

# **Seuil minimal requis lors de la réorientation d'un tir au but chez des footballeurs évoluant en 2<sup>ème</sup> ligue inter et en 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

**Kevin Correia**

à

l'Université de Fribourg, Suisse  
Faculté des sciences et de médecine  
Section Médecine  
Département des neurosciences et sciences du mouvement

en collaboration avec la  
Haute école fédérale de sport de Macolin

Référent

Prof. Jean-Pierre Bresciani

Conseiller

Dr. Jean-Luc Bloechle

Fribourg, Avril 2020

## Table des matières

Résumé.....	3
1 Introduction .....	4
1.1 Histoire du tir au but et rôle dans le football .....	4
1.2 Stratégies lors du tir au but .....	5
1.3 Facteurs de redirection.....	8
1.4 Enjeux de la problématique .....	10
1.5 Objectifs du travail .....	11
1.6 Hypothèses.....	12
2 Méthode .....	13
2.1 Description de l'échantillon.....	13
2.2 Design de l'étude .....	13
2.3 Description des méthodes .....	14
2.4 Description des instruments de recherche .....	17
2.5 Evaluation et analyse des données.....	18
3 Résultats.....	19
3.1 Résultats des seuils globaux atteints.....	19
3.2 Résultats des seuils atteints sous la condition LL.....	20
3.3 Résultats des seuils atteints sous la condition RR .....	22
3.4 Résultats des taux de réussite .....	23
3.5 Résultats de la phase d'entraînement.....	25
4 Discussion.....	27
4.1 Discussion et interprétation des résultats.....	27
4.2 Discussion des résultats selon les hypothèses .....	29
4.3 Forces et faiblesses de l'étude .....	29
4.4 Perspectives futures .....	31
5 Conclusion .....	32
Bibliographie.....	33
Remerciements.....	36

## **Résumé**

### **Introduction**

Le résultat d'une rencontre de football se joue souvent sur des détails et le tir au but en fait partie. Le taux de réussite de cet exercice se situe entre 70 et 80% (Morya et al., 2003 ; Van der Kamp, 2006 ; Bowtell et al., 2009 ) incitant ainsi les différents acteurs à adopter des stratégies. Ce travail de recherche s'est intéressé aux caractéristiques de l'une d'entre elles, la stratégie « dépendante du gardien » (Kuhn, 1988 ; Van der Kamp, 2006).

### **Objectif**

Ce travail a pour objectif de mesurer le seuil minimal requis lorsque le footballeur doit réajuster son tir après observation du mouvement du gardien.

### **Méthode**

Des footballeurs expérimentés ( $n = 9$ ) et âgés entre 22 et 30 ans ont pris part à cette étude en laboratoire à l'Université de Fribourg. Ils ont été convoqués à trois séances, espacées de 2-3 jours, durant lesquelles ils ont effectué 100 tirs au but. Un Pré-Test a permis de calculer un seuil minimal de réorientation qui a ensuite été utilisé lors de la phase d'entraînement. Lors du Post-Test, les conditions étaient identiques au Pré-Test permettant une comparaison. Durant les expériences, le seuil était défini selon la course d'élan du joueur et le programme ressortait des valeurs pour les conditions LL (tir et plongeon à gauche) et RR (tir et plongeon à droite).

### **Résultats**

Au terme de l'expérience, le seuil minimal requis lors de la redirection se situe à 352.5 ms (381ms lors du Pré-Test). Après entraînement, des améliorations significatives,  $p < 0.05$ , sont constatées pour les seuils minimaux globaux, LL et RR ainsi que pour les taux de réussite.

### **Discussion**

En se référant aux différentes études réalisées, le seuil minimal trouvé lors de ce travail correspond de façon pertinente. En comparant les résultats avec un travail de recherche similaire et réalisé par Rao (2019), les résultats ont été confirmés, malgré quelques différences. Ces dernières proviennent probablement d'un protocole quelque peu différent, avec la prise en compte de la course d'élan du tireur qui a pu influencer certaines valeurs.

### **Conclusion**

En s'intéressant à la stratégie dépendante utilisée par des footballeurs de 2<sup>ème</sup> ligue inter et 1<sup>ère</sup> ligue suisse, ce travail a permis d'établir un seuil limite de redirection à 352.5 ms. Il a aussi prouvé les avantages d'un entraînement sur l'amélioration du seuil et du taux de réussite (+ 18.9%) et a ouvert la porte à de futures études sur les conditions de réorientation LL et RR.

# 1 Introduction

## 1.1 Histoire du tir au but et rôle dans le football

Le tir au but, le coup de pied de réparation pour la dénomination officielle ou le *penalty* si l'on utilise l'anglicisme, est une sanction jugée et sifflée par l'arbitre lorsqu'une faute est commise, durant le cours du jeu, à l'intérieur de la surface de réparation (les « 16m » dans le jargon footballistique). Il ne doit pas être confondu avec la séance de tirs au but. Cette dernière est une règle qui permet de départager, à l'aide de penaltys, deux équipes lorsque le score est à égalité à la fin du temps réglementaire d'un match qui doit obligatoirement offrir un vainqueur. Le tir au but a été inventé en décembre 1890 en Irlande du Nord, à Milford, par William McCrum (FIFA.com, 2012). Cet ancien gardien de but a décidé de proposer une solution permettant de limiter la brutalité des défenseurs ; solution qui voit son officialisation naître en 1891 dans le championnat national. Après plusieurs expérimentations, la règle officielle décrit que le tireur doit se situer à une distance de 11m du but et en face du gardien adverse, alors que tous les autres acteurs doivent se positionner en dehors de la surface de réparation (FIFA.com, s.d.). William McCrum rajoutait à l'époque qu'ils s'étaient mis d'accord sur la distance entre le tireur et le but mais qu'il sera plus difficile de s'accorder sur la technique. L'histoire lui a donné raison car certains tirs au but sont par la suite, de par leur originalité, entrés dans les annales du football moderne, comme par exemple la fameuse « panenka » inventée par Antonin Panenka en 1976, imitée en 2006 par Zidane... ou, dans le cas contraire, certaines tentatives ratées comme celle de David Beckham en 2004.

Sanctionner une faute par un penalty n'est pas une prise de décision facile pour l'arbitre, notamment en raison des conséquences évidentes sur le résultat final. Ainsi, sur un échantillon de 12'902 matchs professionnels joués entre 1963 et 2005 en championnat allemand, on a pu constaté qu'en moyenne 0.29 tirs au but par match sont sifflés, ou en d'autres termes, 1 tous les 3.5 matchs (Schwarz, 2011). La récente apparition et utilisation de la technologie dans l'arbitrage, la VAR, a même tendance à faire augmenter ces chiffres, comme l'illustrent les 29 penaltys sifflés lors des 64 rencontres de la dernière Coupe du Monde en 2018, un record (0.45 par match). L'occurrence de ce cas de figure sur une saison entière ou une carrière implique donc une certaine nécessité pour les joueurs de football d'acquérir une bonne technique, voire tactique, lors de la réalisation de ce tir. Le penalty est en effet un exercice difficile qui demande aux joueurs de faire preuve de créativité et de maîtrise afin d'augmenter leur chance de convertir la sanction et offrir un but à leur équipe.

De nombreuses grandes compétitions ont été marquées par l'influence d'un tir au but ou d'une séance de tirs au but (injustice, échec, réussite, ...), ce qui a fait croître son rôle important ainsi que l'intérêt de comprendre les facteurs de réussite/échec et de développer des techniques et des stratégies. Par exemple, entre 1976 et 2004 dans les grandes compétitions mondiales (Euro, Copa America et Coupe du Monde), 21,8% des matchs qui pouvaient potentiellement se terminer par une séance de tirs au but se sont départagés ainsi. Durant ces séances, un taux de réussite de 78.9% a été calculé (Jordet, Hartman, Visscher & Lemmink, 2007). Si l'on y rajoute les résultats trouvés par d'autres études sur la même thématique (Kuhn, 1988 ; Morya, Ranvaud & Pinheiro, 2003 ; Morya, Bigatao, Lees & Ranvaud, 2005), on peut déduire qu'environ 20% à 30% des tirs au but sont ratés. Ces chiffres démontrent qu'il existe une marge de progression et une possibilité d'être plus efficace et influent sur le résultat final de son équipe, et ceci peut être atteint notamment grâce à une amélioration de la technique et de la stratégie du penalty. Pour ce faire, des moyens d'entraînement doivent être mis en place sur une base scientifique. Ce travail cherche donc à offrir une partie de la réponse permettant au tireur d'adopter une technique optimale et une capacité d'adaptation et réaction efficace.

## **1.2 Stratégies lors du tir au but**

Le tir au but joue un rôle décisif dans l'issue de nombreuses compétitions de football et il est donc important pour le tireur et le gardien de choisir la meilleure stratégie pour marquer ou pouvoir le stopper. La notion de loterie pour définir une séance de tir au but ou un simple penalty est souvent évoquée par les supporters ou amateurs de football, mais de nombreuses études scientifiques, traitées dans ce chapitre, se sont consacrées sur cet exercice si particulier, pour le tireur et pour le gardien. Elles ont ainsi pu démontrer qu'au contraire, une ou plusieurs stratégies, pour les deux parties, peuvent jouer un rôle important dans le résultat final et le facteur chance pouvait être abaissé. Une étude s'est même penchée sur la stratégie collective à adopter lors des séances de tirs au but et a pu démontré qu'il existe quelques moyens d'augmenter la probabilité de gagner la séance, comme par exemple l'ordre des joueurs selon leur niveau ou une pratique régulière de cette situation à l'entraînement (McGarry & Franks, 2000). Ceci est la preuve que les acteurs du monde du football ont la volonté de maîtriser cet exercice si spécial et de ne laisser aucune place à la loterie, ou du moins le moins possible, en adoptant des stratégies spécifiques.

**1.2.1 Stratégie du gardien.** Certaines études (voir ci-après) se sont intéressées au rôle et à la stratégie qu'un gardien doit adopter lorsqu'il se retrouve face un penalty, situation dans laquelle il n'est pas en avantage. Lorsqu'un tir au but est frappé, il atteint en moyenne les 115km/h et il lui faut donc environs 350 ms pour atteindre l'objectif (Morya et al., 2005). Cependant, selon une autre étude, un gardien met environs entre 500 et 700 ms pour effectuer une détente totale lors du plongeon (Kerwin & Bray, 2006). En associant ces deux constats, on s'aperçoit qu'il est presque impossible pour un gardien de stopper un tir au but sans compter sur le facteur anticipation ou sur une mauvaise réalisation du tireur (précision et vitesse de frappe), comme le prouve le faible pourcentage de penaltys arrêtés selon Kropp & Trapp (1999) ou Jordet et al. (2007): entre 18 et 25%.

Le gardien se retrouve donc avec un choix restreint de stratégies à adopter : il peut rester au milieu du but et espérer une frappe au centre, mais seuls 6% des penaltys sont tirés ainsi (Bar-Eli, Azar, Ritov, Keidar-Levin & Schein, 2007) ou alors choisir un côté au hasard et espérer tomber sur le bon et intercepter le tir. Une troisième stratégie est envisageable et elle concerne l'anticipation basée sur l'étude des mouvements du tireur (Franks & Harvey, 1997). Dans leur étude, ils ont démontré que si le gardien se concentre et analyse la position du pied d'appui avant le contact pied-ballon (200-250 ms), il peut déterminer l'orientation du tir et augmenter ainsi ses chances de l'arrêter. La position du haut du corps ou celle des hanches peuvent aussi donner des indices quant à la future fermeture ou ouverture du pied du tireur (Franks & Harvey, 1997 ; Diaz, Fajen & Phillips, 2012). Une dernière possibilité, un peu moins technique, consiste à tenter d'influencer ou déconcentrer le tireur. Selon une étude, un déplacement du gardien de quelques centimètres (6 à10) par rapport au centre du but influence les tireurs en les incitant à choisir le côté délaissé dans 10% des cas. (Masters, Van der Kamp & Jackson, 2007).

Depuis quelques années, les gardiens professionnels utilisent de plus en plus la stratégie d'anticipation. Des entraînements réguliers, basés sur les indices visuels permettant l'analyse du mouvements du tireur et de l'orientation de sont tir, portent leur fruit comme le démontre une étude de Savelsbergh, Williams, Van der Kamp, et Ward (2002). En effet, cette expérience effectuée sur la comparaison entre novices et experts a conclu que les gardiens professionnels possédaient une capacité d'anticipation plus efficace qu'un gardien novice en effectuant des prédictions plus précises et plus rapides. Savelsbergh et al. (2002) ont aussi calculé un seuil limite de prise de décision et d'anticipation à 300 ms avant le contact pied-

ballon pour les gardiens experts, confirmant les résultats obtenus par Franks et Harvey (1997). Une autre étude focalisée sur les avantages d'un entraînement ciblé sur les indices visuels avant un tir au but a aussi prouvé, chez les novices, une amélioration significative du taux de réussite sur l'anticipation du côté à choisir (Ryu, Kim, Abernethy & Mann, 2013). Durant l'expérience, un groupe de jeunes gardiens s'est entraîné à stopper des tirs au but, à l'aide d'un joystick, en ayant des indices visuels sur le tireur (pied d'appui, position des hanches, ...) alors qu'un autre groupe similaire effectuait le même exercice mais sans indications en feedback. Lors de la dernière session, les résultats ont démontré que le groupe ayant eu recours aux aides a obtenu un taux de précision et de rapidité plus élevé que le second. Cette étude a donc confirmé l'idée que ce type d'entraînement permet aux gardiens d'améliorer leur capacité d'anticipation et d'augmenter ainsi leurs chances lors d'un tir au but. Cependant, il ne faut pas oublier que la capacité d'anticiper de manière correcte le côté choisi par le tireur n'est pas le seul facteur de réussite à prendre en compte: le gardien doit aussi pouvoir réaliser un mouvement efficace de plongeon pour réellement stopper le tir, sans oublier que la vitesse de course et de frappe du tireur influence grandement la réussite du portier adverse. Donc de manière générale, le gardien possède certains outils de stratégies lui permettant d'augmenter ses chances lors d'un penalty, mais la dépendance à la stratégie du tireur est telle que le gardien est, et sera toujours, en position défavorable lors de cet exercice.

**1.2.2 Stratégie du tireur.** D'un point de vue technique, la première stratégie du tireur est de choisir la partie du but à viser : tir au sol, à mi-hauteur ou sous la barre. En général, le monde du football opte pour la solution de la frappe au sol qui semble être la technique la plus efficace. Mais une étude a démontré que sur 286 penaltys analysés, les frappes en hauteur n'ont pas connu l'échec, alors que 12.6% des tirs à mi-hauteur et 19.8% de celles au sol ont été stoppées (Bar-Eli & Azar, 2009). Il s'avère donc que la stratégie de frapper en hauteur soit la plus efficace mais il faut relativiser cela car de nombreux joueurs n'optent pas pour cette solution pour des raisons de contraintes psychologiques et préfèrent tirer au sol. Il est en effet plus difficile techniquement de viser la partie supérieure du but tout en y ajoutant des facteurs émotionnels. Il a été prouvé que plus l'enjeu est grand et plus le joueur subit un stress lors du tir au but, plus le pourcentage de réussite diminue (Jordet et al., 2007).

Ensuite, il existe deux façons d'aborder son face-à-face avec le gardien de but : la stratégie « indépendante du gardien » et la stratégie « dépendante du gardien » (Kuhn, 1988 ; Van der Kamp, 2006). La première consiste à choisir son côté et s'y tenir sans être influencé par

l'action du gardien. Le tireur fait son choix au préalable par rapport à ses préférences, à son ressenti ou même les connaissances sur le portier adverse, et ne le change plus. La seconde stratégie consiste quant à elle à s'élancer avec une première idée du côté choisi mais d'observer le mouvement du gardien afin de pouvoir changer l'orientation de son tir si besoin et ainsi le prendre à contre-pied. Selon une étude élaborée sur les quelques 322 penaltys tirés entre 1984 et 2012 lors des Coupes du Monde et Euro, 18% des tireurs ont utilisé la stratégie dépendante (Noël, Furley, Van der Kamp, Dicks & Memmert, 2015). Parmi ce pourcentage de joueurs adoptant cette stratégie, nombreux sont ceux qui utilisent des manières de plus en plus élaborées et originales pour tirer, notamment avec une course d'élan lente qui permet au tireur d'analyser les mouvements du gardien jusqu'au dernier moment (Paul Pogba, B. Fernandes, Jorginho, ...). A noter que le taux de réussite du penalty n'est significativement pas meilleur pour l'une ou l'autre des deux stratégies (Noël et al., 2015).

Cette stratégie dépendante du gardien est appréciée et efficace lorsqu'elle fonctionne mais elle comporte un risque notable qui peut être expliqué scientifiquement par des recherches sur le contrôle moteur et notamment sur les principes de boucles sensorimotrices. En effet, lorsque le footballeur décide d'orienter sa frappe en s'adaptant aux mouvements du gardien, il joue avec le temps de réaction entre l'information reçue et le contact avec le ballon. Cette marge de décision comporte un seuil limite permettant, ou non, la réalisation efficace du penalty et donc tout l'intérêt des études sur la stratégie dépendante du tireur tourne autour de cette notion de seuil minimal requis.

### **1.3 Facteurs de redirection**

En neurosciences, de nombreuses études (voir ci-dessous) se sont penchées sur cette question du seuil limite permettant de modifier un mouvement après un stimulus visuel ou autre. Ici, lors de la stratégie dépendante du tireur, il existe un temps de réaction entre le moment où il s'aperçoit du côté choisi par le gardien et le besoin de rediriger sa frappe ; et si ce temps est trop court, le risque d'échec augmente.

Dans une étude réalisée par Bowtell, King, & Pain (2009), la mise en place d'une situation réelle d'un tir au but a permis la réalisation d'une expérience sur le seuil limite lors de la stratégie dépendante au gardien. 8 jeunes footballeurs de bon niveau et avec une certaine expérience dans l'exercice du penalty ont pris part à cette étude. Ils ont dû réaliser une série de tirs à 11m d'un but possédant les vraies dimensions (7.32m x 2.44m) et 2 ampoules au

milieu jouant le rôle de gardien et de stimuli visuels. L'objectif était d'orienter sa frappe vers l'un des deux côtés, défini par l'ampoule allumée (gauche ou droite). Le tir était validé si le ballon atteignait un espace de 3m de chaque côté du but et respectait la condition imposée. Chaque sujet a dû réaliser 3 séries de 12 penaltys et chacune d'elles était caractérisée par une condition différente : la première s'est déroulée avec un choix initial libre du côté mais lorsque l'ampoule s'allumait, le tireur devait rediriger sa frappe à l'opposé (ampoule droite, tir à gauche et vice versa) ; durant la deuxième série, le sujet devait se concentrer sur le côté droit pour frapper et devait réajuster son tir uniquement lorsque l'ampoule de ce même côté s'allumait (50% du temps) ; la troisième condition était la même que la deuxième mais avec le côté opposé (se concentrer sur le côté gauche). A la fin de cette expérience, l'étude a démontré que, malgré le fait qu'il n'existait pas de différence significative entre les trois conditions, un stimulus reçu entre 300 et 400 ms avant le contact pied-ballon permettait aux participants d'atteindre un taux de réussite significatif de la réorientation de leur tir. La principale critique pouvant être émise sur cette étude est que le stimulus visuel (ampoule) était effectué de manière indépendante à la course d'élan du joueur et que le nombre de tirs réalisés lors des séances était plutôt faible.

Les études de Morya et al. (2003) et de Van der Kamp (2006) ont tout de même tendance à confirmer ce constat sur le seuil limite de la réorientation d'un tir au but établi par Bowtell et al. (2009). En effet, dans la première étude, l'expérience a démontré que la réussite de la redirection d'un tir était régulièrement atteinte (proche des 100%) lorsque le mouvement du gardien se faisait 400 ms avant le contact avec le ballon. De plus, si le moment de ce mouvement était inférieur à 150 ms avant le contact, les participants estimaient la redirection de leur penalty comme impossible et procédaient par un choix au hasard. En revanche, cette étude contient certaines limites comme celle d'avoir utilisé une méthodologie informatique et un joystick pour effectuer le tir au but. Elle ne fait donc pas partie d'une étude de terrain pouvant prendre en compte les aspects techniques et anatomiques d'une frappe ainsi que le facteur du taux de réussite évalué par la précision du tir au but (difficile de savoir si le penalty était réussi même si le bon côté était choisi). Dans l'étude de Van der Kamp (2006), l'expérience en situation réelle et à l'aide d'ampoules représentant les mouvements du gardien, a démontré qu'un seuil limite de 400 ms permettait aux participants de rediriger avec efficacité et réussite leur tir au but. Avec une méthodologie proche de Bowtell et al. (2009) et malgré des limites similaires, la conclusion obtenue s'ajoute et s'accorde aux résultats des études de Morya et al. (2003) et de Bowtell et al. (2009), consolidant ainsi l'estimation du

seuil requis permettant la réorientation de la frappe, qui se situe donc entre 300 et 400 ms. Ces résultats peuvent s'avérer utiles pour les stratégies à adopter pour les tireurs mais aussi pour les gardiens.

#### **1.4 Enjeux de la problématique**

Malgré des résultats similaires, les quelques études s'étant intéressées à la question du temps de réaction nécessaire pour rediriger un tir au but (Morya et al., 2003 ; Van der Kamp, 2006 ; Bowtell et al., 2009) sont peu nombreuses. Ce travail s'est donc inscrit dans la lignée de ces recherches focalisées sur la stratégie du tireur et non pas celle du gardien. En s'appuyant sur de récents travaux de master (Constantin, 2016 ; Rao 2019), ce travail de recherche a tenté d'améliorer certaines limites de la méthodologie présente dans les précédentes études dans le but de pouvoir estimer un seuil minimal requis pour la redirection du tir. Le fait d'ajouter une séance d'entraînement et d'augmenter considérablement le nombre de tirs effectués (3x100 penaltys) a permis d'amener une dimension supplémentaire à l'expérience et la possibilité de ressortir les bénéfices possibles de l'entraînement sur le taux de réussite et sur le seuil limite. Dans ce travail de recherche, l'un des enjeux est donc d'améliorer la méthodologie permettant ainsi de récupérer des données valides pour la recherche du seuil minimal de la réorientation d'un tir. Dans le but de perfectionner les études réalisées à l'aide de joystick ou d'ampoules (Morya et al., 2003 ; Van der Kamp, 2006 ; Bowtell et al., 2009), ce travail a utilisé un avatar de gardien de but pour rendre le stimulus visuel le plus réaliste possible. Nous avons aussi réalisé une série importante de penaltys (plus de 300 tirs par sujet) augmentant ainsi la fiabilité des données. Le dernier aspect d'amélioration, qui a changé la méthodologie de manière conséquente, est la création d'un algorithme qui a permis de prendre en compte la course d'élan du joueur. Ainsi, le temps de réaction entre le mouvement du gardien et le contact pied-ballon était déterminé par le joueur lui-même et non pas par une action externe.

De manière générale, les résultats du taux de réussite et de l'amélioration du seuil limite au travers d'un entraînement spécifique pourrait amener certains clubs ou associations footballistiques à réfléchir sur l'intérêt de celui-ci. Les matchs de football se jouent souvent sur des détails, et les penaltys en font partie, donc une amélioration de ses capacités à transformer un tir au but pourrait intéresser joueurs professionnels ou amateurs.

## 1.5 Objectifs du travail

Ce travail de recherche a pour but principal de mesurer le seuil minimal jusqu'auquel un footballeur est capable de réajuster son tir au but avec un taux de réussite conséquent. Cette réorientation de la frappe se produit lorsque le gardien plonge du côté identique à celui que le tireur avait initialement choisi. Ce genre de situation se déroule lorsqu'une stratégie dépendante du gardien est utilisée. Le temps de réaction nécessaire entre le stimulus visuel (plongeon) et le contact pied-ballon est mesuré en ms. L'utilisation d'instruments de réalité virtuelle permet aux sujets de se rapprocher au maximum de situations vécues sur un terrain de football. Le fait de réaliser cette expérience en trois séances permet d'ajouter un deuxième objectif puisque une comparaison entre un « Pré-Test » et un « Post-Test », avec une phase d'entraînement entre-deux, est réalisée. Ce travail permet donc aussi de décrire les améliorations du taux de réussite et du seuil minimal, observables 2-3 jours après un entraînement.

Les questions de recherche suivantes servent de base à l'analyse des données et à la rédaction du travail :

- (i) Quel est le seuil minimal requis permettant la réorientation d'un tir au but chez des footballeurs évoluant en 2<sup>ème</sup> ligue inter et en 1<sup>ère</sup> ligue Suisse ?
- (ii) Comment un entraînement adapté améliore-t-il le seuil minimal de réorientation d'un tir au but et son taux de réussite?
- (iii) Peut-on observer une différence significative entre les résultats obtenus en ouverture de pied et en ceux en fermeture (RR vs LL) ?

A noter que durant l'expérience, le sujet a dû faire face à 4 situations différentes de tirs au but. Soit sans la nécessité de réajuster sa frappe puisque le gardien ne plongeait pas du même côté (LR et RL), soit dans l'obligation de changer l'orientation de sa frappe pour prendre le gardien à contre-pied (LL et RR). Seules les conditions LL (tir initial à gauche et plongeon à gauche) et RR (tir initial à droite et plongeon à droite) ont été prises en compte pour les calculs des seuils limites de redirection.

## 1.6 Hypothèses

Comme démontré précédemment au travers de la littérature et de certaines études, le seuil limite requis pour la réorientation d'un penalty se situent entre les 300 et 400 ms (Morya et al., 2003 ; Van der Kamp, 2006 ; Bowtell et al., 2009). En améliorant quelque peu la méthodologie et en gardant un échantillon composé de footballeurs de bon niveau, les résultats de ce travail de recherche devraient se situer dans cette même fourchette. Il semblerait tout aussi pertinent d'imaginer une amélioration significative à la suite d'une séance d'entraînement adapté au sujet. Cette amélioration devrait être visible à la fin du Post-Test et concernerait les seuils minimaux atteints et les taux de réussite. Cependant, l'expérience individuelle des sujets pourrait jouer un rôle puisque nous pouvons nous poser la question de la différence de marge de progression selon le niveau de chaque sujet pour l'exercice du penalty. En effet plus un joueur est expérimenté de base, plus ses premiers résultats seront proches du seuil minimal et plus il sera difficile pour lui de l'abaisser de manière significative lors du Post-Test.

Une dernière hypothèse concerne les conditions de tirs LL et RR. Lorsque le tireur se retrouve dans une situation de réorientation LL, il doit exécuter sa frappe avec une ouverture de son pied (cela concerne les droitiers). A contrario, la condition RR l'oblige à fermer son pied (pour les droitiers) pour pouvoir réussir son tir au but. En réfléchissant d'un point de vue anatomique et technique, une ouverture du pied (LL pour droitiers et LL pour gauchers) semblerait une situation plus propice et plus facile pour l'obtention de meilleurs résultats. Cependant, les caractéristiques propres à chaque joueur, leur position dans leur équipe ainsi que leur style de jeu pourraient influencer ces données.

## 2 Méthode

### 2.1 Description de l'échantillon

Pour réaliser ce travail de recherche, un échantillon composé de footballeurs ( $n = 9$ ) évoluant ou ayant évolué en 2<sup>ème</sup> ligue interrégionale ( $n = 7$ ) et en 1<sup>ère</sup> ligue Suisse ( $n = 2$ ) a été utilisé. Ils étaient tous de sexe masculin, âgés de 22 à 30 ans (*moyenne* = 25.3 ; *écart-type* = 3.3), 8 utilisant le pied droit pour frapper les tirs au but et 1 le pied gauche. Tous les sujets ont reçu les mêmes informations nécessaires au bon déroulement de la recherche et ont accepté de partager leur nom, âge, sexe et taille. Malgré les caractéristiques particulières de l'exercice du penalty, le groupe peut être défini comme homogène.

### 2.2 Design de l'étude



Figure 1. Design de recherche.

La procédure permettant la mesure des données a été effectuée en trois étapes : premièrement un Pré-Test qui comportait une séance de 100 tirs au but, puis une phase d'entraînement composée elle aussi de 100 tirs mais avec des conditions spécifiques, et finalement un Post-Test identique au Pré-Test. Afin de créer une certaine homogénéité dans la méthodologie, l'intervalle entre les étapes devaient être, pour tous les participants, de 2-3 jours (Figure 1). La volonté de respecter cet intervalle ainsi que les disponibilités restreintes de plusieurs sujets ont amené cette période de prises de données à devoir s'étaler sur 7 semaines.

A noter qu'au départ 10 sujets participaient à cette étude mais que l'un d'entre eux s'est blessé entre deux phases et n'a pas pu terminer les mesures, qui n'ont donc pas été prises en compte dans ce travail de recherche.

### 2.3 Description des méthodes

Durant les trois séances permettant la réalisation de l'expérience, les sujets se sont rendus à Fribourg dans les laboratoires de l'Université. Chacune des trois étapes a duré entre 45 et 60 minutes et les participants ont dû respecter un protocole bien défini afin de permettre à l'expérience de se rapprocher au maximum d'une situation réelle. Pour ce faire, ils se sont équipés d'une combinaison composée de 8 capteurs (4 aux chevilles, 2 aux genoux et 2 aux hanches) qui a permis d'enregistrer des valeurs utiles à la réalisation du tir au but. Ces capteurs étaient aussi présents en nombre sur le ballon et étaient détectés par 16 caméras infrarouges (*Prime 17/W*). Un logiciel (*Motive*), pour la capture de mouvements, et un autre (*IntelliJIDEA*) pour l'interface graphique et la programmation, projetaient une image 3D sur un écran à impact (*impact screen*), sur lequel un gardien sous forme d'avatar, un but et une zone à atteindre étaient visibles. Ceci a donc permis de reproduire une situation plus ou moins réelle d'un penalty. D'autres conditions ont dû être instaurées : le ballon se trouvait à 3.5m du but et le tireur devait se tenir derrière le ballon et en dehors d'une zone délimitée par un rayon de 2m. (*Figure 2*).

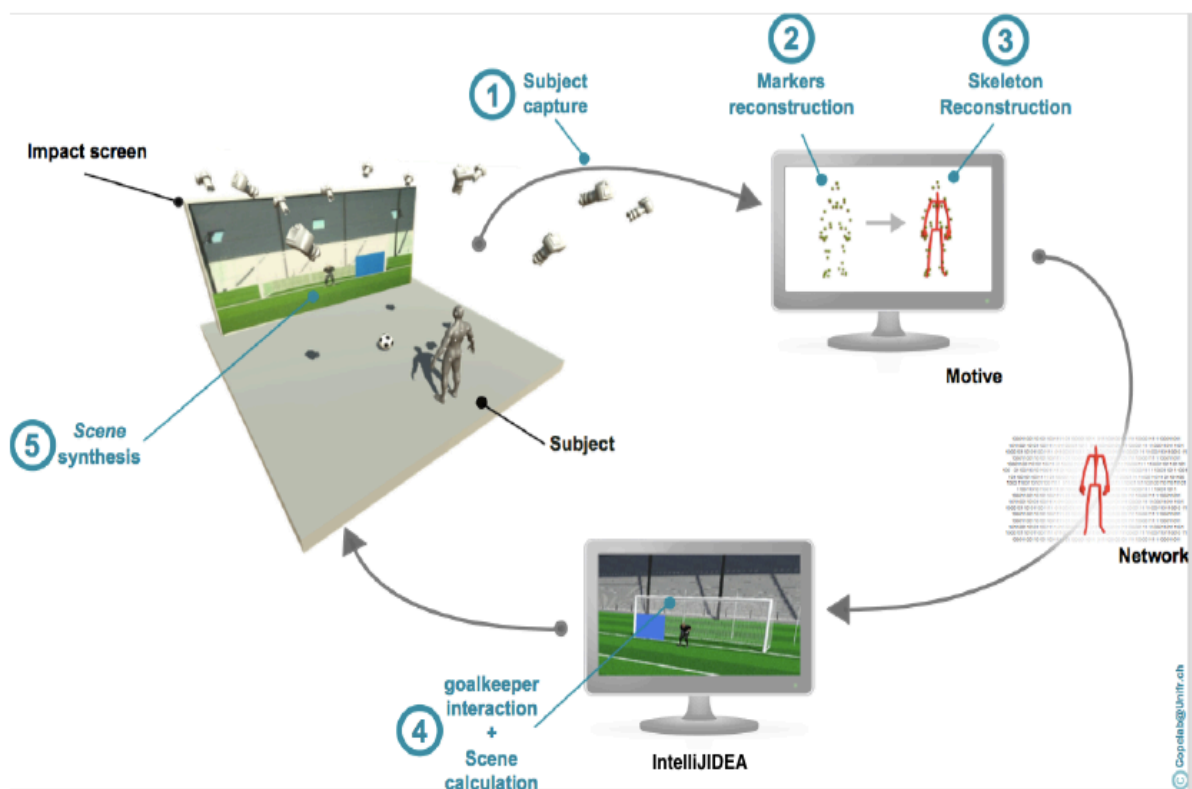
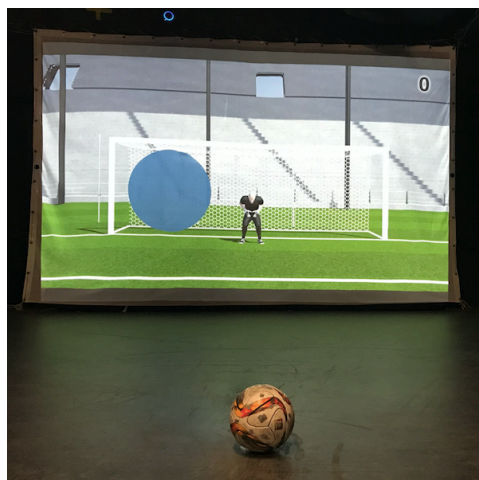


Figure 2. Résumé par étapes du protocole de l'expérience.

Une fois le sujet en place, la zone bleue donnait le côté à viser et surtout le départ du tir au but (*Figure 3*). Dès que le participant entrait dans la zone délimitée (2m), le programme lançait l'exercice et le gardien allait pouvoir plonger avec un temps de réaction variable. A ce moment-là, l'expérience offrait 4 situations possibles :

- (a) LL : le tireur doit tirer à gauche, le gardien plonge à gauche
- (b) RR : le tireur doit tirer à droite, le gardien plonge à droite
- (c) LR : le tireur doit tirer à gauche, le gardien plonge à droite
- (d) RL : le tireur doit tirer à droite, le gardien plonge à gauche



*Figure 3.* Situation de départ.

Les conditions (a) et (b) ont permis de calculer les différents temps de réaction du tireur pour la réorientation de son penalty, alors que les conditions (c) et (d) avaient une importance moindre concernant les données utiles à la recherche ; mais elles ont permis d'éviter l'apparition d'une habitude chez le tireur pouvant l'amener à anticiper le plongeon et ainsi biaiser les résultats. Les conditions LL et RR dépendaient donc d'un laps de temps, en ms, durant lequel le tireur était capable, ou non, de pouvoir réorienter sa frappe après avoir observé la direction du plongeon du gardien. Ce seuil se situait donc entre le moment du plongeon du gardien (stimulus visuel) et le contact pied-ballon, et était proposé et calculé à l'aide du logiciel *IntelliJIDEA* qui s'adaptait en continu au tireur. En effet, le programme établissait un temps de réaction plus ou moins élevé selon les résultats précédents du sujet. Tout au long de la séance, le programme cherchait, à l'aide d'un algorithme, une fenêtre comportant le seuil requis par le participant pour rediriger son tir au but. Au fur et à mesure de l'expérience et de manière progressive, le participant établissait donc un temps de réaction

proche de son seuil minimal. Pour ce faire, le programme proposait différents laps de temps mais avait pour objectif d'avoir un ratio réussite/échec efficace pour obtenir la bonne fenêtre. En effet, trop de tirs au but réussis ou trop d'échecs ne permettaient pas au logiciel d'atteindre le seuil attendu et notre challenge était donc de faire accepter aux participants le fait qu'un tir au but raté était tout aussi efficace pour l'expérience qu'une réussite. Afin d'optimiser cette recherche continue du seuil limite, le tireur devait donc garder une course d'élan la plus similaire possible durant toute l'expérience pour offrir la possibilité au programme d'avoir un nombre suffisant de tirs dans la zone temporelle adéquate et un taux de réussite/échec intéressant. A la fin de chaque séance et après les 100 tirs, le logiciel pouvait ressortir le seuil minimal sous les conditions LL et RR, ainsi que d'autres données utiles.

Lors du Pré-Test, chaque sujet s'équipait et prenait connaissance du protocole et des conditions à respecter afin de récolter des données cohérentes et analysables. Il commençait par une série de 10 tirs au but lui permettant de se familiariser avec l'environnement et de s'échauffer. Ensuite, la séance de 100 tirs pouvait débuter. Les 100 tirs étaient composés des 4 conditions possibles (LL, RR, RL, LR) distribuées de manières aléatoires mais avec le taux d'apparition suivant : 30% pour les conditions LL et RR et 20% pour LR et RL. Au début de la série de penaltys, un seuil initial (facile) était instauré et à la fin de celle-ci, un seuil minimal atteint par le sujet était enregistré pour la condition LL, et de même pour la condition RR. Lors de la phase d'entraînement, la procédure initiale était identique qu'au Pré-Test, c'est-à-dire un rappel de la procédure et un échauffement sur 10 tirs au but. Durant cette phase, composée elle aussi de 100 tirs, le sujet n'allait cette fois-ci pas atteindre un seuil de manière crescendo mais faisait simplement face à 100 tirs adaptés à son seuil minimal calculé lors du Pré-Test. En d'autres termes, il évoluait dans sa zone de travail et le pourcentage de penaltys « compliqués » était donc plus élevé. Lors du Post-Test, la séance était identique à celle du Pré-Test puisqu'elle servait de comparaison.

En plus de calculer le seuil limite auquel le tireur pouvait encore réorienter sa frappe, l'expérience permettait aussi de relever le taux de réussite. Pour ce faire, les deux logiciels ont délimité la zone de but et grâce à *l'impact screen* lorsque le ballon arrivait sur le poteau ou hors du cadre, le programme enregistrerait par exemple cela comme un tir valide mais non réussi. Cela respectait ainsi l'objectif de se rapprocher au maximum de la réalité puisque prendre à contre-pied le gardien mais rater la cible demeure un échec pour le tireur. Pour aider le participant, un feedback visuel était présent pour lui transmettre l'information du but ou

non, ainsi que le lieu de l'impact du ballon. Sur l'écran s'affichait le texte suivant : « GOOOOOOOAL ! » (si la condition était respectée) et une marque (verte si but, rouge si échec) sur la zone atteinte (Figure 4). Ce taux de réussite permettait au logiciel de programmation de valider, ou non, un seuil de réussite selon le pourcentage de penaltys réussis et de participer donc au bon déroulement de l'expérience.



Figure 4. Situation après la réussite d'un tir au but.

#### 2.4 Description des instruments de recherche

L'enregistrement des données s'est donc fait, comme expliqué ci-dessus, à l'aide du logiciel de programmation *IntelliJIDEA*. Il a permis de mettre en place un algorithme qui s'appuyait sur la vitesse de la course d'élan du tireur afin d'offrir un temps de réaction ciblé aux compétences de ce dernier. Comme ce seuil limite, qui se passe entre le moment du plongeon du gardien et le contact pied-ballon, est calculé par rapport à la course d'élan, il a été important de faire respecter le protocole aux sujets concernant la vitesse de course régulière tout le long de l'exercice. Le stimulus visuel est donc dépendant de l'action de joueur et correspond d'une certaine façon à la réalité d'un tir au but. Toutes les mesures (réussite, seuil atteint, zone touchée, ...) étaient enregistrées et récupérables sous format de texte ouvert (.csv) pouvant ainsi être analysées par la suite.

Le logiciel *Motive* rendait possible la capture de mouvements et donc les déplacements du sujet (muni de capteurs), ce qui permettait ensuite au logiciel de programmation de recueillir

les données utiles telles que la course d'élan, le contact pied-ballon, la zone d'impact, ... C'est donc avec ces deux logiciels et un protocole à respecter que l'expérience a pu avoir lieu et offrir un nombre conséquent de données valides et analysables pour répondre aux différentes questions de recherche de ce travail.

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

Après avoir récupéré les données enregistrées sous le format .csv, nous avons utilisé le langage de programmation R pour effectuer les différentes mesures statistiques nécessaires pour l'analyse des résultats. Des tests de distribution à l'aide de « Shapiro-Wilks » ont dû être effectués pour vérifier la normalité, tout comme des analyses classiques sur une « anova two-way » pour les mesures répétées. Ces différents calculs nous ont permis de ressortir des moyennes, des comparaisons et surtout des valeurs  $p$  démontrant si les données comparées étaient différentes de façon significative ou non.

### 3 Résultats

#### 3.1 Résultats des seuils globaux atteints

La figure 5 ci-dessous donne une vue d'ensemble des différents seuils limites atteints par chacun des sujets lors du Pré-Test et du Post-Test. Ce graphique ne prend en compte uniquement les seuils limites avec un taux de réussite supérieur à 50% et cela pour les deux conditions de redirection (LL et RR) réunies. Elle nous permet de constater que sur les 9 sujets, 1 n'a pas réussi à obtenir de meilleurs résultats globaux lors du Post-Test.

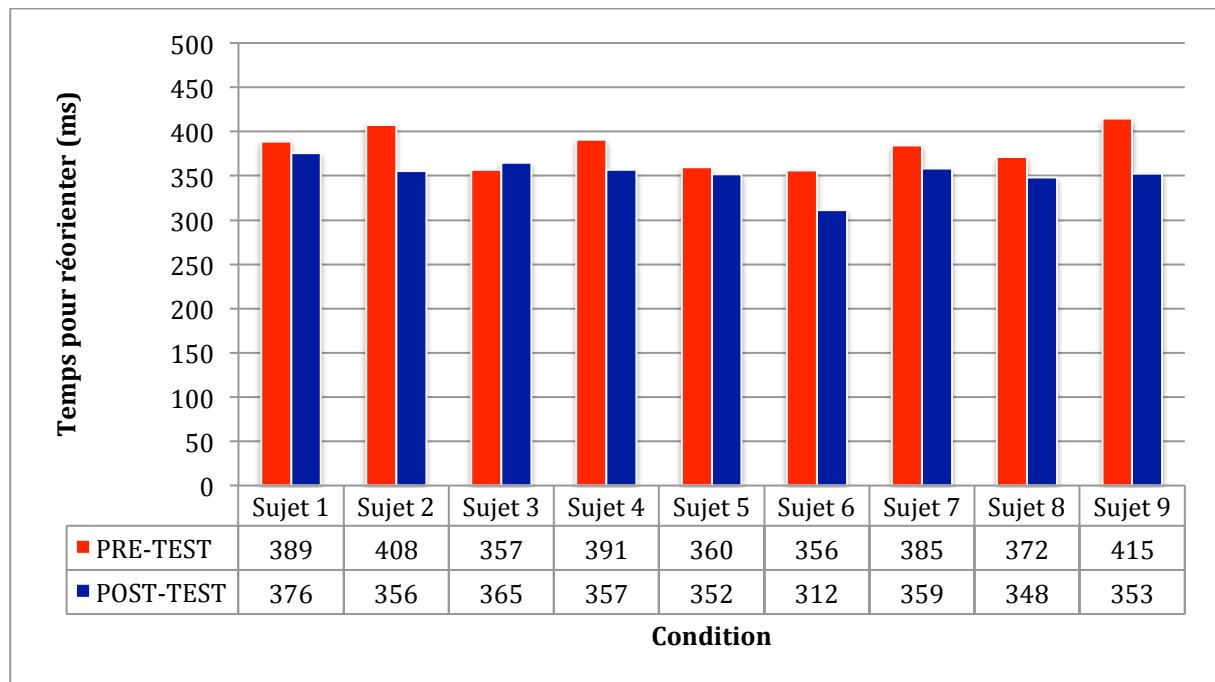


Figure 5. Graphique représentant les seuils globaux atteints lors du Pré-Test et du Post-Test, à un taux de réussite supérieur à 50%.

De manière générale, les seuils limites globaux atteints lors du Pré-Test se situent à une moyenne de 381 ms ( $\pm 21.6$ ) alors que lors du Post-Test on les retrouve à une moyenne de 352.5 ms ( $\pm 17.5$ ) soit une différence de 28.5 ms.

A noter que les données de la figure 5 et 6 possèdent une amélioration significative entre les seuils globaux atteints au Pré-Test et ceux du Post-Test,  $p < 0.05$ .

En ce qui concerne la figure 6, elle représente ces mêmes données et résultats mais de façon différente. Les box plots mettent toujours en évidence les résultats du Pré-Test et du Post-Test

de tous les sujets et de leurs seuils limites atteints avec un taux de réussite supérieur à 50% mais, de manière visuelle, la comparaison devient plus évidente et intuitive.

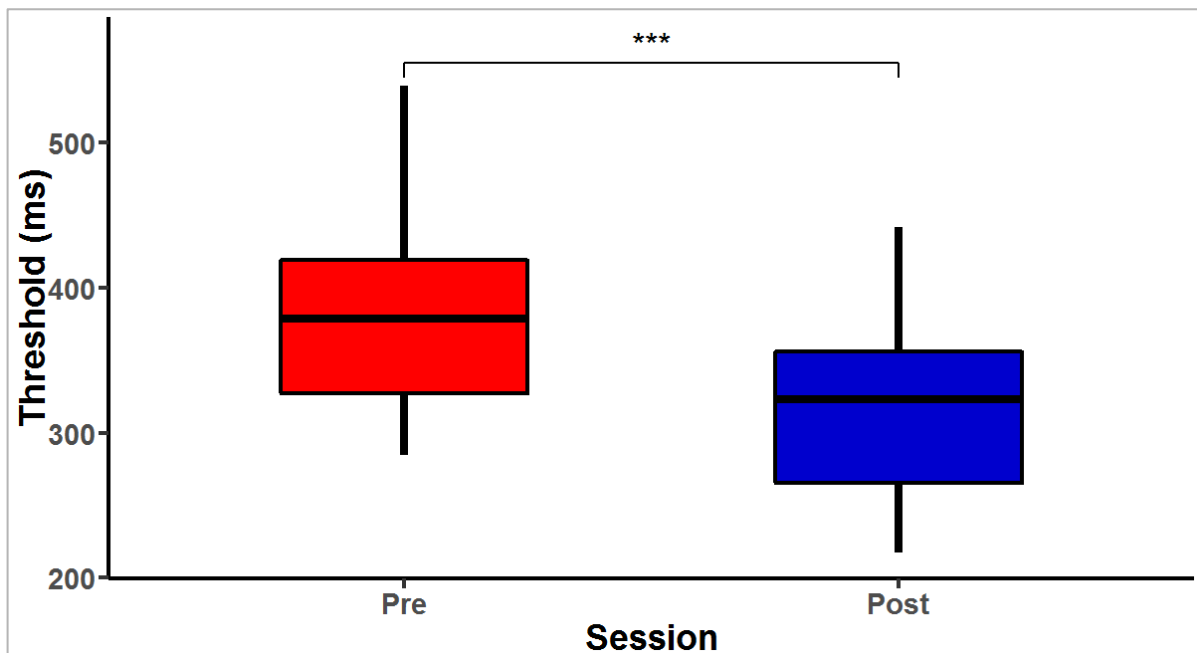


Figure 6. Box plot représentant les seuils globaux atteints lors du Pré-Test et du Post-Test, à un taux de réussite supérieur à 50%.

### 3.2 Résultats des seuils atteints sous la condition LL

Le graphique présent dans la figure 7 ainsi que les box plots présents dans la figure 8 représentent les temps limites atteints par tous les sujets sous la condition LL et avec un taux de réussite de plus de 50%. Pour rappel, la condition LL induit le fait que les participants se sont vus obligés de rediriger leur tir puisque l'instruction reçue et le côté choisi par le gardien étaient tous les deux à gauche. D'un point de vue technique et anatomique, le joueur a donc dû ouvrir son pied (pour les 8 droitiers) ou le fermer (pour le gaucher). On constate qu'un seul sujet n'a pas obtenu un meilleur seuil lors du Post-Test.

La moyenne représentant les seuils limites atteints sous la condition LL lors du Pré-Test est de 402 ms ( $\pm 40.6$ ) et de 362 ms ( $\pm 28.3$ ) pour le Post-Test, donnant une différence de 40 ms. A noter que sous cette condition LL, toutes les valeurs relevées ont donné une amélioration significative du seuil limite avec 50% de réussite entre le Pré-Test et le Post-Test,  $p < 0.05$ .

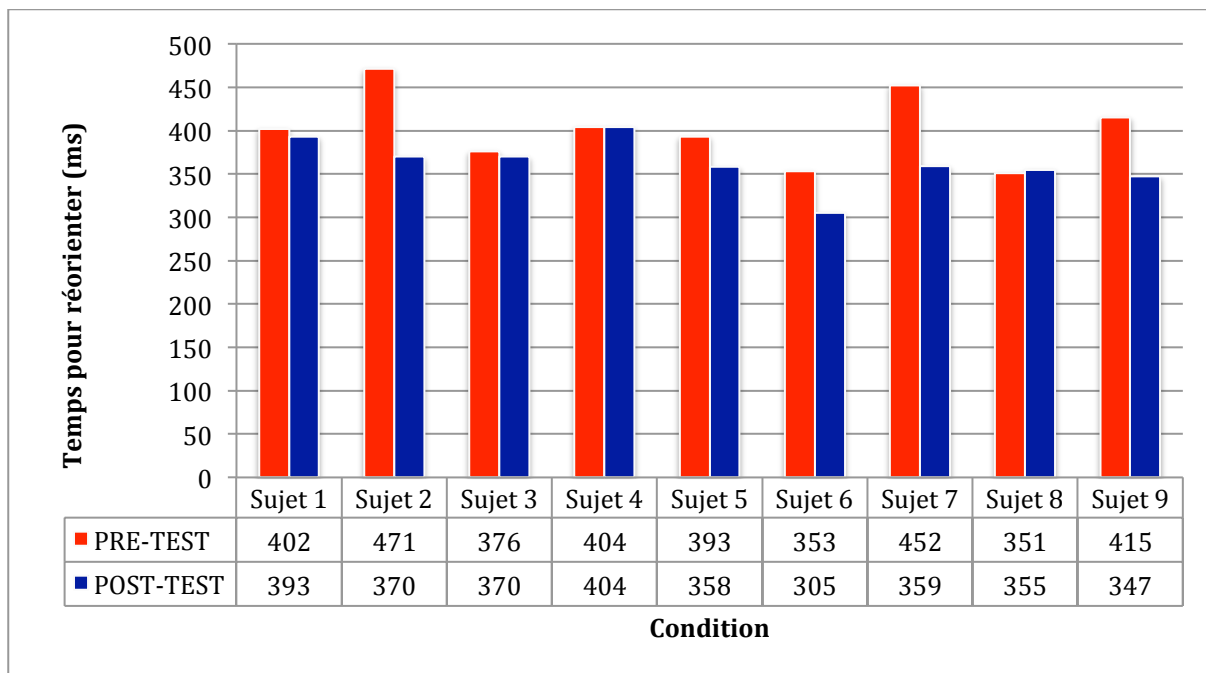


Figure 7. Graphique représentant les seuils atteints sous la condition LL lors du Pré-Test et du Post-Test, à un taux de réussite supérieur à 50%.

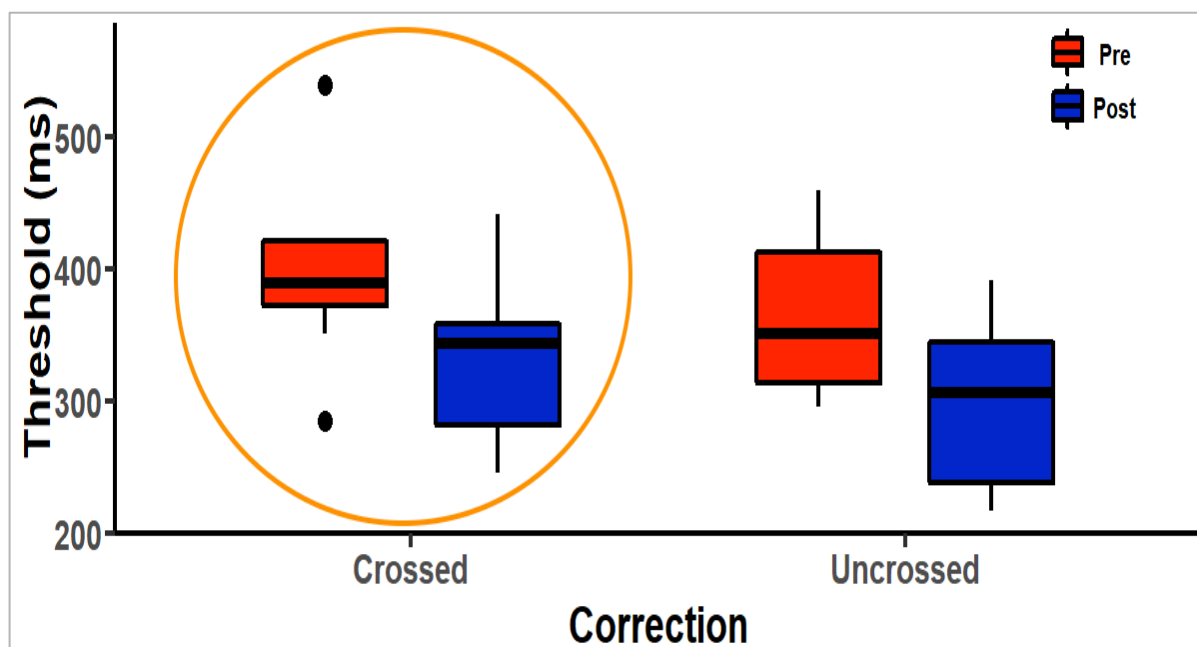


Figure 8. Box plot représentant les seuils atteints sous la condition LL lors du Pré-Test et du Post-Test, à un taux de réussite supérieur à 50%.

### 3.3 Résultats des seuils atteints sous la condition RR

Au travers des figures 9 et 10, nous pouvons observer les données de tous les sujets par rapport à leurs seuils limites atteints sous la condition RR et avec un taux de réussite supérieur à 50%. La condition RR est caractérisée par le fait que le tireur avait l'instruction de frapper à droite alors que le gardien plongeait aussi de ce côté. Il a donc dû réorienter sa frappe en fermant son pied (pour les 8 droitiers de l'échantillon) ou en l'ouvrant (pour le seul gaucher). 3 sujets n'ont pas réussi à réaliser de meilleurs résultats lors du Post-Test.

Concernant la moyenne des seuils atteints sous la condition RR et à plus de 50% de réussite, elle se trouve à 360 ms ( $\pm 32$ ) pour le Pré-Test et à 343 ms ( $\pm 18.5$ ) pour le Post-Test, donnant ainsi une différence de 17 ms.

Sous cette condition et avec un taux de réussite de 50% au moins, les données de tous les sujets ont amené une amélioration significative,  $p < 0.05$ , entre le Pré-Test et le Post-Test.

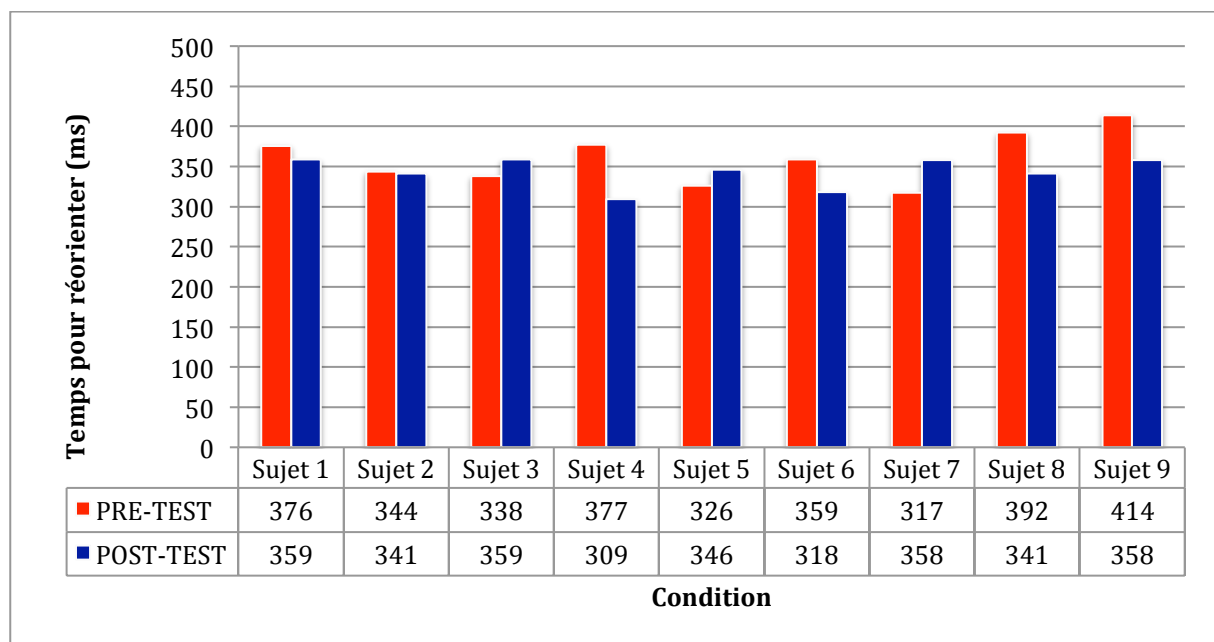


Figure 9. Graphique représentant les seuils atteints sous la condition RR lors du Pré-Test et du Post-Test, à un taux de réussite supérieur à 50%.

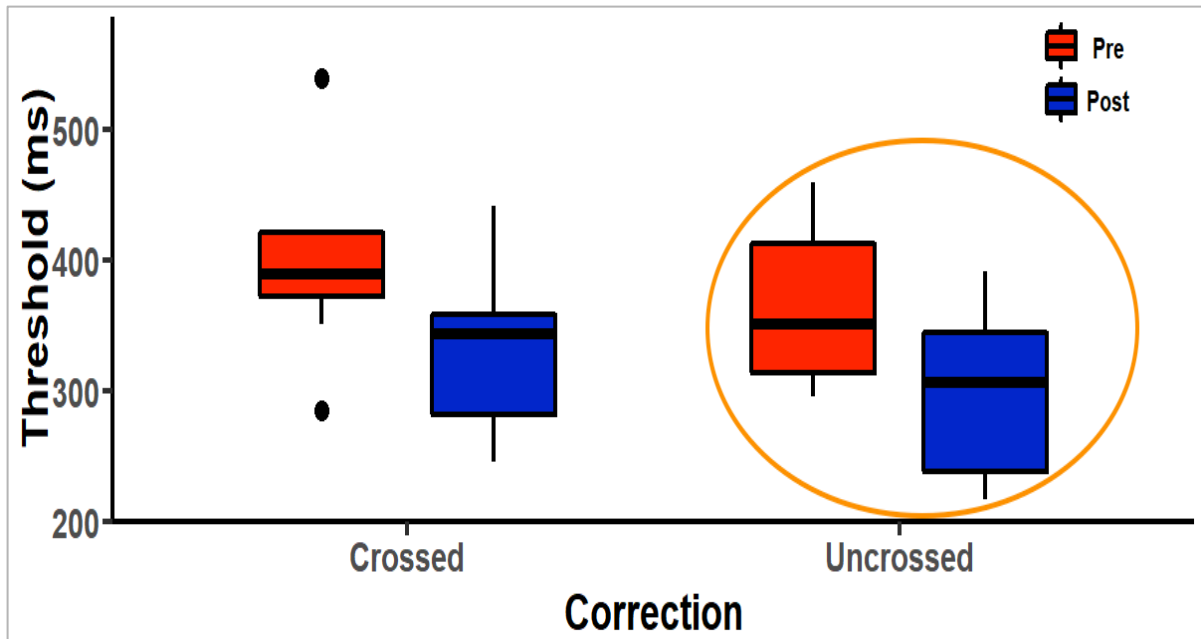


Figure 10. Box plot représentant les seuils atteints sous la condition RR lors du Pré-Test et du Post-Test, à un taux de réussite supérieur à 50%.

### 3.4 Résultats des taux de réussite

La figure 11 permet de constater la différence du taux de réussite atteint par les sujets entre les Pré-Test et le Post-Test. Les données calculées pour établir ces taux de réussite concernent uniquement celles récoltées lors des conditions nécessitant une redirection, soit LL et RR. Ce graphique représente donc l'amélioration du taux de réussite grâce à la phase d'entraînement située entre le Pré-Test et le Post-Test et ce pour tous les sujets.

La moyenne du taux de réussite atteint par les sujets lors du Pré-Test est de 50.9% alors qu'il s'élève à 69.8% lors du Post-Test, apportant donc une augmentation de 18.9%. Cette différence révèle une amélioration significative,  $p < 0.05$ , entre le Pré-Test et le Post-Test.

Cependant, la différence du taux de réussite entre les conditions LL et RR ne peut pas être définie comme significative,  $p > 0.05$ .

La figure 12 représente un autre graphique montrant l'amélioration de la réussite en prenant pour chaque participant le seuil auquel il avait 50% de réussite dans la session Pré-Test (50% représentés par la ligne rouge en pointillés) et en calculant le pourcentage de réussite avec la même valeur de seuil dans la session Post-Test (box plot en bleu).

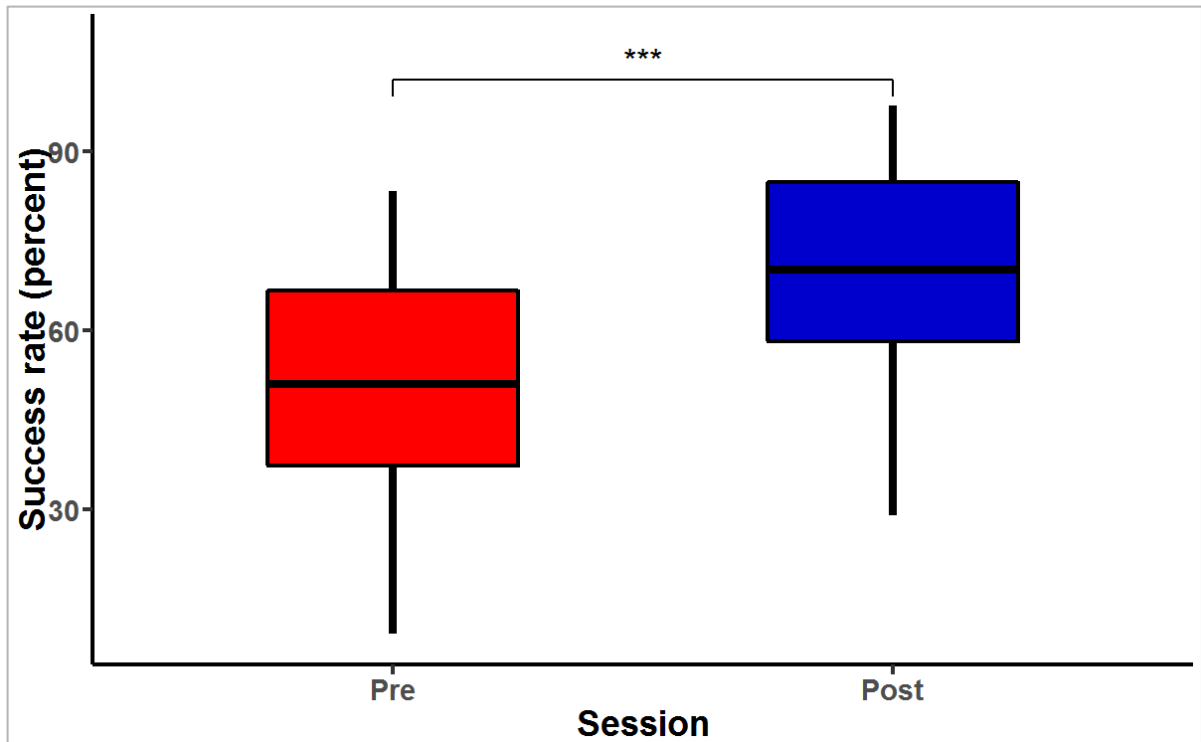


Figure 11. Box plot représentant le taux réussite atteint sous les conditions LL et RR (redirection) lors du Pré-Test et du Post-Test.

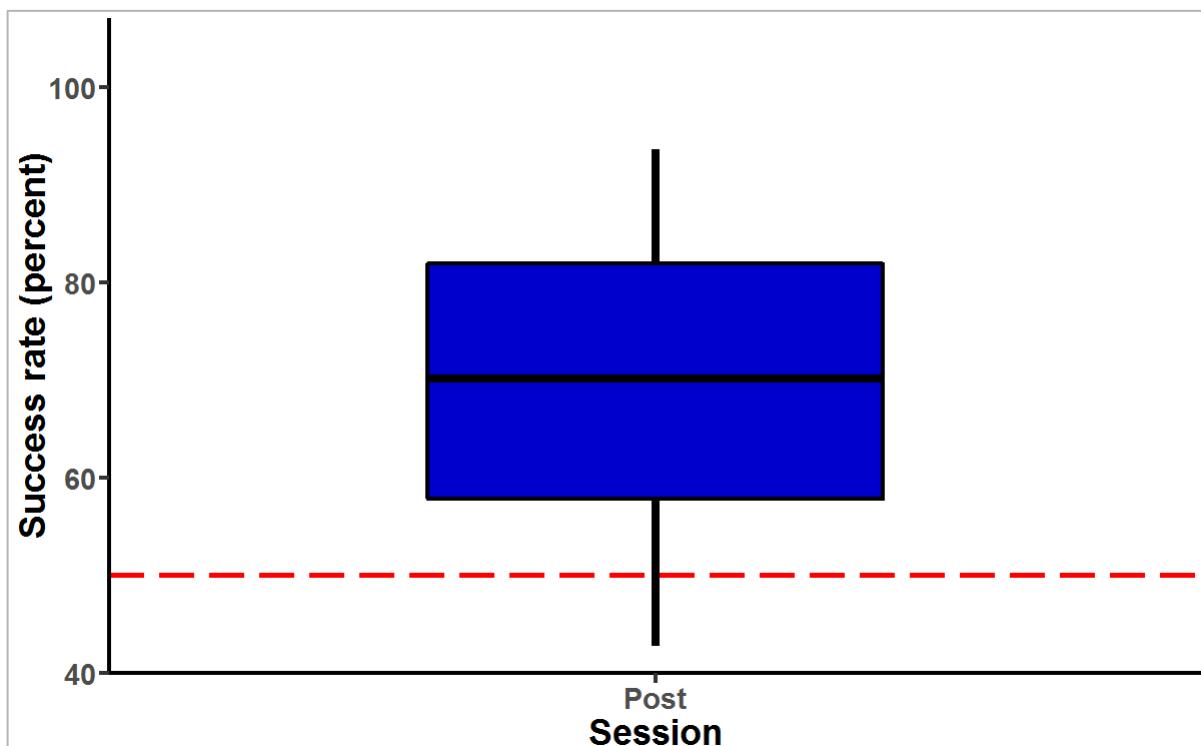


Figure 12. Box plot représentant le taux de réussite atteint au Post-Test sur le seuil atteint lors du Pré-Test avec 50% de réussite (rouge).

### 3.5 Résultats de la phase d'entraînement

Les figures suivantes représentent les améliorations individuelles de deux sujets sur leur seuil minimal et leur taux de réussite atteint lors du Post-Test et lorsqu'il devaient réorienter leur penalty. Sur les figures 13 et 15 nous avons pu observer les améliorations sous la condition RR, et sur les figures 14 et 16 celles sous la condition LL.

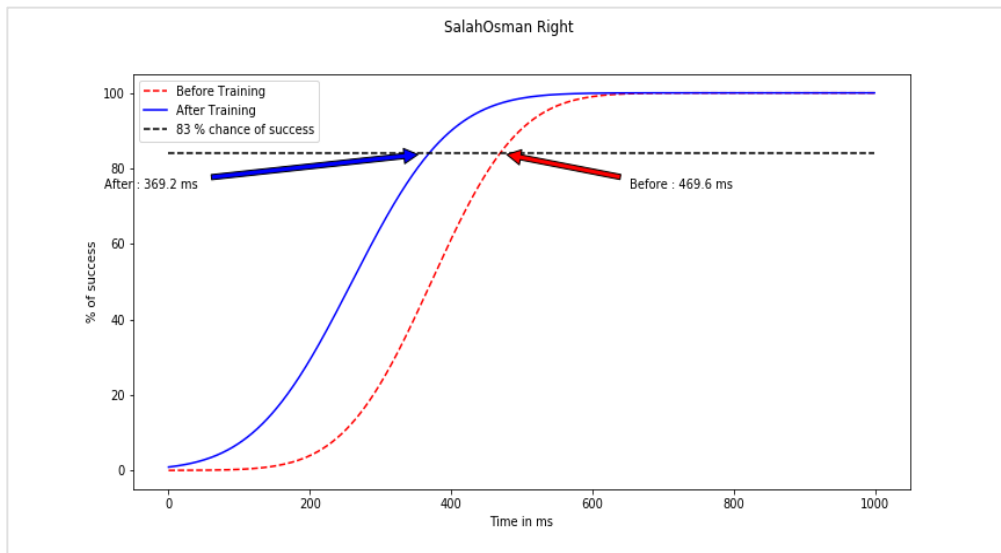


Figure 13. Représentation graphique de l'amélioration du seuil minimal et du taux de réussite après le Post-Test sous la condition RR d'un sujet unique.

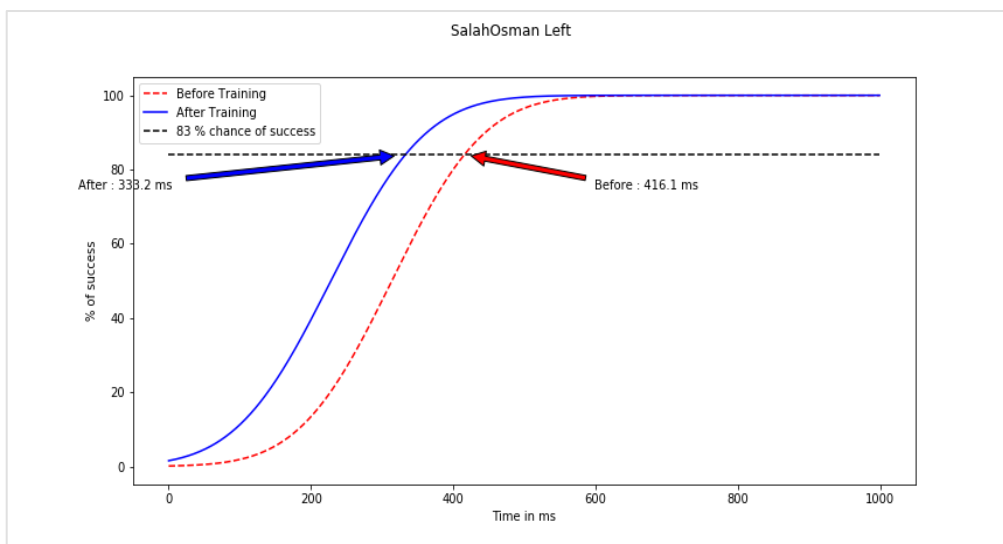


Figure 14. Représentation graphique de l'amélioration du seuil minimal et du taux de réussite après le Post-Test sous la condition LL d'un sujet unique.

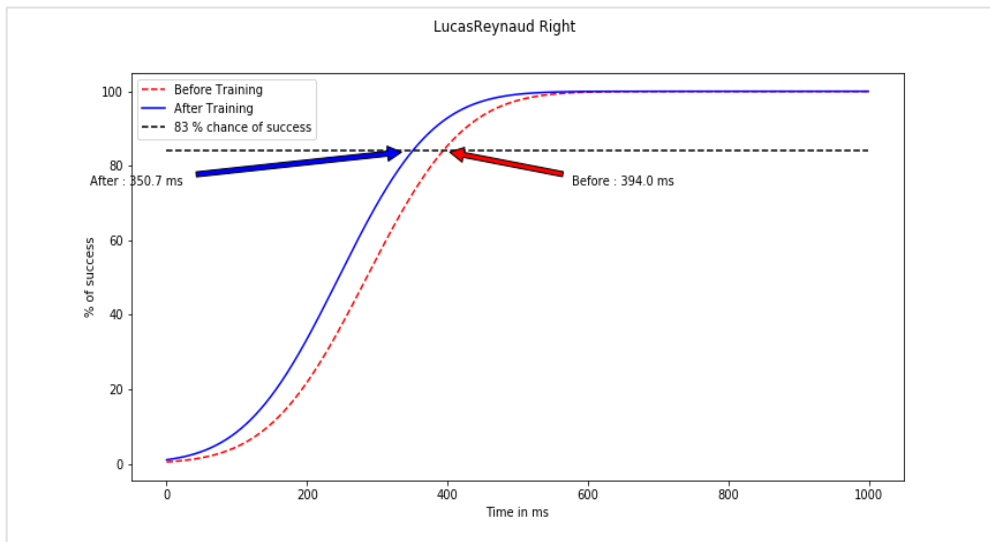


Figure 15. Représentation graphique de l'amélioration du seuil minimal et du taux de réussite après le Post-Test sous la condition RR d'un sujet unique.

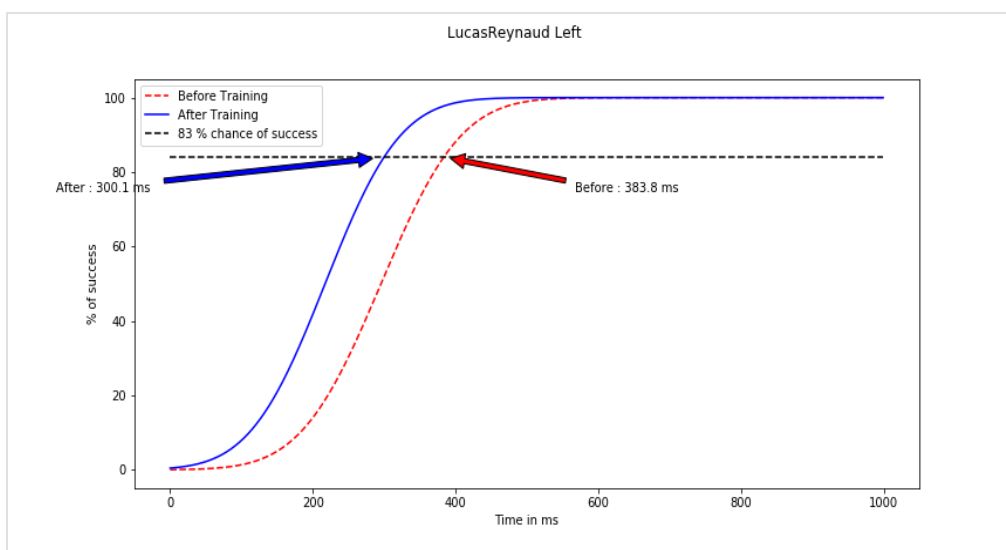


Figure 16. Représentation graphique de l'amélioration du seuil minimal et du taux de réussite après le Post-Test sous la condition LL d'un sujet unique.

## 4 Discussion

### 4.1 Discussion et interprétation des résultats

Ce travail nous a permis d'analyser les différents résultats concernant les seuils minimaux, le taux de réussite ainsi que leur amélioration après une phase d'entraînement. En mettant nos chiffres en relation avec les résultats trouvés lors d'autres études (Morya et al., 2003 ; Van der Kamp, 2006 ; Bowtell et al., 2009 ; Rao, 2019), nous avons pu comparer et discuter des différences ou similitudes présentes. Pour rappel, ces différentes études ont pu établir un seuil limite moyen se situant entre 300 et 400ms. Ce travail nous a permis de confirmer ce constat et de répondre à notre première question de recherche (i) puisque comme nous l'indiquent les résultats de la figure 5, un seuil global requis lors de la redirection a été estimé à 352.5 ms ( $\pm 17.5$ ) avec un taux de réussite supérieur à 50%. En comparant notre résultat à celui déterminé par Rao (2019) dans son travail similaire au nôtre, nous avons pu constater qu'il se situait plus haut (310 ms  $\pm 76.08$ ). En revanche, nous avons remarqué un écart-type plus faible des résultats de notre groupe de sujets et cela pourrait être expliqué par la méthodologie plus précise et plus homogène utilisée et rendue possible par la prise en compte de la course d'élan. Cette différence a certainement pu avoir une influence sur l'obtention de notre seuil limite plus haut. Mais de façon plus globale, notre résultat du seuil à 352.5 ms ( $\pm 17.5$ ) se trouve dans la même zone estimée par les différentes études, c'est-à-dire entre 300 et 400 ms. D'autres résultats plus détaillés ont pu ressortir et ont pu être comparés afin d'affirmer certaines connaissances et répondre aux différentes questions de recherche.

**4.1.1 Analyse des résultats des seuils minimaux.** En observant plus en détails les résultats des seuils de redirection lors des Pré-Test et Post-Test, nous avons pu répondre à la deuxième question de recherche (ii). En effet, en prenant tout d'abord les valeurs globales, nous avons observé une amélioration significative,  $p < 0.05$ , entre le seuil de 381 ms ( $\pm 21.6$ ) du Pré-Test et celui de 352.5 ms ( $\pm 17.5$ ) du Post-Test.

Nous avons ensuite aussi pu relever une amélioration du seuil lors des conditions LL et RR. Lorsque les tireurs se trouvaient en situation LL, le seuil requis pour la réorientation a été calculé à 402 ms ( $\pm 40.6$ ) au Pré-test et à 362 ms ( $\pm 28.3$ ) au Post-Test. Cette différence de 40 ms s'est révélée significative,  $p < 0.05$ , tout comme pour les résultats en condition RR : seuil limite à 360 ms ( $\pm 32$ ) pour le Pré-Test et à 343 ms ( $\pm 18.5$ ) pour le Post-Test. Malgré le fait qu'un sujet n'ait pas connu d'amélioration en Post-Test (figure 5), ces résultats prouvent tout

de même qu'un entraînement spécifique apporte une amélioration du seuil requis lors de la redirection du tir au but chez un footballeur et confirment les conclusions tirées dans le travail de Rao (2019).

En revanche, en comparant les valeurs des conditions LL et RR entre elles, et ce lors du Pré-Test ou du Post-Test, aucune différence significative n'a pu être relevée,  $p > 0.05$ . Il n'existe donc pas de preuves permettant d'établir le fait qu'une ouverture du pied ou une fermeture du pied soit plus efficace lors d'un tir au but. Ce constat permet donc de répondre, par la négative, à la troisième question de recherche de ce travail (iii).

**4.1.2 Analyse des résultats du taux de réussite.** Au travers de nos résultats nous avons pu observer qu'à la fin des trois séances un taux de réussite moyen de 69.8% a été atteint par nos différents footballeurs. Il est intéressant de comparer ce taux à celui de 70-80% constaté dans la littérature (Kuhn, 1988 ; Morya et al., 2003 ; Morya et al., 2005 ; Jordet et al., 2007). En effet, il correspond aux valeurs trouvées dans ces études mais reste tout de même faible, notamment lors du Pré-Test où il est descendu à 50.9%. Il ne faut toutefois pas oublier que durant ce travail seul la stratégie dépendante du gardien a été adoptée et la procédure obligeait la réalisation de tirs au but dans des temps de réaction très bas. En prenant ces paramètres en compte, nous pouvons donc estimer que le taux de réussite calculée dans ce travail correspond à la réalité démontrée dans les études et surtout qu'une stratégie dépendante du gardien comporte le même taux de réussite que la moyenne globale des penaltys. Ils demeurent cependant plus bas que ceux découverts lors du travail de Rao (2019), qui ont atteint les 80%.

Afin de pouvoir répondre à la question de recherche qui concerne l'influence d'un entraînement sur l'amélioration du taux de réussite (ii), nous avons comparé les résultats du Pré-Test à ceux du Post-Test. Le résultat est semblable à celui concernant les seuils limites requis puisqu'avec un taux de réussite de 50.9% lors du Pré-Test et de 69.8% pour le Post-Test (figure 11), l'amélioration de 18.9% s'est avérée significative,  $p < 0.05$ . Nous pouvons donc prouver, avec cette nette amélioration, qu'un entraînement adapté permet aussi d'augmenter le taux de réussite d'un joueur lors de l'exercice du tir au but.

Cependant, comme lors de l'analyse des seuils minimaux de redirection, aucune différence significative n'a pas pu être observée,  $p > 0.05$ , concernant le taux de réussite sous condition LL et RR. Nous pouvons donc consolider la réponse précédente concernant la troisième

question (iii) en affirmant le fait qu'ouvrir son pied au dernier moment n'est pas plus efficace que de le fermer, et inversement.

#### **4.2 Discussion des résultats selon les hypothèses**

Au début de ce travail, certaines hypothèses ont été évoquées et ont pour la plupart été confirmées. Tout d'abord, ce travail de recherche a bel et bien établi un seuil minimal requis qui correspond aux résultats des différentes études déjà réalisées sur ce sujet (Morya et al., 2003 ; Van der Kamp, 2006 ; Bowtell et al., 2009 ; Rao, 2019). Ce seuil limite situé à 352.5 ms ( $\pm 17.5$ ) coïncide parfaitement avec l'estimation de 300-400 ms réalisée par ces études, mais demeure cependant plus haut que la valeur établie par le travail de Rao (2019). Nous avons émis l'hypothèse qu'un protocole différent pourrait quelque peu influencer les résultats et c'est probablement ce qu'il s'est passé. Ensuite nous avons expliqué que selon le niveau de départ du sujet, des améliorations individuelles importantes pourraient avoir lieu après une phase d'entraînement. Cette hypothèse peut être confirmée par les différents résultats obtenus et observée dans les figures 12 à 15, qui présentent notamment les améliorations significatives entre le Pré-Test et le Post-Test de deux sujets analysés individuellement.

En revanche, en nous intéressant à la différence entre la condition en ouverture de pied et celle en fermeture, nous avons supposé que la condition la plus efficace serait celle en ouverture de pied. Les résultats ont cependant démontré qu'il n'existe aucune différence significative entre ces deux conditions, que ce soit pour le seuil minimal ou le taux de réussite.

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

Ce travail de recherche réalisé à l'Université de Fribourg n'est pas le seul à avoir utilisé cette méthodologie en laboratoire pour établir un seuil minimal de redirection. Plusieurs travaux de master se sont en effet déjà intéressés à cette thématique (Constantin, 2016 ; Grand, 2016 ; Molisani, 2016 ; Rao, 2019) et ont permis la mise en place d'une méthodologie efficace, mais avec leurs limites. Dans son étude, possédant de grandes similitudes avec la notre, Rao (2019) évoquait la perspective intéressante d'adapter le programme à la course d'élan, permettant ainsi une récolte de données plus précises et moins biaisées. Comme démontré dans ce travail, cette amélioration grâce au logiciel de programmation et son algorithme a permis de consolider l'importance du rôle de la course d'élan puisque les seuils ont été légèrement revus à la hausse. Ceci rend les données obtenues plus précises et apporte une force notable à notre

expérience. De plus, l'interface graphique, la présence d'un gardien sous forme d'avatar, l'utilisation de feedback visuels pour la zone atteinte ainsi que la notion de challenge ont permis aux participants d'exercer les tirs au but dans des conditions réalistes et ludiques. Des avantages sont aussi présents au travers de la structure et du protocole utilisés lors de cette étude, comme par exemple le nombre conséquent de 100 tirs ou l'espace homogène et court entre chacune des trois séances (2 à 3 jours). Finalement, la complexité et l'efficacité de l'instrument de recherche (le logiciel de programmation *IntelliJIDEA*) ont aussi apporté une plus-value à ce travail. En plus d'avoir permis d'instaurer le facteur de la course d'élan dans le calcul du seuil minimal de redirection, cet instrument a pu ressortir, sur une même séance, de nombreuses données pour les différentes questions de recherche (seuils requis, différence LL et RR, taux de réussite, zone atteinte, vitesse de la course d'élan, ...). Toutes ces améliorations apportées à la méthodologie de cette thématique ont rendu cette étude précise et crédible.

A noter que durant toute la durée des séances, les sujets étaient équipés de capteurs aux chevilles et aux genoux, permettant ainsi de mesurer les angles du pied lors de la frappe et d'enregistrer ces données. Comme proposé dans le travail de Rao (2019), ces données récoltées pourraient être utilisées dans d'autres travaux et servir de base déjà existante pour une nouvelle expérience.

Cependant, comme toute étude, ce travail comporte quelques faiblesses ou limites. Tout d'abord, même si tous les efforts ont été entrepris pour rendre l'expérience en laboratoire la plus proche de la réalité, elle n'égale pas totalement une étude de terrain avec ses conditions spécifiques comme le gazon, la distance du but, un gardien actif avant la frappe, ... Sur cette même idée, ce travail de recherche n'a pas non plus pris en compte les facteurs émotionnels externes présents lors d'un tir au but, tels que les supporteurs, l'enjeu ou d'autres, qui influencent considérablement l'approche du tireur et donc son potentiel seuil limite. Durant les séances de tirs au but, nous avons observé que certains sujets, de par leur âme de compétiteur, se sont pris au jeu du challenge avec le gardien et ont eu tendance, à quelques reprises, d'adopter une stratégie d'anticipation, biaisant ainsi quelque peu certaines données. Notre rôle à ce moment-là a été de leur rappeler qu'il fallait accepter la tâche et l'échec lors de seuils compliqués à atteindre. L'échantillon plutôt faible de participants ( $n=9$ ) peut aussi être relevé comme une limite de cette expérience mais s'explique notamment par le fait qu'il

était difficile de trouver un nombre important de joueurs de ce niveau dans le canton avec des disponibilités sur une semaine.

#### **4.4 Perspectives futures**

Comme expliqué précédemment, une étude de terrain sur cette thématique pourrait prendre tout son sens malgré la complexité de la tâche. Réussir à réaliser le même protocole mais sur un terrain de football permettrait de comparer les résultats en réalité avec ceux obtenus de manière informatique (joystick) ou en laboratoire (réalité virtuelle). La mise en place et l'organisation d'une telle étude de terrain ouvrirait la possibilité d'améliorer d'autres conditions comme par exemple le nombre de tirs et la répartition des séances. Nous pourrions par exemple imaginer qu'à la fin de chaque entraînement, les sujets, déjà sur place, effectueraient une dizaine de penaltys dans les conditions que nous connaissons et ceci durant 1 ou 2 mois. De cette manière, nous pourrions avoir un meilleur aperçu de l'amélioration de tous les participants sur le long terme et récolter des données de seuils limites lors d'un exercice réalisé en condition réelle.

Un autre aspect pourrait être pris en compte dans les futurs travaux focalisés sur ce thème et il s'agit des facteurs émotionnels lors du tir au but. Nous pourrions envisager de les introduire lors d'une étude en laboratoire (bruit de spectateurs derrière le but, un enjeu, ...) tout comme lors d'une étude de terrain où les acteurs externes seraient déjà sur place.

Finalement, grâce aux différents capteurs portés par les participants lors de l'expérience, notre travail a permis de récolter des mesures d'angles concernant la position des pieds et des genoux lors des frappes. Un approfondissement de ces données, associé à un protocole spécifique, pourrait amener des réponses plus précises quant aux possibles différences entre les conditions LL/RR et pourrait peut-être permettre de savoir si une ouverture ou fermeture du pied est plus efficace.

## 5 Conclusion

Ce travail de recherche s'est intéressé à la stratégie dépendante du gardien utilisée par de nombreux footballeurs en analysant un facteur important et influent : le seuil limite de redirection. En utilisant une méthodologie et un protocole amélioré, l'expérience s'est rapprochée au maximum de la réalité d'un penalty afin de proposer des résultats pertinents. Cette étude, basée sur un échantillon homogène, a pu établir un seuil minimal requis lors de la réorientation d'un tir au but pour des footballeurs de 2<sup>ème</sup> ligue inter et 1<sup>ère</sup> ligue. Ce seuil limite, avec plus de 50% de taux de réussite, se situe à 352.5 ms ( $\pm 17.5$ ) et permet de constater que grâce à un entraînement les sujets ont amélioré de façon significative la valeur de 381 ms ( $\pm 21.6$ ) obtenue lors du Pré-Test. De plus, l'amélioration observée sous condition LL et sous condition RR accentue et confirme les avantages de l'entraînement dans ce genre de situation. Les bienfaits de cette phase se sont aussi ressentis lors de l'analyse du taux de réussite puisque une amélioration conséquente du pourcentage de penaltys transformés entre le Pré-Test et le Post-Test a été constatée chez tous sujets. Il est en effet passé de 50.9% à 69.8%. Ces conclusions nous ont permis de répondre aux deux premières questions de recherche de ce travail (i) et (ii), et offrent aux différents acteurs du monde footballistique, professionnels ou amateurs, l'opportunité d'utiliser ces connaissances dans le but d'améliorer leurs stratégies de tirs au but et leur efficacité.

La dernière question de recherche (iii) focalisée sur la différence de redirection entre la condition LL et RR n'a malheureusement pas pu être démontrée durant cette étude. Les taux de réussite ainsi que les seuils limites n'ont pas révélé de différence significative entre une ouverture de pied ou une fermeture,  $p > 0.05$ . Cette thématique pourrait être développée de manière plus approfondie en analysant par exemple les angles des membres inférieurs lors des tirs dans chaque condition. Mais d'un point de vue statistique, aucune différence n'a été observée.

En conclusion, la prise en compte de la course d'élan dans notre méthodologie a quelque peu influencé les données mais a surtout confirmé les résultats similaires établis dans le travail de master de Rao (2019) ainsi que ceux présents dans la littérature (Morya et al., 2003 ; Van der Kamp, 2006 ; Bowtell et al., 2009).

## Bibliographie

- Botwell, M., King, M.A. & Pain, M.T.G. (2009). Analysis of the keeper-dependent strategy in the soccer penalty kick. *International Journal of Sports Science and Engineering*, 3(2), 93-102.
- Bar-Eli, M., Azar, O. H., Ritov, I., Keidar-Levin, Y., & Schein, G. (2007). Action bias among elite soccer goalkeepers: The case of penalty kicks. *Journal of Economic Psychology*, 28(5), 606-621. <https://doi.org/10.1016/j.joep.2006.12.001>
- 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>
- 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>
- FIFA.com. (s.d.). Loi 14 Coup de pied de réparation. Consulté le 7 décembre 2019, à l'adresse [https://fr.fifa.com/mm/document/afdeveloping/refereeing/law\\_14\\_the\\_penalty\\_kick\\_fr\\_47370.pdf](https://fr.fifa.com/mm/document/afdeveloping/refereeing/law_14_the_penalty_kick_fr_47370.pdf)
- FIFA.com. (2012). The history of the penalty. Consulté le 7 décembre 2019, à l'adresse <https://www.fifa.com/news/the-history-the-penalty-1715302>
- Franks, I. M., & Harvey, T. (1997). Cues for goalkeepers: Hightech methods used to measure penalty shot response. *Soccer Journal*, 42, 30-38.
- 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.

- 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>
- 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*, 489-492.
- Masters, R.S.W., Van der Kamp, J., & Jackson, R.C. (2007). Imperceptibly Off-Center Goalkeepers Influence Penalty-Kick Direction in Soccer. *Psychological Sciences*, 18(3), 222-223. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01878.x>
- McGarry, T., & Franks, I. M. (2000). On winning the penalty shoot-out in soccer. *Journal of Sports Sciences*, 18 (6), 401-409. <https://doi.org/10.1080/02640410050074331>
- 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.
- 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.
- Morya, E., Bigatao, H., Lees, A. & Ranvaud, R. (2005). Evolving penalty kick strategies: World Cup and club matches 2000-2002. *Science And Football Congress*, 5, 237-242.
- Noël, B., Furley, P., Van der Kamp, J., Dicks, M., & Memmert, M. (2015). The development of a method for identifying penalty kick strategies in association football, *Journal of Sports Sciences*, 33(1), 1-10. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.926383>
- 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>

- Rao, R. (2019). *Calcul des seuils de redirection minimale lors de séances de tirs au but chez des adultes évoluant entre la 2e et la 1<sup>ère</sup> ligue Suisse* (travail de master, Université, Fribourg, Suisse). [https://doc.rero.ch/record/327808/files/TM\\_Rao\\_Riccardo.pdf](https://doc.rero.ch/record/327808/files/TM_Rao_Riccardo.pdf)
- 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>
- Schwarz, W. (2011). Compensating tendencies in penalty kick decisions of referees in professional football: Evidence from the German Bundesliga 1963–2006. *Journal of Sports Sciences*, 29(5), 441-447. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.538711>
- Tonnetti, B. (2017). *Entraînement vidéo pour améliorer la performance des gardiens de but lors des tirs au but* (travail de master, Université, Fribourg, Suisse). [https://doc.rero.ch/record/305601/files/Masterarbeit\\_Tonnetti\\_Benoit.pdf](https://doc.rero.ch/record/305601/files/Masterarbeit_Tonnetti_Benoit.pdf)
- 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>

## Remerciements

Je tiens à adresser mes plus sincères remerciements aux personnes suivantes, qui ont participé au bon déroulement et à la réalisation de ce travail de recherche.

- ❖ Un merci particulier au Prof. Jean-Pierre Bresciani pour sa disponibilité tout au long de cette étude et pour ses précieux conseils.
- ❖ Un grand merci au Dr. Jean-Luc Bloechle qui a consacré beaucoup de temps et d'énergie à la réalisation du protocole de l'expérience. Son suivi informatique m'a été d'une grande utilité.
- ❖ Un merci aussi à tous les participants qui ont accepté de prendre un peu de leur temps et de collaborer à la réalisation de ce travail, tout en faisant preuve de sérieux et en jouant le jeu.
- ❖ Je remercie finalement Nathanaël Moulin pour sa relecture du travail.