

# **Apprentissage de la prise de décision du point de vue du gardien au tir au penalty en réalité virtuelle**

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

déposé par

**Alexandre Yaro**

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  
Maître assistant Thibaut Le Naour

Fribourg, 14 août 2019

## Table des matières

Résumé.....	1
1. Introduction.....	5
1.1. Contexte scientifique.....	6
1.2. Objectifs.....	12
1.3. Hypothèses scientifiques.....	13
2. Méthode.....	15
2.1. Description de l'échantillon.....	15
2.2. Instruments de recherche.....	15
2.3. Design.....	17
2.4. Mesure.....	19
2.5. Analyse statistique.....	20
3. Résultats.....	21
3.1. Résultats sur les différents types d'apprentissages.....	21
3.2. Résultats sur les performances experts novices.....	23
4. Discussion.....	25
4.1. Impact de l'apprentissage selon le groupe.....	25
4.2. Comparaison entre experts et novices.....	26
4.3. Idées pour de futures recherches.....	28
5. Conclusion.....	30
Bibliographie.....	31

## Résumé

Les situations de tir au penalty ont déjà été étudiées à de nombreuses reprises dans le domaine des neurosciences, que ce soit du point de vue du tireur ou du gardien (i.e., Williams & Hodges, 2005; Abernethy, Wood & Parks, 1999). L'objectif de notre expérience est de faire progresser les sujets dans la prise de décision pour arrêter la balle lors d'un tir au penalty à travers l'utilisation d'une simulation virtuelle. Plus précisément, trois types d'apprentissage, s'appuyant sur de précédentes études spécifiques à l'analyse des comportements oculomoteurs des gardiens, ont été proposés. Ces apprentissages reposent en particulier sur l'affichage de différentes parties du corps des tireurs virtuels.

Au football, le penalty est une tâche complexe pour le tireur comme pour le gardien car plusieurs habiletés cognitives sont mises en jeu dans un délai court (de 400 à 800ms). Il a été démontré dans les précédentes études sur l'analyse oculomotrice des gardiens lors de tir au penalty, que les gardiens de bon niveau se focalisaient en particulier sur la jambe d'appui dans un délai de -200ms à -100ms avant contact du ballon (Murgia et al., 2014). Nous cherchons ici à montrer qu'un entraînement virtuel poussant l'apprenant (qu'il soit novice ou expert) à spécifiquement focaliser cette zone amène à de meilleurs résultats d'apprentissage qu'avec d'autres zones du corps.

Nos sujets ont été sélectionnés dans un premier temps selon leur expertise dans le football et dans un second temps selon leur expertise en tant que gardien de football. Les sujets experts sont des gardiens de football qui s'entraînent au minimum 3 fois par semaine en club et qui occupent ce poste depuis au moins 5 ans. Les novices sont des joueurs de champs qui ont une bonne connaissance du football et qui n'ont jamais occupé le poste de gardien. Les sujets ont été répartis en 3 groupes composés de 9 ou 10 novices et experts réunis. Les sujets ont observé les mêmes simulations de tirs avec différentes parties visibles du corps selon le groupe (Nous les appelons dans l'étude *Leg quand les apprenants ont comme retour d'information la jambe d'appui*, *Unleg quand ils n'ont pas d'information sur la jambe d'appui*, *Control : tout le corps*).

La simulation pour cette expérience a été menée avec une application programmée par *Unity*. La simulation met en mouvement des tireurs qui s'élancent tour à tour grâce à des mouvements capturés en laboratoire. En ce qui concerne les passations, elles se sont déroulées sur plusieurs semaines, pour chaque sujet, avec une première passation en laboratoire, suivie d'un entraînement de 5 sessions à la maison sur ordinateur et d'une dernière passation en laboratoire. Durant l'expérience les sujets devaient choisir le côté où la

balle allait se diriger selon la perspective d'un gardien, en plus d'apprendre à réagir avec le bon *timing*. Un pré-test, une phase d'entraînement et un post-test composaient chaque expérience. Les résultats nous ont indiqué que les sujets du groupe *Unleg* progressent de façon significative. Les résultats nous ont montré aussi que les experts et les novices progressent de manière égale grâce à notre simulation. Les résultats ont aussi montré une amélioration générale.

# 1 Introduction

Le tir au penalty dans le football a toujours été un aspect particulièrement important et plus particulièrement encore dans le football moderne avec l'apparition toute récente (2017) du VAR (arbitrage vidéo) dans les grandes compétitions. Cette nouvelle technique a largement augmenté le nombre de penalties sifflés. Prenons l'exemple de la dernière coupe du monde avec 29 penalties, ce qui est largement supérieur au précédent record de 18. En effet, les scores sont généralement « sérés » dans le football avec, souvent, un but qui sépare deux équipes. Le penalty est la conséquence d'une faute dans la surface de réparation. Celui-ci est considéré comme la plus grande chance pour une équipe de marquer un but par rapport aux autres actions. Les tirs au but permettent aussi de départager deux équipes qui ne parviennent pas à le faire dans le temps de jeu imparti dans les matchs éliminatoires.

Etant donné le fort pourcentage de matchs dont le dénouement se joue sur un penalty (environ 20%), le rôle du gardien dans cette tâche joue un rôle important. Entraîner un gardien sur l'exercice des penalties est compliqué, étant donné l'effort physique avec le risque de blessure que cela implique pour le gardien. Les sessions d'entraînement sont donc limitées. Dans ce contexte, notre expérience permet de simuler les mouvements des tireurs et ainsi entraîner les habiletés sensori-motrices des gardiens, sans pour autant mobiliser l'ensemble de leur corps. Ainsi, le fait d'être face à un écran d'ordinateur permet de supprimer la contrainte physique et de travailler sur un grand nombre de penalties pour chaque session d'entraînement, en peu de temps (jusqu'à 100 en 10mn), un nombre bien plus élevé que sur le terrain. Parallèlement aux entraînements physiques et techniques qui deviennent de plus en plus poussés dans le football, les chercheurs s'intéressent de plus en plus à l'aspect cognitif du footballeur car ils y voient un potentiel de développement (Murgia et al., 2014). L'essentiel pour un gardien lors d'un penalty est la prise d'information dans un intervalle de temps très restreint afin de prendre la bonne décision. Notre étude est donc centrée sur cette prise d'information du gardien dans un délai donné. C'est par le biais d'une application de réalité virtuelle, spécifiquement développée pour cette recherche, que nous avons tenté d'analyser et d'améliorer cette prise de décision. Dans un premier temps, nous allons revenir sur la littérature connexe à notre problématique, avant de présenter notre étude, puis de discuter des résultats obtenus.

## **1.1 Contexte scientifique**

Dans cette partie de notre travail nous avons traité des thèmes de la prise de décision, de la perception, de l'anticipation, en particulier dans le contexte de l'apprentissage sensori-moteur, ainsi que de la réalité virtuelle dans le sport, thématiques connexes à notre étude.

Dans le contexte de la prise d'information, Diaz, Fajen et Philips (2012) se sont intéressés aux zones du corps qui fournissent les informations utiles pour le gardien afin de prédire la direction que le ballon va prendre lors d'un penalty. Cette expérience a permis de définir que la direction du tir était définie par diverses sources d'informations locales. Conformément à l'étude de Franks et Harvey (1997) sur la fiabilité de l'information lors du penalty, l'angle de l'ensemble de la jambe d'appui est une des principales sources d'information avec une fiabilité de 77,9%, 250ms avant le contact avec le ballon. De nouvelles études ont confirmé la précédente, les résultats obtenus dans ces études nous ont révélé que le pied de la jambe d'appui et le pied du tir sont les principales sources d'information qui permettent de prédire la direction qu'un tir va prendre. Les autres signaux donnés par le tronc, la tête ou les bras sont moins utiles pour cet exercice (Piras & Vickers, 2011; Savelsbergh, Williams, van der Kamp & Ward, 2002; Savelsbergh, van der Kamp, Williams & Ward, 2005). Une étude plus récente, qui s'intéressait à examiner la fiabilité de ces diverses sources d'informations, relève que les gardiens sont aussi sensibles à l'ensemble des informations diffusées par le corps du tireur (Diaz et al., 2012). La distinction des zones fournissant le plus d'information a permis aux chercheurs de mettre en place des protocoles d'entraînement perceptuel adapté (Williams & Hodges, 2005). L'idée générale derrière tout ça est qu'avec une attention guidée, il est possible pour les expérimentateurs de faciliter le processus d'apprentissage (Abernethy, et al., 1999).

Nous nous sommes basés sur ces études pour définir nos différents feedback. Nous espérons ainsi mettre en évidence qu'un apprentissage ciblé sur la jambe d'appui ou, à l'inverse, sur le reste du corps, donne des résultats différents.

**1.1.2 La perception.** L'analyse de la prise de décision est un sujet moins traité dans la littérature car difficilement dissociable de la prise d'information mais également compliqué à mettre en œuvre, en particulier dans les sports collectifs. Par ailleurs, de nombreux facteurs internes (physiques, cognitifs, psychologiques ou physiologiques) comme externes (environnement, horaire, adversaires, etc...) peuvent venir influencer cette prise de décision. Pour l'exercice du penalty, la prise de décision du gardien est différente des autres situations que l'on retrouve en général dans le football. L'objectif du gardien est d'arrêter le ballon et pour ce faire, il doit se concentrer uniquement sur le tireur et éventuellement sur des informations préalables sur le tireur (historique de ses derniers penalties). Plusieurs facteurs peuvent venir perturber cette prise de décision, comme par exemple le moment dans le match, le score au moment du penalty, l'importance du match en cours (match amical, final de coupe du monde, etc...), les autres facteurs cognitifs reposent sur l'expérience du gardien ou encore sur des facteurs morphologiques et physiologiques.

Nos compétences perceptuelles sont essentielles dans de nombreuses activités de notre quotidien, telles que marcher, manger etc... (Jackson & Farrow, 2005). En réalité, dans toutes nos activités nous avons besoin de percevoir les changements environnementaux pour interagir avec notre environnement ou avec d'autres personnes (Murgia, Hohmann, Galmonte, Raab & Agostini, 2012). De manière générale, nos compétences perceptuelles s'améliorent avec l'expérience. Nous développons nos stratégies perceptuelles avec la pratique d'une situation donnée (Sowden, Davies & Roling 2000; Ste-Marie et al., 2012).

Les différents avantages à anticiper les actions des adversaires ont été étudiés dans bon nombre de sports. Il en résulte que les capacités d'anticipation sont largement en rapport avec le niveau d'expertise (Mann, Williams, Ward & Janelle, 2007). Les différentes recherches nous montrent que ce qui différencie les experts des novices est la capacité de lire et d'interpréter les informations présentes dans les actions des opposants. Ainsi les experts qui ont une meilleure prise d'information disposent de plus de temps pour donner une réponse appropriée à la situation (Abernethy, Gill, Parks & Packer, 2001). Cette affirmation a été prouvée dans bon nombre de sports comme le cricket (Weissensteiner, Abernethy, Farrow & Müller, 2008), le badminton (Wright, Bishop, Jackson & Abernethy, 2011), le tennis (Jones & Miles, 1978), le karaté (Mori, Ohtani & Imanaka, 2002) et le football (Van der Kamp, 2011; Williams, 2000).

Toutes ces études mettent l'accent sur le gouffre qui sépare experts et novices et suggèrent ainsi qu'il est envisageable de créer des entraînements spécifiques afin d'améliorer les

capacités d'anticipation. Cette dernière est d'autant plus importante pour les gardiens de football, étant donné que le gardien de but doit généralement commencer son mouvement avant que le tireur frappe le ballon pour avoir une chance d'intercepter un tir (Schmidt et Lee, 2005). Les gardiens ont donc besoin de saisir le maximum d'informations que le tireur peut fournir durant sa phase d'élan, pour avoir une chance d'arrêter un penalty.

**1.1.3 L'anticipation.** La capacité à anticiper tout ce qui est susceptible de se passer autour de nous joue un rôle extrêmement important dans notre perception et dans nos actions. Le fait d'anticiper une action, en un lieu spécifique ou à un moment spécifique, améliore la détection, la différenciation ainsi que l'identification de cette action. De ce fait, la réponse à cette action est aussi améliorée. (Coull & Nobre, 1998; Nobre, Correa & Coull, 2007; Posner, 1980; Wright & Ward, 2008). L'anticipation d'actions probables agit sur notre perception de divers stimuli comme par exemple notre perception de la parole (Osterhout & Holcomb, 1992) ou encore notre perception de la musique (Janata & Reisberg, 1988; Krumhansl & Shepard, 1979). Une bonne anticipation nécessite la détection et l'utilisation des informations pertinentes sur l'objet concerné (Kunde, Elsner & Kiesel, 2007; Posner 1980; Williams, Davids & Williams, 1999). Pour une anticipation efficace, il est primordial d'avoir connaissance de la structure essentielle des relations spatio-temporelles entre le repère et la cible et ainsi permettre la détection et l'utilisation du repère. L'acquisition de ces connaissances se fait par la pratique et l'expérience (Kunde et al., 2007). Pour une tâche précise, les experts possédant des connaissances approfondies de celle-ci sont meilleurs que les novices dans l'anticipation. C'est le cas dans la perception des actions en sport (Williams et al., 1999).

La distance qui sépare la balle du but est de 11m et le ballon peut prendre une grande vitesse (jusqu'à 200 km/h) (Mulqueen & Woitalla, 2011). Les recherches nous indiquent que la balle peut atteindre le but en moins de 600ms après le contact avec le pied du tireur (Franks & Harvey, 1997). Si près du but (11m), les informations disponibles après le contact avec la balle, comme la direction et la vitesse qu'elle prend, sont inutiles pour le gardien. (Diaz et al., 2012; Regan, 1997). Avec de telles contraintes au niveau du temps, la prise d'information devient essentielle pour le gardien afin d'atteindre son objectif. Les recherches nous ont prouvé que les informations les plus importantes pour anticiper correctement la direction que va prendre un penalty sont disponibles dans les derniers instants avant le contact avec le ballon (Button, Dicks, Haines, Barker & Davids, 2011; Dicks, Uehara & Lima, 2011; Savelsbergh et al., 2005). En effet les tireurs livrent un certain nombre de signaux posturaux



lors de cet exercice et c'est aux gardiens d'avoir les compétences nécessaires pour percevoir ces signaux et ainsi augmenter leur chance de mettre en échec les tireurs. (Starkes & Allard, 1993). C'est pourquoi il est important de comprendre la manière dont les gardiens peuvent utiliser ces informations afin de réagir le plus efficacement possible.

Une bonne perception est un aspect important pour le niveau d'expertise dans le sport (Abernethy, Thomas & Thomas, 1993; Starkes & Allard, 1993). Cette habileté de perception est d'autant plus importante, pour les gardiens, dans l'exercice du penalty au football, étant donné que cette action représente une grande chance de but. Anticiper la direction que va prendre le ballon lors d'un penalty afin de l'arrêter est certainement l'une des compétences les plus difficiles pour un gardien.

Il a été établi que les athlètes experts sont plus performants dans la capacité de prédire les actions de leurs adversaires. En effet, ils sont capables de capter les signaux donnés par les adversaires d'une manière plus efficace lors d'une cinématique de mouvement. (Abernethy & Russel, 1984; Jones & Miles, 1978; Savelsbergh et al., 2002). Les précédentes recherches ont établi que lors de l'observation des mouvements d'un joueur adverse, les athlètes experts posséderaient une stratégie de recherche visuelle plus efficace (Abernethy, 1990; Williams, Davids, Burwitz & Williams, 1994). Des recherches plus récentes suggèrent que les experts du football ont recours à des stratégies de recherche plus efficaces, ce qui leur permet de focaliser leur attention sur les zones qui donnent le plus d'informations (Helsen & Pauwels, 1992; Kim & Lee, 2005; Savelsbergh et al., 2005). Il est important de souligner que dans les derniers instants qui précèdent le contact avec la balle, les gardiens experts tendent à passer plus de temps à observer la jambe de tir, la jambe d'appui et le ballon (Dicks, Button, & Davids, 2010). Les études démontrent que les experts anticipent au-dessus du niveau de chance et avec plus de précision que les novices, le tout avant que le résultat de l'action ne soit visible, par exemple avant l'impact avec la raquette lors d'un service au tennis (Farrow, Abernethy & Jackson, 2005; Jones & Miles, 1978) ou au badminton (Abernethy & Russel, 1978a, b) ou encore avant le contact du pied avec le ballon lors d'un penalty (Williams & Burwitz, 1993). La différence expert-novice commence à diminuer après ce point, ce qui prouve que les experts peuvent extraire des indices utiles à l'anticipation avant les novices (Williams et al., 1999). Ces différences, entre les experts et les novices, dans la collecte d'informations et dans la stratégie de recherche visuelle, nous poussent à croire qu'il est possible d'accélérer l'acquisition de ces compétences par les novices en développant un entraînement ciblé qui vise à imiter le comportement visuel des experts. Cependant, une étude plus récente a établi que les fixations de diverses parties du corps comme le torse, les

hanches et la jambe de tir, permettent aussi une bonne anticipation pour un penalty (Lopes, Araujo & Davids, 2014).

Un tireur de penalty a pour but de marquer. Il va donc tout mettre en oeuvre pour tromper le gardien, c'est pourquoi la "feinte" est quelque chose qui nous intéresse pour notre expérience. Une recherche qui a pour objet la détection de mensonges a démontré que nous ne sommes pas bon pour détecter les mensonges (Bond & DePaulo, 2006). Cette sensibilité à la tromperie est tout aussi bien ressortie dans le jugement d'actions corporelles (Runeson & Frykholm, 1983; Sebanz & Shiffrar, 2009).

**1.1.4 Temps de réaction.** Dans la recherche spécifique aux sciences du mouvement et du sport, la thématique du temps de réaction est fréquemment abordée, étant donné son importance dans les actions de sport individuel ou collectif (cf. section précédente). Classiquement, le temps de réaction est mesuré via des expériences durant lesquelles les participants sont face à des représentations dynamiques donnant lieu à une réponse à la fois rapide et précise du résultat d'une action donnée (Savelsberg, 2005). Les différentes recherches démontrent que ce sont généralement les experts qui réagissent le plus rapidement (Helsen & Starkes, 1999; Mori et al., 2002; Paull & Glencross, 1997; Ward, Williams & Bennett, 2002; Williams & Davids, 1998). Il est important de préciser que les experts sont meilleurs que les novices dans le temps de réaction, uniquement dans des tâches en lien avec le sport en question. Ceci vient soutenir l'idée que les meilleurs résultats des experts, au niveau du temps de réaction, par rapport aux novices, sont dus à une anticipation supérieure spécifique au niveau d'expertise dans le sport en question et non à une accélération de leurs capacités sensori-motrices primitives (Mori et al., 2002; Williams & Davids, 1998).

**1.1.5 La réalité virtuelle dans le sport.** Avec une technologie en constante évolution nous avons sans cesse de nouvelles possibilités, ce qui alimente d'autant plus les possibilités de progrès de la réalité virtuelle. L'intérêt croissant pour développer la réalité virtuelle dans le sport fait que ce thème reste en constant développement. La réalité virtuelle, technologie qui se développe essentiellement depuis 20 ans, offre de nouvelles possibilités d'entraînement. Elle permet par exemple de reproduire virtuellement des actions de jeu sous différentes déclinaisons (modifications de paramètres spatiaux, temporels ou visuels), (Le Naour, Hamon & Bresciani, 2019). Nous pouvons la définir comme "un domaine scientifique et technique exploitant l'informatique et des interfaces comportementales en vue de simuler dans un monde virtuel le comportement d'entités 3D, qui sont en interaction, en temps réel,

entre elles et avec un ou des utilisateurs en immersion pseudo-naturelle par l'intermédiaire de canaux sensori-moteurs" (Fuchs, Moreau & Berthoz, 2003). Cette forme de technologie nouvelle pousse à se questionner dans quelle mesure celle-ci peut amener à des résultats concrets dans l'analyse des capacités humaines, mais aussi comment elle peut être utile à améliorer nos compétences cognitives. Dans le domaine du sport, la réalité virtuelle peut être utilisée dans une simulation d'une action sportive par exemple.

Une simulation virtuelle peut être une reproduction ou une déformation d'actions réelles. Ainsi, celle-ci peut permettre de déterminer le niveau d'expertise d'un sportif, d'amener à l'acquisition de nouvelles capacités, ou encore de préparer le sujet à une action réelle (Ripoll et al., 2004). Au niveau du sport, la réalité virtuelle a pris une importance considérable en particulier via les jeux vidéo, avec des simulations qui sont de plus en plus réalistes (mais pas nécessairement conformes à la réalité) et qui parviennent à synthétiser différentes situations "copiant" le réel avec l'illusion d'une grande précision. Cette réalité virtuelle permet également de reproduire via l'utilisation de systèmes de capture performants des expériences sensorielles que l'on pourrait rencontrer dans la réalité. Ces expériences sensorielles sont reproduites artificiellement grâce à des logiciels que ce soit pour la vue, le toucher ou encore l'ouïe. Pour notre expérience, nous nous focalisons uniquement sur la vue, au détriment des autres sources d'information sensorielles. La littérature scientifique sur le sujet de la réalité virtuelle dans le domaine du sport est encore peu fournie, si nous faisons abstraction des simulations de loisirs qui ont un aspect purement ludique. Cette réalité virtuelle a permis le développement de notre simulation. Notre recherche, qui a pour base une application virtuelle ayant pour objectif d'améliorer la prise de décision des sujets lors de tirs au penalty, se démarque des précédentes expériences qui utilisent des techniques vidéo (Murgia et al., 2014).

Pour notre expérience, nous avons utilisé une simulation participative. En effet, elle permet un couplage entre l'utilisateur et le logiciel. Pour ce genre de simulation, il faut impérativement que l'environnement simulé soit aussi crédible que possible afin qu'il reproduise au mieux les caractéristiques que l'on retrouve en situation réelle et permette ainsi un couplage entre l'utilisateur et le logiciel. Cela prend d'autant plus d'importance si l'utilisateur est un expert dans son domaine (Bickhard, 1999; Loyall, 1997). Pour Burkhardt (2007) la crédibilité d'une simulation découle de la confiance que l'utilisateur peut porter sur les différents agents environnementaux virtuels.

## 1.2 Objectifs

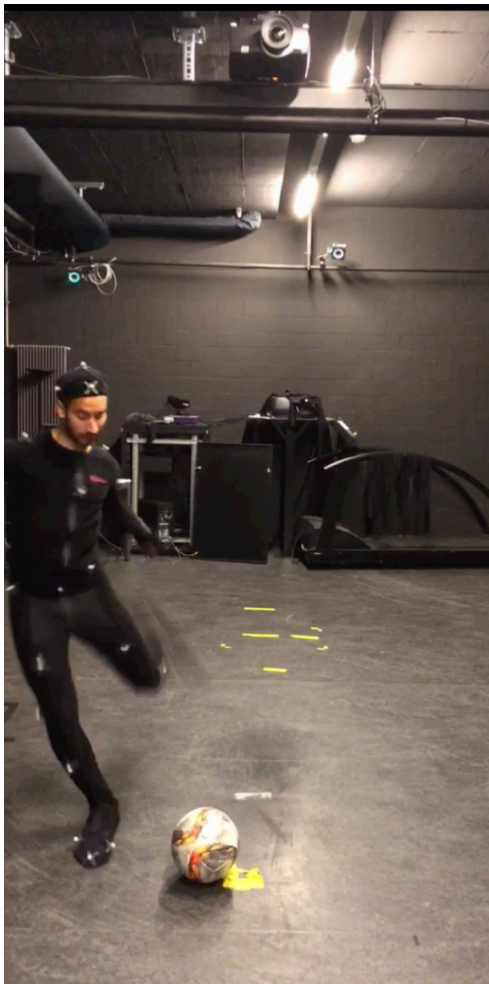
**1.2.1 Expérience.** Les différents résultats de recherches mentionnés précédemment nous ont permis de mettre au point notre expérience. Nous proposons ici de développer une application en réalité virtuelle de tir au penalty du point de vue du gardien. Cette application a pour but en particulier d'entraîner les habiletés sensori-motrices des gardiens à travers différents feedbacks visuels spécifiques au spatial et au temporel. L'entraînement se fera à la maison alors que les pré et post test seront en laboratoire. Nous nous sommes inspirés des résultats de recherche mettant en avant l'intérêt de porter l'attention sur la jambe d'appui du tireur pour proposer trois types de feedback, qui ont été donnés respectivement à trois groupes différents. Le premier appelé *Unleg*, le second, *Leg* et le troisième *Control*.

En ce qui concerne le point de vue de l'utilisateur, nous avons reproduit une scène virtuelle avec un point de vue identique à celui d'un gardien. En ce qui concerne les éléments environnementaux, nous avons reproduit l'enceinte d'un stade de football. L'aspect physique ainsi que la mise en mouvement des joueurs virtuels ont été les éléments centraux lors de la création de notre simulation. En effet, pour que la simulation se rapproche le plus possible de la réalité, l'aspect physique des tireurs devait correspondre au mieux à celui de footballeurs. Pour ce faire, nous avons utilisé MIXAMO. Photoshop nous a permis de reproduire les maillots portés par nos tireurs. Pour ce qui est de la mise en mouvement des joueurs, nous avons dans un premier temps procédé à des captures en laboratoire avec un système de capteur et de caméras (OptiTrack). Les tireurs devaient effectuer 30 tirs (15 à droite 15 à gauche) en situation de match, c'est-à-dire en masquant au maximum leurs intentions. Les différents tireurs sont des professionnels comme des amateurs. Pour plus de précisions sur les joueurs professionnels qui ont contribué à la création de notre simulation, voici une liste des tireurs accompagnée d'un bref descriptif.

- Un milieu de terrain joueur au FC Zürich et international Kosovar, spécialiste de l'exercice du penalty, qui s'est notamment fait remarquer avec une magnifique paneka face au SSC Naples en Ligue Europa.
- Ex international Suisse m21 joueur à Konyaspor, premier buteur de l'histoire du club en Ligue Europa.
- Ex international Suisse m21 joueur au FC, également spécialiste de l'exercice du penalty, participera aux qualifications pour la Ligue des Champions.

- International Suisse m21 joueur à Grasshopper.
- Ancien joueur de BSC Young Boys et actuellement international Suisse de Futsal.

Les mouvements capturés en laboratoire ont permis de mettre en mouvement les avatars créés pour notre expérience et ainsi reproduire au mieux la réalité de mobilité pour notre application.



*Figure 1.* Joueur professionnel en action lors de la capture des mouvements.

### 1.3 Hypothèses scientifiques

H0: Nous pensons que les sujets du groupe *Unleg* auront une meilleure amélioration que les autres groupes. Nous pensons que le fait de voir la partie du corps qui donne le plus d'informations permettra une meilleure prise d'information.

H4: Nous pensons que de manière globale tous les sujets progresseront.

H2: Nous pensons que les résultats (bon côté) du post-test seront meilleurs que les résultats du pré-test. Nous pensons que les entraînements permettront aux participants de s'améliorer.

H1: Nous pensons que les novices auront une meilleure progression au niveau du timing que les experts. Car les experts devraient être meilleurs de base.

H3: Nous pensons que les novices auront une meilleure progression au niveau du score que les experts. Car les experts devraient être meilleurs de base.

## 2 Méthode

### 2.1 Description de l'échantillon

Dans notre expérience tous les sujets sont des sportifs qui ont une bonne connaissance du football. Les experts sont des gardiens de football qui s'entraînent régulièrement à ce poste, les autres sont classés chez les novices. 28 participants divisés en 2 catégories principales (13 experts, 14 novices). L'âge des participants se situait entre 20 et 30 ans. Tous les sujets se trouvaient en bonne santé physique et mentale lors de l'expérience. Dans un premier temps, les 28 sujets ont été séparés selon leur expertise. Les 13 sujets que nous qualifions d'experts répondaient aux mêmes critères de sélection, à savoir être gardien dans un club et s'entraîner au minimum 3 fois par semaine. Pour les sujets que nous qualifions de novices, ils ont tous une bonne connaissance du football et de l'exercice du tir au penalty et n'avaient jamais occupé le poste de gardien de manière officielle dans un club. Chaque participant connaissait les règles de base du tir au penalty dans le football. Les experts et les novices ont par la suite été répartis dans 3 groupes avec différentes conditions (expliquées plus tard dans notre travail).

### 2.2 Instruments de recherche

**2.2.1 L'application.** C'est sur la base d'une application programmée avec *Unity* que nous avons développé notre simulation. *Unity* est un moteur de jeu utilisé sur de multiples plateformes comme les ordinateurs, les consoles de jeux ainsi que les smartphones. Son utilisation est très répandue dans le domaine des jeux vidéo, que ce soit par les professionnels du domaine ou par les amateurs.

**Modélisation.** La mise en scène que nous proposons modélise un terrain dans un stade de football dont les dimensions correspondent à la réalité. Pour nous rapprocher au mieux de la réalité nous avons modélisé des avatars. Leur aspect est celui d'un sportif en équipement de football (cf. Figure 2). Ces avatars sont mis en action sur la base des captures de mouvements de nos tireurs effectuées en laboratoire à l'aide de l'OptiTrack. Chaque tireur a effectué une quinzaine de tirs de chaque côté du but et les meilleurs mouvements ont été sélectionnés pour notre expérience. L'animation de chaque tir démarre au moment où le joueur pose le ballon à terre et se termine au moment où il tire ou juste après avoir tiré. Tous leurs mouvements se déroulent à vitesse réelle.

**Tâche.** Les participants devaient arrêter les penalties via le clavier de l'ordinateur (simple clique sur la touche Q pour la gauche et P pour la droite), la décision devait être prise dans un intervalle de temps "idéal", à savoir 200ms (Kuhn, 1988) avant que le joueur ne touche le ballon (moment qui correspond à la limite pour laquelle le gardien n'a plus aucune chance d'arrêter un tir bien placé) et le moment où le joueur touche le ballon.

**Les métriques.** En plus de l'enregistrement de la bonne réponse (gauche ou droite), le *timing* était important car une décision trop hâtive ou trop tardive était synonyme d'échec.



*Figure 2.* Vision des utilisateurs durant la phase 1.

**2.2.2 Matériel.** Lors du pré et du post-test : 1 écran incurvé SAMSUNG HDMI.

Home-Training : varie selon les participants Mac ou PC portable avec écran allant de 14 pouces à 15.6 pouces.

Dans les deux cas un clavier connecté permettait de donner la réponse. (cf. figure 3).





Figure 3. Participant durant son pré-test en laboratoire.

## 2.3 Design

**2.3.1 Phases de l'expérience.** L'expérience dans son ensemble est divisée en 3 phases : un pré-test en laboratoire puis 7 sessions à la maison (*home-training*) et un post-test en laboratoire. Soit un total de 9 sessions d'environ 20 minutes chacune. Chaque session est divisée en 5 phases. Après une phase d'entraînement à l'application lors du pré-test, les participants étaient amenés durant la première phase (1) à visionner et à interagir avec les tireurs virtuels. Ceux-ci reproduisaient la scène de tir au penalty classique (pose de la balle au sol, recul, course d'élan jusqu'à un peu avant la frappe). Cette phase comportait 22 actions. La deuxième phase était semblable à la première mais cette fois-ci (2) les tireurs apparaissaient à l'écran spécifiquement par rapport à leur groupe (*Control* tout le corps comme pour la phase 1, *Unleg* uniquement la jambe d'appui visible, *Leg* tout le corps visible sauf la jambe d'appui). Cette phase était composée de 18 actions. La troisième phase, la phase d'entraînement (3) reprend les caractéristiques de (2) en y ajoutant une flèche rouge qui

indiquait à l'avance le côté où le tir allait partir. L'animation était aussi plus longue puisque l'ensemble de l'action était affiché (i.e., animation de la balle donnant l'information de quel côté la balle va). La quatrième phase (4) est identique la phase 2 et enfin la cinquième phase (5) est identique à la phase 1. Les phases 1 et 2 constituaient le pré-test alors que les phases 3 et 4 le post-test.

Après chaque tir durant les phases 1 à 5, une barre de feedback indiquant le moment de la prise de décision vis-à-vis du timing idéal apparaissait à l'écran. La réponse était validée uniquement si la réponse avait été donnée dans le bon intervalle de temps (ni trop tôt ni trop tard).

**2.3.2 Les groupes.** Les participants ont été répartis en 3 groupes de 8 à 10 sujets (*Leg*, *Unleg*, *Control*), dans lesquels les parties du corps visibles étaient différentes (voir tableau 1):

- *Leg* : Pré-test 1 et post-test 2 vue du corps en entier pour le reste tout le corps visible sauf la jambe d'appui.
- *Unleg* : Pré-test 1 et post-test 2 vue du corps en entier pour le reste uniquement la jambe d'appui visible.
- *Control* : Tout le corps visible durant l'ensemble de l'expérience.

Lors de la phase de prise en main (pré-test 1) l'intégralité du corps était visible pour les 3 groupes afin de ne pas perturber les sujets dans leur prise de contact avec la simulation.

Tableau 1.

*Les différentes phases selon les groupes.*

	Pré-test 1	Pré-test 2	Apprentissage	Post-test 1	Post-test 2
Leg	Vue normale	Sans appui	Sans appui	Sans appui	Vue normale
Unleg	Vue normale	Jambe d'appui	Jambe d'appui	Jambe d'appui	Vue normale
Control	Vue normale	Vue normale	Vue normale	Vue normale	Vue normale

**2.3.3 Pré-test 1 et post-test 2.** Pour chaque expérience le pré-test 1 et le post-test 2 étaient composés de 18 scénarios identiques. Ces 18 scénarios ont ensuite été soumis aux sujets dans un ordre aléatoire.

**2.3.4 Pré-test 2 et post-test 1.** Pour chaque expérience le pré-test2 et le post-test 1 étaient composés de 22 scénarios identiques. Ces 22 scénarios ont ensuite été soumis aux sujets dans un ordre aléatoire.

**2.3.5 Entraînement.** La phase d'entraînement était composée de 40 scénarios sélectionnés de manière aléatoire parmi 120 scénarios disponibles. Ces scénarios étaient différents de ceux proposés en pré et en post.

## 2.4 Mesures

Afin de mesurer chacune des variables dépendantes, nous avons comparé les résultats obtenus pour nos participants avec les résultats idéals prédéfinis pour chacun de nos scénarios.

- Timing : situation de la réponse dans un intervalle de temps prédéfini (In ou OUT).
- Direction du tir : Sélection de la bonne direction par rapport au scénario.

## 2.5 Analyse statistique

Pour les tests à un seul facteur pour deux niveaux, nous avons eu recours au test de *student* en ce qui concerne les cas paramétriques (mesures répétées et indépendantes). Pour les cas non paramétriques, nous avons eu recours au test de *Wilcoxon* (mesures répétées). Pour les mesures indépendantes, nous avons eu recours au test de *Welch* (paramétrique) et celui de *Wilcoxon* en absence d'homogénéité.

En ce qui concerne les tests à plusieurs facteurs pour plusieurs niveaux, nous avons eu recours à la méthode ezANOVA de R, tout cela dans le cadre paramétrique. Nous avons utilisé la méthode des transformations par rang dans le cadre non paramétrique.

## 3 Résultats

### 3.1 Résultats sur les différents types d'apprentissages

H0: Nous pensons que les sujets du groupe *Unleg* auront une meilleure amélioration que les autres groupes. Nous pensons que le fait de voir la partie du corps qui donne le plus d'informations permettra une meilleure prise d'information.

H4: Nous pensons que de manière globale tous les sujets progresseront.

#### 3.1.1 Timing.

- Nous ne constatons pas de différence entre les 3 groupes au niveau du pré-test.  $t(8)=-0.36$ , ( $p=0.773$ ). Ce résultat nous permet de confirmer que la répartition des sujets est équilibrée.
- En combinant les 3 groupes nous n'avons pas d'amélioration significative ( $p=0.09$ )
  - Seul le groupe UNLEG s'est amélioré significativement ( $p=0.011$ ).
  - Uniquement une tendance pour le groupe LEG ( $p=0.31$ ).

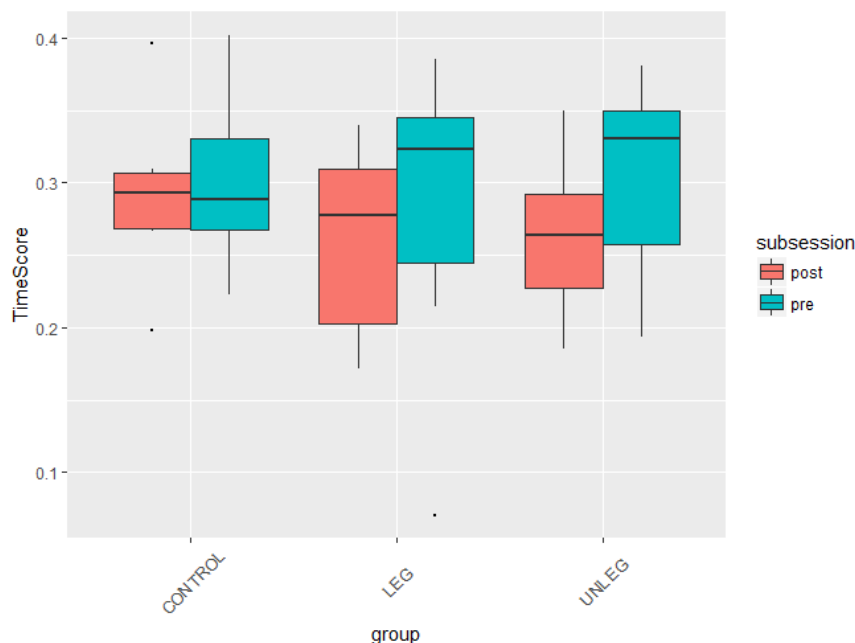
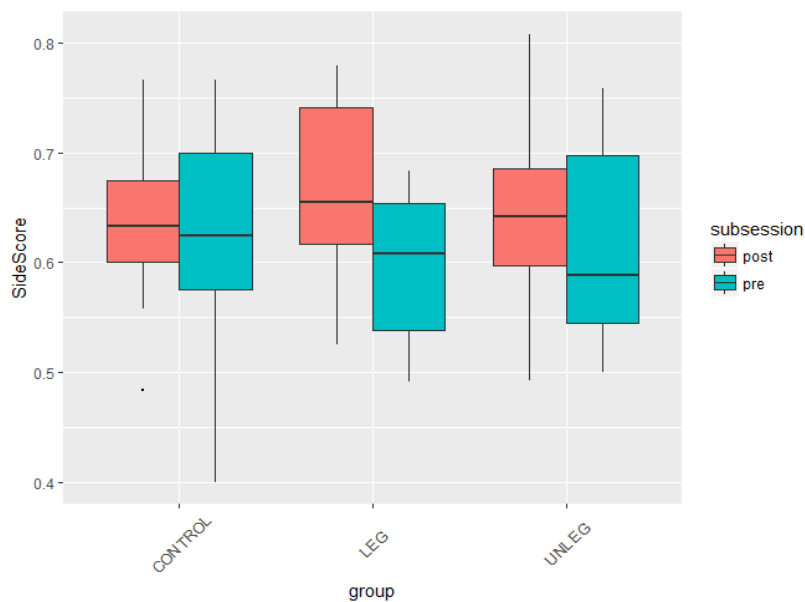


Figure 4. Analyse au niveau du timing sur la différence post-test - pré-test entre les 3 groupes.

**3.1.2 Score.** H2: Nous pensons que les résultats (bon côté) du post-test seront meilleurs que les résultats du pré-test. Nous pensons que les entraînements permettront aux participants de s'améliorer.

- Il n'y a pas de différence entre les 3 groupes lors du pré-test, ce qui confirme le bon équilibrage des groupes
- SideScore  $F(2) = 0.241$ ,  $p=0.787$
- En combinant les 3 groupes nous n'avons pas d'amélioration significative ( $p=0.07$ ).
- Pour chacun des groupes aucun n'a d'amélioration significative.
  - Control  $t(8)=-0.365$ ,  $p=0.731$
  - Unleg  $t(9)=-1.070$ ,  $p=0.312$
  - Leg  $t(8)=-1.751$ ,  $p=0.122$



*Figure 5.* Analyse au niveau du score sur la différence post-test - pré-test entre les 3 groupes.

### 3.2 Résultats sur les performances experts novices

H1: Nous pensons que les novices auront une meilleure progression au niveau du timing que les experts. Car les experts devraient être meilleurs de base.

#### 3.2.1 Timing.

- En combinant les experts et les novices nous constatons une amélioration générale ( $p=0.03$ ).
- Pris séparément, il y a une progression entre pré-test et post-test pour les deux groupes.
  - Novices ( $p=0.107$ )
  - Experts ( $p=0.08$ )
- Pas de différence significative entre les deux groupes  $t = 0.8$  ( $p\text{-value} = 0.4325$ ).

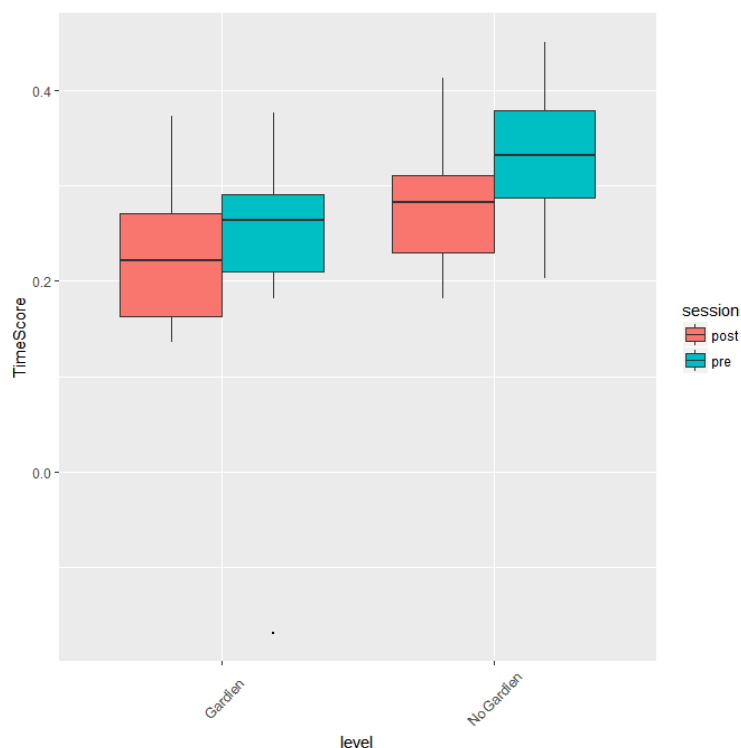
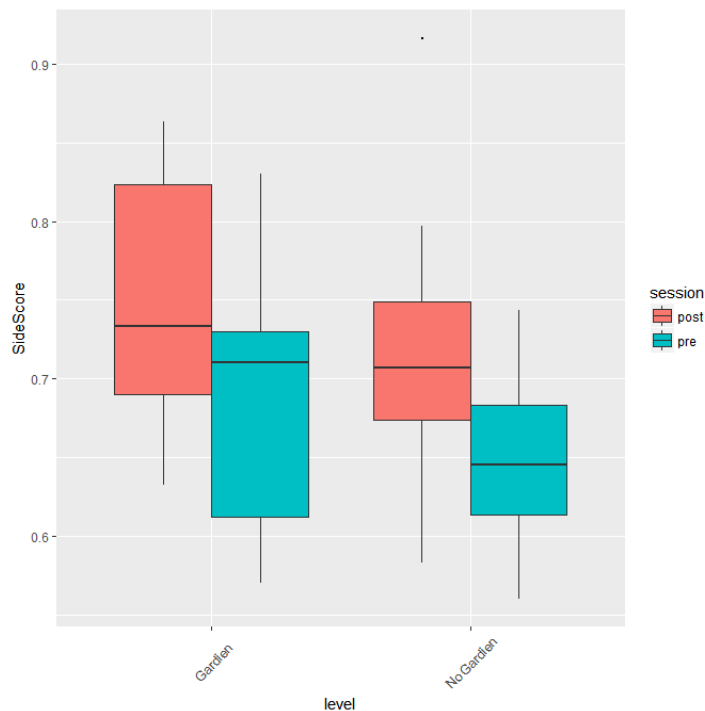


Figure 6. Comparaison performance timing entre experts (N=13) et les novices (N=14). Gardien = experts. NoGardien = novices.

**3.2.2 Score.** H3: Nous pensons que les novices auront une meilleure progression au niveau du score que les experts. Car les experts devraient être meilleurs de base.

- Nous constatons une amélioration générale au niveau du score  $t(26)=4.13$  ( $p=0.0003$ )
- Pris séparément, il y a une progression entre pré-test et post-test pour les deux groupes.
  - Novices  $t(13)=2.98$  ( $p=0.0106$ )
  - Experts  $t(12)=2.74$  ( $p=0.017$ )
- Pas de différence significative entre les deux groupes  $t = -0.047$  ( $p\text{-value}=0.9629$ )



*Figure 7.* Comparaison performance score entre les experts (N=13) et les novices (N=14). Gardien = experts. NoGardien = novices.



## 4 Discussion

Afin d'être bien au clair avant de discuter des résultats des tableaux ci-dessus, faisons un rappel des hypothèses qui ont été émises plus tôt dans la recherche.

H0: Nous faisons l'hypothèse que les sujets du groupe *Unleg* auront une meilleure amélioration que les autres groupes. Nous pensons que le fait de voir la partie du corps qui donne le plus d'informations permettra une meilleure prise d'information.

H4: Nous faisons l'hypothèse que de manière globale tous les sujets progresseront.

H2: Nous faisons l'hypothèse que les résultats (bon côté) du post-test seront meilleurs que les résultats du pré-test. Nous pensons que les entraînements permettront aux participants de s'améliorer.

H1: Nous faisons l'hypothèse que les novices auront une meilleure progression au niveau du timing que les experts. Car les experts devraient être meilleurs de base.

H3: Nous faisons l'hypothèse que les novices auront une meilleure progression au niveau du score que les experts. Car les experts devraient être meilleurs de base.

### 4.1 Impact de l'apprentissage selon le groupe

Pour commencer nous allons nous intéresser aux résultats qui concernent le timing (cf. tableau 1) et ainsi discuter de notre première hypothèse (H0). Les résultats nous montrent qu'il n'y a pas de différence entre les groupes au pré-test, ce qui témoigne d'un bon équilibre dans la répartition des sujets par groupe ( $p=0.773$ ). C'est-à-dire que les 3 groupes ne se différencient pas significativement au pré-test. En combinant les 3 groupes, il n'y a pas d'amélioration significative ( $p=0.09$ ). En ce qui concerne les 3 groupes pris séparément, nous constatons une amélioration significative uniquement pour le groupe UNLEG ( $p=0.011$ ) ce qui confirme notre première hypothèse, du moins au niveau du timing. Nous démontrons donc que le fait de forcer l'attention sur les zones qui donnent le plus d'informations afin d'imiter le comportement visuel des experts, permet une meilleure acquisition des compétences au niveau du timing. Notre hypothèse (H4) est partiellement vérifiée en ce qui concerne le timing étant donné que c'est significatif uniquement pour le groupe UNLEG. Pour les autres groupes, ce ne sont que des tendances. CONTROL ( $p=1$ ), LEG ( $p=0.3$ ).

Pour ce qui est du score, il n'y a également pas de différences entre les groupes au niveau du pré-test. En combinant les 3 groupes nous ne constatons uniquement une tendance mais pas d'amélioration significative ( $p=0.07$ ). Entre les 3 groupes pris séparément il n'y a pas d'amélioration significative, uniquement une tendance pour le groupe LEG. CONTROL

( $p=0.73$ ), UNLEG ( $p=0.31$ ), LEG ( $p=0.12$ ). Il faut noter que nous manquons de sujets pour le groupe LEG (cf. Figure 4). Ces tendances nous montrent que les 3 groupes progressent, une progression minime pour le groupe CONTROL et plus conséquente pour les groupes LEG et UNLEG. Notre hypothèse (H2) n'est que partiellement vérifiée, étant donné qu'il ne s'agit que de tendances. Le manque de sujets peut en être la cause.

Prenons note que le groupe UNLEG, qui s'est amélioré au niveau du timing, ne perd rien au niveau du score, au contraire a tendance à s'améliorer. Ce groupe a acquis un meilleur temps de réponse tout en conservant, voire en améliorant, son score. Pour les deux autres groupes il ne s'agit que de tendances à la progression au niveau du score et du timing (cf. figure 4 et figure 5).

A retenir :

#### *Timing*

- Nous ne constatons pas de différence entre les 3 groupes au niveau du pré-test
- En combinant les 3 groupes nous n'avons pas d'amélioration significative
- Seul le groupe UNLEG s'est amélioré significativement
- Uniquement des tendances pour le groupe LEG (manque de sujets)

#### *Score*

- Il n'y a pas de différence entre les 3 groupes lors du pré-test
- En combinant les 3 groupes nous n'avons pas d'amélioration significative
- Pour chacun des groupes aucun n'a d'amélioration significative (uniquement des tendances)

## **4.2 Comparaison entre experts et novices**

L'analyse des résultats au niveau du timing nous permet de discuter de notre hypothèse (H1). Les résultats nous montrent qu'au départ le temps de réaction des experts est meilleur que celui des novices (cf. tableau 3). Les résultats montrent une amélioration générale ( $p=0.03$ ). En effet, les experts comme les novices s'améliorent au niveau du timing NOVICES ( $p=0.107$ ), EXPERTS ( $p=0.08$ ), ce qui invalide notre hypothèse (H1). Ceci est une bonne nouvelle pour notre expérience étant donné que les experts qui ont déjà un meilleur niveau au départ de l'expérience progressent autant que les novices pour le timing. Ces résultats tendent à crédibiliser notre application pour tous les niveaux d'expertise.

Les résultats pour le score nous intéressent pour l'hypothèse (H3). Nos résultats démontrent une amélioration générale ( $p=0.0003$ ) qui invalide notre hypothèse (H3) même si celle-ci

paraissait plausible au départ. En effet, les deux groupes progressent : que ce soit les experts ( $p=0.017$ ) ou les novices ( $p=0.01$ ). C'est une bonne nouvelle pour notre expérience car tout comme pour le timing, les experts progressent tout autant que les novices, aussi au niveau du score. Ces résultats, additionnés aux autres, crédibilisent d'autant plus notre application et ceci pour tous les niveaux d'expertises. Dans un premier temps, les experts comme les novices s'améliorent au niveau du timing, ce qui montre l'intérêt de notre application dans le cadre de l'amélioration au tir au penalty. A noter la progression générale des deux groupes. On peut en déduire que notre expérience est efficace, peu importe le niveau d'expertise.

A retenir :

#### *Timing*

- En combinant les experts et les novices nous constatons une amélioration générale
- Pris séparément, il y a une progression entre pré-test et post-test pour les deux groupes
- Pas de différence significative entre les deux groupes

#### *Score*

- Nous constatons une amélioration générale au niveau du score
- Pris séparément, il y a une progression entre pré-test et post-test pour les deux groupes
- Pas de différence significative entre les deux groupes

### 4.3 Idées pour de futures recherches

Pour de futures recherches, il serait intéressant de faire participer un plus grand nombre de sujets à notre expérience en espérant obtenir des résultats plus démonstratifs. En effet, le manque de sujets pour certains aspects de notre expérience semble être le plus gros défaut de cette recherche.

Une autre adaptation pourrait être d'organiser des passations dans un lieu bien défini et sous contrôle car, en effet, avec le *home training*, la liberté des sujets est si grande que nous ne pouvons pas garantir une parfaite assiduité durant l'ensemble des entraînements. Le tout se déroulerait avec des horaires bien précis afin de limiter les éventuels abus. La seule limitation dans notre expérience a été d'empêcher les sujets de faire plusieurs entraînements le même jour, ceci afin d'éviter que tous les entraînements soient regroupés dans les derniers jours avant le post-test. Nous avons tout de même rencontré le cas où certains sujets ont lancé une expérience peu avant minuit suivit d'une deuxième peu après minuit. Certes ces sessions n'ont pas eu lieu le même jour mais c'est ce que nous voulions éviter en imposant cette restriction. Il reste donc des améliorations à faire de ce côté-là.

Avec notre application, les sujets se contentaient de choisir droite ou gauche sur un clavier. Pour une nouvelle étude, il serait intéressant d'y ajouter d'autres possibilités (en haut à droite, en haut à gauche, en bas à gauche, sur le côté à mi-hauteur, au centre du but etc...). Bien que difficile à mettre en place dans le cadre d'un programme *home training*, il serait aussi intéressant d'utiliser des capteurs de mouvements au niveau des mains des sujets, ce qui permettrait de donner une réponse rapide et précise avec un simple mouvement de bras et de se rapprocher ainsi encore plus de la réalité.

Pour de prochaines recherches, il serait aussi intéressant d'essayer d'ajouter des éléments qui viennent perturber les sujets, que ce soit déjà pour les simulations de tir au niveau de la course d'élan (avec arrêt, changement de rythme dans la course, etc...), ou au niveau du type de tir lui-même, avec la panenka comme possibilité. Afin de perturber les sujets et de se rapprocher le plus possible de la réalité des terrains, des améliorations peuvent être faites sur l'environnement. En dehors du contact avec le ballon, nous n'avons aucun effet sonore dans notre application. Ces effets sonores pourraient être des encouragements des fans, des coéquipiers ou encore des sifflements des fans adverses, afin de décourager le gardien. Des animations supplémentaires pourraient également faire leur apparition étant donné que dans notre application, rien ne vient perturber le regard des sujets car le tireur en mouvement est la seule animation à l'écran. Un public en mouvement est aussi une option envisageable pour une prochaine expérience de ce type. Une autre amélioration qui pourrait servir serait de

regrouper un plus grand nombre de tireurs qui animent les simulations.

Dans notre étude, tout a été mis en œuvre pour optimiser au mieux la validité écologique. Nous avons reçu bon nombre de feedback de gardiens ayant participé à notre expérience. L'ensemble des feedback était encourageant car les gardiens disaient avoir le sentiment d'avoir progressé, que ce soit en situation de match ou simplement durant les entraînements de la semaine. Toutefois il convient de rester très prudent avant de reporter nos résultats sur une situation "réelle ". En effet les sujets n'étaient pas exposés aux diverses conditions que l'on peut rencontrer lors d'un vrai match de football. Personne n'a encore testé le transfert d'un entraînement à la perception pour le penalty dans le football. Par contre d'autres études sur des situations sportives poussent à aller dans cette direction (Farrow & Abernethy, 2002; Hopwood et al., 2011; Put et al., 2013). La possibilité d'obtenir des améliorations dans des situations réelles avec un entraînement perceptuel mérite d'être clarifiée.

En outre, parmi nos sujets experts, aucun n'était professionnel, chose qui pourrait évidemment limiter l'applicabilité de nos résultats aux gardiens de buts amateurs, aux novices et non à l'élite. Il serait intéressant d'élargir notre étude chez des professionnels de la discipline.

Notre étude est essentiellement basée sur une tâche décisionnelle. A l'avenir, il serait intéressant de se pencher sur l'influence des processus cognitifs à la base de la prise de décision sur la capacité d'apprentissage aux différents niveaux d'expertise.

Un autre aspect intéressant qui mériterait d'être abordé séparément est celui du niveau des tireurs. En effet, dans notre expérience, certains tireurs ont certainement causé plus de problèmes à nos sujets que d'autres. Une possibilité de recherche qui pourrait intéresser le monde du football, et plus particulièrement les clubs, serait de capturer les mouvements des tireurs d'une même équipe et de faire le même test à des sujets gardiens pour voir finalement quels tireurs ont le meilleur taux de réussite. On pourrait ainsi déterminer lesquels sont les plus aptes à tromper les gardiens.

## 5 Conclusion

Notre étude prend sa place dans une lignée de plusieurs recherches sur l'exercice du penalty qui visent à démontrer la possibilité d'améliorer les gardiens sur cet exercice basé sur la prise d'information rapide. Notre application s'inspire des recherches de plusieurs études sur le thème du penalty dans le football, que nous avons regroupées. Notre application a pour but de permettre aux sujets de se plonger dans des situations conformes à ce que l'on peut rencontrer sur le terrain.

Notre étude, qui s'intéresse à la prise de décision du gardien de football sur l'exercice du penalty en réalité virtuelle, nous a permis de valider plusieurs hypothèses. Retenons que le groupe *UNLEG* (feedback uniquement de la jambe d'appui), qui s'est amélioré au niveau du timing, ne perd rien au niveau du score, au contraire. Ce groupe a acquis un meilleur temps de réponse tout en conservant, voire en améliorant, son score. Pour les deux autres groupes, il ne s'agit que de tendances à la progression au niveau du score et du timing. Il est important de souligner que notre simulation participative permet aux experts comme aux novices de faire des progrès, que ce soit au niveau du timing ou du score. Ces résultats témoignent finalement d'un intérêt d'utiliser cette application avec ce feedback pour faire progresser gardien et non gardien.

Dans cet élan de recherches pour développer l'aspect cognitif dans le football, notre application fait une avancée significative dans le domaine à une période où le penalty prend de plus en plus d'importance.

## Bibliographie

- Abernethy, B., & Russell, D. G. (1984). Advance cue utilization by skilled cricket batsmen. *Australian Journal of Science and Medicine in Sport*, 16, 2–10.
- Abernethy, B. (1990). Expertise, visual search, and information pick-up in squash. *Perception*, 19, 63–77.
- Abernethy, B., Wood, J. M., & Parks, S. (1999). Can the anticipatory skills of experts be learned by novices? *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 70(3), 313e318.
- Abernethy, B., Gill, D. P., Parks, S. L., & Packer, S. T. (2001). Expertise and the perception of kinematic and situational probability information. *Perception*, 30(2), 233e252.
- Abernethy, B., & Russell, D. G. (1987a). Expert–novice differences in an applied selective attention task. *Journal of Sport Psychology*, 9, 326–345.
- Abernethy, B., & Russell, D. G. (1987b). The relationship between expertise and visual search strategy. *Human Movement Science*, 6, 283–319.
- Abernethy, B., Thomas, K. T., & Thomas, J. R. (1993). Strategies for improving understanding of motor expertise. In J. L. Starkes & F. Allard (Eds.), *Cognitive issues in motor expertise* (pp. 317–356). Amsterdam, The Netherlands: Elsevier.
- Bickhard, M. H. (1999). Interaction and representation. *Theory & Psychology*, 9(4), 435–458.
- Bond, C. F., Jr., & DePaulo, B. M. (2006). Accuracy of deception judgments. *Personality and Social Psychology Review*, 10, 213–234.
- Burkhardt, J. M. (2007). Immersion, représentation et coopération: discussion et perspectives de recherches empiriques pour l’ergonomie cognitive de la Réalité Virtuelle. *Intellectica*, 45(1), 59–87.
- Button, C., Dicks, M., Haines, R., Barker, R., & Davids, K. (2011). Statistical modelling of gaze behaviour as categorical time series: What you should watch to save soccer

- penalties. *Cognitive Processing*, 12(3), 235–244.
- Coull, J. T., & Nobre, A. C. (1998). Where and when to pay attention: The neural systems for directing attention to spatial locations and to time intervals as revealed by both PET and fMRI. *Journal of Neuroscience*, 18, 7426–7435.
- Diaz, G. J., Fajen, B. R., & Phillips, F. (2012). Anticipation From Biological Motion: The Goalkeeper Problem. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*.
- Dicks, M., Button, C., & Davids, K. (2010). Examination of gaze behaviors under in situ and video simulation task constraints reveals differences in information pickup for perception and action. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 72, 706–720.
- Dicks, M., Uehara, L., & Lima, C. (2011). Deception, individual differences and penalty kicks: Implications for goalkeeping in Association Football. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 6(4), 515–522.
- Farrow, D., Abernethy, B., & Jackson, R. C. (2005). Probing expert anticipation with the temporal occlusion paradigm: *Experimental investigations of some methodological issues*. *Motor Control*, 9, 332–351.
- Farrow, D., & Abernethy, B. (2002). Can anticipatory skills be learned through implicit video based perceptual training? *Journal of Sport Sciences*, 20(6), 471e485.
- Franks, Harvey, (1997). Cues for goalkeepers: high-tech methods used to measure penalty s hot response. *Soccer Journal*, 42 30–33, 38.
- Fuchs, P., Moreau, G., & Berthoz, A. (2003). Le traité de la réalité virtuelle (Vol. 1, Fondements et interfaces comportementales). *Sciences mathématiques et informatique*.
- Helsen, W., & Pauwels, J. M. (1992). A cognitive approach to visual search in sport. In D. Brogan & K. Carr (Eds.), *Visual search II* (pp. 177–184). London: Taylor and Francis.
- Helsen, W. F., & Starkes, J. L. (1999). A multidimensional approach to skilled perception and performance in sport. *Applied Cognitive Psychology*, 13, 1–27.



doi:10.1002/(SICI)1099- 0720(199902)13:1<1::AID-ACP540>3.0.CO;2-T.

- Hopwood, M. J., Mann, D. L., Farrow, D., & Nielson, T. (2011). Does visual-perceptual training augment the fielding performance of skilled cricketers? *International Journal of Sports Science and Coaching*, 6(4), 523e535.
- Jackson, R. C., & Farrow, D. (2005). Implicit perceptual training: how, when, and why? *Human Movement Science*, 24(3), 308e325.
- Janata, P., & Reisberg, D. (1988). Response-time measures as a means of exploring tonal hierarchies. *Music Perception*, 6, 163–174.
- Jones, C. M., & Miles, T. R. (1978). Use of advanced cues in predicting the flight of a lawn tennis ball. *Journal of Human Movement Studies*, 4, 231e235.
- Krumhansl, C. L., & Shepard, R. N. (1979). Quantification of the hierarchy of tonal functions within a diatonic context. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 5, 579–594. doi:10.1037/0096-1523.5.4.5
- Kim, S., & Lee, S. (2005). Gaze behavior of elite soccer goalkeeper in successful penalty kick defense. *Korean Journal of Sport Science*, 16, 117 – 126.
- Kuhn, W. (1988). Penalty kick strategies for shooters and goalkeepers. In T. Reilly, A. Lees, K. Davids & W. J. Murphy (Eds.), *Science and football* (pp. 489–492). London: E & FN Spon.
- Kunde, W., Elsner, K., & Kiesel, A. (2007). No anticipation–no action: The role of anticipation in action and perception. *Cognitive Process*, 8, 71–78.
- Laurent Favre, Football : l'arbitrage vidéo sera utilisé lors de la Coupe du monde 2018 en Russie [archive], [www.lemonde.fr](http://www.lemonde.fr), 26 avril 2017 (consulté le 25 juin 2019)

- Le Naour, T., Hamon, L. & Bresciani, J-P. (2019) Superimposing 3D Virtual Self + Expert Modeling for Motor Learning: Application to the Throw in American Football. *Front. ICT* 6:16. doi: 10.3389/fict.2019.00016
- Lopes, J. E., Araújo, D., & Davids, K. (2014). Investigative trends in understanding penalty-kick performance in association foot- ball: An ecological dynamics perspective. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 44(1), 1–7.
- Loyall, A. B. (1997). *Believable Agents: Building Interactive Personalities*. (Thèse, Carnegie Mellon University, Pittsburg, USA). Accès à l'adresse <https://www.cs.cmu.edu/afs/cs/project/oz/web/papers/CMU-CS-97-123.pdf>
- Mann, D. L., 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), 457e478.
- Mori, S., Ohtani, Y., & Imanaka, K. (2002). Reaction times and anticipatory skills of karate athletes. *Human Movement Sciences*, 21(2), 213e230.
- Mulqueen, T., & Woitalla, M. (2011). *The complete soccer goal- keeper*. Lower Mitcham: Human Kinetics.
- Murgia, M., Hohmann, T., Galmonte, A., Raab, M., & Agostini, T. (2012). Recognising one's own motor actions through sound: the role of temporal factors. *Perception*, 41(8), 976e987.
- Murgia, M., Sors, F., Muroi, A.F., Santoro, I., Prpic, V., Galmonte, A., Agostini, T. (2014). *Psychology of Sport and Exercise*, 15, 642e648.
- Nobre, A. C., Correa, A., & Coull, J. T. (2007). The hazard of time. *Current Opinion in Neurobiology*, 17, 1–6.
- Osterhout, L., & Holcomb, P. J. (1992). Event-related brain potentials elicited by syntactic anomaly. *Journal of Memory and Language*, 31, 785–806.

- Paull, G., & Glencross, D. (1997). Expert perception and decision making in baseball. *International Journal of Sport Psychology*, 28, 35–56.
- Piras, A., & Vickers, J. N. (2011). The effect of fixation transitions on quiet eye duration and performance in the soccer penalty kick: instep versus inside kicks. *Cognitive Processing*, 12(3), 245e255.
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32, 3–25.
- Put, K., Wagemans, J., Jaspers, A., & Helsen, W. F. (2013). Web-based training improves on-field offside decision-making performance. *Psychology of Sport and Exercise*, 14(4), 577e585.
- Regan, D. (1997). Visual factors in hitting and catching. *Journal of Sports Sciences*, 15(6), 533–558.
- Ripoll, H., Le Troter, A., Baratgin, J., Mavromatis, S., Faissolle, M., Zmilsony, F., Poplu, G., Petit, Jp., Sequeira, J. (2004). The interest of simulation for research and training in sport: the example of football.
- Runeson, S., & Frykholm, G. (1983). Kinematic specification of dynamics as an informational bias for person-and-action perception: Expectation, gender recognition, and deceptive intention. *Journal of Experimental Psychology. General*, 112, 585–615.
- Savelsbergh, G. J., van der Kamp, J., Williams, A. M., & Ward, P. (2005). Anticipation and visual search behaviour in expert soccer goalkeepers. *Ergonomics*, 48(11e14), 1686e1697.
- Savelsbergh, G. J., Williams, A. M., van der Kamp, J., & Ward, P. (2002). Visual search, anticipation and expertise in soccer goalkeepers. *Journal of Sport Sciences*, 20(3), 279e287.
- Sebanz, N., & Shiffrar, M. (2009). Detecting deception in a bluffing body: The role of

- expertise. *Psychonomic Bulletin & Review*, 16, 170–175. doi:10.3758/PBR.16.1.170
- Schmidt, R., & Lee, T. (2005). *Motor control and learning: A behavioural emphasis*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Sowden, P. T., Davies, I. R., & Roling, P. (2000). Perceptual learning of the detection of features in X-ray images: a functional role for improvements in adults' visual sensitivity? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 26(1), 379e390.
- Starkes, J. L., & Allard, F. (1993). *Cognitive issues in motor expertise*. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier.
- Ste-Marie, D. M., Law, B., Rymal, A. M., Jenny, O., Hall, C., & McCullagh, P. (2012). Observation interventions for motor skill learning and performance: an applied model for the use of observation. *Int. Rev. Sport Exerc. Psychol.* 5, 145–176. doi: 10.1080/1750984X.2012.665076.
- van der Kamp, J. (2011). Exploring the merits of perceptual anticipation in the soccer penalty kick. *Motor Control*, 15(3), 342e358.
- Ward, P., Williams, A. M., & Bennett, S. J. (2002). Visual search and biological motion perception in tennis. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 73, 107–112.
- Weissensteiner, J., Abernethy, B., Farrow, D., & Müller, S. (2008). The development of anticipation: a cross sectional examination of the practice experiences contributing to skill in cricket batting. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 30(6), 663e684.
- Williams, A. M., & Hodges, N. J. (2005). Practice, instruction and skill acquisition in soccer: challenging tradition. *Journal of Sports Sciences*, 23(6), 637e650.
- Williams, A. M., Davids, K., Burwitz, L., & Williams, J. G. (1994). Visual search strategies in experienced and inexperienced soccer players. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 65, 127–135.
- Williams, A. M. (2000). Perceptual skill in soccer: implications for talent identification and development. *Journal of Sports Sciences*, 18(9), 737e750.

- Williams, A. M., Davids, K., & Williams, J. G. P. (1999). *Visual perception and action in sport*. London, UK: E & FN Spon.
- Williams, A. M., & Davids, K. (1998). Visual search strategy, selective attention and expertise in soccer. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 69, 111–129.
- Williams, A. M., & Burwitz, K. (1993). Advance cue utilization in soccer. In T. Reilly, J. Clarys, & A. Stribbe (Eds.), *Science and football*, Vol. II (pp. 239–243). London, UK: E & FN Spon.
- Wright, M. J., Bishop, D. T., Jackson, R. C., & Abernethy, B. (2011). Cortical fMRI activation to opponents' body kinematics in sport-related anticipation: expert- novice differences with normal and point-light video. *Neuroscience Letters*, 500(3), 216e221.
- Wright, R. D., & Ward, L. M. (2008). *Orienting of attention*. New York, NY: Oxford University Press.