groupe d'experts en sport à dominance latérale au sein d'un groupe de novices sur le sport analysé donnerait la possibilité d'identifier si un avantage est tiré de leur expertise pour établir un transfert de compétences.

## Bibliographie

- Araújo, D., Davids, K., & Hristovski, R. (2006). The ecological dynamics of decision making in sport. *Psychology of Sport and Exercise*, 7(6), 653–676.  
<https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2006.07.002>
- Bideau, B., Kulpa, R., Vignais, N., Brault, S., Multon, F., & Craig, C. (2010). Using virtual reality to analyze sports performance. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 30(2), 14–21. <https://doi.org/10.1109/MCG.2009.134>
- Brault, S., Kulpa, R., Duliscouët, L., Marin, A., & Bideau, B. (2016). Virtual kicker vs. real goalkeeper in soccer: A way to explore goalkeeper's performance. *Movement and Sports Sciences - Science et Motricite*, 89(3), 79–88. <https://doi.org/10.1051/sm/2015026>
- Broadbent, D. P., Causer, J., Williams, A. M., & Ford, P. R. (2015). Perceptual-cognitive skill training and its transfer to expert performance in the field: Future research directions. *European Journal of Sport Science*, 15(4), 322–331.  
<https://doi.org/10.1080/17461391.2014.957727>
- Burkhardt, J.-M. (2003). Réalité virtuelle et ergonomie : quelques apports réciproques. *Le Travail Humain*, 66(1), 65. <https://doi.org/10.3917/th.661.0065>
- Burkhardt, Jean-Marie. (2007). Immersion, représentation et coopération : discussion et perspectives empiriques pour l'ergonomie cognitive de la Réalité Virtuelle. *Intellectica. Revue de l'Association Pour La Recherche Cognitive*, 45(1), 59–87.  
<https://doi.org/10.3406/intel.2007.1267>
- Caramenti, M., Lafortuna, C. L., Mugellini, E., Khaled, O. A., Bresciani, J. P., & Dubois, A. (2018). Regular physical activity modulates perceived visual speed when running in treadmill-mediated virtual environments. *PLoS ONE*, 14(6), 1–14.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219017>
- 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. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 34(3), 305–321.  
<https://doi.org/10.1123/jsep.34.3.305>
- Crognier, L., & Féry, Y. A. (2007). 40 ans de recherches sur l'anticipation en tennis: Une revue critique. *Science et Motricite*, 62(3), 9–35. <https://doi.org/10.3917/sm.062.0009>
- de Oliveira, R. F., Damisch, L., Hossner, E. J., R. D. Oudejans, R., Raab, M., Volz, K. G., & Mark Williams, A. (2009). The bidirectional links between decision making, perception, and action. *Progress in Brain Research*, 174, 85–93. <https://doi.org/10.1016/S0079->

- Devaud, T. (2021). Optimisation de la prise de décision en phase de tir au but chez les hockeyeurs à l'aide de la réalité virtuelle. Université de Fribourg
- Faure, C., Limballe, A., Bideau, B., & Kulpa, R. (2020). Virtual reality to assess and train team ball sports performance: A scoping review. *Journal of Sports Sciences*, 38(2), 192–205. <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1689807>
- Gao, Z., Lee, J. E., McDonough, D. J., & Albers, C. (2020). Virtual Reality Exercise as a Coping Strategy for Health and Wellness Promotion in Older Adults during the COVID-19 Pandemic. *Journal of Clinical Medicine*, 9(6), 1986. <https://doi.org/10.3390/jcm9061986>
- Hagemann, N., Strauss, B., & Cañal-Bruland, R. (2006). Training perceptual skill by orienting visual attention. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 28(2), 143–158. <https://doi.org/10.1123/jsep.28.2.143>
- Ijaz, K., Ahmadpour, N., Wang, Y., & Calvo, R. A. (2020). Player Experience of Needs Satisfaction (PENS) in an Immersive Virtual Reality Exercise Platform Describes Motivation and Enjoyment. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 36(13), 1195–1204. <https://doi.org/10.1080/10447318.2020.1726107>
- Jackson, R. C., Warren, S., & Abernethy, B. (2006). Anticipation skill and susceptibility to deceptive movement. *Acta Psychologica*, 123(3), 355–371. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2006.02.002>
- Jones, B. D., Van Gemmert, A. W. A., & Dalecki, M. (2020). Does Hand-Dominance Matter in Non-Standard Visuomotor Transformations? *Journal of Motor Behavior*, 0(0), 1–10. <https://doi.org/10.1080/00222895.2020.1817840>
- Kittel, A., Larkin, P., Elsworth, N., & Spittle, M. (2019). Using 360° virtual reality as a decision-making assessment tool in sport. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 22(9), 1049–1053. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2019.03.012>
- Le Noury, P., Buszard, T., Reid, M., & Farrow, D. (2021). Examining the representativeness of a virtual reality environment for simulation of tennis performance. *Journal of Sports Sciences*, 39(4), 412–420. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1823618>
- Luke, S. G. (2017). Evaluating significance in linear mixed-effects models in R. *Behavior Research Methods*, 49(4), 1494–1502. <https://doi.org/10.3758/s13428-016-0809-y>
- MacQuet, A. C. (2009). Recognition within the decision-making process: A case study of expert volleyball players. *Journal of Applied Sport Psychology*, 21(1), 64–79. <https://doi.org/10.1080/10413200802575759>

- Mann, D. Y., Williams, A. M., Ward, P., & Janelle, C. M. (2007). Perceptual-cognitive expertise in sport: A meta-analysis. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 29(4), 457–478. <https://doi.org/10.1123/jsep.29.4.457>
- Michalski, S. C., Szpak, A., Saredakis, D., Ross, T. J., Billinghamurst, M., & Loetscher, T. (2019). Getting your game on: Using virtual reality to improve real table tennis skills. *PLoS ONE*, 14(9), 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222351>
- Park, W., Choi, W., Jo, H., Lee, G., & Kim, J. (2020). Analysis of Control Characteristics between Dominant and Non-Dominant Hands by Transient Responses of Circular Tracking Movements in 3D Virtual Reality Space. *Sensors*, 20(12), 3477.
- Pinder, R. A., Davids, K., Renshaw, I., & Araújo, D. (2011). Representative learning design and functionality of research and practice in sport. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 33(1), 146–155. <https://doi.org/10.1123/jsep.33.1.146>
- Roca, A., Ford, P. R., McRobert, A. P., & Williams, A. M. (2011). Identifying the processes underpinning anticipation and decision-making in a dynamic time-constrained task. *Cognitive Processing*, 12(3), 301–310. <https://doi.org/10.1007/s10339-011-0392-1>
- Roca, A., & Williams, A. M. (2016). Expertise and the interaction between different perceptual-cognitive skills: Implications for testing and training. *Frontiers in Psychology*, 7(MAY), 1–4. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00792>
- Sauthier, Q. (2020). Optimisation du choix de l'angle de tir au hockey sur glace par un apprentissage en réalité virtuelle. Université de Fribourg
- 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), 245–256. <https://doi.org/10.1007/s00221-011-2723-y>
- Schul, K., & Memmert, D. (2017). Evaluating cognitive training system for football players. In: Zenodo.
- Stöckel, T., & Weigelt, M. (2012). Brain lateralisation and motor learning: selective effects of dominant and non-dominant hand practice on the early acquisition of throwing skills. *Laterality*, 17(1), 18–37. <https://doi.org/10.1080/1357650X.2010.524222>
- Sudan, R. (2021). Prise de décision et latéralité bimanuelle au hockey-surglace: comparaison entre bon côté et mauvais côté lors d'une session de tirs au but, en réalité virtuelle. Université de Fribourg
- Tarr, M. J., & Warren, W. H. (2002). Virtual reality in behavioral neuroscience and beyond. *Nature Neuroscience*, 5(11s), 1089–1092. <https://doi.org/10.1038/nn948>
- Tyndiuk, F., Lespinet-Najib, V., Thomas, G., N'Kaoua, B., Schlick, C., & Claverie, B.

- (2007). Études Des Caractéristiques De L'Utilisateur, De La Tâche Et De L'Interface En Réalité Virtuelle. *Revue Européenne de Psychologie Appliquée*, 57(4), 225–236. <https://doi.org/10.1016/j.erap.2006.05.003>
- Vignais, N., Kulpa, R., Brault, S., Presse, D., & Bideau, B. (2015). Which technology to investigate visual perception in sport: Video vs. virtual reality. *Human Movement Science*, 39, 12–26. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2014.10.006>
- Waltemate, T., Gall, D., Roth, D., Botsch, M., & Latoschik, M. E. (2018). The impact of avatar personalization and immersion on virtual body ownership, presence, and emotional response. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 24(4), 1643–1652. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2018.2794629>
- Williams, A. M. (2009). Perceiving the intentions of others: how do skilled performers make anticipation judgments? In *Progress in Brain Research* (Vol. 174). [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(09\)01307-7](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(09)01307-7)
- Williams, A. M., Ford, P. R., Eccles, D. W., & Ward, P. (2011). Perceptual-cognitive expertise in sport and its acquisition: Implications for applied cognitive psychology. *Applied Cognitive Psychology*, 25(3), 432–442. <https://doi.org/10.1002/acp.1710>

## Annexe

*Annexe 1.* Document décrivant les conditions de participation à l'expérience et son protocole

### Prise de décision en 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 2 phases pour un total d'environ 45 minutes. Une pause sera effectuée entre les 2 phases.

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 avez une expérience minimale ou aucune expérience dans le hockey ou unihockey
- Vous ne souffrez d'aucune lésion, gêne physique ou psychologique pouvant nuire au bon déroulement de l'expérience.
- Vous ne souffrez d'aucun symptôme qui pourrait être assimilé à la COVID
- 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. Informations personnelles des sujets ainsi que la prise des différentes mesures utiles à notre étude

Sujet	test 1	Sexe (H/F)	Canne (G/D)	Sport actuel pratiqué	Expérience en sport collectif (activité)	expérience en sport collectif (année)	Mesure pour avatar (mm)		
							DY	DX	DZ
1	D	H	D	tennis de table	football	5	152	76	-20
2	ND	H	G	Ski	--	--	159	73	-45
3	ND	H	G	tennis de table	--	--	150	53	-23
4	ND	H	G	tennis de table	--	--	160	70	-28
5	ND	H	G	tennis de table	football	7	165	61	-23
6	D	H	G	tennis de table	football	6	157	66	10
7	D	H	D	tennis de table	--	--	138	47	-26
8	ND	H	G	tennis de table	football	7	142	79	-47
9	D	H	G	ski	--	--	140	63	-20
10	D	H	G	tennis de table	--	--	160	73	-28
11	D	H	D	tennis de table	unihockey	2	166	67	-35
12	D	H	D	--	--	--	150	60	-25
13	ND	H	D	tir	--	--	143	47	-19
14	ND	H	D	triathlon	--	--	136	37	-10
15	ND	H	G	VTT	--	--	160	76	8
16	ND	F	G	--	--	--	146	73	-32
17	D	F	G	--	--	--	170	96	-25
18	D	F	G	--	--	--	144	67	-4
19	ND	F	G	--	--	--	156	83	-25
20	D	F	G	--	--	--	164	54	-11
21	D	F	G	Tennis de table	--	--	135	75	-27
22	ND	F	D	Tennis de table	football	4	138	42	-30

Consignes : phase 1 non-dominant

Phase 1 :

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. Lorsque vous vous arrêterez, vous disposerez de **3 secondes** pour 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 non-dominant (gauche ou droite)**. 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** en n'oubliant pas que votre canne respectivement votre puck **se situent à l'opposé de votre côté habituel**.

Phase 2 :

La phase 2 sera exactement la même que la phase 1 à une condition près :

- **Vous aurez le puck sur votre côté dominant (gauche ou droite)**

Cherchez simplement la cible la plus accessible pour votre tir.

Consignes : phase 1 dominant

Phase 1 :

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. Lorsque vous vous arrêterez, vous disposerez de **3 secondes** pour 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 dominant (gauche ou droite)**. 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 habiles 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.**

Phase 2 :

La phase 2 sera exactement la même que la phase 1 à une condition près :

- **Vous aurez le puck sur votre côté non-dominant (gauche ou droite)**

Cherchez simplement la cible la plus accessible pour votre tir en n'oubliant pas que votre canne respectivement votre puck **se situent à l'opposé de votre côté habituel**.

## **Remerciements**

Je tiens à remercier profondément mon référent, le Professeur Jean-Pierre Bresciani, ainsi que mon conseiller, le Docteur Jean-Luc Bloechle, sans qui je n'aurais pas pu écrire ce travail. Leur encadrement, leur promptitude, leurs conseils avisés et leur disponibilité m'ont permis d'avancer continuellement dans le fil de mon étude et de le rendre dans les délais que je m'étais fixé.

Je souhaite également adresser un grand merci à tous mes amis, du monde du tennis de table et d'ailleurs, pour avoir accepté de passer du temps pour prendre part à mes différents tests. Sans eux, je n'aurais pas pu effectuer les passations en un temps record de 2 semaines, et ainsi débiter mon travail dans les temps souhaités. Merci également pour leur analyse lors de nos discussions, qui m'a permis d'étoffer ma rédaction.

J'exprime également toute ma gratitude à Noé et Jonathan, mes amis de longue date, qui m'ont prêté tout le matériel de hockey sur glace nécessaire à mon expérience.

Pour finir, je remercie infiniment Noémie pour sa relecture consciencieuse et appliquée tout au long de cette période d'écriture, ainsi que Colin pour sa lecture finale.