

**Calcul des seuils de redirection minimale lors de séances  
de tirs au but chez des adultes évoluant entre la 2<sup>e</sup> et la 1<sup>ère</sup>  
ligue Suisse**

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

déposé par

**Riccardo Rao**

à

l'Université de Fribourg, Suisse  
Faculté des sciences  
Département de médecine

en collaboration avec la  
Haute école fédérale de sport de Macolin

Référent

Prof. Jean-Pierre Bresciani

Conseiller

Dr. Jean-Luc Bloechle

Fribourg, avril 2019

## Table des matières

Résumé .....	3
1 Introduction .....	4
1.1 Définition du penalty .....	4
1.2 Historique et situation actuelle .....	4
1.3 Caractéristique du penalty .....	5
1.4 Les facteurs d'anticipation sensorimoteurs .....	5
1.5 Rétention et consolidation de l'apprentissage lors de tâches motrices .....	9
1.6 Enjeux de la problématique .....	9
1.7 Objectif du travail .....	10
2 Méthode .....	12
2.1 Description de l'échantillon .....	12
2.2 Plan d'étude .....	12
2.3 Description détaillée des méthodes .....	13
2.4 Instruments de recherche .....	15
2.5 Evaluation et analyse statistique des données .....	16
3 Résultats .....	17
3.1 Résultats des statistiques descriptives des seuils .....	17
3.2 Résultats des seuils globaux .....	18
3.3 Résultats de seuils sous différentes conditions .....	19
3.4 Résultats des taux de réussite .....	23
4 Discussion .....	25
4.1 Discussion des résultats de recherche principale .....	25
4.2 Discussion des statistiques descriptives des taux de réussite .....	26
4.3 Discussion des résultats selon les hypothèses .....	26
4.4 Forces et faiblesses de l'étude .....	27
4.5 Perceptives futures .....	28
5 Conclusion .....	30
Bibliographie .....	32
Annexes .....	35
Remerciements .....	37

## **Résumé**

### **Introduction**

Les pénalties ainsi que les séances de tirs au but sont des séquences de jeu déterminantes. Ils peuvent souvent décider l'issue de la rencontre. Ce présent travail s'est concentré sur les réponses sensorimotrices des joueurs. Il est estimé qu'entre 15 et 35 % des pénalties sont manqués (Franks & Harvey, 1997; Kropp & Trapp, 1999; Kuhn, 1988; Morris & Burwitz, 1989 ; Palacios-Huerta, 2003).

### **Objectif**

L'objectif de ce travail est d'établir un seuil moyen limite lorsqu'un tireur doit rediriger son tir avant le contact pied-ballon. La tâche psycho-motrice demandée aux joueurs s'est faite de manière dépendante du gardien.

### **Méthode**

L'échantillonnage était composé de footballeurs ( $n = 10$ ) de sexe masculin âgés entre 20 à 40 ans ( $M = 30.50$  ;  $SD = 7.23$ ). Les sujets ont été convoqués à trois reprises, pour un « Pre-test » de 100 pénalties, une « Phase d'entraînement » de 120 pénalties (2 x 60) et un « Post-Test » de 100 tirs. La phase d'entraînement a été élaborée de manière à ce que les seuils soient utilisés de manière à entraîner une zone sensible de redirection. Différentes conditions ont été étudiées, comme par exemple lorsque les joueurs devaient ouvrir (GG) ou fermer le pied (DD) lors de redirection de tir.

### **Résultats**

Le seuil de redirection global est de 360.80 ms en « Pre-test » et de 310.75 ms pour le « Post-Test » soit une amélioration de 50.05 ms après la phase d'entraînement et un repos de 24h. Sous les conditions GG, les améliorations se sont révélées significatives,  $p < 0.05$ .

### **Discussion**

En comparaison avec les seuils trouvés par Grand (2016) sur la même population de footballeurs, les seuils de cette présente étude se sont révélés plus bas. Il se peut que cette différence soit due à la réalisation du « Post-Test » à 24h d'intervalle avec l'entraînement, ce qui engendre une meilleure consolidation et rétention de la tâche motrice.

### **Conclusion**

Ces résultats nous ont permis de mettre en lumière les capacités psychomotrices des joueurs de football de la 2<sup>ème</sup> ligue à la 1<sup>ère</sup> ligue Suisse.

Grâce à ce travail de recherche, nous avons pu établir le seuil limite de ces joueurs et répondre à notre question de recherche (a) en définissant un seuil limite à  $310.75 \pm 76.08$  ms.

# 1 Introduction

## 1.1 Définition du penalty

*Penalty* ou *Penalty kick* est un nom emprunté à l'anglais se traduisant littéralement en français par peine ou pénalité, plus communément appelé tir au but dans le monde du football franco-phone ou officiellement coup de pied de réparation. Depuis l'Euro 2006, le nom *penalty* a été introduit parmi les règles du jeu officiel. Il faut également faire la distinction entre une séance de tir au but ou un coup de pied de réparation. La séance de tir au but est un moyen de départager les deux équipes à la fin d'une rencontre à élimination directe ou le score s'est terminé par égalité. Tandis que le coup de pied de réparation ou penalty fait lui référence à la conséquence d'une action fautive durant le temps réglementaire. Cette sanction est ordonnée par l'arbitre lorsqu'une faute est commise dans la surface de réparation. Le tir au but ou le penalty s'effectue à une distance de 11 mètres (marque circulaire inscrite au sol du but), par un joueur seul face au gardien et ceci sans l'intervention d'aucun défenseur (Wikipédia, 2019).

## 1.2 Historique et situation actuelle

Pour apercevoir le premier penalty ou « coup de pied de la mort », comme appelé autrefois, il faut remonter en 1891. Son invention est attribuée à William McCrum, un gardien Nord-Irlandais et a vu le jour 1 an avant, en 1890. Auparavant, il était impensable d'imaginer qu'une faute soit commise de manière volontaire à l'intérieur de la surface de réparation. Cette règle de jeu a été introduite dûe au fait que les matchs devenaient de plus en plus engagés et que des fautes volontaires aient vu le jour (FIFA.com, s.d.)

Lors de la phase finale de la dernière Coupe du Monde 2018 en Russie, 4 matchs sur 16 se sont terminés par une séance de tirs au but, tout comme en 2014 lors de la Coupe du Monde au Brésil, soit 25% des matches. Cet exercice ne révèle pas toujours la réalité d'une rencontre et ne couronne pas toujours la meilleure équipe dans le jeu. Cependant, cela reste un passage obligé lors de phase finale à élimination directe pour des équipes qui n'arrivent pas à se départager durant le temps réglementaire et qui souhaite aller plus loin dans la compétition. Les séances de tirs au but dégagent souvent une très grande charge émotionnelle pour les joueurs, entraîneurs et tous les spectateurs. Ceci étant, une séance de tirs au but ou un penalty durant le temps réglementaire peut souvent être déterminant pour l'issue de la rencontre. C'est pourquoi cette présente étude peut apporter des réponses concrètes quant à la manière d'aborder une telle situation ainsi que de démontrer l'importance de se préparer en toute connaissance de cause face à une telle tâche.

La réussite ou non d'un penalty est déterminée par plusieurs facteurs comme par exemple le stress psychologique ou des réponses sensorimotrices adaptées (Savelsbergh, Williams, Kamp & Ward, 2002). Ce travail se concentrera principalement sur ce deuxième facteur. Il est estimé qu'entre 15% et 35% des pénalties sont ratés (Franks & Harvey, 1997; Kropp & Trapp, 1999; Kuhn, 1988; Morris & Burwitz, 1989 ; Palacios-Huerta, 2003).

### **1.3 Caractéristique du penalty**

Lors d'un tir au but, le ballon qui est frappé atteint une vitesse d'environ 100 km/h, il lui faut donc 300 ms avant d'atteindre le but placé à 11m du point de penalty (Palacios-Huerta, 2003). Il faut au gardien entre 500 et 700 ms afin d'atteindre une extension complète. De plus, il est considéré que chez l'élite, le temps de réaction moyen est de 150 ms. Au vu des paramètres décrits ci-dessus, le gardien n'a donc aucune chance d'arrêter un penalty, si celui-ci est tiré de manière correcte. Plusieurs entraîneurs sont d'accord d'affirmer qu'un penalty tiré ras de terre et proche du poteau ne donne aucune chance au gardien de l'arrêter (Dohmen, 2008). Seule possibilité pour le gardien d'arrêter un tir au but, anticiper d'un côté en se concentrant sur des indices stratégiques qui pourraient lui permettre d'identifier le côté choisi par le tireur (Franks & Harvey, 1997).

### **1.4 Les facteurs d'anticipation sensorimoteurs**

**1.4.1 Stratégie du tireur.** Kuhn (1988) et Miller (1996) ont démontré qu'il existait 2 stratégies dominantes pour les tireurs avant d'aborder un penalty. La première stratégie est « indépendante du gardien », le tireur ne va pas se focaliser sur la phase préparatoire du gardien mais va se concentrer sur une direction de tir préalablement choisie, des connaissances sur les préférences de côté du gardien ou encore le placement du gardien dans le but avant le tir au but. La stratégie « dépendante du gardien », consiste à choisir préalablement une direction de tir temporaire qui va être modifiée ou non selon le déplacement du gardien. En effet, cette stratégie permet, durant la course d'élan vers le ballon, d'acquérir des indices sur le déplacement du gardien ceci dans le but de le prendre à contre-pied. La stratégie « dépendante du gardien » est utilisée dans environ 75% des cas par les tireurs. Cependant, Kuhn (1988) n'a pas indiqué dans sa recherche si les résultats issus de cette stratégie rencontraient un plus grand succès ou non. Il peut laisser à croire que cette stratégie rencontre un succès important au vu des stratégies et tactiques utilisées dans le football d'aujourd'hui. Les joueurs ralentissent de plus en plus avant le contact pied-ballon ceci pour vérifier jusqu'au dernier moment si

le gardien va anticiper à gauche ou à droite. Toutefois, il n'est pas autorisé de marquer un temps d'arrêt durant la course d'élan. Le tireur doit toujours se trouver en mouvement depuis le départ de sa course d'élan jusqu'au contact pied-ballon. Si l'arbitre juge que le joueur s'est arrêté alors il redemandera au joueur en question de retirer son penalty.

Ces 2 stratégies sont associées plus communément au concept de boucle fermée ou boucle ouverte dans le domaine du contrôle moteur. Le principe de la « boucle fermée » est basé sur le fait qu'une tâche motrice ne va pas pouvoir obtenir de feedback durant l'exécution de la tâche afin d'essayer de la corriger ou de l'améliorer. A l'inverse, une tâche motrice en boucle ouverte permet d'avoir un retour durant l'exécution de la tâche motrice afin d'y apporter un changement. Ce feedback peut être d'ordre technique, émotionnel, tactique, physique ou sur l'environnement et peut être concentré dans un laps de temps très court selon la tâche (Schmidt, Lee, Winstein, Wulf & Zelaznik, 2018).

**1.4.2 Stratégie du gardien.** Il est à noter qu'un penalty ou une séance de tirs au but n'est pas à l'avantage du gardien. D'après Kropp et Trapp, 1999, seulement 18% des pénalties sont sauvés par le gardien. Cependant, les gardiens ont de plus en plus d'informations visuelles qui leur sont utiles et qui donnent des résultats encourageants. Il existe deux stratégies pour le gardien lorsqu'il se retrouve face à un tireur de penalty. La première consiste à ce que le gardien choisisse un côté de manière indépendante du tireur, c'est-à-dire qu'il ne va pas se fier à des indices d'anticipation mais va choisir un côté avant même l'exécution du tir et ne pas changer de stratégie. Cela permet au gardien de ne pas se focaliser sur des indices visuels durant la course d'élan du tireur et peut lui permettre de réagir plus rapidement. La deuxième stratégie voudrait que le gardien anticipe le côté de son plongeon en ayant préalablement pris connaissance d'indices visuels présupposant la direction du tir. Il faut cependant que le gardien choisisse le bon moment auquel plonger. S'il plonge trop tôt, les tireurs adoptant une stratégie dépendante du gardien auront une trop grande facilité à rediriger leur tir. Au contraire, s'il plonge trop tard, il n'aura plus la possibilité d'atteindre une extension suffisante pour arrêter le ballon pour autant que le tir soit exécuté de manière optimale (Bar-Eli & Azar, 2009).

Le gardien peut également s'appuyer sur des probabilités qui voudraient que les tireurs droitiers aient une préférence et un pourcentage de réussite plus élevé lorsqu'ils tirent de leur côté dit « naturel », par exemple, lorsqu'un droitier choisi de tirer à gauche et un gaucher sur le côté droite (Chiappori, Levitt & Groseclose, 2002).

**1.4.3 Les facteurs de redirection sensorimoteurs.** Avant de pouvoir déterminer des seuils permettant des modifications sensorimotrices en cours de tâches motrices en boucle fermée ou ouverte, il faut pouvoir déterminer en amont le moment où il est encore possible pour le gardien de prendre des informations utiles afin d'anticiper la direction du tir. Dans l'étude de Franks et Harvey (1997), l'anticipation grâce à l'angle du pied d'appui (pied qui ne frappe pas le ballon) est un indicateur important se trouvant entre 200 et 250 ms avant le contact pied-ballon ce qui pourrait potentiellement permettre au gardien d'avoir assez de temps pour arrêter le penalty. Ce facteur est cependant dépendant de la vitesse du joueur et de la vitesse de la jambe de frappe. De plus, plus l'appui de la jambe dure longtemps, plus la possibilité de changer la direction de tir est grande grâce notamment à l'observation du gardien durant ce laps de temps.

Dans l'étude de Morya, Ranvaud et Pinheiro (2003), il était question de simuler sur un ordinateur des tirs au penalty. Le gardien, le ballon et le tireur étaient représentés par des points. Les sujets avaient pour tâche de diriger leur tir à l'aide d'un levier (joystick) vers la gauche ou la droite selon la stratégie dépendante du gardien, c'est-à-dire que lorsque le tireur s'avancait vers le point représentant le ballon, les sujets devaient regarder le comportement du gardien avant la frappe. Ils devaient donc, lorsque le gardien partait à droite, déplacer le levier vers la droite ou vice versa afin de prendre le gardien à contre-pied. Il a été remarqué que lorsque le gardien s'élançait 400 ms avant le contact pied-ballon les résultats étaient tout proche de 100% tandis que lorsque le gardien s'élançait à 150 ms les tirs réussis ont significativement diminués. Cette étude permet de se rapprocher au plus près des stimuli utiles lors de la redirection d'un tir. Cependant, elle n'intègre pas les contraintes de précision que peut demander une frappe dans un ballon ou encore les patterns moteurs utiles à la réalisation d'une telle tâche motrice.

L'étude de Van der Kamp (2006) avait pour but d'effectuer des pénalties en situation réelle. Cette étude similaire à mon travail de recherche consistait en une série de tirs au but où les joueurs devaient diriger leurs tirs vers deux cibles placées à gauche et à droite du but à 120 cm du sol. Au centre du but étaient placés deux ampoules l'une à côté de l'autre. Ces ampoules s'allumaient à différents moments durant la course d'élan du tireur indiquant de quel côté celui-ci devait tirer. Durant cette même course d'élan, l'ampoule pouvait s'allumer de l'autre côté indiquant qu'il fallait changer de cible ceci à des vitesses plus ou moins rapides avant le contact pied-ballon, obligeant le tireur à rediriger son tir. Les résultats de cette étude ont montré que lorsque l'ampoule indiquait un changement de direction, c'est-à-dire, une re-

direction de tir à moins de 600 ms, 75% des tirs n'atteignaient pas la bonne cible. Lorsque l'ampoule changeait de direction à 400 ms seulement 50% des tirs pouvaient être redirigés de manière positive. Van der Kamp (2006) a donc estimé que le seuil nécessaire pour la redirection d'un penalty se situait entre 400 et 600 ms ce qui rejoint le constat fait par Morya et al. (2003).

**1.4.4 Les indices visuels d'anticipation.** Dans la plupart des études sur l'anticipation, des indices spécifiques localisés sur le corps sont recherchés (segments, mouvements oculaires, etc.). Ces informations locales sont explicitement visibles. En revanche, la prise d'informations distribuées nécessite la coordination des mouvements de tout le corps et implique des synergies motrices de tous les segments du corps. Ces prises d'informations distribuées sont nécessaires lors d'habiletés motrices complexes comme des tirs sur un ballon de football (Bernstein, 1967).

Dans une étude de Franks et Harvey (1997), 132 penalty ont été visionnés puis analysés afin de déterminer les indices que les gardiens pouvaient utiliser afin de prédire la direction du ballon lors d'un tir au but. Il en ressort que l'orientation du genou de la jambe de tir était une indication importante pour établir la direction du tir. Cependant, cette information arrive lors du contact-pied ballon, il ne reste alors plus assez de temps au gardien pour réagir et arrêter le penalty. Lors d'un tir réel, les gardiens de but se concentrent sur d'autres éléments qui se passent avant le contact pied-ballon et permet au gardien d'anticiper la direction du tir grâce à des indicateurs plus pertinents. L'indice le plus fiable qui a été révélé était la direction du pied d'appui avant la frappe, selon l'angle de celui-ci. Même si les gardiens avec une grande expérience ont notifié qu'ils regardaient la jambe d'appui de manière inconsciente, ils ont plutôt évoqué que l'angle d'approche du tronc et la position de la jambe de tir étaient des indicateurs précieux dans la pratique (Kuhn, 1988 ; Morris & Burwitz, 1989 ; Franks & Harvey, 1997 ; Savelsbergh et al., 2002).

Selon l'étude de Diaz, Fajen et Phillips (2012), la direction des tirs lors de penalty est souvent donnée par plusieurs sources d'informations ou d'indices. Cette étude confirme les résultats de fiabilité concernant l'étude de Franks et Harvey, (1997) sur l'indice de l'angle du pied d'appui avec une fiabilité de 98,4%. Cependant, dans cette étude, d'autres indices plus importants ressortent comme notamment l'angle de lacet du pied utilisé pour le tir qui atteint une fiabilité à 84.9%. L'angle des hanches a atteint une fiabilité de 83,3% lors du contact pied-ballon.

### **1.5 Rétention et consolidation de l'apprentissage lors de tâches motrices**

Les études sur l'apprentissage moteur et sur des tâches sensorimotrices ont démontré que l'augmentation de la performance était effective après une nuit de sommeil et un certain laps de temps après l'exécution de la tâche. Ce processus permet une consolidation de la tâche motrice dans le temps. Cela permet également de pouvoir améliorer ses capacités cognitives et motrices et de ce fait être utile pour toutes les tâches psycho-physiques (Walker & Stickgold, 2006 ; Brashers-Krug, Shadmehr & Bizzi, 1996).

Dans une étude sur la consolidation des tâches psycho-physiques, les sujets devaient à l'aide d'une manivelle connectée à un ordinateur, atteindre différentes cibles qui leur étaient montrées sur un écran. Dans cette étude, il a été démontré que lorsqu'une tâche exécutée de manière implicite avait été reproduite 24h après la tâche initiale, une consolidation positive avait été détectée (Brashers-Krug et al., 1996). Une autre étude confirme ces résultats, celle de Cohen et Robertson (2007). Dans cette étude, des expériences sur des mouvements basés sur l'apprentissage incluant des patterns neuronaux à travers le mouvement du corps ont été testés à 24h d'intervalle. Les résultats ont également montré des améliorations lorsqu'il y avait une nuit de sommeil entre les deux tests. Cependant, ce constat ne valait que si les tests avaient été faits à 8h du matin, c'est-à-dire directement après le réveil. Il n'y a eu cependant aucune progression significative lorsque le test a été fait 24h plus tard, soit à 20h le soir. Néanmoins, sur les mouvements spécifiques orientés vers un but, l'inverse s'est produit. Des résultats avec une amélioration significative ont été observés lors du deuxième test à 24h d'intervalle mais lorsqu'ils ont à nouveau effectué le test de la tâche motrice à 20h.

### **1.6 Enjeux de la problématique**

Peu d'études se sont concentrées sur les réponses sensorimotrices nécessitant un ajustement de dernier instant (Sarlegna & Mutha, 2015) et encore moins d'études sur la réponse sensorimotrice lors de tir au penalty (Morya et al., 2003; Van der Kamp, 2006). Ce travail de recherche a permis d'établir un seuil moyen de redirection pour les tirs au penalty. De plus, il a été intéressant d'observer si la phase d'entraînement unique, composée de 2 x 60 tirs avec des variations de vitesses de latence comprises entre 300 et 600 ms avaient un effet ou non sur la performance. La réduction de ces fenêtres de latence devait permettre de cibler les zones utiles à la progression. En comparaison aux travaux de master précédents (Grand, 2016 ; Constantin, 2016 ; Molisani, 2016) sur la même thématique, les phases d'entraînement des recherches précédentes étaient établies sur une durée plus longue : 1 séance d'entraînement

par semaine sur 4 semaines et avec un volume de tirs plus conséquent, soit 150 à 200 tirs par session.

Ce travail de recherche pourra servir à la pratique d'entraînements pour des footballeurs professionnels. Il pourrait être utile par exemple avant des phases qualificatives lorsque des séances de tirs au but sont susceptibles d'arriver pour départager des scores identiques, d'intégrer ce genre de protocole afin d'améliorer ces patterns psycho-physiques.

### **1.7 Objectif du travail**

L'objectif principal de ce travail est de déterminer un seuil limite jusqu'auquel un tireur de penalty est capable de rediriger son tir lorsqu'il applique une « stratégie dépendante » du gardien. C'est-à-dire lorsqu'il se focalise sur les mouvements d'anticipation du gardien afin de prendre une décision quant à la direction de son tir. Cette prise de décision va être mesurée afin d'obtenir un seuil (en millisecondes) psycho-physique. L'étude est centrée sur la redirection du tir avant le contact pied-ballon. Le but est de se rapprocher au plus proche d'une étude terrain grâce à la réalité virtuelle.

Le second objectif de ce travail est de pouvoir définir si à l'aide d'un d'entraînement situé 24h avant le Post-Test et composé de 2 x 60 tirs au but, il est possible d'améliorer ses capacités sensorimotrices. Ceci en réduisant les fenêtres de seuils minimum-maximum des vitesses de plongeon du gardien. Afin que le tireur se retrouve confronté à des temps de redirection plus court et dans une zone plus encline à l'entraînement ainsi qu'à l'amélioration de cette tâche psycho-physique.

Les questions de recherche utiles à cette étude sont les suivantes :

- a) Quel est le seuil limite (en *ms*) pour lequel il est encore possible de réorienter son tir chez des joueurs évoluant entre la 2<sup>ème</sup> ligue et la 1<sup>er</sup> ligue Suisse ?
- b) Quelles sont les améliorations possibles grâce à la phase d'entraînement et au Post-Test situé à 24h d'intervalle ?

Les seuils limites ont été recherchés pour l'ensemble des tirs mais on s'intéressera à ceux qui demandaient une redirection, c'est-à-dire les tirs où il était demandé au tireur de tirer à gauche et que le gardien plongeait également à gauche (GG). Il en a été de même pour les demandes

de tirs côté droite et que le gardien plongeait à droite (DD). A noter que lorsqu'une condition GG est présentée et que le sujet est droitier, ce dernier est censé créer une ouverture de pied afin de rediriger son tir. Lorsque la condition DD était demandée pour ce même tireur droitier, une fermeture du pied était attendue pour rediriger son tir. Il est donc logique que pour les joueurs gauchers, l'inverse est applicable.

Une fois les seuils moyens identifiés, nous avons voulu tester si les taux de réussite étaient significativement supérieurs si l'on définissait une fenêtre temporelle de  $\pm 75$  ms autour du seuil et que l'on la transposait du « Pre-Test » vers le « Post-Test » et d'effectuer la même procédure avec les seuils à un taux de réussite de 80 %.

**1.7.1 Hypothèses.** Lors de la recherche de littérature nous avons pu observer que les temps de réorientation devaient se trouver proche des 400 ms (Morya et al., 2003 ; Van der Kamp, 2006). Il serait donc logique de penser que les seuils des sujets qui ont participé à cette étude devraient se trouver proche de cette limite. Ce qui pourrait sensiblement modifier les seuils, sera l'expérience des joueurs aux tirs au but. En effet, plusieurs sujets n'avaient pas la responsabilité de tirer les penalties dans leur équipe et donc ne prenaient pas le temps de s'entraîner à cette tâche. Au contraire, les sujets avec un rôle offensif dans l'équipe à qui incombaient la tâche de tirer les pénalties devraient avoir une meilleure aisance et un taux de réussite plus important.

Pour les scénarios GG, nous pouvons supposer que de la part des droitiers, un taux de réussite supérieur ainsi qu'un seuil plus bas lorsqu'ils effectueront une redirection en ouverture du pied. De même pour les scénarios DD, lorsque les gauchers se présenteront pour ce scénario. Par contre, le contraire sera attendu pour les scénarios DD pour les droitiers, c'est-à-dire des taux de réussite inférieurs et des seuils plus hauts lors de la redirection en fermeture du pied. Il en va de même pour les scénarios GG pour les gauchers. En ce qui concerne l'entraînement, il n'est pas certain que le fait d'avoir opté pour un entraînement unique scindé en deux constitue un volume d'entraînement suffisant. Cependant, d'après les études de Brashers-Krug et al. (1996) et Cohen et Robertson (2007), il serait conforme de penser qu'une amélioration significative peut intervenir 24h après l'exécution d'une tâche psycho-physique. Le cas échéant, le fait de pouvoir réduire la phase d'entraînement à une seule session d'entraînement est un avantage. De plus, il pourrait être considéré qu'une telle pratique pourrait être favorable lors de la dernière séance d'entraînement à la veille d'un match.

## 2 Méthode

### 2.1 Description de l'échantillon

L'échantillonnage était composé de footballeurs ( $n = 10$ ) de sexe masculin âgés entre 20 à 40 ans ( $M = 30.50$  ;  $SD = 7.23$ ). Il y avait 4 joueurs issus de 1<sup>ère</sup> ligue, 2 joueurs de 2<sup>ème</sup> ligue interrégionale et 4 joueurs de 2<sup>ème</sup> ligue. L'échantillonnage était composé de joueurs avec préférence de tir avec pied droite ( $n = 6$ ) et avec pied gauche ( $n = 4$ ). Les joueurs ont été choisis de manière aléatoire et n'ont pas été soumis à une sélection de joueurs avec caractéristique.

### 2.2 Plan d'étude

La figure 1 ci-après représente le déroulement des étapes principales, soit le « Pre-Test » composé de 100 tirs, la « Phase d'entraînement » scindée en 2 séances consécutives et enfin le « Post-Test » qui a lieu 24h après la « Phase d'entraînement » et qui comporte les mêmes conditions que le « Pre-Test ».

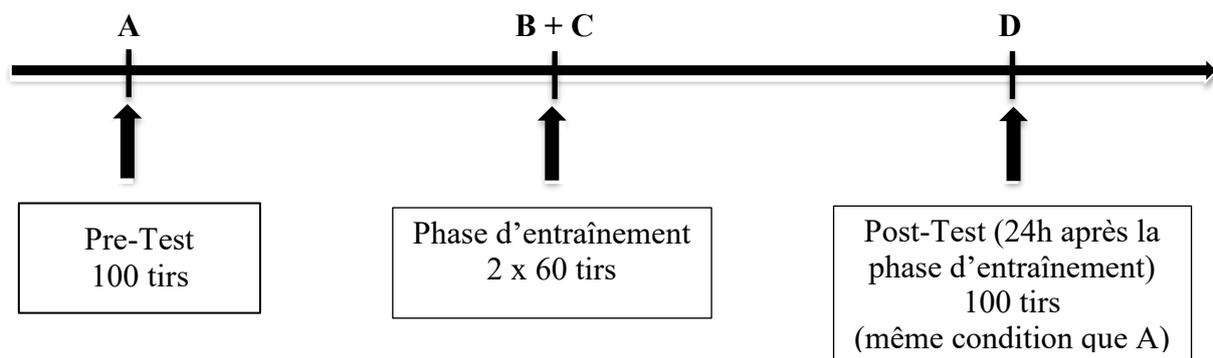


Figure 1. Design de recherche

Au total, 20 joueurs ont été contactés. Sur ces 20 joueurs, seuls 10 joueurs ont accompli l'expérience dans sa totalité et ont donc pu servir à l'établissement des résultats. Toutes les personnes ayant participé à la présente étude étaient volontaires et ont fourni des données personnelles comme le sexe, la taille, l'année de naissance, la préférence manuelle et la préférence des membres inférieurs sous leur consentement.

Les mesures ont été faites sur une période de 6 semaines. Elles n'ont pas pu être réalisées sur une période plus courte du fait de l'emploi du temps de chaque joueur, la disponibilité du laboratoire de l'Université de Fribourg ainsi que la disponibilité des expérimentateurs. Les données ont uniquement été utilisées à des fins de recherche.

### 2.3 Description détaillée des méthodes

Les sujets ont été convoqués à l'Université de Fribourg afin de réaliser 3 séances de tirs au but (voir figure 1). Ces tirs au but ont été exécutés dans un laboratoire. Des conditions proches de la réalité ont été mises en œuvre afin de se rapprocher au plus près d'une étude terrain. Le gardien de but était un avatar conçu sur la base de plongeurs réels de gardien et modélisé en réalité virtuelle. Lors de la conception de l'avatar du gardien, des capteurs avaient été placés sur le gardien afin de reproduire la gestuelle exacte d'un gardien de but grâce au logiciel Motive.

Le ballon était placé à une distance de 3 m 50 par rapport à l'écran. La projection était faite par beamer qui projetait l'image 3D de l'avatar sur un écran (4 m 30 x 2 m 70). L'écran de diffusion était un écran permettant de détecter les points d'impact, « impact screen » du ballon afin de déterminer si le joueur avait réussi ou non la redirection de son tir (gauche ou droite). Avant chaque expérience, il fallait calibrer la caméra infrarouge de manière à s'assurer que toutes les caméras enregistraient et détectaient de manière précise les mouvements des sujets et la position du ballon, ce qui nous a permis de créer une représentation réelle de l'environnement en 3D.

Les sujets ont dû participer à trois séances de tirs au but. La durée des séances était d'environ 60 minutes. Le premier test correspondait à la phase de « Pre-Test ». Il a été demandé aux tireurs d'effectuer 100 tirs. Durant cette phase de test, les fenêtres correspondantes à l'anticipation du gardien étaient comprises entre 200 et 700 ms avant le contact pied-ballon. Le gardien est lancé 25 fois par condition, c'est-à-dire 25 fois pour la condition GG, 25 fois pour la condition DD, 25 fois pour la condition GD et 25 fois pour la condition DG. Ensuite, les fenêtres sont réparties linéairement entre 200 et 700 ms. Une fois cette première phase terminée, les sujets étaient convoqués pour une phase d'entraînement unique où il leur était demandé de faire 2 x 60 tirs au but. Durant la première session de 60 tirs, nous avons calculé des nouvelles fenêtres d'anticipation du gardien de manière à cibler l'entraînement afin que les sujets puissent exécuter des tirs dans une zone où ils pouvaient progresser. Pour ce faire, nous avons, pour les 60 premiers tirs d'entraînement, repris le jeu de données du Pre-Test afin de calculer le seuil limite où le joueur n'était plus capable de réussir une réorientation. Ce seuil a été calculé grâce à la création d'une sigmoïde qui nous a permis de déterminer le point d'inflexion entre le temps en millisecondes et les essais réussis et ratés. La fenêtre des 60 tirs correspondait donc à un seuil de  $\pm 50$  ms en référence au point d'inflexion de chaque sujet et exécuté de manière aléatoire. Ces seuils ont été établis pour les scénarios GG et DD. Lors des

60 tirs supplémentaires associés à la même phase d'entraînement, ils ont été faits de la même façon mais cette fois-ci, la fenêtre d'anticipation était basée sur les données du « Pre-Test » ainsi que sur celle des 60 premiers tirs d'entraînement. En ce qui concerne la dernière phase de test, le « Post-Test », elle s'est déroulée dans les mêmes conditions que le « Pre-Test ». C'est-à-dire avec des fenêtres comprises entre 200 et 700 ms. Le « Post-Test » devait obligatoirement être effectué 24h après l'entraînement afin de respecter les conditions favorables à la rétention et la consolidation des tâches motrices après l'exécution de cette dernière. A noter qu'avant chaque phase, 10 tirs d'accoutumance étaient à réaliser afin que le sujet puisse prendre connaissance ou se remémorer la tâche à exécuter.

Avant chaque tir, le tireur devait se placer hors d'une zone de 2m de circonférence autour du ballon. Lorsque cette zone était franchie par les sujets, elle permettait le déclenchement du plongeon du gardien avant le contact pied-ballon, ceci à des vitesses aléatoires. Le ballon avait également environ 30 capteurs collés sur sa surface. Chaque signal avant un tir était donné lorsque le gardien et le tireur étaient en position d'attente. Une fois que le tireur, le gardien et le ballon étaient en place, une cible (rond bleu) apparaissait à gauche ou à droite du gardien de manière à donner la direction du tir au tireur (voir *Annexe 1*). Le sujet devait alors garder son attention de tir jusqu'à ce qu'il détecte la direction du plongeon du gardien. Si le gardien plongeait du même côté préalablement indiqué, il devait alors dans la mesure du possible, changer de côté de tir. Si au contraire, le gardien plongeait de l'autre côté de la demande initiale de tir, le sujet devait maintenir son attention en tirant là où on le lui avait initialement indiqué. Lorsque le ballon atteignait « l'impact screen », il était affiché « GOOOOOOOAL » (voir *Annexe 2*) afin d'indiquer que le tir était réussi alors que quand ce dernier était raté, il y avait un smiley avec le sourire vers le bas qui était montré, « 😊 ». Les 4 conditions possibles lors des différents tests étaient les suivants :

- GG → Indication de tir à gauche et plongeon du gardien à gauche
- DD → Indication de tir à droite et plongeon du gardien à droite
- GD → Indication de tir à gauche et plongeon du gardien à droite
- DG → Indication de tir à droite et plongeon du gardien à gauche

On peut observer de manière détaillée le protocole d'exécution à l'aide du schéma de la *figure 2*. Ce schéma met en évidence les 5 phases importantes de l'exécution de l'expérience et décrit le traitement des différentes informations. Le point n°1 permet à l'aide d'un capteur placé sur la tête du sujet, de retranscrire sa position dans la salle, même principe pour le ballon.

Sous le point n°2 et 3, on peut observer la reconstruction du sujet matérialisé en forme virtuelle. Puis, le point n°4 qui permet, grâce à l'interface *Unity*, de représenter de manière virtuelle tous les composants de l'étude (sujet, ballon, gardien, but, etc.). Pour terminer, une vue globale de l'environnement de test avec les caméras infrarouges sur le haut représentant le point n°5, l'écran d'impact, le sujet, le ballon et la projection de l'environnement graphique sur l'écran d'impact.

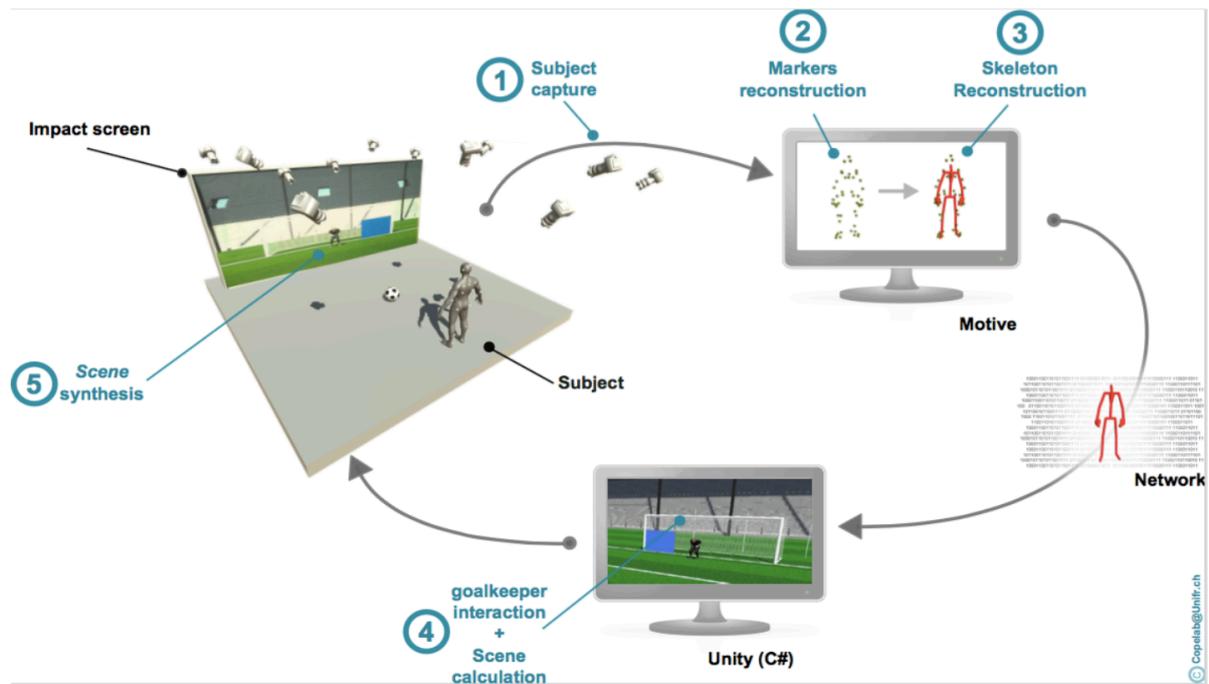


Figure 2. Etape du protocole de la réalité virtuelle

## 2.4 Instruments de recherche

La salle de capture (laboratoire) avait pour dimension une hauteur de plafond de 3.39m, une largeur de 6.06m et une longueur de 8.79 m. Afin de capturer les différents déplacements des joueurs et de la balle, douze caméras infrarouges étaient disposées sous le plafond et maintenues par une structure métallique. Ces caméras de type *Prime 17/W* ont permis la détection de tous les mouvements présents dans la salle lors de l'exécution des tests. Cette détection était possible grâce notamment à des marqueurs placés sur le ballon ainsi que sur un bonnet que les sujets devaient porter sur leur tête durant l'expérience. Ces captures ont pu être traitées et lues par le logiciel *Motive*.

Toutes les données ont été récoltées grâce au logiciel de programmation *Eclipse* (exécutable) et formaté en fichier texte compatible *Excel* au format csv. Ce logiciel a permis également la

création de l'interface graphique et de la partie exécutive utile à la projection de l'image virtuelle sur l'écran d'impact (4m30 x 2m70).

## **2.5 Evaluation et analyse statistique des données**

Les données ont été récupérées grâce à des fichiers de texte ouvert « Comma-separated values » (.csv). Ces données ont ensuite été compilées et traitées via le logiciel statistique Rstudio. Les jeux de données nous ont permis, dans un premier temps, d'établir des seuils globaux sur les « Pre-Test » et « Post-Test » puis des seuils de redirection pour les conditions GG et DD. Ces seuils ont été établis pour plusieurs pourcentages de réussite, GG - 50 % - GG - 60% - GG - 70% - GG - 80% - GG - 90% et la même chose pour DD - 50 % - DD - 60% - DD - 70% - DD - 80% - DD - 90%.

De plus, des taux de réussite en pourcent ont été calculés et analysés pour les différentes conditions, résultats globaux (GG + DD), GG et DD, isolé GG pour droitiers et gauchers et DD pour droitiers et gauchers ceci afin de déterminer s'il existait une amélioration entre les « Pre-Test » et « Post-Test » notamment grâce à la phase d'entraînement et s'il y avait une différence lors des redirections de tirs en ouverture ou fermeture de pied. Par la suite, une fenêtre temporelle de  $\pm 75$  ms, c'est à dire une zone de 150 ms, a été appliquée sur les seuils du « Pre-Test » et transposée sur les taux de réussite des « Post-Test » dans les différentes conditions à 50% et 80 % de réussite afin de vérifier s'il existait une amélioration significative autour de cette fenêtre. Le même procédé a été effectué avec une fenêtre de  $\pm 125$  ms, c'est-à-dire une zone de 250 ms autour du seuil moyen.

Ces données nous ont permis de faire une recherche sur les données statistiques à l'aide du logiciel Rstudio. Des comparaisons de moyenne ont été effectuées à l'aide de tests statistiques comme le test de « Shapiro-Wilk » permettant de tester la normalité de la distribution pour ensuite, selon les valeurs, choisir entre le « T-test » pour les valeurs paramétriques et le test de « Wilcoxon-Mann-Whitney » pour les valeurs non paramétriques.

### 3 Résultats

#### 3.1 Résultats des statistiques descriptives des seuils

Le tableau 1 nous a permis d'avoir une vue d'ensemble des statistiques descriptives pour les différentes conditions à un pourcentage de réussite de 50% alors que le tableau 2 nous montre les mêmes données mais à un pourcentage de réussite de 80%.

Tableau 1

<i>Statistiques descriptives – seuils globaux – seuils sous conditions GG et DD à un pourcentage de réussite de 50 %</i>						
Conditions à 50%	Nombre (n)	Pre-Test		Post-Test		Pre-Test vs Post-test
		Moyenne + Ecart-Type	Mediane	Moyenne + Ecart-Type	Mediane	Différence
		ms		ms		ms
Seuils de redirection GG+DD	10	360.80 ± 97.73	326.00	310.75 ± 76.08	313.25	50.05
Seuils de redirection GG	10	364.10 ± 87.07	328.00	293.80 ± 85.35	287.00	70.30
Seuils de redirection DD	10	357.50 ± 108.12	319.50	327.7 ± 73.64	344.00	29.80
Seuils de redirection GG pour droitiers	6	402.16 ± 93.99	387.50	325.16 ± 78.45	291.50	77.00*
Seuils de redirection GG pour gauchers	4	307.00 ± 27.83	303.00	246.75 ± 81.70	261.00	60.25
Seuils de redirection DD pour droitiers	6	401.83 ± 118.60	386.50	337.33 ± 74.86	344.00	65.50
Seuils de redirection DD pour gauchers	4	291.00 ± 42.43	305.00	313.25 ± 80.40	339.00	22.25

*Note.* Les conditions GG pour droitiers et DD pour gauchers indique que les sujets ont frappés avec une ouverture de pied lors de la redirection. Les conditions GG pour gauchers et DD pour droitiers indique que les sujets ont frappés en fermeture de pied. Les résultats présentés dans le tableau sont en millisecondes (ms) - \* $p < 0.05$ .

Tableau 2

<i>Statistiques descriptives – seuils globaux – seuils sous conditions GG et DD à un pourcentage de réussite de 80 %</i>						
Conditions à 80%	Nombre (n)	Pre-Test		Post-Test		Pre-Test vs Post-test
		Moyenne + Ecart-Type	Mediane	Moyenne + Ecart-Type	Mediane	Différence
		ms		ms		ms
Seuils de redirection GG+DD	10	442.15 ± 85.88	421.75	375.10 ± 70.57	371.15	67.05*
Seuils de redirection GG	10	441.70 ± 84.43	424.00	360.10 ± 90.97	377.00	81.60
Seuils de redirection DD	10	442.60 ± 96.97	429.00	390.10 ± 69.45	374.00	52.50
Seuils de redirection GG pour droitiers	6	438.33 ± 49.06	424.00	340.16 ± 53.44	341.50	98.17*
Seuils de redirection GG pour gauchers	4	391.75 ± 34.88	394.00	310.50 ± 108.72	355.00	81.25
Seuils de redirection DD pour droitiers	6	487.5 ± 98.47	453.50	395.83 ± 71.69	400.50	91.67
Seuils de redirection DD pour gauchers	4	375.25 ± 44.37	362.50	381.50 ± 75.75	364.50	-6.25

*Note.* Les conditions GG pour droitiers et DD pour gauchers indique que les sujets ont frappés avec une ouverture de pied lors de la redirection. Les conditions GG pour gauchers et DD pour droitiers indique que les sujets ont frappés en fermeture de pied. Les résultats présentés dans le tableau sont en millisecondes (ms) - \* $p < 0.05$ .

### 3.2 Résultats des seuils globaux

La figure 3 nous a permis de comparer les seuils globaux minimums pour les conditions où il nécessitait une redirection de tir et où 50% des tirs étaient réussis, ceci pour tous les sujets entre le « Pre-test » et le « Post-Test ».

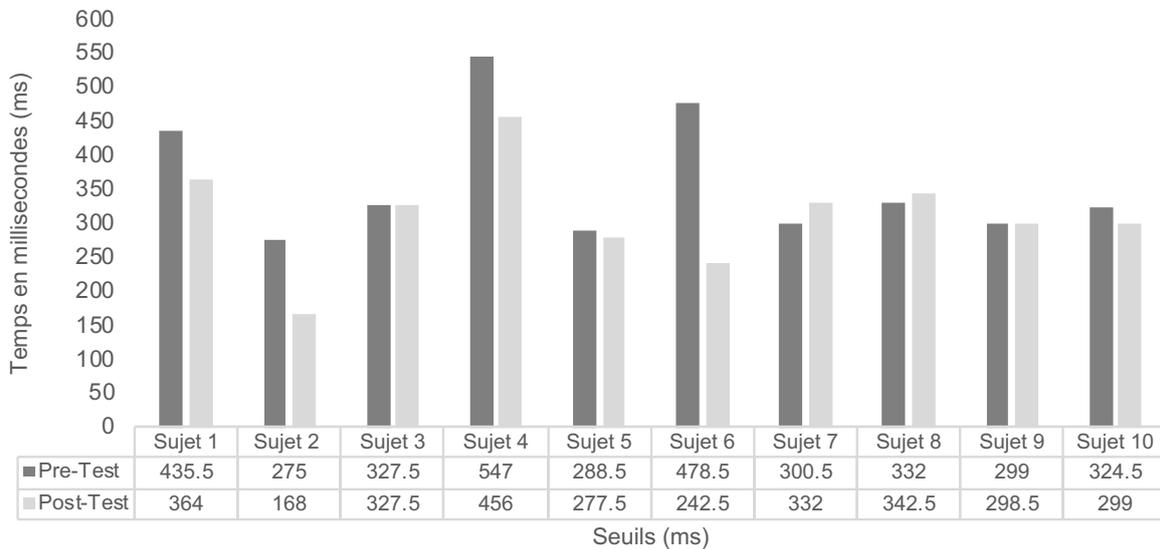


Figure 3. Représentation graphique des seuils globaux pour les 10 sujets à un pourcentage de réussite atteignant les 50%. Les seuils ont été calculés en millisecondes.

En ce qui concerne les valeurs de la figure 3, l'amélioration globale des seuils entre le « Pre-Test » et le « Post-test » n'est pas significative,  $p > 0.05$ .

La figure 4 montre les valeurs des seuils globaux avec un pourcentage de réussite à 80%. Les résultats affichent une amélioration globale significative,  $p < 0.05$ .

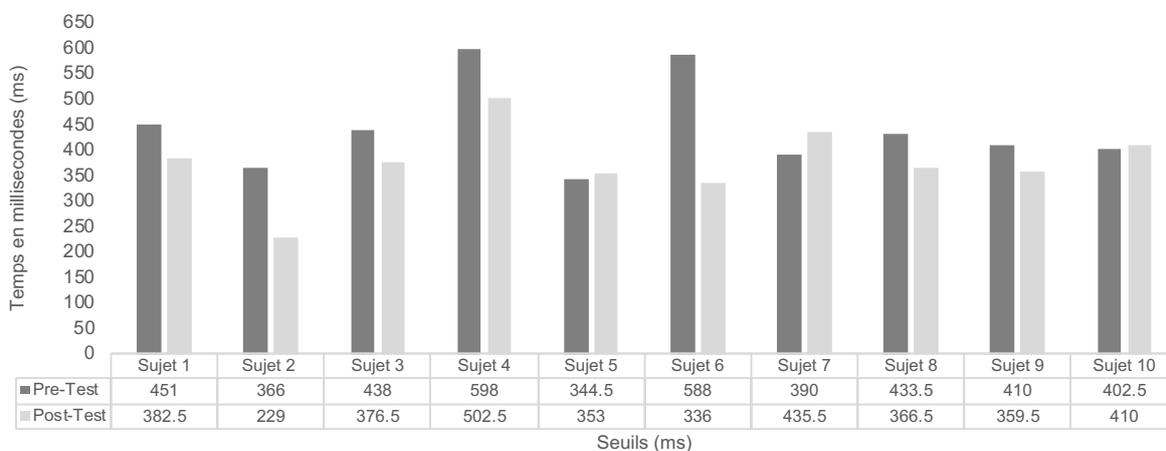


Figure 4. Représentation graphique des seuils globaux pour les 10 sujets à un pourcentage de réussite atteignant les 80%. Les seuils ont été calculés en millisecondes.

### 3.3 Résultats de seuils sous différentes conditions

**3.3.1 Seuils sous la condition GG ou DD.** Pour la figure 5, les seuils sous la condition GG ont été calculés pour tous les sujets à un pourcentage de réussite à 50%. Cela nous a permis de voir les différences entre le « Pre-Test » et le « Post-Test ». Cette condition indiquait au sujet de tirer à gauche et le gardien plongeait également à gauche. Cela signifie qu'une redirection était à réaliser. Pour les droitiers, elle devait se faire en ouverture de pied tandis que pour les tireurs gauchers en fermeture de pied.

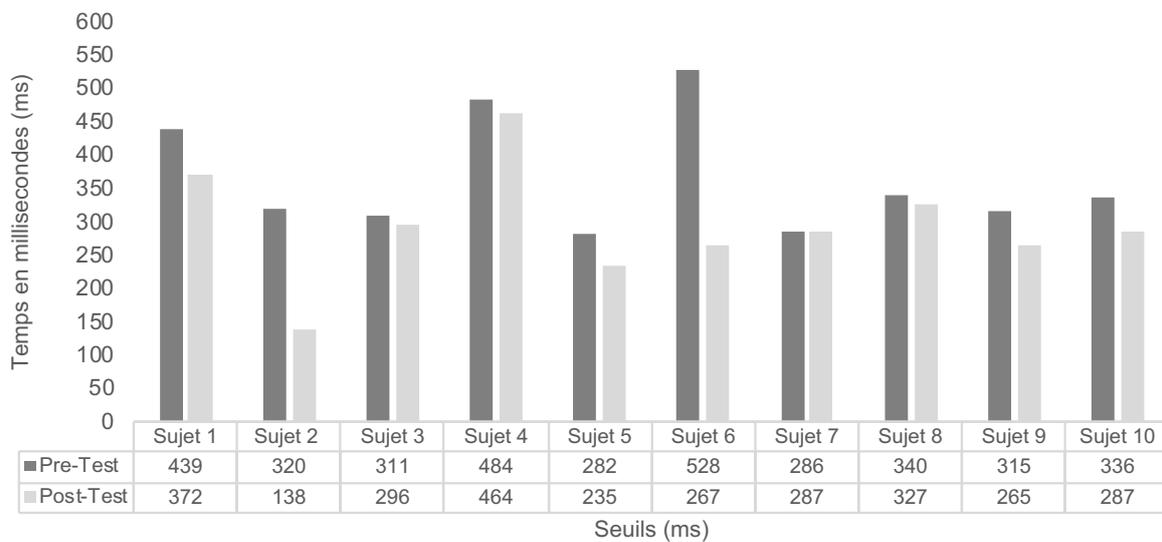


Figure 5. Représentation graphique des seuils sous condition GG pour les 10 sujets à un pourcentage de réussite de 50%.

Les données des sujets pour la condition GG avec un pourcentage à 50% de réussite ont connu une amélioration significative entre le « Pre-Test » et le « Post-Test »,  $p < 0.05$ .

Les valeurs de la figure 6 représentant la condition GG à un pourcentage de réussite de 80% montre une amélioration significative entre le « Pre-Test » et le « Post-Test »,  $p < 0.05$ .

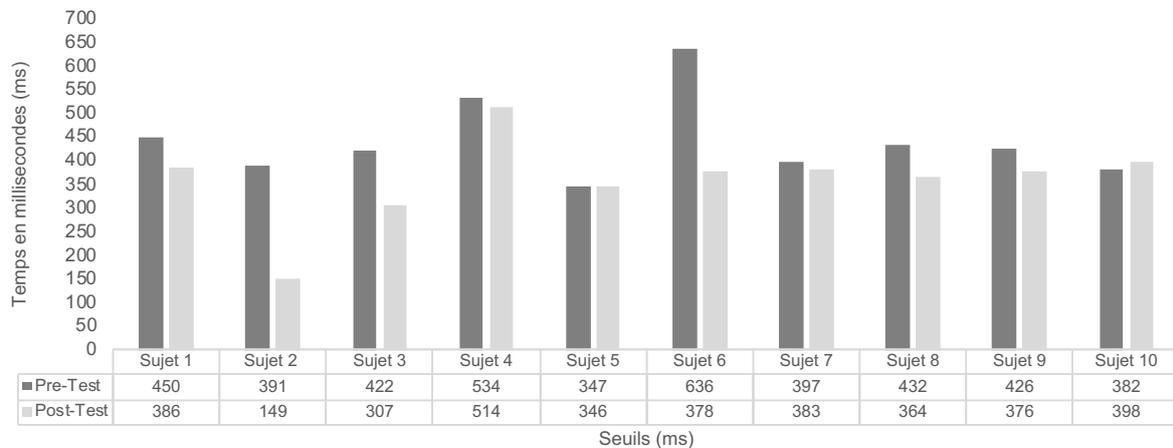


Figure 6. Représentation graphique des seuils sous condition GG pour les 10 sujets à un pourcentage de réussite de 80%.

La figure 7 nous montre les seuils sous condition DD à un pourcentage de réussite de 50%. Pour cette condition, l'inverse est à observer pour les tireurs droitiers et gauchers. C'est-à-dire que la redirection à réaliser pour les gauchers devait se faire en ouverture de pied tandis que pour les tireurs droitiers en fermeture de pied. Sous cette condition aucune valeur d'amélioration n'a été significative,  $p > 0.05$ .

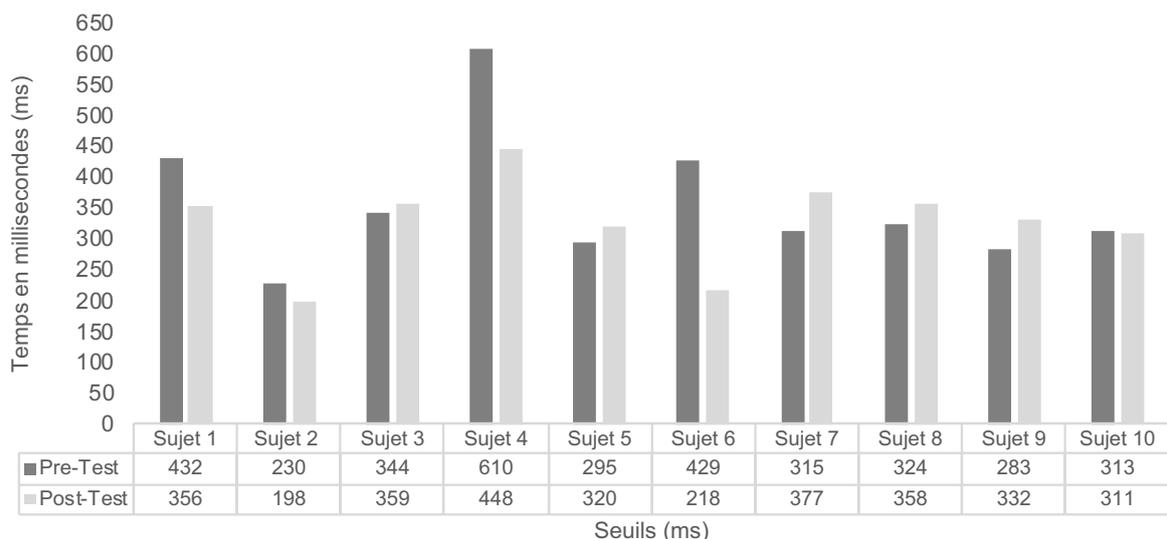


Figure 7. Représentation graphique des seuils sous condition DD pour les 10 sujets à un pourcentage de réussite de 50%.

La figure 8 nous montre les seuils sous condition DD cette fois-ci avec un pourcentage de réussite à 80%. Pour cette condition, l'inverse est à observer pour les tireurs droitiers et gauchers. C'est-à-dire que la redirection à réaliser pour les gauchers devait se faire en ouverture de pied tandis que pour les tireurs droitiers en fermeture de pied. Sous cette condition, les valeurs d'amélioration entre le « Pre-Test » et le « Post-Test » ne se sont pas révélées significatives,  $p > 0.05$ .

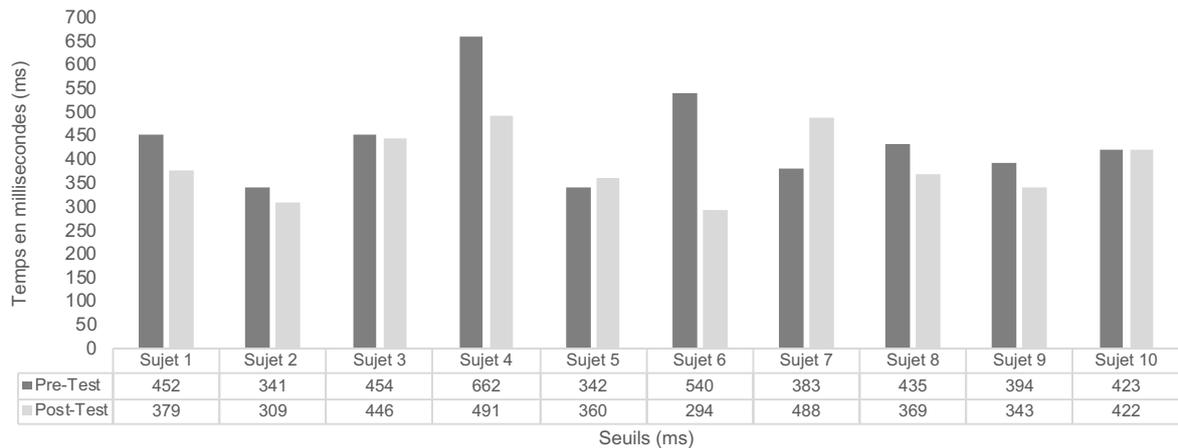


Figure 8. Représentation graphique des seuils sous condition DD pour les 10 sujets à un pourcentage de réussite à 80%.

La figure 9 nous permet de nous donner une vue comparative des seuils sous les deux conditions GG et DD à un pourcentage de 50% de réussite.

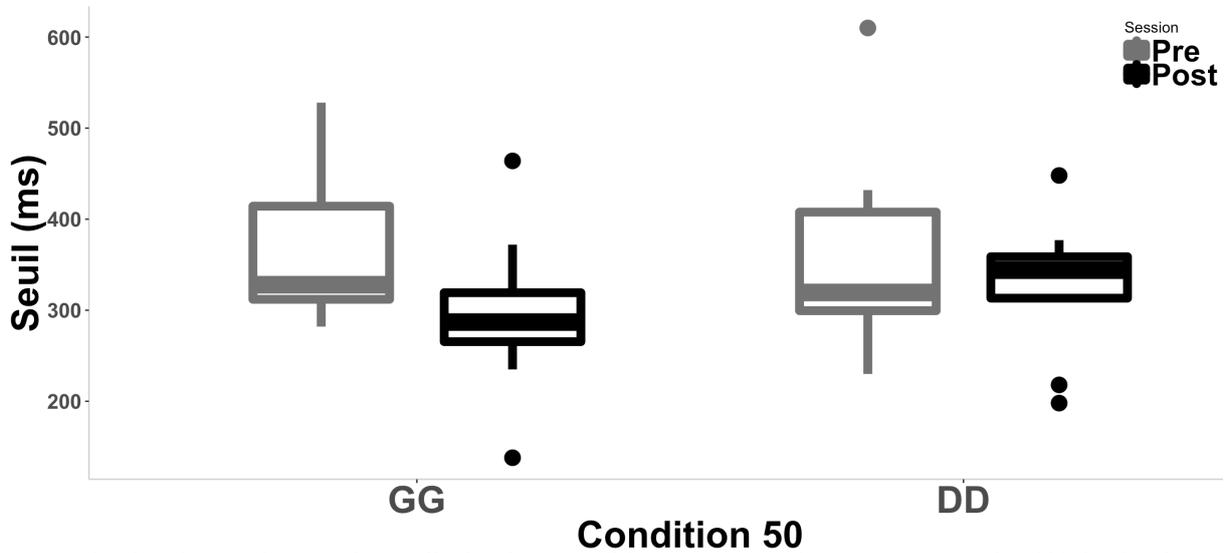


Figure 9. Bloxplot représentant les seuils des deux conditions GG et DD à un pourcentage de 50% de réussite en « Pre-Test » et en « Post-Test ».

La figure 10, comme pour la figure 8, nous donne une vue comparative des seuils sous les deux conditions GG et DD à un pourcentage de 80% de réussite.

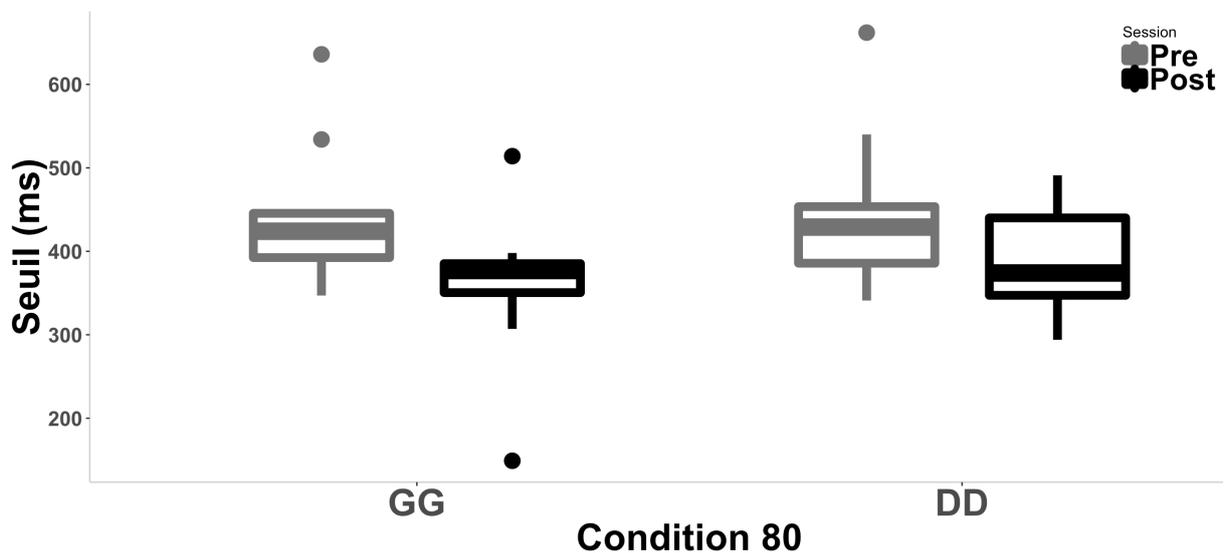


Figure 10. Bloxplot représentant les seuils des deux conditions GG et DD à un pourcentage de 80% de réussite en « Pre-Test » et en « Post-Test ».

### 3.4 Résultats des taux de réussite

Dans le tableau 3, nous avons regroupé tous les pourcentages de réussite dans les différentes conditions. De plus, nous avons établi un différentiel de réussite entre le « Pre-Test » et le « Post-Test ».

Tableau 3

*Statistiques descriptives des taux de réussite sous différentes conditions en Pre et Post-Test*

Conditions à 50%	Nombre (n)	Pre-Test		Post-Test		Pre-Test vs Post-test
		Moyenne + Ecart-type	Mediane	Moyenne + Ecart-type	Mediane	Différences
		%		%		%
Taux de réussite globaux	10	80.40 ± 5.76	82.00	85.00 ± 3.43	85.50	4.60 ± 6.79
Taux de réussite DD + GG	10	72.22 ± 13.66	77.00	80.10 ± 11.98	84.35	7.89 ± -1.67
Taux de réussite DD	10	71.66 ± 17.81	76.00	80.31 ± 14.67	83.48	8.65 ± -3.14
Taux de réussite GG	10	74.13 ± 10.58	76.64	80.93 ± 9.44	82.00	6.80 ± -1.13
Taux de réussite DD - Droitiers	6	64.19 ± 18.90	68.00	73.37 ± 15.25	75.88	9.18 ± -3.65
Taux de réussite DD - Gauchers	4	82.88 ± 8.78	83.75	90.74 ± 4.13	90.00	7.86 ± -4.65
Taux de réussite GG - Droitiers	6	68.88 ± 10.13	70.00	80.46 ± 12.46	82.00	11.58 ± 2.32
Taux de réussite GG - Gauchers	4	82.00 ± 5.16	82.00	81.64 ± 2.78	82.00	-.36 ± -2.38

*Note.* Les résultats du tableau sont en pourcentage des moyennes selon les taux de réussite sous différentes conditions. Le signe ± indique l'écart-type. Dans la dernière colonne à droite du tableau se trouve la différence en % des moyennes entre le "Pre-Test" et le "Post-Test".

Dans le tableau 4, nous présentons les résultats lorsque nous avons appliqué une fenêtre temporelle de ± 75 ms sur le seuil moyen en « Pre-Test » et nous l'avons transposée sur le « Post-test ».

Tableau 4

*Statistiques descriptives – seuils globaux – seuils sous conditions GG et DD avec fenêtre temporelle de ± 75 ms*

Conditions à 50%	Nombre (n)	Pre-Test		Post-Test		Pre-Test vs Post-test
		Moyenne + Ecart-Type	Mediane	Moyenne + Ecart-Type	Mediane	Différence
		%		%		%
Seuils de redirection GG+DD	10	55.73 ± 18.71	53.57	66.98 ± 26.08	68.89	11.24
Seuils de redirection GG	10	55.66 ± 22.67	53.57	60.38 ± 31.17	64.58	4.72
Seuils de redirection DD	10	53.43 ± 20.14	50.00	67.69 ± 27.26	65.00	14.27
Conditions à 80%						
Seuils de redirection GG+DD	10	76.80 ± 9.20	75.60	88.93 ± 9.18	90.00	12.13*
Seuils de redirection GG	10	75.55 ± 18.91	76.62	76.99 ± 27.94	83.77	1.44
Seuils de redirection DD	10	75.56 ± 10.34	73.21	94.37 ± 9.49	100.00	18.80*

*Note.* Taux de réussite par condition avec la fenêtre temporelle de ± 75 ms appliqué aux différentes conditions - \* $p < 0.05$ .

Dans le tableau 5, nous avons fait la même chose que dans le tableau 4 mais cette fois-ci avec une fenêtre temporelle de  $\pm 125$  ms.

Tableau 5

<i>Statistiques descriptives – seuils globaux – seuils sous conditions GG et DD avec fenêtre temporelle de <math>\pm 125</math> ms</i>							
Conditions à 50%	Nombre (n)	Pre-Test		Post-Test		Pre-Test vs Post-test	
		Moyenne Ecart-Type %	+ Mediane	Moyenne Ecart- Type %	+ Mediane	Différence %	
Seuils de redirection GG+DD	10	64.06 $\pm$ 12.95	60.79	74.13 $\pm$ 17.05	68.89	10.07	
Seuils de redirection GG	10	63.97 $\pm$ 18.61	61.25	65.30 $\pm$ 26.59	66.67	1.33	
Seuils de redirection DD	10	59.85 $\pm$ 18.72	57.78	75.07 $\pm$ 25.91	81.94	15.22	
Conditions à 80%							
Seuils de redirection GG+DD	10	73.56 $\pm$ 10.67	72.67	86.49 $\pm$ 7.72	72.67	12.92*	
Seuils de redirection GG	10	71.47 $\pm$ 12.41	68.99	76.24 $\pm$ 27.25	81.82	4.77	
Seuils de redirection DD	10	76.15 $\pm$ 10.26	75.13	90.97 $\pm$ 8.28	90.45	14.82*	

*Note.* Taux de réussite par condition avec la fenêtre temporelle de  $\pm 125$  ms appliqué aux différentes conditions - \* $p < 0.05$ .

## 4 Discussion

### 4.1 Discussion des résultats de recherche principale

En ce qui concerne les données descriptives des tableaux 1 et 2, nous avons pu constater que le seuil de redirection global pour les données à un pourcentage de réussite à 50% était de 360.80 ms en « Pre-test » et de 310.75 ms pour le « Post-Test » soit une amélioration de 50.05 ms après la phase d'entraînement et un repos de 24h. Ces résultats ne sont pas apparus comme significatifs. En comparaison avec les seuils trouvés par Grand (2016) sur la même population de footballeurs, les seuils de cette présente étude se sont révélés plus bas. Il se peut que cette différence soit due à la réalisation du « Post-Test » à 24h d'intervalle avec l'entraînement ce qui engendre une meilleure consolidation et rétention de la tâche motrice. En revanche, la moyenne globale à un pourcentage de 80 % de réussite indiquait des valeurs en « Pre-Test » de 442.15 ms et en « Post-Test » de 375.10 ms soit une amélioration significative de 67.05 ms,  $p < 0.05$ . Ces résultats indiquent que plus le stimuli arrive tôt dans la course d'élan plus le taux de réussite est élevé. Ce qui correspond aux conclusions faites par Morya et al. (2003) et de Van der Kamp (2006) lors de leurs travaux de recherche. Dans l'étude de Morya et al. (2003), il a été observé que le taux de réussite était tout proche de 100 % lorsque le gardien s'élançait 400 ms avant le contact pied-ballon alors que Van der Kamp (2006) avait un taux de réussite à 50 % pour le même stimuli, soit à 400 ms. Dans nos recherches, il s'est avéré que lorsque le gardien s'élançait à 400 ms avant le contact pied-ballon, notre pourcentage de réussite s'élevait à 87.52 %, soit un résultat proche de celui de Morya et al. (2003).

Donc afin de répondre à notre question de recherche (a), il a été trouvé dans notre travail que le seuil moyen avant entraînement était de  $360.80 \pm 97.73$  ms et qu'il s'est amélioré après entraînement à  $310.75 \pm 76.08$  ms. Ce dernier résultat nous permet également de répondre à la deuxième question de recherche (b). Plus précisément, les résultats des tirs entre le « Pre-Test » et le « Post-Test » avec un repos de 24h entre l'entraînement et le « Post-Test » ont montrés une amélioration moyenne de 50.05 ms. En observant la figure 3, nous avons remarqué que seuls deux sujets ne se sont pas améliorés après la phase d'entraînement et dans la figure 4, trois sujets ne se sont pas améliorés. Ceci est peut-être dû à la fatigue du jour ou alors au stress. Les paramètres psychiques et émotionnels n'ont pas été mesurés dans cette étude. Il n'est donc pas possible d'affecter ou de démontrer que certains sujets avaient atteints un certain résultat à cause ou grâce à des facteurs mentaux ou environnementaux.

## 4.2 Discussion des statistiques descriptives des taux de réussite

Les données descriptives des taux de réussite faisant référence au tableau 3 nous donnent comme résultat pour les conditions DD + GG pour un pourcentage de réussite à 50 % des valeurs en « Pre-Test » de 72.22 % et de 80.10 % en « Post-Test ». Ces valeurs coïncident avec les résultats établis préalablement par Franks et Harvey (1997), Kropp et Trapp (1999), Kuhn (1988), Morris et Burwitz (1989) et Palacios-Huerta (2003) qui ont estimé qu'entre 15% et 35 % des pénalités sont ratés. Or, dans la présente étude entre 15% et 20 % des pénalités ont été ratés. Pour les pénalités avec redirections GG ou DD, ils ont été manqués à un taux se trouvant entre 20% et 28 %.

De plus, à l'aide du tableau 4, nous avons pu observer grâce à l'application d'une fenêtre temporelle de  $\pm 75$  ms sur le « Pre-Test » et en la transposant sur le « Post-Test », une amélioration significative,  $p < 0.05$  en condition GG+DD et DD. Nous avons également procédé de la même façon dans le tableau 5. Une amélioration significative à  $p < 0.05$  a également été observée pour les mêmes conditions. Dans ces 2 tableaux, nous avons démontré qu'avec des fenêtres cibles autour du seuil moyen, le taux de réussite est grandissant. Il serait donc judicieux de choisir une fenêtre adaptée afin de se retrouver dans une zone sensible pour améliorer les performances psycho-physiques des joueurs.

## 4.3 Discussion des résultats selon les hypothèses

Nous avons émis l'hypothèse que les droitiers et les gauchers allaient atteindre un taux de réussite plus élevé ainsi qu'un seuil plus bas lorsqu'il s'agissait de rediriger le tir en ouverture du pied. Lorsque nous avons isolé les seuils des droitiers et des gauchers, il a été constaté que les droitiers sous la condition DD avait en moyenne un taux de réussite de  $64.19 \pm 18.90$  % et un seuil de  $401.83 \pm 118.60$  ms en « Pre-Test », un taux de réussite de  $73.37 \pm 15.25$  % et un seuil moyen de  $337.33 \pm 74.86$  ms en « Post-Test ». En condition GG, soit en ouverture du pied un taux de réussite de  $68.88 \pm 10.13$  %, un seuil moyen de  $402.16 \pm 93.99$  ms en « Pre-Test » et un taux de réussite de  $80.46 \pm 12.46$  % et un seuil de  $325.16 \pm 78.45$  ms en « Post-Test ». En ce qui concerne les gauchers, ils ont atteint des seuils moyens plus bas lors de la condition GG en « Post-Test », soit  $246.75 \pm 81.70$  ms contre  $313.25 \pm 80.40$  ms en condition DD. Les valeurs trouvées étaient très proches entre les deux conditions. Cependant, ces résultats semblent tout de même indiquer que les seuils en condition GG étaient plus bas et les taux de réussite plus élevé lorsque les sujets devaient ouvrir le pied lors de la redirection de tir. Malheureusement, ces différences ne se sont pas révélées significatives.

La méthodologie utilisée pour la phase d'entraînement ainsi que le repos d'au moins 24h avant le « Post-Test » se sont montrés relativement efficaces. Comme dans l'étude de Brashers-Krug et al. (1996) nous avons pu observer des améliorations significatives lors des « Post-Test » lorsque celui-ci était fait après une nuit de sommeil. Les données globales pour les conditions à un taux de réussite à 50% et 80% sous la condition GG ont montré une amélioration significative pour les deux conditions,  $p < 0.05$ . Les seuils établis sous les deux conditions GG et DD sont plus bas dans notre travail de recherche que ceux trouvés par Grand (2016). Ces seuils plus bas sont certainement dûs au protocole différent utilisé après la phase d'entraînement.

#### **4.4 Forces et faiblesses de l'étude**

Les forces de cette étude sont multiples. Des études préalables avaient déjà vu le jour à l'Université de Fribourg sur la même thématique (Grand, 2016 ; Constantin, 2016 ; Molisani, 2016). La méthodologie ainsi que les instruments utilisés ont pu être améliorés afin de tirer des conclusions encore plus précises sur cette thématique fascinante. En premier lieu, le fait d'avoir pu amener une tâche psycho-physique tel que le penalty dans un environnement virtuel a permis de se rapprocher au plus près d'une situation terrain. De plus, le graphisme ainsi que les différentes interfaces ont permis un déroulement agréable de l'étude. L'interface utilisée a permis d'obtenir les seuils temporels de manière instantanée et la possibilité de les implémenter directement dans la phase d'entraînement. Lors de la première session d'entraînement, il était possible d'intégrer une fenêtre temporelle utile à l'entraînement. Cette fenêtre était basée sur les seuils découverts lors du « Pre-Test » ceci afin de cibler de manière individuelle où se trouvait la zone sensible qui devait être entraînée. Même procédé avec la deuxième session d'entraînement qui a inclus les résultats du « Pre-Test » en incluant les résultats de la première session d'entraînement.

Pour certains joueurs, il a été difficile de maintenir la direction de tir demandée au départ de la course d'élan et ce, jusqu'au moment de l'éventuelle réorientation. Les joueurs avec une position plus offensive dans leur club respectif et munis d'un instinct du but prononcé avaient plus de mal à tenir la direction du tir demandée et avaient envie malgré tout de marquer et essayaient dans de rares cas d'anticiper le plongeon du gardien.

Au niveau de la perception, le fait que le ballon ait été placé à 3.5 m et non à 11 m comme lors d'un réel penalty peut également avoir eu des limites visuo-motrice et une incidence directe sur la coordination des sujets.

Le nombre de dix sujets peut être considéré comme un échantillon restreint pour tel travail de recherche. Il serait judicieux de procéder au même protocole avec un échantillon plus conséquent. La phase d'entraînement concentrée sur un seul jour pourrait être définie sur plusieurs semaines afin d'observer si l'amélioration serait plus importante ou non. Dans le même sens, un groupe contrôle pourrait être intégré à une étude future afin de pouvoir comparer si l'effet de l'entraînement a réellement une incidence ou si l'accoutumance en « Pre-test » permet déjà une amélioration significative.

De plus, il aurait été judicieux de créer des groupes avec différentes conditions pour cette étude, comme par exemple des groupes avec des joueurs évoluant tous dans le même registre de jeu (attaquant, milieu offensif, etc.). Ceci aurait permis des comparaisons sur les capacités sensorimotrices des joueurs afin de déterminer quel joueur serait le plus à même de tirer un penalty.

#### **4.5 Perceptives futures**

Afin d'améliorer la présente étude, il serait intéressant de pouvoir associer et corrélérer les éléments environnementaux et/ou psycho-émotionnels au taux de réussite d'un penalty. Il serait possible dans une étude future d'intégrer des sons représentant par exemple le public ceci afin d'inclure le facteur stress sur la performance. Un questionnaire à remplir avant, pendant et après l'étude pourrait être remplis afin de déterminer le niveau de stress et la charge émotionnelle.

Il pourrait également être intéressant de pouvoir analyser l'influence de la vitesse de la course d'élan. En effet, il a été remarqué que les sujets essayaient de trouver des stratégies adaptatives à la tâche qui leur était demandée. La stratégie la plus employée était de ralentir la course d'élan peu avant le contact pied ballon ceci afin d'avoir encore assez d'inertie dans la jambe de frappe et de pouvoir maintenir un contrôle du mouvement ainsi qu'une force de frappe suffisante à l'exécution de la tâche. Ceci sans marquer d'arrêt, puisqu'il est interdit de le faire. De plus, il serait intéressant de pouvoir placer des capteurs sur le pied d'appuis des joueurs ceci afin de mesurer l'angle du pied et déterminer l'influence sur la direction du tir. Cet angle pourrait également être comparé ou corrélé aux réussites des tirs et l'on pourrait observer si l'angle change lorsqu'il s'agit de réorienter le tir.

Une autre perspective de recherche future pourrait transposer le protocole de cette étude à une vraie étude terrain (extérieur). Ceci permettrait de comparer les présents résultats à la réalité. Les instruments ainsi que le matériel utilisé sont potentiellement transportables sur un vrai terrain de football. Le fait d'associer ce protocole à d'autres technologies telles que les drones pourrait également être un gain de temps et un moyen facilité de récolter les valeurs.

## 5 Conclusion

Ces résultats nous ont permis de mettre en lumière les capacités psychomotrices des joueurs de football de la 2<sup>ème</sup> ligue à la 1<sup>ère</sup> ligue Suisse. Ceci en établissant des seuils moyens globaux de redirection ainsi que des seuils moyens établis par condition GG et DD. Ces deux procédés ont été testés sous deux différents pourcentage de réussite, le premier à 50% de réussite de tir et l'autre à 80% de réussite de tir.

Grâce à ce travail de recherche, nous avons pu établir le seuil limite pour les joueurs évoluant entre la 2<sup>ème</sup> ligue et la 1<sup>ère</sup> ligue Suisse et répondre à notre question de recherche (a) en définissant un seuil limite à  $310.75 \pm 76.08$  ms.

Nous avons également pu répondre à notre deuxième question de recherche en déterminant si la phase d'entraînement avait une influence positive sur le seuil de redirection et les taux de réussite ainsi que sur le choix d'effectuer le « Post-Test » à 24h de la phase d'entraînement (b). Des améliorations significatives ont été trouvées lors des différentes conditions de redirection de tir. Notamment, lors de l'analyse des seuils globaux (GG+DD) de redirection à 80% de réussite, une amélioration significative de 50.05 ms a été remarquée,  $p < 0.05$ . Également pour les conditions GG et DD, une amélioration significative,  $p < 0.05$ , a été trouvée pour les pourcentages de réussite à 50 %, soit une amélioration entre le « Pre-Test » et le « Post-Test » de 70.3 ms sous la condition GG. Au sujet des seuils avec pourcentage de réussite à 80 %, là encore, il y a une amélioration significative,  $p < 0.05$ , soit une amélioration de 67.05 ms pour la même condition, GG.

Les conditions GG ont également été les conditions qui ont atteint les seuils les plus bas et les taux de réussite les plus élevés. Ce qui correspond à l'hypothèse que nous avons émise. Il est plus facile pour les joueurs de rediriger leur tir lorsqu'il faut ouvrir le pied plutôt que de le fermer.

Par conséquent, les résultats qui ont été trouvés dans cette étude nous ont permis d'établir un seuil moyen limite de redirection de tir lorsque le tireur observait l'anticipation du gardien. De plus, l'amélioration des seuils et des taux de réussite entre le « Pre-Test » et le « Post-Test » nous ont également permis de démontrer l'efficacité du protocole méthodologique et de la phase d'entraînement unique. Par ailleurs, ce travail de recherche nous a démontré que les conditions GG ont obtenu de meilleurs résultats que les conditions DD. Nous pouvons

donc en déduire qu'il est plus facile pour un joueur, lors d'une redirection de tir, d'ouvrir le pied que de le fermer.

## Bibliographie

- Bar-Eli, M., & Azar, O. H. (2009). Penalty kicks in soccer: an empirical analysis of shooting strategies and goalkeepers' preferences. *Soccer & Society*, 10(2), 183-191. <https://doi.org/10.1080/14660970802601654>
- Brashers-Krug, T., Shadmehr, R., & Bizzi, E. (1996). Consolidation in human motor memory. *Nature*, 382(6588), 252-255. <https://doi.org/10.1038/382252a0>
- Bernstein, N. (1967). *The control and regulation of movements*. London: Pergamon Press.
- Chiappori, P.-A., Levitt, S., & Groseclose, T. (2002). Testing Mixed-Strategy Equilibria When Players Are Heterogeneous: The Case of Penalty Kicks in Soccer. *American Economic Review*, 92(4), 1138-1151. <https://doi.org/10.1257/00028280260344678>
- Cohen, D. A., & Robertson, E. M. (2007). Motor sequence consolidation: constrained by critical time windows or competing components. *Experimental Brain Research*, 177(4), 440-446. <https://doi.org/10.1007/s00221-006-0701-6>
- Constantin, G. (2016). Temps nécessaire pour rediriger le ballon lors d'un tir au but chez les 14-15 ans (travail de master non publié). Université de Fribourg, Suisse.
- 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>
- Dohmen, T. J. (2008). Do professionals choke under pressure ? *Journal of Economic Behavior and Organization*, 65(3-4), 636-653.
- Franks, I.M. & Harvey, T. (1997). Cues for goalkeepers: high-tech methods used to measure penalty shot response. *Soccer Journal*, 42, 30-33.
- Grand, G. (2017). *Calcul du temps minimal requis pour réorienter son tir au penalty chez des Footballeurs adultes jouant en 2<sup>ème</sup> ligue et plus haut. L'entraînement a-t-il un impact sur cette capacité* (travail de master non publié) ? Université de Fribourg, Suisse.

- Kropp, M. & Trapp, A. (1999). 35 Jahre Bundesliga-Elfmeter. Kassel: Agon Sportverlag.
- Kuhn, W. (1988). Penalty-kick strategies for shooters and goalkeepers. *Science and Football*, 489–492.
- Miller, R. (1996). Shooter vs. keeper: A tense battle. Games are won and lost by penalty kicks and PK tiebreakers. *Soccer Journal*, 41, 59-62.
- Molisani, L. (2016). *Temps minimal requis lors de la réorientation d'un coup de pied de réparation et capacités d'amélioration chez des enfants de 11-12 ans* (travail de master non publié). Université de Fribourg, Suisse.
- Morris, A., & Burwitz, L. (1989). Anticipation and movement strategies in elite soccer goalkeepers at penalty kicks. *Journal of Sports Sciences*, 7, 79-80.
- 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, 87 – 95.
- Palacios-Huerta, I. (2003). Professionals play minimax. *Review of Economics Studies*, 70, 395–415.
- Sarlegna, F. R., & Mutha, P. K. (2015). The influence of visual target information on the on-line control of movements. *Vision Research*, 110, 144-154. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2014.07.001>
- Schmidt, R. A., Lee, T. D., Winstein, C., Wulf, G., & Zelaznik, H. N. (2018). *Motor Control and Learning: A Behavioral Emphasis*. Human Kinetics.
- Savelsbergh, G. J. P., Williams, A. M., Kamp, J. V. D., & 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>

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. <https://doi.org/10.1080/02640410500190841>

Walker, M. P., & Stickgold, R. (2006). Sleep, memory, and plasticity. *Annual Review of Psychology*, 57, 139-166. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.56.091103.070307>

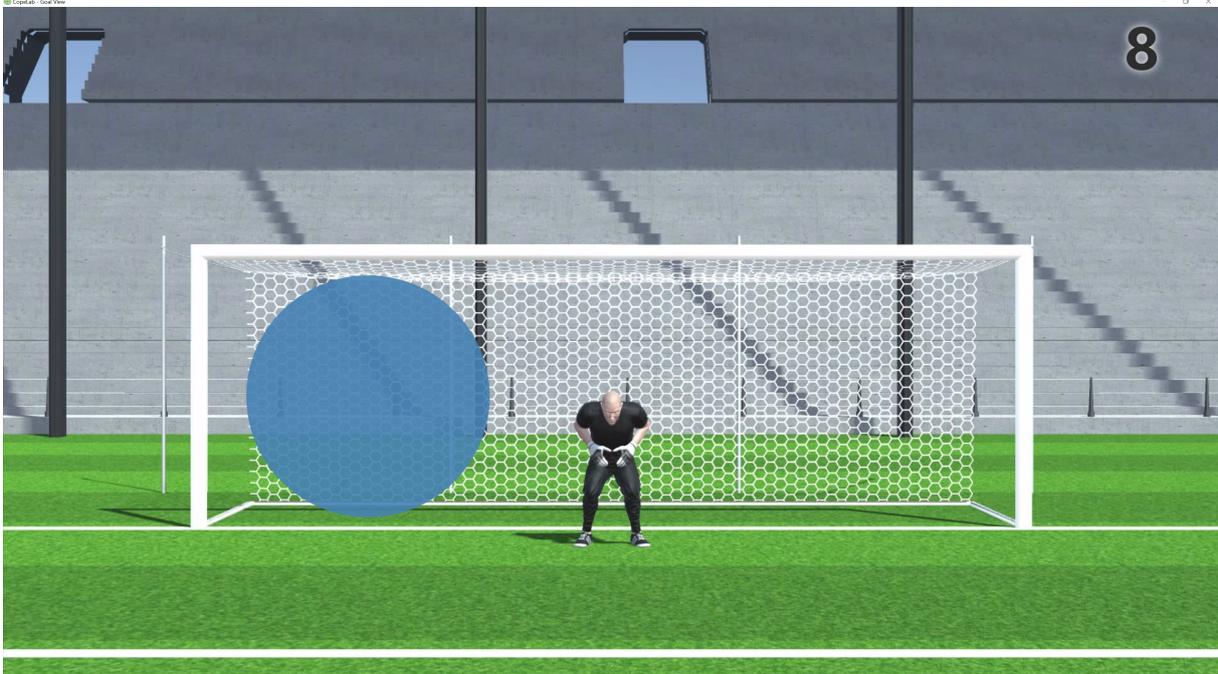
### **Internet**

FIFA.com. (s. d.). Histoire des Lois du Jeu - De 1863 à aujourd'hui. Consulté le 3 février 2019, à l'adresse <http://fr.fifa.com/about-fifa/who-we-are/the-laws/index.html>

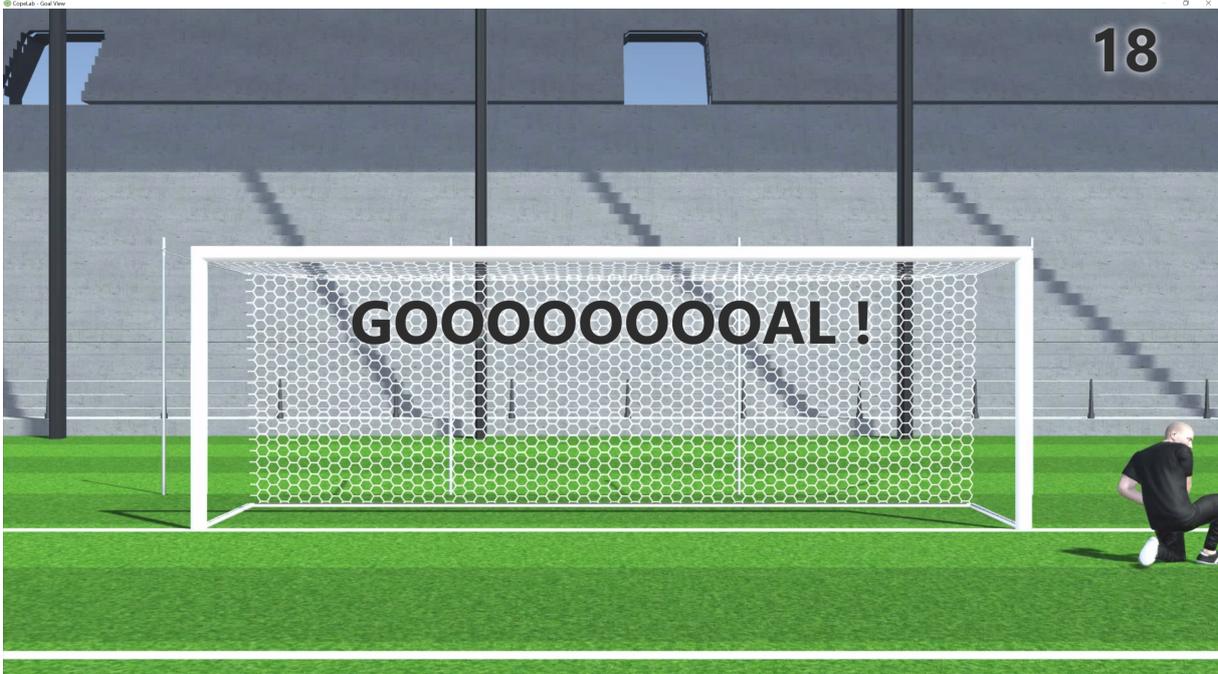
Loi 14 du football. (2019). In Wikipédia. Consulté le 3 février 2019, à l'adresse [https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Loi\\_14\\_du\\_football&oldid=156222314](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Loi_14_du_football&oldid=156222314)

**Annexes**

**Annexe 1**



**Annexe 2**



### Annexe 3

name	preL-50	preL-60	preL-70	preL-80	preL-90	postL-50	postL-60	postL-70	postL-80	postL-90
Sujet 1	439	442	446	450	456	372	376	381	386	395
Sujet 2	320	341	363	391	432	138	141	144	149	155
Sujet 3	311	343	378	422	486	296	300	303	307	314
Sujet 4	484	499	515	534	564	464	479	495	514	543
Sujet 5	282	301	322	347	385	235	267	302	346	410
Sujet 6	528	559	594	636	699	267	300	335	378	443
Sujet 7	286	318	354	397	462	287	315	346	383	439
Sujet 8	340	367	397	432	486	327	338	350	364	386
Sujet 9	315	347	382	426	490	265	297	333	376	441
Sujet 10	336	350	364	382	408	287	319	354	398	462

### Annexe 4

name	preR-50	preR-60	preR-70	preR-80	preR-90	postR-50	postR-60	postR-70	postR-80	postR-90
Sujet 1	432	438	444	452	463	356	363	370	379	393
Sujet 2	230	262	298	341	406	198	230	266	309	374
Sujet 3	344	376	411	454	518	359	384	412	446	497
Sujet 4	610	625	642	662	692	448	460	474	491	517
Sujet 5	295	309	324	342	369	320	332	345	360	384
Sujet 6	429	462	497	540	605	218	240	264	294	338
Sujet 7	315	335	356	383	423	377	410	445	488	553
Sujet 8	324	357	392	435	500	358	361	365	369	376
Sujet 9	283	315	350	394	458	332	335	338	343	349
Sujet 10	313	345	380	423	487	311	343	378	422	486

## **Remerciements**

J'adresse mes remerciements aux personnes qui m'ont aidé dans la réalisation de ce travail de master.

- Je remercie en particulier Prof. Jean-Pierre Bresciani pour son aide et sa disponibilité durant tout le travail.
- Je remercie aussi Dr. Jean-Luc Bloechle pour son temps et tous les réglages d'ordre informatique et matériel.
- Je remercie finalement Fanny Reymond pour sa relecture.