

TABLES DES MATIERES

1. INTRODUCTION	5
1.1 Contexte	5
1.2 Coordination visuo-motrice	6
1.2.1 Psychologie cognitive	6
1.2.2 Psychologie écologique (Gibson (1966, 1979)).....	8
1.3 Le coup de pied de réparation	9
1.3.1 Football moderne et coup de pied de réparation	9
1.3.2 Facteurs sensorimoteurs affectant le coup de pied de réparation	10
1.3.3 Le temps et les boucles sensorielles contrôlant l'exécution du coup de pied de réparation	11
1.3.4 Anticipation et recherche d'informations visuelles	13
1.4 But du travail et question de recherche	15
1.5 Hypothèses de recherche	16
2. METHODE	17
2.1 Sujets	17
2.1.1 Tireurs	17
2.1.2 Gardiens	17
2.2 Matériels	17
2.3 Procédure	18
2.3.1 Tireurs	18
2.3.2 Gardiens	20
2.4 Enregistrement des données	21
2.5 Analyse des données	22
3. RESULTAT	24
3.1 Résultats par sujets	24
3.2 Normalité	25
3.3 Paired T-test	26
3.4 Résultats Eye-tracking	27
4. ANALYSE DES RESULTATS	32
5. DISCUSSION	37
5.1 Succès et limites du travail	37

5.2 Développement possible de l'étude	38
5.3 Comparaison avec d'autres études	39
6. CONCLUSION	41
7. BIBLIOGRAPHIE	42
8. REMERCIEMENTS	45
9. DECLARATION PERSONNELLE	45
10. DROIT D'AUTEUR	45

1. INTRODUCTION

1.1 Contexte

Durant les dernières années, l'importance des tirs au but dans les compétitions officielles internationales est en pleine croissance. On constate que près d'un quart des matchs (4/15), lors de la phase finale de la coupe du monde 2014 ont eu recours à une séance de tir au but pour départager les deux protagonistes. Lors de l'Euro 2016 un cinquième des matchs ont subi la même issue et pour ce qui est de la Ligue des Champions, 11 finales sur 32 (depuis 1984, la version moderne de la LDC) ont terminé avec une séance de tir au but.

De plus, une faute commise à l'intérieur de la surface de réparation provoquant un coup franc direct donne à l'équipe adverse un coup de pied de réparation. Ce genre de situation a une influence particulièrement grande sur le dénouement d'une rencontre. Lors de la coupe du monde 2014, environ 7,02% (12/171) des buts inscrits le sont sur coup de pied de réparation et 7,41% (8/108) lors de l'Euro 2016.

De plus, on sait qu'entre 20% et 35% des coups de pieds de réparation sont manqués (Franks & Harvey, 1997; Kuhn, 1988). On peut donc en déduire que malgré les difficultés pour le tireur, notamment la pression que doit gérer le joueur, l'attaquant reste en position de force lors de cet exercice. Cela peut s'expliquer par le fait que les joueurs ont mis des stratégies en place, afin d'obtenir un taux de réussite aussi élevé que possible. Il a d'ailleurs été montré que 75% des tireurs attendent que le gardien choisissent un côté avant de placer le ballon à l'opposé (Kuhn, 1988). Même si cela paraît particulièrement difficile à contrer pour le gardien, qui va devoir trouver le moment exact pour plonger. En effet, il va devoir plonger suffisamment tôt, pour avoir mécaniquement la possibilité d'arrêter le ballon et suffisamment tard pour éviter au tireur de changer d'option et de tirer à l'opposé de son mouvement. Les informations perçues et traitées par le gardien, avant que le joueur ne frappe, auront donc une importance capitale.

1.2 Coordination visuo-motrice

L'être humain utilise ses sens afin de produire des mouvements dans un but précis. La coordination visuo-motrice est l'habileté à créer une commande motrice à partir d'information visuelle (McLeod, 1994).

Ces informations sont particulièrement importantes, notamment pour l'apprentissage moteur ainsi que pour la performance motrice. L'apprentissage moteur passe par plusieurs étapes afin d'acquérir un mouvement encore inconnu jusque-là. Il demande une phase d'apprentissage physique obligatoire. La performance motrice, elle, débute lorsque le mouvement est en partie ou totalement connu et que l'on veut planifier ou produire ce mouvement afin d'atteindre un but précis. C'est ce qu'on appelle aussi le contrôle moteur.

Il n'y a pas de point précis entre la phase d'apprentissage et de performance cela est dû au fait que l'on peut être expert dans un domaine et novice dans un autre.

1.2.1 Psychologie cognitive

La psychologie cognitive nous permet de comprendre comment fonctionne le cerveau lors du traitement de l'information. On peut la considérer comme « the study of how people perceive, learn, remember, and think about information ». Sternberg (2003, p.527) Cela comprend le gain d'information sur le monde environnant, le stockage d'information dans la mémoire et nous permet de comprendre comment la connaissance est utilisée pour résoudre des problèmes, penser ou même parler.

Selon Summers (Summers, 2004, p.7), il y a trois étapes lors du traitement de l'information. La perception, la prise de décision et enfin la sélection de la réponse. Mais comme il est difficile de mesurer l'information traitée lors d'un processus cognitif, les psychologues ont défini dans la psychologie cognitive des « *sub-areas* » permettant de comprendre comment l'information est acquise, traitée et quels sont les effets sur les comportements humains.

Voici quelques « *sub-areas* » :

- *Les neurosciences cognitives* : Détermine les zones du cerveau qui sont utilisées lors du traitement de l'information

- *Sensation et perception* : Traitement de l'information sensorielle dans un court intervalle de temps (< 100ms)
- *Attention* : Sélection des informations utiles parmi un vaste choix d'informations. Peut prendre entre 120 et 200 ms (utilise les cinq sens)
- *Conscience* : Explique pourquoi nous sommes conscients de certaines choses et non d'autres. Domaine relativement mystérieux.
- *Mémoire* : Stockage et utilisation des informations
- *Langage* : Explique l'expression littéraire sous toutes ses formes.
- *Résolution de problème* : Explique comment on utilise notre attention, perception, etc... afin de résoudre certaines situations problématiques.
- *Prise de décision et raisonnement* : Choix des alternatives
- *Créativité* : Compréhension de la génération de pensées originales
- *Développement cognitif* : Description des modifications dans le cerveau entre la naissance et le 3^{ème} âge.
- *Intelligence et expertise* : Défini pourquoi certaines personnes ont des talents dans certains domaines.
- *Intelligence artificielle, robotique, facteurs humains* : Permet de comprendre l'interaction entre les hommes et le monde ainsi que de créer des machines agissant comme les humains.

Les domaines de l'*attention*, des *sensations et perceptions* vont jouer un rôle prépondérant dans notre étude notamment sur le temps nécessaire pour sélectionner

l'information visuelle (120-200ms). Cela corrobore parfaitement avec les études de (Kerwin & Bray, 2006) et (Schmidt & Lee, 2011).

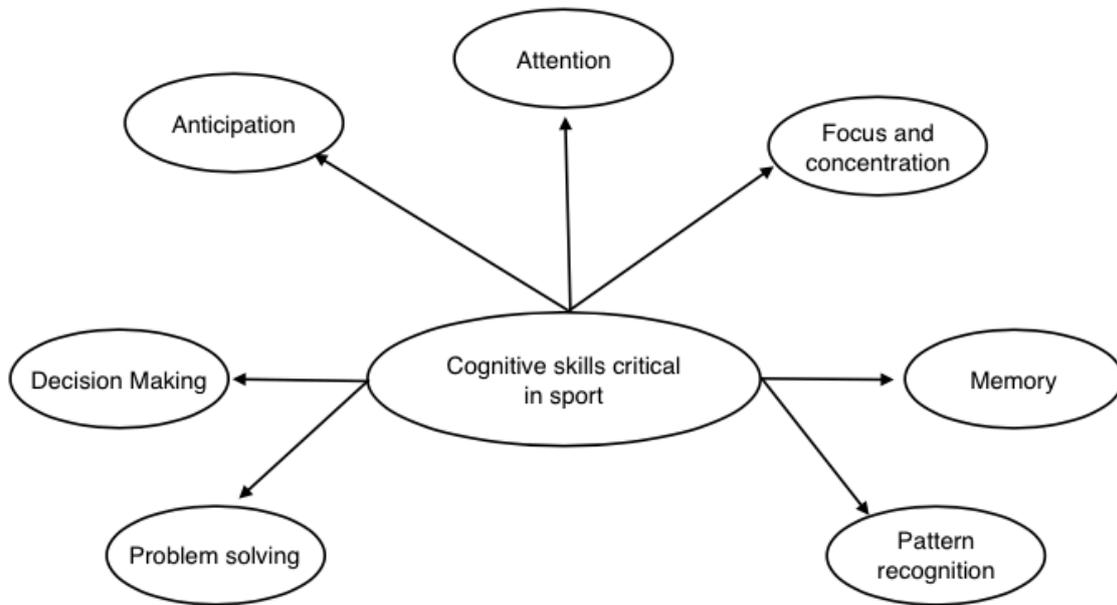


Figure 1 Subs-Area¹

1.2.2 Psychologie écologique (Gibson (1966, 1979))

La psychologie écologique ou perception direct base ses fondements sur le fait que l'homme perçoit l'environnement dans lequel il performe, sans aide extérieur tel la mémoire ou la connaissance. Cela implique qu'il existe aussi une psychologie indirecte qui prend en compte l'intervention de la mémoire ou de la connaissance stockée dans le cerveau. L'idée de la théorie de Gibson est que les informations visuelles existent de façon invariante dans l'environnement. C'est à dire qu'elles ne changent pas et gardent la même qualité dans toutes les situations. La contribution la plus importante de Gibson est la découverte du réseau optique, qui est la projection de l'environnement visible et du flux optique, qui est le changement du réseau optique. Il est dû par exemple au mouvement de l'observateur ou au mouvement d'un objet dans le champ visuel de l'observateur.

¹ Joan N. Vickers, *Perception, Cognition and Décision Training, The Quiet Eye in Action*, 2007, p.3

Gibson explique encore que nous faisons beaucoup de mouvements, sans même avoir conscience de les faire, et donc nous ne passons pas toujours par les différents niveaux cognitifs décrits ci-dessus. C'est pour cela qu'il nous est parfois très difficile d'expliquer comment nous effectuons un mouvement.

1.3 Le coup de pied de réparation

1.3.1 Football moderne et coup de pied de réparation

Comme nous l'avons dit ci-dessus, le tireur se trouve en position favorable face au gardien. En effet la taille d'un gardien oscille entre 1m 85 et 2m en moyenne, ce qui lui donne une envergure de bras entre 1m 90 et 2m20. On voit dans la figure 1² que la surface couverte par le gardien ($\cong 4m^2$) est donc bien plus petite que la surface du but ($7m32 \times 2m44 \cong 18m^2$).



Figure 2 Situation initiale lors d'un tir au but

Le ballon est placé à 11m du but, frappé à plus de 30 m/s, il parcourt donc cette distance en moins de 500 ms (Miller, 1999; Palacios-Huerta, 2003). Sachant que le gardien a besoin d'un temps de réaction aux stimuli visuels de 180 à 250 ms (Schmidt & Lee, 2011) et

² <http://www.dw.com/en/shot-from-the-spot-germans-do-it-better/a-16038806>

que le mouvement complet pour atteindre, en plongeant, un côté du but demande un temps de 700ms (Kerwin & Bray, 2006), alors il paraît évident que le gardien doit anticiper la frappe en plongeant avant le contact pied-balle. Malgré tous ces avantages, entre 20 et 35 % des pénaltys sont manqués (Franks & Harvey, 1997; Kuhn, 1988). Cela peut aussi s'expliquer par la pression que subit le tireur, car plus l'enjeu est grand plus le pourcentage d'échec est haut (Jordet, Hartman, Visscher, & Lemmink, 2007).

1.3.2 Facteurs sensorimoteurs affectant le coup de pied de réparation

Le coup de pied de réparation est un exercice incluant deux parties, le gardien et le tireur. Chacune de ces parties va être affectée dans sa performance par les facteurs sensorimoteurs.

Si nous nous focalisons sur la performance du gardien, ce dernier doit utiliser les informations perçues avant la frappe pour «deviner» de quel côté va partir le tir. Comme vu ci-dessus, le gardien ne peut attendre le contact pied-balle, sans quoi il n'aurait aucune chance d'arrêter le pénalty. Le gardien a donc trois options :

- Rester au centre de la cage
- Choisir un côté de façon aléatoire
- Prédire la direction du tir et anticiper en plongeant avant le contact pied-balle

La troisième option est la plus utilisée par les gardiens et d'après Franks et Harvey (Franks & Harvey, 1997), les informations capitales se trouvent sur la jambe d'appui 250 ms avant le contact pied balle. Ce qui ne laisserait au gardien qu'environ 750 ms pour traiter l'information et exécuter le mouvement. Hors nous avons démontré précédemment qu'il fallait au moins 880 ms au gardien pour effectuer le mouvement complet. Une étude plus récente analyse le mouvement complet du corps, notamment par l'intermédiaire du déplacement des différents segments du corps (Diaz, Fajen, & Phillips, 2012). Elle a montré que la conjonction des informations locales avec le déplacement des différents segments corporels est une source fiable pour la prédiction de la direction d'un tir.

Les tireurs quant à eux ont mis deux stratégies en place une stratégie indépendante du gardien de but et une stratégie dépendante du gardien de but. Dans le premier cas, le joueur n'est d'aucune manière influencé par le gardien et ses mouvements. En effet, il choisit un côté

et s'y tient quoi qu'il advienne. Dans le cas d'une stratégie dépendante du gardien de but, le joueur choisit aussi un côté, mais il s'attend à ce que le gardien plonge avant la fin de sa course d'élan. Il peut ainsi modifier son tir et tirer dans le goal vide. Dans ce cas de figure, trois scénarios sont possibles :

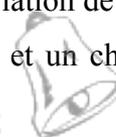
- Le gardien ne bouge pas lors de la phase d'élan. Le joueur s'en tient donc à son plan A et frappe du côté choisi.
- Le gardien plonge avant le contact pied-balle du côté opposé à celui choisi avant la frappe. Le joueur ne change donc pas son idée de base.
- Le gardien plonge avant le contact pied-balle du côté choisi par le tireur. Le tireur doit donc modifier son tir et ses mouvements, afin de tirer dans le côté opposé. Mais les boucles sensorimotrices demandent un temps minimum pour modifier le mouvement lors de l'exécution.

Le temps nécessaire aux boucles sensorimotrices est un point crucial pour les gardiens, car c'est à ce moment-là que tout va se jouer entre lui-même et le tireur. Voyons cela d'un peu plus près.

Selon Greg Wood et Mark R. Wilson (Greg Wood et Mark R. Wilson, 2010), le tireur utilise un troisième de type de stratégie, différent des stratégies dépendantes et indépendantes du gardien. Cette troisième technique consiste à regarder le côté opposé à l'endroit ciblé. La précision du tir n'est pas significativement différente d'un tir où le joueur regarde la zone ciblée. La technique la plus utilisée reste la stratégie dépendante du gardien comme dans l'expérience de (Kuhn, 1988), une technique moins précise et moins efficace, que lorsque le regard est fixé sur la cible ou le coin opposé à la cible.

1.3.3 Le temps et les boucles sensorielles contrôlant l'exécution du coup de pied de réparation

Le temps nécessaire afin de modifier un mouvement et de le réussir, a été en neurosciences, le sujet de nombreuses études pour des mouvements relativement basiques (mouvement de la main dans le prolongement du mouvement). Lors de modifications d'un mouvement simple dû à un stimulus visuel, on peut observer une déviation de la trajectoire de base de la main entre 280 et 350 ms après la perturbation visuelle et un changement de la



vitesse entre 190 et 280 ms après la perturbation visuelle (Johnson, Van Beers, & Haggard, 2002; Prablanc & Martin, 1992; F. Sarlegna et al., 2003). Certaines études ont observé un temps encore plus court, avec une modification de la trajectoire de la main, 130 ms après le stimulus (Day & Lyon, 2000) et un premier changement dans la réponse électromyographique après seulement 110 ms (Reichenbach, Thielscher, Peer, Bulthoff, & Bresciani, 2009; Soechting & Lacquaniti, 1983). Mais toutes ces recherches sont focalisées sur un mouvement simple de la main et non pas sur un mouvement aussi complexe que le coup de pied de réparation au football. Deux études testent le temps minimum nécessaire au tireur pour changer la direction de leur tir. Morya, Ranvaud, & Pinheiro essaye de déterminer ce temps minimum à l'aide de simulations informatiques, où des points représentent le gardien, le joueur et le ballon (Morya, Ranvaud, & Pinheiro, 2003). Le participant voit le point représentant le joueur avancer en direction du ballon et doit choisir de quel côté par le ballon lors du contact pied-balle en levant un des deux leviers représentant la droite ou la gauche. Le point représentant le gardien peut bouger et le participant doit ainsi modifier son choix en fonction du déplacement du gardien. Ils ont pu observer lors de cette étude, que lorsque le déplacement du gardien se fait 400 ms avant le contact pied-balle, 100% des participants redirigent le ballon vers le côté vide du but et en dessous de 150 ms la réussite atteint le facteur chance de 50%.

Cela nous donne un ordre d'idée du temps minimum mais nous ne nous permet pas de définir réellement le temps nécessaire car on substitue le mouvement complexe qu'est le coup de pied de réparation par un geste beaucoup plus simple de la main. De plus tous les acteurs sont représentés par des points et le participant ne fait pas partie intégrante du système. Van der Kamp va tenter lui aussi de trouver le temps minimum afin de changer la trajectoire d'un tir, mais avec une technique respectant plus la situation écologique du coup de pied de réparation (van der Kamp, 2006). Pour cela, il se rend sur un vrai terrain de football et il place des cibles lumineuses à droite et à gauche du but. Il demande ensuite aux tireurs de frapper en direction de ces dernières. Il peut naturellement changer la lumière de cible durant la phase d'élan. Il constate que le temps minimum requis pour changer la direction du tir est située entre 400 et 600 ms. Toutefois les faits montrent que l'exécution de cette étude n'est pas parfaite. On peut notamment critiquer le type de stimuli visuel utilisé ou encore le fait que le gardien, par sa présence (van der Kamp & Jackson Masters, 2007), sa posture (van der Kamp & J. Masters, 2008) et ses mouvements sur la ligne de but (Wood & Wilson, 2010) influence fortement le tireur. On peut néanmoins dire que les résultats trouvés sont nettement plus proche de la

réalité que l'expérience de Morya, Ranvaud, & Pinheiro (Morya, Ranvaud, & Pinheiro, 2003).

Une étude de l'université de Fribourg a testé la capacité chez des jeunes de 11-12 ans à rediriger un coup de pied de réparation dans le cas où le gardien plonge du côté choisi par le joueur (Travail de Master Loris Molisani, 2016). La scène virtuelle d'un gardien de but dans sa cage est projetée sur un écran géant. Les joueurs reçoivent alors un entraînement durant quatre semaines. Le temps minimum requis afin de modifier la direction de son tir est en moyenne, lors du pré-test, de 430 ms et lors du post-test de 390 ms. Une performance particulièrement bonne a été observée avec un temps de réaction de 321 ms. Ces données sont particulièrement intéressantes pour les gardiens, elles vont leur permettre de trouver des informations objectives et percutantes sur la direction du tir avant le temps minimum nécessaire à la redirection du tir.

1.3.4 Anticipation et recherche d'informations visuelles

« *Sport performance must be able to anticipate what is the most important in the environments in which they play* »³ Joan N. Vickers (2007, p.3)

Lors d'un coup de pied de réparation, la capacité d'un gardien à anticiper et à engranger le maximum d'information au moment de la phase d'élan est particulièrement importante. La balle arrivant avec une vitesse proche des 30 m/s et parcourant la distance séparant le point de pénalty et le but en moins de 500 ms, oblige le gardien à exécuter son mouvement avant le contact pied-balle. Dans l'étude de Geert J. P. Savelsbergh & al (Geert J. P. Savelsbergh, John Van der Kamp, A. Mark Williams & Paul Ward, *Ergonomics* Vol. 48, 2005), ils filment des tireurs de pénalty et diffuse un film de ces séquences vidéos à des gardiens experts divisés en deux groupes. Les gardiens ayant eu de bons résultats aux tests de capacités (SE) et les gardiens ayant eu de moins bon résultats au test de capacité (NE). Les gardiens sont ensuite placés en face d'un écran sur lequel le film va être diffusé et possède un joystick permettant de choisir de quel côté plonger et à quelle hauteur le tir arrive. Le clip vidéo comprend la phase d'élan, la phase de tir et la première partie de la trajectoire de la balle. Le gardien peut modifier sa réponse tout au long de la séquence et les résultats sont ensuite analysés en fonction du nombre de pénalty sauvé, du côté choisi, de la hauteur choisi et du nombre de corrections durant le mouvement. Ils regardent aussi le temps passé à regarder certaines zones du corps et le nombre de fixations.

³ Joan N. Vickers, *Perception, Cognition and Décision Training, The Quiet Eye in Action*, 2007, p.3

Les résultats sont particulièrement intéressants concernant les zones fixées par le regard des gardiens. Les gardiens (SE), qui ont un meilleur taux de réussite que les gardiens (NE), regardent et prennent des informations en priorité sur la jambe d'appui. Les gardiens (NE), quant à eux, focalisent leur attention sur la tête du tireur. Selon Franks & Harvey, (Franks & Harvey, 1997) les informations sur la position de la jambe d'appui apparaissent 200-250 ms avant le contact pied-balle, ce qui correspond d'ailleurs au moment où les gardiens (SE) commencent à bouger le joystick (230 ms). Mais n'oublions pas que selon (Schmidt & Lee, 2011 ; Kerwin & Bray, 2006), le temps minimum nécessaire à un gardien pour atteindre l'un des coins du but est de 900 ms. Il est intéressant de rajouter encore, que la position de la jambe d'appui apparaît dans cette étude à 350 ms avant le contact pied-balle. Ce temps correspond presque au temps critique ne permettant plus au joueur de changer la direction de sa frappe selon Van der Kamp.

D. Ryu & Al. a lui aussi tenté d'améliorer la capacité d'anticipation, mais cette fois chez des gardiens novices dans le domaine du football lors d'un coup de pied de réparation (Ryu D., Kim S., Abernethy B., Mann D., 2013). Pour cela, il forme trois groupes, un groupe contrôle (GC), un groupe recevant une aide lors de l'entraînement vidéo (GA) et un groupe ne recevant que l'entraînement sans aide extérieure (GS). Après le pré-test, les gardiens des groupes GA et GS reçoivent un entraînement vidéo de sept jours. Le groupe GA reçoit des informations supplémentaires implémentées directement sur une partie des vidéos tandis que le groupe GS ne reçoit aucune information complémentaire en plus des vidéos. Un post-test à lieu après les sept jours d'entraînements et 24h après le dernier entraînement. Lors des tests, les gardiens doivent choisir entre 4 zones, qui représentent les quatre coins du but. Les résultats sont assez intéressants puisque seul le groupe GA obtient une amélioration notable de la précision lors du post-test et du test de rétention. La vitesse avec laquelle les sujets répondent est aussi plus basse pour le groupe GA. On perçoit par contre, une différence significative pour le groupe GS par rapport au GC, uniquement lors du test de rétention. D. Ryu & Al démontrent donc ici l'importance d'un feedback guidé pour des joueurs novices dans un domaine.

1.4 But du travail et question de recherche

L'entraînement dans le sport est la condition sine qua non afin de performer et d'atteindre le meilleur niveau possible en compétition. Les techniques d'entraînement sont de plus en plus poussées et les études de plus en plus précises.

Beaucoup d'entraînements sont encore basés sur des entraînements physiques afin d'améliorer les compétences et capacités des athlètes, qui passent énormément d'heures sur les terrains. Actuellement, les organismes sont poussés au plus près des limites pour chaque individu afin d'être le plus performant lors de la saison.

Afin d'accroître encore le potentiel de chaque sportif, les entraîneurs se sont tournés vers l'entraînement cognitif/perceptif. Le domaine est vaste et ce travail de master va tenter de donner quelques réponses dans le domaine de l'entraînement vidéo.

Le football est un sport universel, pratiqué dans le monde entier et suivi par des milliers de personnes au quotidien. Les techniques d'entraînement ont été disséquées et améliorées des dizaines de fois et de nombreuses écoles différentes existent à travers le monde. Néanmoins, l'une des situations les plus émotionnelles de ce sport est encore considérée comme aléatoire. C'est le tir au but. Il existe très peu d'études et d'informations afin d'aider les gardiens à identifier les points critiques, permettant de définir où va tirer l'adversaire, ainsi qu'à quel moment il doit commencer son plongeon. C'est précisément sur cet aspect que portera notre étude.

Le but de ce travail est d'analyser si un entraînement perceptif par vidéo, sans aide extérieure, est efficace pour améliorer la performance des gardiens. Peuvent-ils grâce à cet entraînement, définir avec plus de certitude, si l'adversaire va tirer à gauche ou à droite du but lors d'une séance de tir au but.

Dans ce travail nous utiliserons un eye-tracker qui nous permettra d'analyser où le sujet porte son regard lors de la visualisation des vidéos. Dès lors il est possible d'identifier les zones où sont cachées les informations les plus importantes pour les gardiens.

Nous répondrons donc aux questions suivantes :

(i) Est-ce que l'entraînement par vidéo, sans aide extérieure, de la prise de décision de plonger à gauche ou à droite lors d'une séance de tir au but, est efficace ?

(ii) Quelles sont les zones corporelles contenant le plus d'informations pertinentes pour la prise de décisions lors d'une séance de tirs au but.

En parallèle à cette étude, mon collègue Ha Phong Lai testera une méthode d'entraînement en réalité virtuelle, avec coaching concernant les zones importantes à observer.

1.5 Hypothèses de recherche

Ci-dessus nous avons montré que dans l'expérience de D. Ryu & Al, l'entraînement par vidéo chez des novices a porté ses fruits puisqu'au test de rétention, les deux groupes ayant participé à l'entraînement ont obtenu des résultats significativement meilleurs que le groupe contrôle. Nous nous attendons donc aussi à obtenir une amélioration de la performance lors de notre post-test. D'autant plus que nous ne sommes pas en présence de gardiens novices mais de gardiens de niveau intermédiaire, comme nous le présenterons plus tard. Nous supposons donc que les gardiens ont une expérience plus grande du terrain et n'ont pas besoin d'autant d'aides extérieures que les gardiens novices. Chez D. Ryu & Al, les sujets subissent un entraînement de 4 semaines. Dans notre expérience, l'entraînement ne dure que sur un laps de temps de 1h. Cela pourrait avoir un impact sur nos résultats.

De plus l'expérience de Van der Kamp nous dit que le temps minimum afin de rediriger son tir est situé entre 400 et 600 ms avant la frappe. Suite aux récentes études de l'université de Fribourg sur le sujet, nous avons décidé de couper la vidéo 350 ms avant la frappe. Ce petit changement pourrait avoir un effet positif sur les résultats attendus, car les gardiens disposent de 50 ms d'informations supplémentaires.

En ce qui concerne les zones importantes, contenant le plus d'informations utiles aux gardiens afin d'arrêter un coup de pied de réparation, nous attendons des résultats de l'eye-tracker que, comme pour les résultats de Geert J. P. Savelsbergh & al., les gardiens ayant les meilleurs scores focalisent leur attention sur l'articulation du bassin (orientation) ainsi que sur la jambe d'appui et de frappe. Les gardiens focalisant leur attention sur les membres

supérieurs du tronc, sur le tronc ou la tête devrait obtenir des résultats proches du facteur chance.

2. METHODE

2.1 Sujets

2.1.1 Tireurs

Nous avons choisi 9 tireurs de sexe masculin et âgés de 20 à 26 ans (moyenne d'âge : 23, Ecart-type : ± 2.5) ayant un niveau de deuxième ligue valaisanne. Il évolue tous dans le même club et s'entraîne 2 fois par semaines. Parmi les participants, deux des neuf joueurs sont gauchers. Le niveau du groupe est relativement homogène, bien que le coup de pied de réparation soit un exercice particulier dans le monde du football.

2.1.2 Gardiens

En ce qui concerne les gardiens, nous avons choisi 10 gardiens de sexe masculin et de niveau deuxième ligue à deuxième ligue interrégionale valaisanne ou fribourgeoise. Ils sont âgés entre 20 et 35 ans (moyenne d'âge : 23.7, Ecart-type : ± 4.4). L'important était d'avoir une homogénéité du point de vue du niveau des gardiens afin de pouvoir tirer des conclusions valables sur les résultats de l'entraînement.

2.2 Matériels

Nous avons commencé par filmer les tireurs et pour cela nous avons eu besoin d'un terrain de football officiel avec son but, d'une caméra (Sony, modèle Handycam, HDR-CX 220), de deux cônes marqueurs permettant de définir les zones de tirs, d'une assiette de couleur marquant le départ de la course, de trois ballons (taille 5) rouges afin de créer le contraste avec la pelouse enneigée, d'une pelle à neige et du programme iMovie permettant de traiter les vidéos.

Pour l'entraînement des gardiens, nous avons eu besoin de la salle de projection de l'université de Fribourg. Il y avait à notre disposition un projecteur nécessaire à la projection des clips vidéos, un écran géant de taille 4.30 x 2.70, une caméra eye-tracker capable de



Figure 3 Emplacement du gardien avec Eye-Tracking

suivre le regard du sujet, une table munie d'un support de tête afin d'éviter les mouvements parasites, d'un clavier réponse, et d'un ordinateur avec son programme *Videoplayer*, application spécifiquement développée pour l'expérience.



Figure 4 Ecran Géant

2.3 Procédure

2.3.1 Tireurs

Dans un premier temps, nous avons dû capturer les vidéos des 9 tireurs de pénaltys. Pour cela nous avons placé une caméra au centre d'un but de football. Nous avons ensuite posé le ballon sur le point de pénalty à 11m du but. Pour que le tir soit valide, le tireur devait marquer son tir et faire passer le ballon entre le poteau et un cône placé à 1m50 de ce dernier. Chaque joueur a tiré 10 fois au but, 5 fois à droite et 5 fois à gauche pour un total de 90 tirs. Seul les tirs ayant atteints leur cible ont été conservé pour la suite de l'expérience, soit 59/90. La caméra se trouvant au centre du but était placée à 1m77 du sol, ce qui correspond en moyenne à la hauteur des yeux pour une personne de 1m85.

Voici un schéma de la situation :

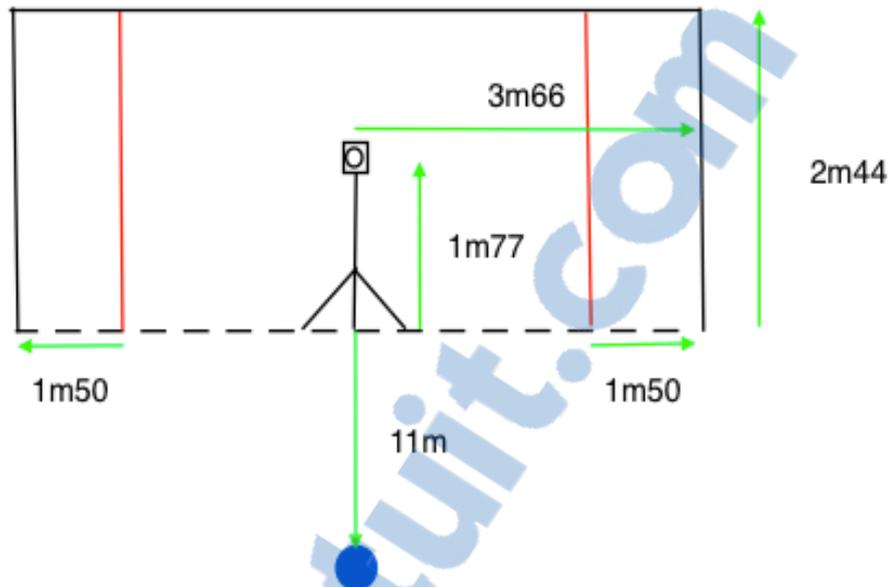


Figure 5 Disposition Caméra et distances délimitation des zones de tir

Chaque joueur avait quelques tirs d'essai afin de trouver ses marques. Il plaçait ensuite l'assiette de couleur à l'endroit représentant le départ de sa course d'élan. Quel que soit la direction du tir, le tireur ne pouvait modifier le départ de sa course d'élan. On a ensuite demandé au joueur de tirer en condition de match. De ne pas regarder trop intensément le côté choisi et même de parfois regarder le centre du but ou le côté opposé au côté choisi. Cela permet d'éviter de donner des informations trop pertinentes aux gardiens. Un autre joueur était placé entre le poteau du côté visé et la caméra afin de protéger la caméra de tout rebond contre le poteau.

Afin de pouvoir exploiter ces données dans notre étude, nous avons travaillé les vidéos ainsi enregistrées en créant 20 séquences pour le pré, post-test et 20 séquences pour l'entraînement vidéo. Les 20 séquences utilisées lors du pré-test durent entre 2 s. et 3 s. et montrent la course d'élan jusqu'à 350 ms avant la frappe. L'écran devient instantanément noir à la fin de la vidéo, ce qui permet d'être plus proche de la réalité. Il n'y a donc pas de feedback sur la direction du tir. Les 20 séquences d'entraînement durent entre 2.5 s. et 3.5 s. et coupent lorsque la balle quitte le champ de vision de la caméra. Le gardien aura donc un feedback sur la direction du tir.

2.3.2 Gardiens

Les gardiens sont assis en face de l'écran géant et disposent devant eux d'une table avec support de tête, un clavier permettant de transcrire les réponses et le système d'eye-tracking. Ils reçoivent tout d'abord les consignes quant au déroulement de l'expérience (familiarisation, pré-test, entraînement, post-test), sur le moyen de donner les réponses lors du pré- et post-test (touche q pour gauche et p pour droite du clavier), sur le fait qu'il n'obtiendra aucune aide extérieure lors de l'apprentissage et sur la calibration de l'eye-tracker que nous définissons un peu plus en détails ci-dessous.

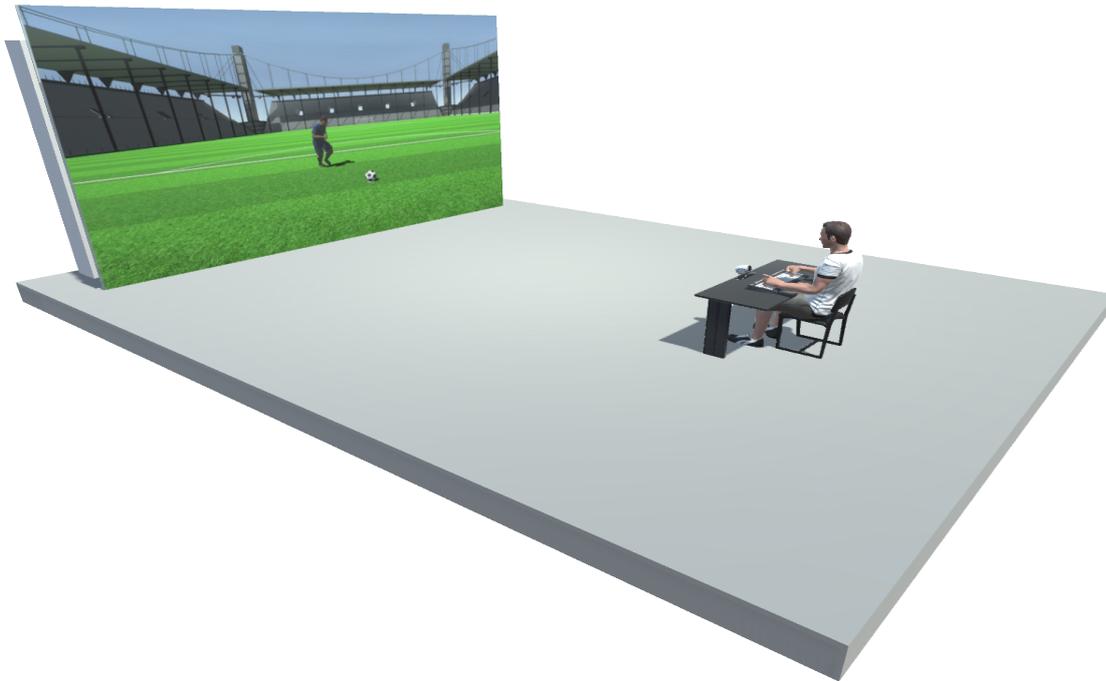


Figure 6 Schéma déroulement de l'expérience

L'eye-tracker demande une calibration au début de chaque phase pour un rendement de qualité optimal. Pour chaque calibration, le sujet doit suivre la procédure suivante. Regarder l'écran et suivre un point noir se déplaçant sur le pourtour de l'écran. Une fois la calibration faite, une validation est nécessaire où le même processus se met en place. Nous devons, comme dit ci-dessus, répéter cette opération avant chaque phase de l'étude. Il est important que pendant et après la calibration le sujet bouge le moins possible, c'est pourquoi nous avons placé un support de tête sur la table. Il est nécessaire d'éteindre les lumières lors de l'enregistrement des données d'eye-tracking car les ondes électromagnétiques créent des interférences avec l'appareil.

La séance va se dérouler en 7 points bien précis. 1. Nous commençons la séance en présentant 5 vidéos de familiarisation. Le sujet peut ainsi prendre acte de la tâche à accomplir. 2. On effectue la première calibration. 3. On lui fait passer le pré-test contenant les 20 vidéos

sans feedback de direction. Après chaque vidéo, le sujet choisi la direction du tir en appuyant sur q pour gauche et p pour droite sur le clavier devant lui.

4. Une fois la phase de pré-test terminée, le sujet se soumet à une deuxième calibration avant les vidéos d'apprentissage. 5. Une fois l'eye-tracker optimisé, on lance une série de 20 vidéos. Chaque vidéo est répétée deux fois, une fois à 30% de sa vitesse réelle et une fois à vitesse réelle. Le gardien n'obtient pas d'informations extérieures lui permettant de décrypter les vidéos. Il a pour consigne de trouver par ses propres moyens les zones corporelles déterminant la direction du tir. 6. Nous calibrons une dernière fois l'appareil. 7. Pour terminer, nous passons à la phase de post-test, où les mêmes vidéos que lors du pré-test sont présentées. Bien entendu l'ordre n'est pas le même.

Le sujet utilise à nouveau le clavier et les touches q et p pour répondre respectivement gauche et droite.

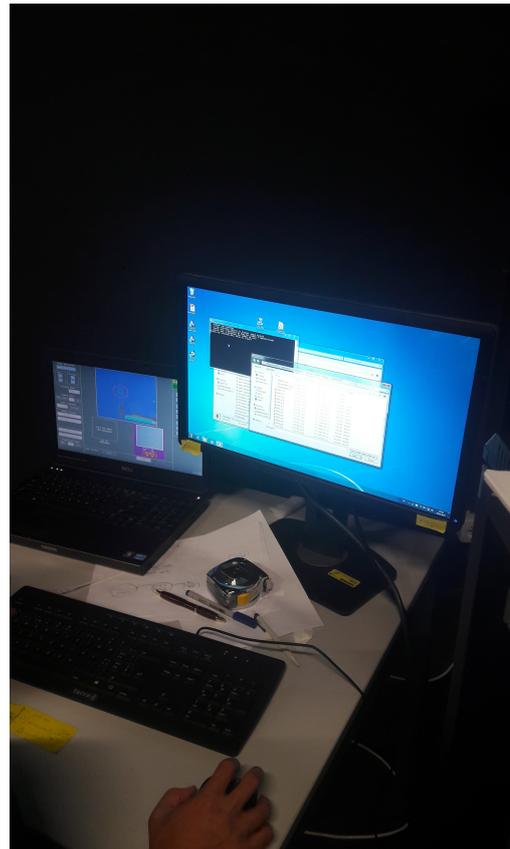


Figure 7 Moniteur gérant les différents programmes

2.4 Enregistrement des données

C'est le programme *videoplayer* qui nous permet d'enregistrer les réponses fournies par les participants ainsi que les données d'eye-tracking. Pour chaque sujet, le premier fichier enregistré est un fichier txt contenant les réponses des 20 vidéos lors du pré-test. Le fichier est composé de deux colonnes. Comme l'ordre des vidéos est déterminé aléatoirement par le programme, la première colonne nous donne le nom de la vidéo avec la direction du tir et la deuxième colonne nous donne le résultat du sujet (*right or left*). Un deuxième fichier txt de même type est enregistré pour le post test. Pour chaque partie un fichier vidéo est enregistré contenant les données d'eye-tracking.

L'interface du programme contient deux fenêtres différentes en fonction du type d'exercice. Si nous sommes en pré-, post-test, nous chargeons nos vidéos dans la première interface et après calibration nous appuyons sur « go to game », ce qui permet au participant de donner une réponse avec les touches q et p du clavier. Si nous sommes dans le cas d'un

apprentissage, nous lançons la deuxième interface qui permet une répétition de chaque vidéo à 30% de la vitesse réelle.

2.5 Analyse des données

Dans notre travail deux types de fichier sont analysés. Les fichiers texte contenant les réponses fournies par les participants et les fichiers vidéo contenant les données d'eye-tracking pour le pré et post-test.

Dans un premier temps, nous analysons les fichiers texte à l'aide du programme *RStudio*. Pour cela, nous avons créé un script contenant les 40 réponses (pré-, post-test) de chacun des 10 sujets. Nous avons ensuite créé deux vecteurs contenant le nombre de bonnes réponses pour le pré- et le post-test. Nous utilisons alors dans le programme la fonction `stat.desc` qui nous permet de comparer les moyennes des deux vecteurs ainsi que la médiane et l'écart-type. Nous utilisons cette même fonction sur la différence (Post-pré) des résultats afin de déterminer le type de distribution.

Enfin, le programme *RStudio* nous permet d'appliquer un test-T entre ces deux vecteurs. (Analyse statistique de significativité)

Dans un second temps nous utilisons plusieurs programmes afin d'analyser les données d'eye-tracking. Nous avons tout d'abord besoin d'un programme appelé *skeletonAnnotation* qui permet de créer un squelette virtuel sur chacune des vidéos utilisées lors du pré-et du post-test. Le squelette est composé de 22 points reliés entre eux par des segments. Les différents points sont placés sur les articulations suivantes : "spine base", "spine 1", "spine mid", "spine shoulders", "neck", "head", "shoulderright", "shoulderleft", "elbowright", "elbowleft", "wristright", "wristleft", "handright", "handleft", "hipright", "hipleft", "kneeright", "kneeleft", "ankleright", "ankleleft", "footright", "footleft". Nous lisons alors nos données d'eye-tracking dans le programme *videoplayer* et couplons ces dernières avec les vidéos contenant les squelettes. Nous obtenons ainsi un fichier .xml que nous entrons dans le programme *EyeTrackingCharacterVisualisation* et qui nous permet de trouver les pourcentages absolu et relatif de temps passé à regarder les différents segments et de sortir ces informations dans un fichier txt. Le programme a la capacité de créer *beat mesh*, un modèle humain coloré en bleu pour les zones peu regardées et en rouge pour les zones très regardées. Nous entrons ensuite les données txt dans le programme *RStudio* pour en retirer des analyses statistiques.

Comme nous nous attendons, c.f 1.5 *Hypothèses de recherche*, à ce que les zones importantes se situent au niveau des hanches et en dessous, nous avons décidé d'analyser les données en les regroupant dans des variables :

- “bottom“ : “hipright“, “hipleft“, “kneeright“, “kneeleft“, “ankleright“, “ankleleft“, “footright“, “footleft“.
- “top“ : “spine base“, “spine 1“, “spine mid“, “spine shoulders“, “shoulderright“, “shoulderleft“, “elbowright“, “elbowleft“, “wristright“, “wristleft“, “handright“, “handleft“.
- “Head and Neck“ : “neck“, “head“

Nous pourrons ainsi déterminer globalement s'il y a une corrélation entre le regard et le résultat et dans ce cas poursuivre les analyses de façon plus précise segment par segment.

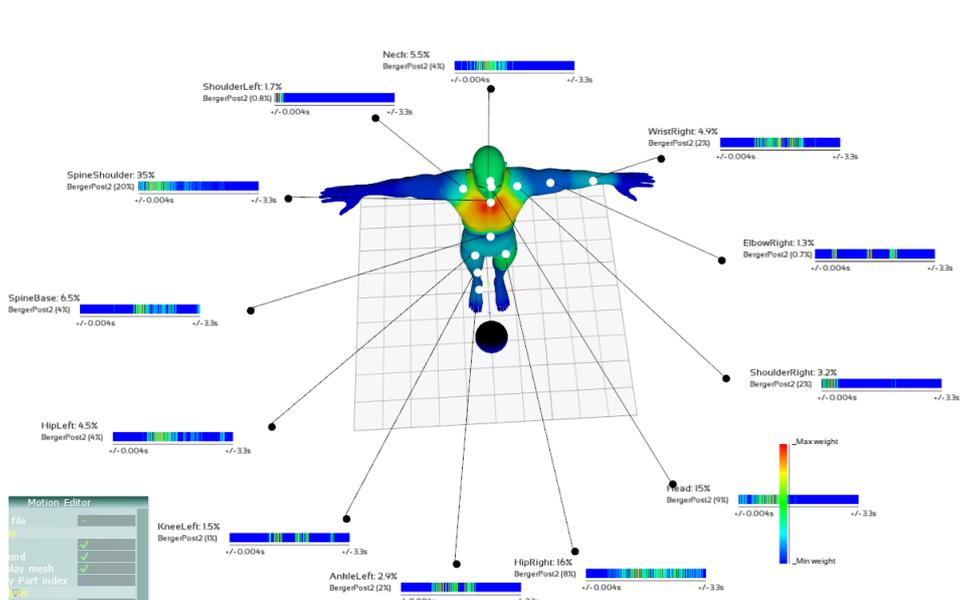


Figure 8 Figure représentant le temps par zones corporelles

Il est encore important de préciser que pour les analyses nous utiliserons le temps relatif et non pas le temps absolu. Le temps relatif prend en compte lorsque le sujet ne regarde aucun des points du squelette et donc cela donne le réel pourcentage de temps passé à regarder les différentes zones.

3. RESULTAT

3.1 Résultats par sujets

La figure ci-dessous représente les résultats de nos 10 sujets lors du pré- et du post-test. On peut observer que seul 5 sur les 10 sujets ont amélioré leur performance lors du post-test. Les résultats sont compris entre 0 et 20 avec 0 comme étant la moins bonne performance et 20 comme étant la meilleure.

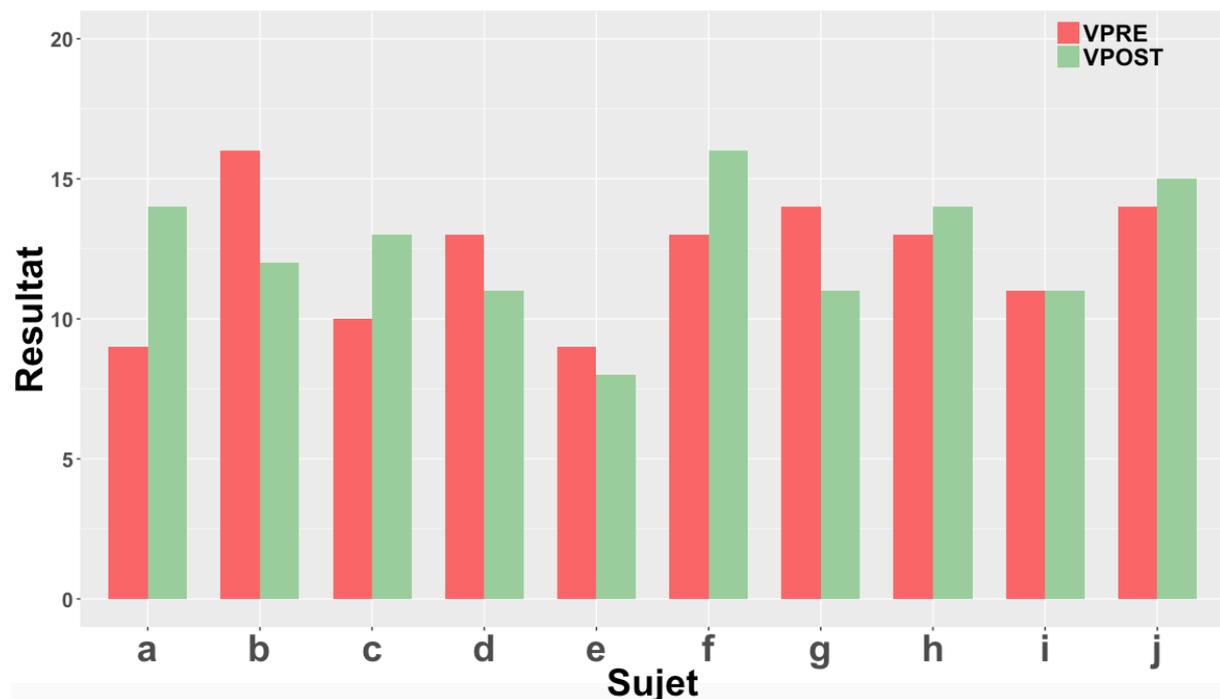


Figure 9 Résultat par sujet PRE et POST

Le sujet a est sans aucun doute celui qui a profité le plus de l'apprentissage par vidéo avec un taux de réussite passant de 45% lors du pré-test à un taux de réussite de 70% lors du post-test. Le sujet b est quant à lui celui qui en a profité le moins avec un taux de réussite de 80% lors du pré-test et de 60% lors du post-test.

On obtient une moyenne de 12.2 (± 0.74) lors du pré-test et une moyenne de 12.5 (± 0.75) lors du post-test, soit une amélioration de 0.3 après l'apprentissage. On obtient donc, en terme de pourcentage, une amélioration moyenne de 1,5%. Pour ce qui est de la médiane, qui permet de couper les valeurs en deux parties égales, elle se situe à 13 pour le pré-test et à 12.5 pour le post-test. L'écart-type qui représente la dispersion des données autour de la

moyenne, est passé de 2.34757558 pour le pré-test à 2.3687784 lors du post-test. Les données sont donc légèrement plus dispersées après l'apprentissage.

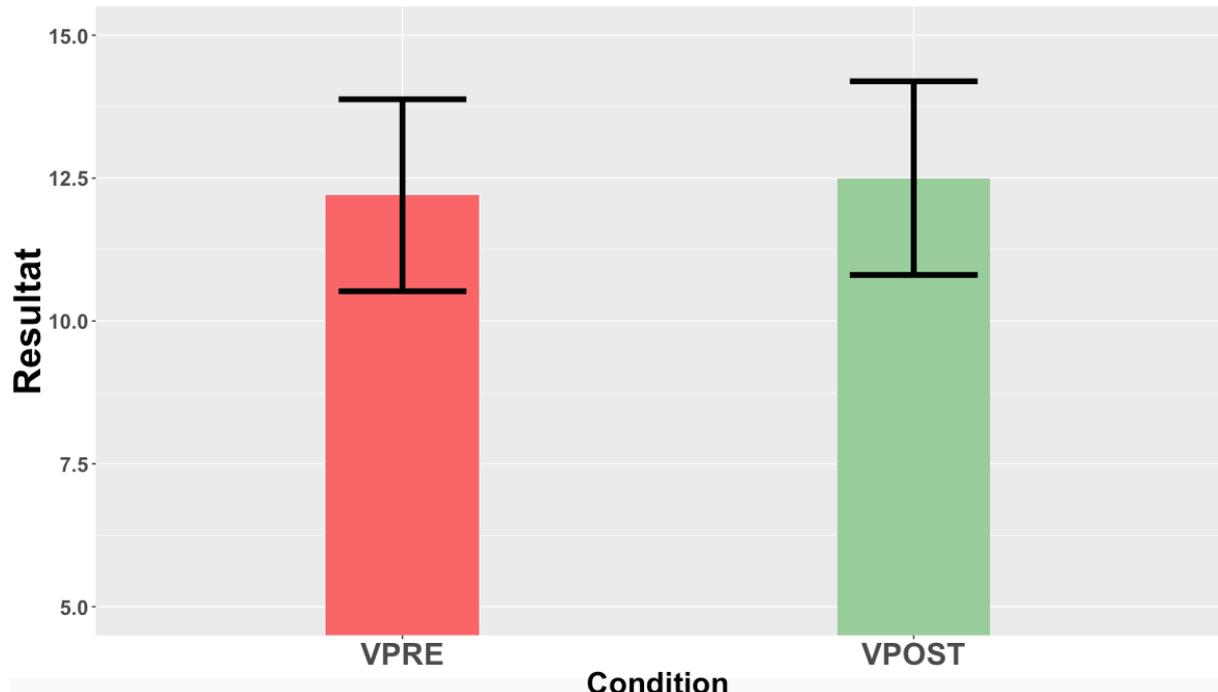


Figure 10 Résultat des moyenne PRE et POST

La figure ci-dessus (figure 10), compare la moyenne du pré-test (indianred) et du post-test (darkseagreen).

3.2 Normalité

Nous avons ensuite analysé la normalité des données, à savoir si elles suivent une règle de distribution normale ou non. Pour tester la normalité de deux ensembles de valeurs appariées, nous regardons la distribution de la différence des résultats du post-test par le pré-test. On obtient alors la figure ci-dessous et les résultats suivants :

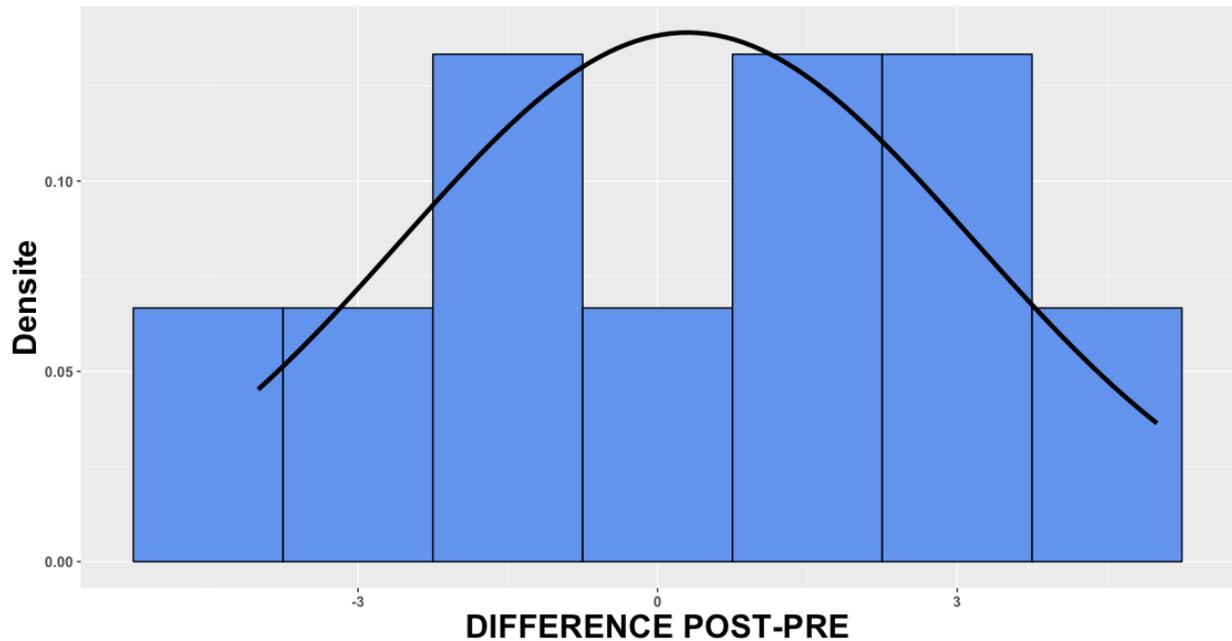


Figure 11 Graphe normalité des données

On observe une courbe (en noir) très proche d'une gaussienne avec un $\text{normtest.p} = 0.92375475$. Nos données sont donc distribuées de façon normale. Ci-dessous le tableau de résultats du test de normalité :

Tableau 1 Test normalité

	myNormVec
median	0.50000000
mean	0.30000000
SE.mean	0.90737717
CI.mean.0.95	2.05262977
var	8.23333333
std.dev	2.86937856
coef.var	9.56459521
skewness	0.05942970
skew.2SE	0.04325036
kurtosis	-1.39785720
kurt.2SE	-0.52383680
normtest.W	0.97381078
normtest.p	0.92375475

3.3 Paired T-test

Afin de déterminer si nos données sont significativement différentes après l'apprentissage, nous utilisons un test T apparié. Le test nous donne la probabilité qu'une valeur prise aléatoirement parmi les résultats du post-test, appartient à la distribution

statistique des valeurs du pré-test. Si le résultat est plus grand que 0.05 alors il n'y a pas de différences significatives entre les deux échantillons.

La figure ci-dessous contient les résultats du test-t apparié :

```
Paired t-test

data: VPRE and VPOST
t = -0.33062, df = 9, p-value = 0.7485
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -2.35263  1.75263
sample estimates:
mean of the differences
      -0.3
```

Figure 12 T-test Résultat PRE POST

La valeur de p (p-value=0.7485), nous permet de constater qu'il n'y a pas de différence significative entre les résultats du pré-test et du post-test.

3.4 Résultats Eye-tracking

Afin de répondre à notre deuxième problématique concernant les zones importantes contenant des informations sur la direction du tir, nous avons analysé les données d'eye-tracking de deux manières différentes. Nous avons tout d'abord mesuré l'effet de l'apprentissage sur les zones touchées par le regard du sujet. Autrement dit si le sujet a modifié les zones observées grâce à notre apprentissage. Puis nous avons regardé s'il existe une corrélation entre les zones observées par les gardiens et leur résultat.

En ce qui concerne les zones regardées par les sujets lors du pré- et du post-test et donc l'effet de l'apprentissage, nous avons tout d'abord testé la normalité des données et obtenu les résultats suivants :

normality_bottom:		normality_HeadandNeck:		normality_Top:	
	mynormvecbottom		mynormvecheadandneck		mynormvectop
median	-0.001913280	median	0.003378260	median	0.013689000
mean	0.008239446	mean	0.002145929	mean	0.013378143
SE.mean	0.015248895	SE.mean	0.031469347	SE.mean	0.033357760
CI.mean.0.95	0.037312702	CI.mean.0.95	0.077002719	CI.mean.0.95	0.081623499
var	0.001627702	var	0.006932239	var	0.007789181
std.dev	0.040344784	std.dev	0.083260067	std.dev	0.088256338
coef.var	4.896541011	coef.var	38.799086076	coef.var	6.597054569
skewness	0.037060523	skewness	-0.025627906	skewness	-0.332048557
skew.ZSE	0.023345935	skew.ZSE	-0.016144064	skew.ZSE	-0.209170930
kurtosis	-1.184790315	kurtosis	-1.575951814	kurtosis	-1.516890246
kurt.ZSE	-0.373173873	kurt.ZSE	-0.496378164	kurt.ZSE	-0.477775519
normtest.W	0.976088900	normtest.W	0.954338046	normtest.W	0.957601429
normtest.p	0.938491625	normtest.p	0.768941392	normtest.p	0.797912165

Tableau 2 Normalité Bottom

Tableau 3 Normalité H&N

Tableau 4 Normalité Top

Les tableaux (2, 3, 4) nous montrent que les données sont distribuées de façon normale. Dès lors nous avons choisi d'effectuer un test-T pour chaque zone (bottom, top, head and neck) en comparant les temps de fixation lors du pré- et du post-test.

Comme les données sont distribuées de façon normale, nous effectuons pour chaque condition (bottom, head and neck, top) un test-T comparant les moyennes pré- et post-test. (Figures 13, 14, 15)

Test-T Bottom:

Paired t-test

```
data: mydatabottom[, 3] and mydatabottom[, 4]
t = 0.54033, df = 6, p-value = 0.6084
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -0.02907326  0.04555215
sample estimates:
mean of the differences
      0.008239446
```

Figure 13 T-Test Bottom

Test-T Head and Neck:

Paired t-test

```
data: mydataheadandneck[, 3] and mydataheadandneck[, 4]
t = 0.068191, df = 6, p-value = 0.9478
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -0.07485679  0.07914865
sample estimates:
mean of the differences
      0.002145929
```

Figure 14 T-Test Head and Neck

Test-T Top:

Paired t-test

```
data: mydatatop[, 3] and mydatatop[, 4]
t = 0.40105, df = 6, p-value = 0.7023
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -0.06824536  0.09500164
sample estimates:
mean of the differences
      0.01337814
```

Figure 15 T-Test Top

On peut y lire les valeurs de p (p-value), $p_b = 0.6084$, $p_{h\&n} = 0.9478$, $p_t = 0.7023$ respectivement pour les conditions “bottom“, “head and neck“ et “top“.

Comme mentionné plus haut, nous avons aussi analysé la corrélation entre les zones regardées par les sujets et leurs résultats. On ne fait pas de différence entre le pré-test et le post-test dans cette partie. Nous avons donc mesuré la corrélation entre les résultats et les trois conditions “bottom“, “head and neck“, “top” à l’aide d’un test de corrélation par la méthode de pearson. On obtient les résultats suivants :

Correlation bottom

Pearson's product-moment correlation

```
data: ResVPREVPOST and mynewdatabottom[, 4]
t = -0.16936, df = 12, p-value = 0.8683
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -0.5647786  0.4945612
sample estimates:
      cor
-0.04883208
```

Figure 16 Corrélation Bottom

Correlation Head and Neck

Pearson's product-moment correlation

```
data: ResVPREVPOST and mynewdataheadandneck[, 4]
t = -0.87718, df = 12, p-value = 0.3976
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -0.686624  0.327801
sample estimates:
      cor
-0.2454721
```

Figure 17 Corrélation Head and Neck

Correlation Top

Pearson's product-moment correlation

```

data: ResVPREVPOST and mynewdatatop[, 4]
t = 0.98143, df = 12, p-value = 0.3458
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -0.3016165  0.7016818
sample estimates:
      cor
0.2725853

```

Figure 18 Corrélation Top

On peut lire sur la dernière ligne des figures les coefficients de corrélation r pour chacune des conditions (“bottom”, “head and neck”, “top”) avec $r_b = -0.04883208$, $r_{h\&n} = -0.2454721$ et $r_t = 0.2725853$.

Pour terminer, nous avons mesuré le temps moyen passé à regarder les différentes conditions. En moyenne les sujets regardent pendant :

CONDITION	MEAN TIME (s)
BOTTOM	0.1140258
HEAD & NECK	0.1210046
TOP	0.2535961

Tableau 5 Moyenne de temps passé à observer une condition

4. ANALYSE DES RESULTATS

Si nous regardons la figure 10, on peut observer qu'il y a une amélioration après l'entraînement en tout cas en ce qui concerne les moyennes. Le graphe ci-dessous (figure 19) nous montre la différence entre la médiane du pré-test et celle du post-test.

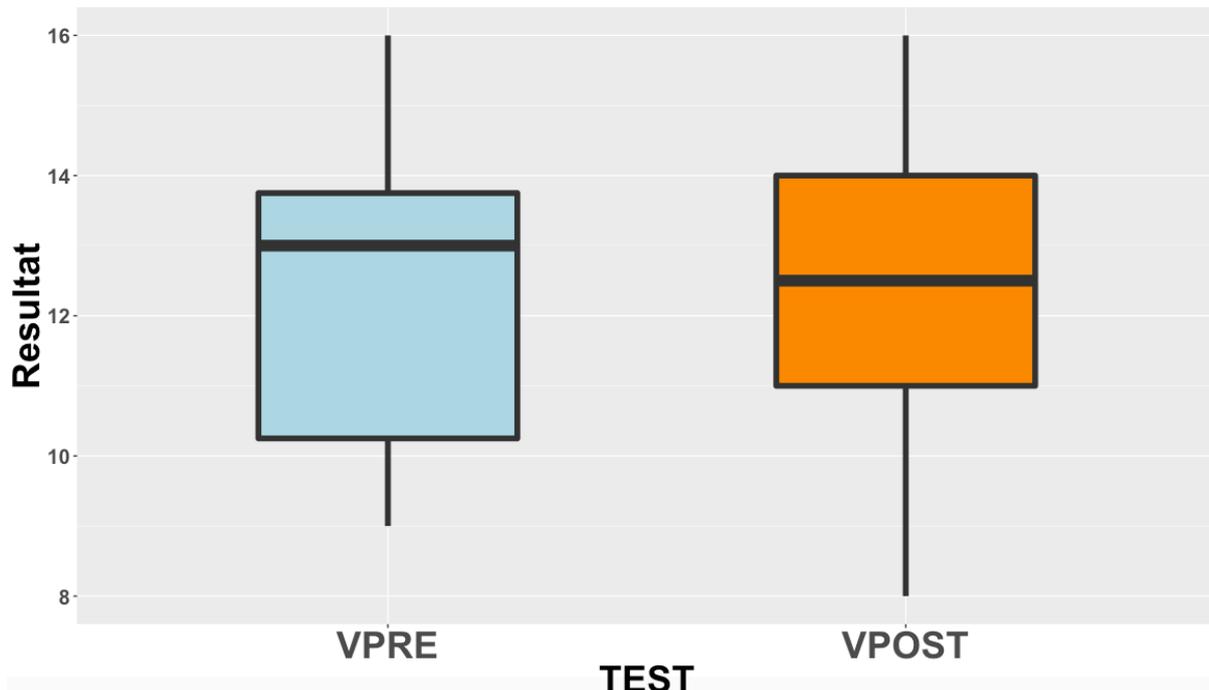


Figure 19 Boîte à moustache Résultat PRE POST

On observe que la médiane lors du post-test est inférieure à la médiane lors du pré-test. La médiane représente la valeur au-dessus de laquelle se trouvent 50% des valeurs. Si la médiane diminue, cela signifie que globalement les participants ont régressé après la phase d'apprentissage.

Nous avons donc une moyenne qui nous montre que les participants se sont légèrement améliorés et une médiane qui nous montre le contraire.

Les résultats du test-t vont nous permettre de trancher. Avec la valeur de p ($p\text{-value}=0.7485$), la différence entre les deux moyennes n'est pas significativement différente. L'écart entre les deux moyennes existe bel et bien mais n'est pas suffisamment important pour que l'on puisse conclure avec un effet positif de notre entraînement. On peut donc dire que notre apprentissage n'a pas d'effet sur la capacité des gardiens à arrêter des coups de pied de réparation.

En ce qui concerne les données d'eye-tracking, commençons par analyser l'effet de l'apprentissage sur les zones observées par les gardiens. Si nous prenons les conditions une à

une, on observe dans les figures (20, 21, 22) qu'aucune des conditions montre un réel avantage sur les autres.

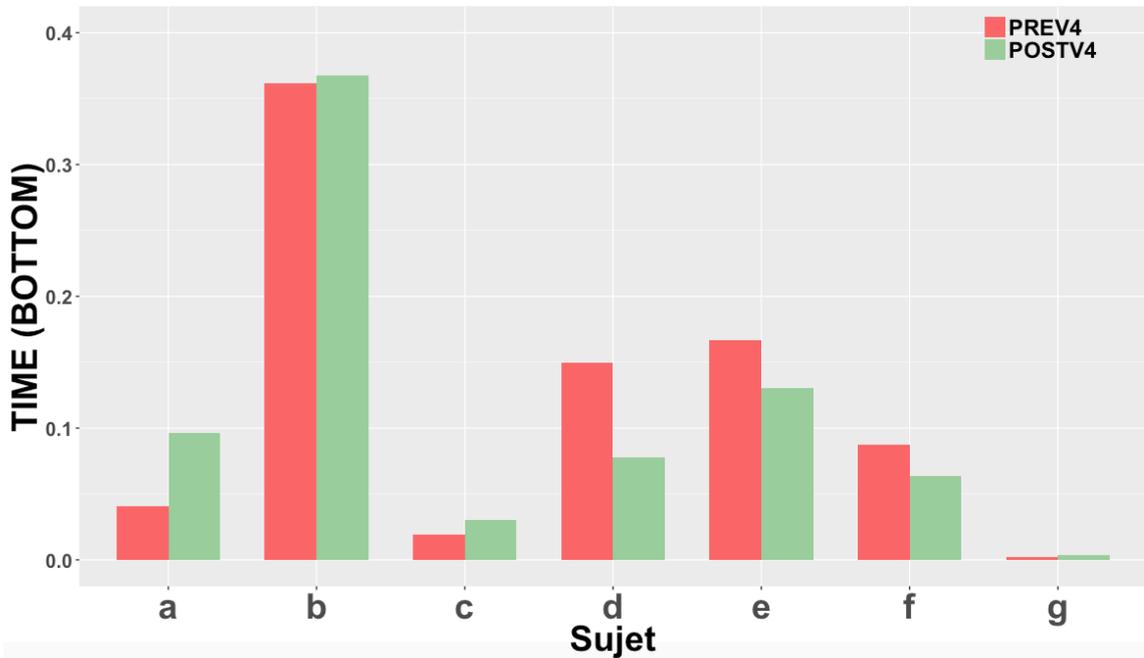


Figure 20 Temps Bottom par sujet PRE et POST

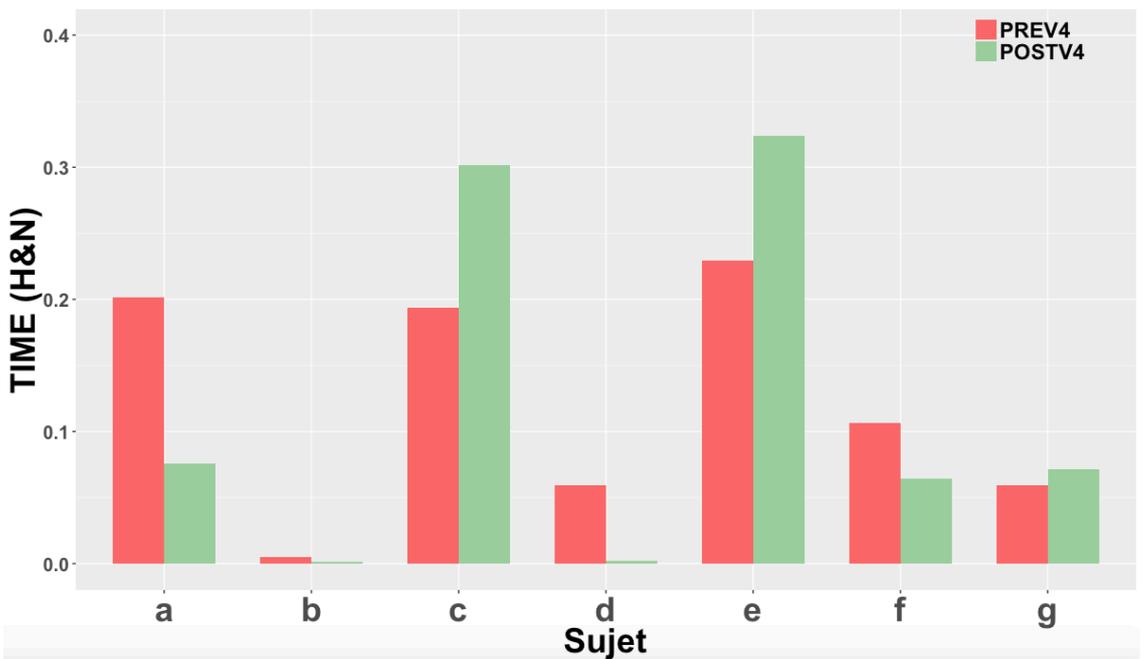


Figure 21 Temps H&N par sujet PRE et POST

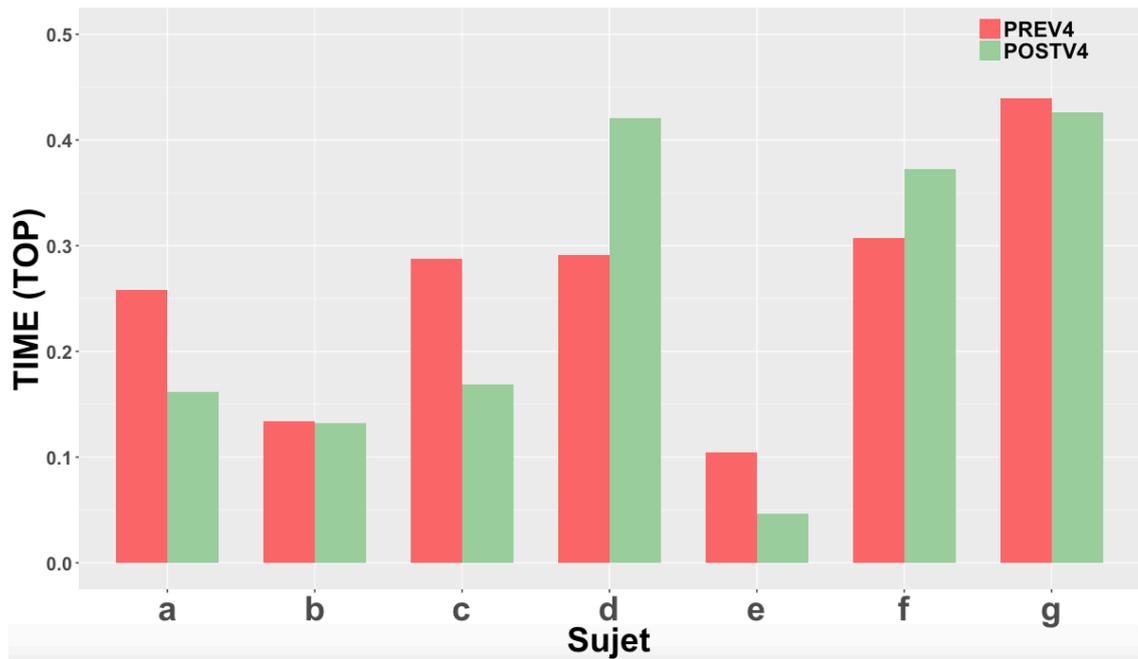


Figure 22 Temps Top par sujet PRE et POST

En effet, dans la figure (20) représentant le temps passé à regarder la condition “*Bottom*”, on constate une augmentation du temps d’observation lors du post-test de 3 sujets, une diminution du temps lors du post-test de 3 sujets et une quasi ignorance de la condition de la part du dernier sujet. Pour la condition “*Head and neck*”, là aussi trois sujets augmentent leur temps d’observation de la condition “*Head and neck*” contre trois qui diminuent et un qui ne tient pas compte de cette condition. Enfin pour la condition “*Top*”, trois sujets augmentent le temps passé à regarder le haut du corps trois diminuent ce temps et 1 reste relativement stable entre le pré- et le post-test.

Comme nos résultats sont relativement mitigés, nous faisons un T-test pour chacune des parties afin de vérifier si les changements entre le pré- et le post-test sont significatifs. Les valeurs de p pour les conditions “*Bottom*”, “*Head and Neck*”, “*Top*” sont respectivement $p_b = 0.6084$, $p_{h\&n} = 0.9478$, $p_t = 0.7023$. Il n’y a donc une différence significative pour aucune des conditions testées. On peut donc en conclure que l’entraînement n’a pas d’influence sur les zones regardées par le gardien.

Pour terminer, nous avons testé une éventuelle corrélation entre les résultats des gardiens et les zones regardées. Nous avons donc pris les résultats indépendamment du fait qu’ils proviennent du pré- ou du post-test et nous l’avons comparé avec les temps passé à observer les conditions “*Bottom*”, “*Head and Neck*”, “*Top*”. Les figures (23, 24, 25) ci-dessous montrent les régressions linéaires pour chacune des conditions.

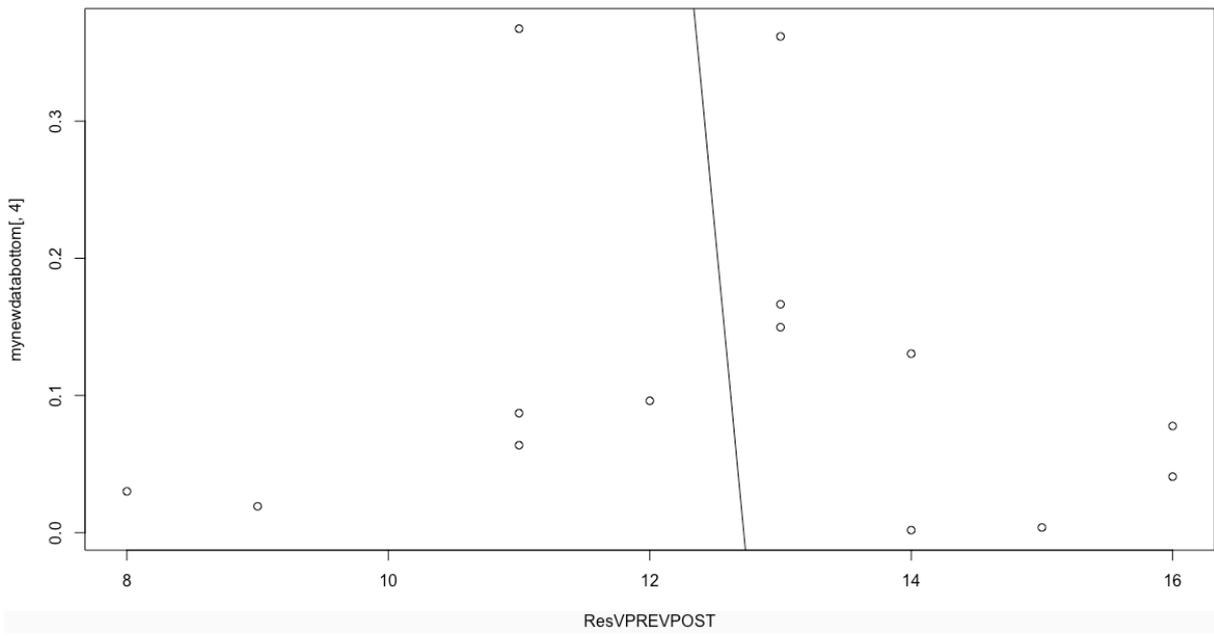


Figure 23 Corrélation Résultat en fonction du temps (Bottom)

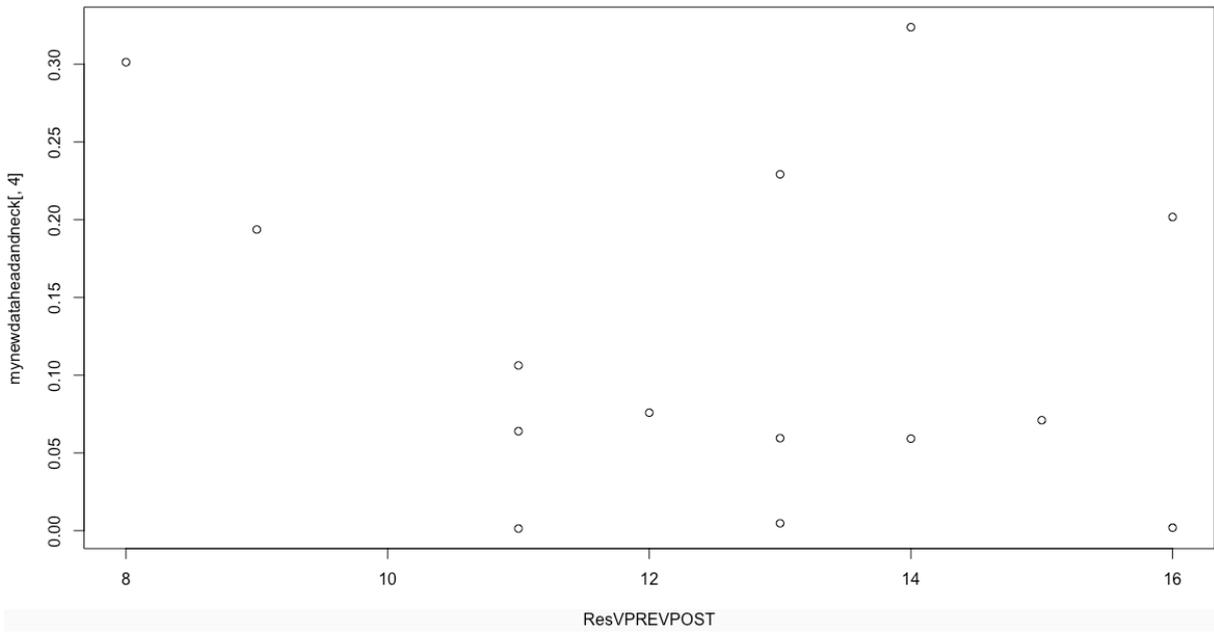


Figure 24 Corrélation Résultat en fonction du temps (H&N)

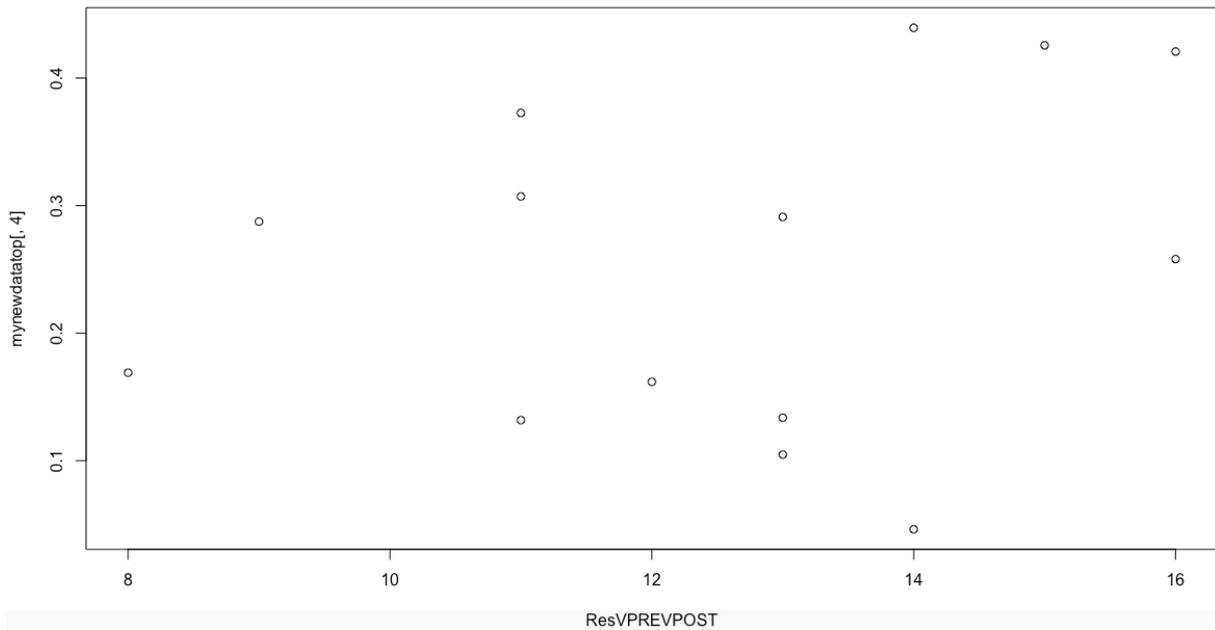


Figure 25 Corrélation Résultat en fonction du temps (Top)

On peut observer dans les trois figures ci-dessus qu'il y a une dispersion relativement aléatoire des points. Ce qui est mis en exergue par les coefficients de corrélation r pour chacune des trois conditions dont voici les valeurs

$r_b = -0.04883208$, $r_{h\&n} = -0.2454721$ et $r_t = 0.2725853$. Avec dans les trois cas un $r < 0.5$ on peut dire qu'il existe une corrélation faible entre les résultats et les trois conditions. Dans notre expérience, on ne trouve donc pas de corrélation entre les zones observées par les gardiens et le nombre de pénalty arrêtés.

5. DISCUSSION

5.1 Succès et limites du travail

L'un des principaux succès de l'expérience est d'avoir réussi à bloquer toutes sources d'information entre le moment de la frappe et 350 ms avant le contact pied-balle. Nous savons grâce à Van der Kamp (Van der Kamp, 2006), que le temps minimum est de 400 ms pour rediriger un tir. Après une étude complémentaire de l'université de Fribourg (Travail de Master, Loris Molisani, 2016), nous avons pu réduire encore grâce à un entraînement le temps minimum nécessaire afin de rediriger un tir à 321 ms chez des jeunes de 12 ans (meilleur résultat). Il était donc logique au vu de notre problématique de fixer la fin de la vidéo à 350 ms et de ne pas donner au gardien les informations au-delà de cette limite. Ce qui laisse le temps nécessaire au gardien de plonger et d'arrêter le tir.

Bien que l'on puisse tirer beaucoup d'éléments intéressants de cette étude, nous avons été soumis à plusieurs limites. Les participants étaient au nombre de 10, un échantillon relativement petit qui ne permet peut-être pas d'obtenir les résultats souhaités. Il était néanmoins particulièrement difficile de trouver un grand nombre de participants. En effet nous avons besoin de gardiens avec un niveau de 2^{ème} ligue minimum. Les gardiens sont une denrée rare dans une équipe puisqu'ils sont en général deux par équipe. Il a fallu trouver plusieurs clubs ayant le niveau requis et parfois sortir du canton pour avoir un nombre minimum de 10 sujets. De plus, faisant encore partie d'une ligue amateur, il était indispensable de jongler avec les dispositions de chacun en fonction de leur profession.

Après un premier contrôle de l'expérience où nous avons un taux de réussite aux tests approchant les 100%, nous avons décidé de modifier légèrement la méthode. La vidéo que visionnaient les participants s'arrêtait lors du contact pied-balle, ce qui ne respectait pas le temps nécessaire au gardien pour effectuer le plongeon et ce qui donnait beaucoup trop d'informations aux sujets. Nous avons donc coupé les vidéos 350 ms comme expliqué plus haut. Cependant nous n'avons pas retenté l'expérience avant les participants officiels et cela par manque de temps.

L'apprentissage aussi peut être soumis à la critique. Le pré-test, l'apprentissage et le post-test se font à la suite lors d'une séance d'environ 1h. L'apprentissage comporte un total de 40 vidéos. Le temps et le nombre de vidéos présenté sont relativement faibles pour pouvoir déduire un réel impact sur les performances de nos gardiens. Peut-être qu'un entraînement de 4 semaines comme le fait Van der Kamp pour ces tireurs. Bien sûr, cela demande une plus

grande logistique et pourquoi pas un partenariat avec un club, car les contraintes d'un entraînement sur 4 semaines sont énormes pour des sujets amateurs.

La validité écologique de notre étude aurait pu être de meilleure qualité. Pour que l'eye-tracker puisse capturer les mouvements oculaires, la pièce doit être plongée dans l'obscurité. Ce qui ne correspond pas à la réalité du terrain. De plus et dans cette même optique, le gardien doit être assis et immobile. Il n'est donc pas immergé complètement dans l'exercice d'un tir au but. Les séquences vidéo ne correspondent pas tout à fait à la réalité non plus car le gardien ne voit que la course d'élan du tireur. Mais cela est normal car nous essayons de trouver des informations objectives provenant des différents segments du corps. La dimension psychologique lors d'une séance de tir au but est très importante mais ne rentre pas en compte dans cette étude. Cela amène néanmoins un problème écologique car les vidéos s'enchaînent avec un temps de pause d'une seconde entre le moment où les gardiens donnent leur réponse et le début de la séquence suivante. Situation qui n'arrive jamais lors d'une séance de tir au but ou d'un coup de pied de réparation lors d'un match. La qualité de la vidéo n'est pas non plus exempte de tout reproche, car le jour précédent la capture, 20 cm de neige fraîche est venue recouvrir la surface du terrain. Malgré le fait que nous ayons déblayé la surface, le sol reste de couleur blanche et dans une situation où aucun match de football n'aurait lieu. De plus le stade étant à proximité d'une route, on peut parfois remarquer les phares d'une voiture passant derrière le tireur. Bien que discrète, cela a peut-être attiré le regard de nos participants et ainsi faussé les données d'eye-tracking.

Enfin, dans certaines vidéos le tireur regarde particulièrement intensément le côté choisi et donne des informations évidentes aux gardiens. Nous avons essayé de faire au mieux avec les vidéos enregistrées, mais elles ne sont pas toutes de qualité optimale. Comme les vidéos du pré- et du post-test sont les mêmes et que chaque sujet visionne les mêmes vidéos cela ne pose pas de problèmes sur les résultats obtenus grâce à l'apprentissage vidéo mais fausse peut-être le taux de réussite. Cet aspect-là peut être facilement corrigé comme le prouve l'étude de mon collègue Phong Hai Lai qui utilise des avatars sans visage à la place des vidéos. Nous parlerons plus en détails son expérience dans les chapitres suivants.

5.2 Développement possible de l'étude

Nous aurions néanmoins pu poser notre problématique différemment sachant que 75% des tireurs attendent que le gardien plonge avant de rediriger le tir dans le goal vide (Kuhn, 1988). Ainsi au lieu de baser notre étude sur le fait de permettre au gardien d'arrêter un coup

de pied de réparation, nous aurions pu faire en sorte d'entraîner les gardiens à faire échouer les tireurs. Nous avons vu plus haut que selon Johnson, Van Beers, & Haggard, Prablanc & Martin et F. Sarlegna et al, une modification dans la trajectoire de la main et de sa vitesse est possible aux alentours de 250 ms après la modification du stimulus. Si nous nous basons sur ces valeurs, le gardien possède maintenant 100 ms supplémentaire afin d'engranger le maximum d'informations. De plus le tireur se voit dans l'obligation de rediriger son tir très tard ce qui pourrait augmenter le nombre d'échec de la part des tireurs. Il serait intéressant de développer une étude selon ces critères.

Dans l'étude de D. Ryu & Al citée ci-dessus, il observe qu'un feedback extérieur ajouté à la vidéo permet d'améliorer significativement la performance de ses sujets. Dans notre étude, aucune information extérieure n'est donnée aux participants qui ne disposent que de la vidéo pour déduire eux-mêmes les zones contenant le plus d'informations pertinentes. Il serait donc intéressant de guider les participants vers les zones essentielles lors de l'apprentissage afin d'améliorer leurs résultats.

5.3 Comparaison avec d'autres études

Comme dit précédemment notre étude a été développée en parallèle à une autre étude menée par mon collègue Phong Hai Lai. Il est donc intéressant de voir les points communs à nos deux études et surtout les différences. L'étude de Phong reprend exactement le même schéma que notre étude mais en ajoutant une composante supplémentaire, l'utilisation d'avatars. Il teste donc un groupe de 12 gardiens (10 de sexe masculins et 2 de sexe féminin) âgés de 18 à 34 ans. Pour son étude il suit une procédure très proche de la nôtre. Il commence par tester les sujets avec deux pré-tests. L'un est identique au nôtre avec 20 vidéos coupées non pas à 350 ms mais à 200 ms et l'autre est une série de 20 clips où l'on a transformé les tireurs et son environnement en image de synthèse avec un avatar. Après avoir passé les deux pré-tests, les gardiens passent à une phase d'apprentissage. Il crée des séquences vidéo où il superpose l'avatar tirant à droite et l'avatar tirant à gauche du même tireur. Les avatars ont des couleurs différentes permettant de bien les distinguer. Ces séquences sont passées à 30% de leur vitesse réelle de manière similaire à notre étude. Après l'apprentissage les gardiens subissent à nouveau deux post-tests, l'un avec les vidéos non modifiées et l'autre contenant les clips avec avatars.

Ce qui est intéressant de constater, c'est qu'il y a quelques différences dans la procédure entre nos deux études. Notamment sur le fait que les vidéos ont été coupées 200 ms

avant le contact pied-balle et non pas 350 ms comme dans notre étude. Cela est dû au feedback des résultats de notre étude. En effet n'ayant pas de significativité dans nos résultats, il a été choisi de modifier légèrement l'étude de Phong Hai Lai afin de faciliter et d'augmenter la prise d'information chez les gardiens. Ils disposent donc de 150 ms d'informations supplémentaires. Une durée non-négligeable d'autant plus que nous avons vu dans le travail de master de Loris Molisani, (Travail de Master Loris Molisani, 2016) qu'une majeure partie des tirs est loupée lorsqu'ils sont redirigés en dessous de 300 ms avant le contact pied-balle. On peut donc se demander si le rôle du gardien de but lors d'un coup de pied de réparation est d'arrêter le tir ou de faire échouer le tireur.

N'ayant pas encore terminé son travail en ce jour, nous ne pouvons malheureusement pas comparer les résultats de l'étude de Phong Hai Lai avec les résultats de notre étude. Il sera néanmoins très intéressant de comparer les résultats lors de leur sortie. Il faudra d'ailleurs être particulièrement attentif aux résultats concernant le test sur avatar. En effet, dans notre étude, nous avons pu remarquer que la tête est une zone particulièrement observée par les gardiens. Et ceci sans doute à cause des informations liées au regard données par le tireur. L'avatar ne possédant pas de visage, cela pourrait influencer grandement les zones observées par les gardiens et donc les résultats aux tests.

Il reste cependant évident pour nous que les vidéos doivent être coupées avant le contact pied-balle contrairement à l'étude de D.Ryu et al. (Ryu D., Kim S., Abernethy B., Mann D., 2013). Si l'on coupe les séquences lors du contact pied-balle, le gardien pourra certes déterminer avec précision du tir mais n'aura pas le temps d'atteindre la balle avant qu'elle ne franchisse la ligne de but. De plus le tireur n'aura pas besoin de modifier son tir car il sera trop tard pour lui pour neurologiquement être capable de changer la direction du tir. Grâce à nos études nous offrons une nouvelle piste de réflexion sur le timing le plus efficace pour les gardiens afin d'arrêter un coup de pied de réparation.

Nous pouvons donc attendre des informations très pertinentes du travail de mon collègue Phong Hai Lai et nous nous réjouissons de pouvoir comparer ses résultats avec les nôtres.

6. CONCLUSION

Les points précédents nous ont permis de comprendre beaucoup de chose sur notre étude et sur les points à améliorer lors d'une prochaine tentative d'apprentissage au coup de pied de réparation sur des gardiens de niveau intermédiaire. Nous avons néanmoins pu mettre en lumière l'importance de l'anticipation et la difficulté qu'ont les gardiens à trouver les informations essentielles sur des timings aussi courts qu'une course d'élan lors d'un coup de pied de réparation. Malgré le fait que les sujets soient des gardiens aguerris, on constate qu'il est compliqué de laisser les gardiens sans aide extérieur à part la vidéo. On ne peut donc pas substituer les conseils d'un coach uniquement par de l'entraînement vidéo. On peut donc en conclure que l'entraînement par vidéo, sans aide extérieure, de la prise de décision de plonger à gauche ou à droite lors d'une séance de tir au but n'est pas efficace. Du moins sur une période d'entraînement aussi courte que celle proposée dans cette étude.

En ce qui concerne les données d'eye-tracking, nous n'avons à nouveau pas satisfait à nos hypothèses de départ. Nous nous attendions à ce que les zones observées corrèlent avec les résultats des gardiens. Nous pensions que les gardiens observant la partie basse du corps (Bottom) auraient des résultats significativement plus élevés que ceux qui observent les zones du haut du corps de la tête et du cou. Mais nous n'avons trouvé ni corrélation positive ni corrélation négative.

A nouveau, en ce qui concerne les données d'eye-tracking, on ne trouve aucune influence significative de notre entraînement sur les zones regardées par les gardiens. Ils persistent donc malgré l'apprentissage dans leurs habitudes et ne modifient pas leur façon d'observer les tireurs. Un apprentissage seul n'arrive donc pas, selon cette étude, à modifier le comportement visuel de nos sujets.

7. BIBLIOGRAPHIE

- Day, B. L., & Lyon, I. N. (2000). Voluntary modification of automatic arm movements evoked by motion of a visual target. *Experimental Brain Research*, 130(2), 159–168. <https://doi.org/10.1007/s002219900218>
- Diaz, G. J., Fajen, B. R., & Phillips, F. (2012). Anticipation From Biological Motion: The Goalkeeper Problem. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 38(4), 848–864. <https://doi.org/10.1037/a0026962>
- Johnson, H., Van Beers, R. J., & Haggard, P. (2002). Action and awareness in pointing tasks. *Experimental Brain Research*, 146(4), 451–459. <https://doi.org/10.1007/s00221-002-1200-z>
- Jordet, G., Hartman, E., Visscher, C., & Lemmink, K. A. P. M. (2007). Kicks from the penalty mark in soccer: the roles of stress, skill, and fatigue for kick outcomes. *Journal of Sports Sciences*, 25(2), 121–129. <https://doi.org/10.1080/02640410600624020>
- Morya, E., Ranvaud, R., & Pinheiro, W. M. (2003). Dynamics of visual feedback in a laboratory simulation of a penalty kick. *Journal of Sports Sciences*, 21(2), 87–95. <https://doi.org/10.1080/0264041031000070840>
- Palacios-Huerta, I. (2003). Professionals play minimax. *Review of Economic Studies*, 70(2), 395–415. <https://doi.org/10.1111/1467-937X.00249>
- Prablanc, C., & Martin, O. (1992). Automatic control during hand reaching at undetected two-dimensional target displacements. *Journal of Neurophysiology*, 67(2), 455–69. Retrieved from <http://jn.physiology.org/content/jn/67/2/455.full.pdf%5Cnhttp://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1569469>
- Reichenbach, A., Thielscher, A., Peer, A., Bühlhoff, H. H., & Bresciani, J.-P. (2009). Seeing the hand while reaching speeds up on-line responses to a sudden change in target position. *The Journal of Physiology*, 587(19), 4605–4616. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2009.176362>
- Ryu, D., Kim, S., Abernethy, B., & Mann, D. L. (2013). Guiding Attention Aids the Acquisition of Anticipatory Skill in Novice Soccer Goalkeepers. *Research Quarterly for Exercise & Sport*, 84(2), 252–262. <https://doi.org/10.1080/02701367.2013.784843>

- Sarlegna, F., Blouin, J., Bresciani, J. P., Bourdin, C., Vercher, J. L., & Gauthier, G. M. (2003). Target and hand position information in the online control of goal-directed arm movements. *Experimental Brain Research*, *151*(4), 524–535.
<https://doi.org/10.1007/s00221-003-1504-7>
- Savelsbergh, G. J. P., Van der Kamp, J., Williams, a M., & Ward, P. (2005). Anticipation and visual search behaviour in expert soccer goalkeepers. *Ergonomics*, *48*(11–14), 1686–97. <https://doi.org/10.1080/00140130500101346>
- Savelsbergh, G. J. P., Williams, a M., Van der Kamp, J., & Ward, P. (2002). Visual search, anticipation and expertise in soccer goalkeepers. *Journal of Sports Sciences*, *20*(3), 279–287. <https://doi.org/10.1080/026404102317284826>
- Schmidt, R., & Lee, T. (2011). *Motor Control and Learning: A Behavioral Emphasis. Human Kinetics*. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(88\)90286-2](https://doi.org/10.1016/0021-9290(88)90286-2)
- Van Der Kamp, J., & Masters, R. S. W. (2008). The human Muller-Lyer illusion in goalkeeping. *Perception*, *37*(6), 951–954. <https://doi.org/10.1068/p6010>
- Vickers, J. N. (2007). Perception, cognition, and decision training: The quiet eye in action. *Perception, Cognition, and Decision Training: The Quiet Eye in Action*. Retrieved from <http://ovidsp.ovid.com/ovidweb.cgi?T=JS&PAGE=reference&D=psyc5&NEWS=N&AN=2007-13889-000>
- Wood, G., & Wilson, M. R. (2010a). A moving goalkeeper distracts penalty takers and impairs shooting accuracy. *Journal of Sports Sciences*, *28*(9), 937–946.
<https://doi.org/10.1080/02640414.2010.495995>
- Wood, G., & Wilson, M. R. (2010b). Gaze behaviour and shooting strategies in football penalty kicks: Implications of a 'keeper-dependent approach. *International Journal of Sport Psychology*, *41*(3), 293–312.
- Franks, I. M., & Harvey, T. (1997). Cues for goalkeepers: Hightech methods used to measure penalty shot response. *Soccer Journal*, *42*, 30–38.
- Kerwin, D. G., & Bray, K. (2006). Measuring and modelling the goalkeeper's diving envelope in a penalty kick. *The Engineering of Sport* *6*, 321–326.
- Kuhn, W. (1988). Penalty-kick strategies for shooters and goalkeepers. *Science and Football*, (In T. Reilly, A. Lees, K. Davids & W. J. Murphy (Eds.)), 489–492.
- Masters, R. S., van der Kamp, J., & Jackson, R. C. (2007). Imperceptibly off-center goalkeepers influence penalty-kick direction in soccer. *Psychol Sci*, *18*(3), 222– 223.

- Miller, C. (1999). He always puts it to the right: A history of the penalty kick. *Orion Publishing*.
- Soechting, J. F., & Lacquaniti, F. (1983). Modification of trajectory of a pointing movement in response to a change in target location. *Journal of Neurophysiology*, 49(2), 548–564.
- Van der Kamp, J. (2006). A field simulation study of the effectiveness of penalty kick strategies in soccer: late alterations of kick direction increase errors and reduce accuracy. *Journal of Sports Sciences*, 24(5), 467–477.
<http://doi.org/10.1080/02640410500190841>
- McLeod, P. (1994). Perceptual motor co-ordination. In M.W. Eysenck (Ed.), *Blackwell dictionary of cognitive psychology* (pp. 262-264). Oxford : Blackwell
- Sternberg, R. (2003). *Cognitive Psychology* (3rd ed.). Belmont, CA : Thompson & Wadsworth Barnes
- Summers, J.J. (2004). A historical perspective on skill acquisition. In A.M. Williams & N.J. Hodges (Eds.), *Skill acquisition in sport : Research, theory and practice* (pp. 1-26). London : Routledge
- Gibson, J.J. (1966). *The senses considered as perceptual systems*. Boston : Houghton Mifflin
- Gibson, J.J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Boston : Houghton Mifflin

8. REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à exprimer mes plus sincères remerciements au Professeur Jean-Pierre Bresciani et à son assistant Thibaut LeNaour qui m'ont suivi avec beaucoup de professionnalisme et d'humanité tout au long de ce travail. J'aimerais remercier aussi tous les joueurs ayant permis la réalisation des clips vidéo pour leur disponibilité et leur sérieux. J'aimerais encore remercier les gardiens qui ont pris par à l'étude et qui m'ont donné avec enthousiasme un peu de leur temps. Merci à tous ceux qui m'ont soutenu lors de ce projet et sans qui l'étude n'aurait pas pu aboutir.

9. DECLARATION PERSONNELLE

"Par ma signature, j'atteste avoir rédigé personnellement ce travail écrit et n'avoir utilisé que les sources et moyens autorisés, et mentionné comme telles les citations et les paraphrases."

Lieu, date :

Signature :

10. DROIT D'AUTEUR

“ J'ai pris connaissance du fait que le présent travail est partie intégrante de mes études, que l'ensemble des droits d'auteur (comprenant notamment le droit de publication, les droits d'usage gratuit ou commercial) est cédé à l'Université de Fribourg, que l'Université ne peut disposer du droit de cession à des tiers sans accord préalable, et que, dans le cadre de ce régime, je ne peux faire valoir aucun droit pécuniaire. “

Lieu, date :

Signature :