

La réalité augmentée au service des tirs au but dans le football

Seuil de temps permettant la réorientation d'un tir au but dans la direction opposée au plongeon du gardien

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

déposé par

Dylan Simoni

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, mars 2023

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail de master. Leur apport et leur soutien dans les démarches afin que ce projet se déroule dans les meilleures conditions possible ont été fondamentaux et très appréciés.

Je remercie particulièrement les trois membres du corps professoral de l'Université de Fribourg qui m'ont épaulé. En premier lieu, mon référent, le Professeur Jean-Pierre Bresciani, pour m'avoir donné la possibilité de faire une étude scientifique dans le cadre du football, un sport qui me tient à cœur, et pour son appui bienveillant. Grâce à son réseau de contacts et à son travail dans les coulisses, le projet a pu être lancé et terminé idéalement. Je remercie aussi mon conseiller, le Dr Jean-Luc Bloechle, pour l'accompagnement dans l'étape méthodologique, à commencer par le déplacement à Bâle avec tout l'équipement nécessaire à la prise des mesures, pour le temps investi à m'expliquer le fonctionnement du matériel technologique et pour sa disponibilité à résoudre les problèmes techniques. Enfin, je remercie le Dr Julien Audiffren, pour son aide et ses explications relatives au travail d'analyse des données.

J'adresse un tout grand merci également au FC Bâle, un formidable club de football professionnel, pour la mise à disposition d'une partie de ses installations sportives et de jeunes joueurs prometteurs, ainsi que pour son accueil et l'hébergement occasionnel. Mes remerciements vont en particulier à Gabriel Wüthrich, pour son rôle déterminant dans la promotion du projet auprès des dirigeants du club et dans l'organisation et la planification des séances de tirs au but au travers de la prise de contact avec les différents entraîneurs. Merci aussi à Michael Bauch pour son accueil au « Nachwuchs-Campus Basel » et sa disponibilité lors des sessions de tirs au but. Enfin, merci aux entraîneurs des équipes d'élite juniors du FC Bâle, Jonas Uebersax (U16), Mario Cantaluppi (U17) et Dennis Hediger (U18), pour avoir fait en sorte que les séances de tirs au but avec leurs joueurs se déroulent sans accroc, et aux joueurs d'élite juniors qui ont participé à l'étude.

Merci à tous ceux que je n'ai pas cité, mais qui ont aidé à la réalisation de ce projet.

Résumé

Introduction

Le tir au but a un rôle de plus en plus fondamental dans le football car peu de buts sont marqués durant un match (Morya et al., 2003). Une des stratégies de tir au but que le footballeur peut utiliser est la stratégie dépendante du gardien, selon laquelle le tireur prend en compte les actions du gardien, afin de placer le ballon du côté opposé du but quand il plonge. Le présent travail de fin d'études considère cette stratégie dans le cadre du football d'élite juniors.

Objectif

Le travail a deux objectifs. Le premier est de déterminer le seuil moyen de temps auquel un footballeur d'élite juniors est capable de rediriger son tir au but avec un taux de succès de 50 % lorsqu'il met en pratique la stratégie dépendante du gardien. Le deuxième est de vérifier si ce seuil de temps peut être abaissé grâce à une période d'entraînement de plusieurs semaines.

Méthode

L'étude se base sur l'analyse de 12 sessions de 20 tirs au but chacune, tirés individuellement par des joueurs d'élite juniors du FC Bâle (N=7). Les sessions, caractérisées par l'utilisation de la technologie de la réalité augmentée, sont organisées en 3 séances de tirs au but par semaine pendant 4 semaines, afin de récolter les données de 240 tirs au total.

Résultats

Pour un taux de réussite de 50 %, le seuil moyen de redirection des tirs a été établi à 315,91 ms en session Post, avec une différence significative entre les seuils de redirection des sessions Post et Pré (315,91 ms contre 448,45 ms ; $\chi^2(1) = 26.64$, $p < .001$). Aucun effet principal de la redirection ($\chi^2(1) = 0,0028$, $p > .05$) et aucune interaction entre les deux facteurs ($\chi^2(1) = 0.21$, $p > .05$) n'ont été notés.

Discussion

L'expérience réalisée a précisé la moyenne du seuil de redirection d'un tir au but à 315,91 ms en session Post et démontré qu'une période d'entraînement est efficace pour améliorer la performance des footballeurs aux tirs au but.

Conclusion

La réussite de la stratégie dépendante du gardien durant les tirs au but passe par la connaissance du seuil de redirection du tir et par l'entraînement ciblé des tireurs, afin d'optimiser l'utilisation de la plage de temps à disposition pour la redirection. Il sera important pour les futures études sur le sujet de s'aider du progrès technologique et de toutes les connaissances pouvant influencer sur la réussite du tir du joueur afin de parfaire cette mise à profit.

Table des matières

1 Introduction	5
1.1 Définition du tir au but	5
1.2 Le rôle décisif des tirs au but.....	5
1.3 L'aspect émotionnel	6
1.4 Les stratégies lors d'un tir au but	9
1.5 État des lieux scientifique sur la stratégie dépendante du gardien	11
1.6 Objectif du travail.....	13
2 Méthode.....	15
2.1 Description de l'échantillon	15
2.2 Design de l'étude.....	15
2.3 Description détaillée des méthodes et des instruments de recherche	16
2.4 Analyse statistique des données	22
3 Résultats	24
3.1 Résultats des seuils de redirection.....	24
3.2 Résultats des seuils de redirection croisée et non-croisée des tirs	25
4 Discussion	27
4.1 Discussion par rapport au premier objectif du travail	27
4.2 Discussion par rapport au deuxième objectif du travail	28
4.3 Forces et faiblesses de l'étude	30
5 Conclusion.....	32
Bibliographie.....	34

1 Introduction

1.1 Définition du tir au but

Depuis 1970, les règles du football stipulent que les matchs à égalité dans la phase d'élimination des tournois doivent être décidés par des tirs au but (Jordet et al., 2007). Ces derniers peuvent également avoir lieu pendant un match et un but marqué lors d'un coup de pied de réparation compte comme n'importe quel autre but (Bar-Eli & Azar, 2009).

Le tir au but correspond à un coup de pied sur un ballon immobile (Grant et al., 1998, cité d'après Van Der Kamp, 2006). Il est caractérisé par une approche angulaire du ballon consistant en au moins une foulée, avec un placement du pied d'appui sur le côté et légèrement derrière le ballon. Simultanément, la jambe de frappe est basculée vers l'arrière, et le mouvement vers l'avant de la jambe de frappe est alors initié dans une séquence proximo-distale de la cuisse et de la jambe inférieure. Ensuite, la cuisse commence à décélérer jusqu'à ce qu'elle soit essentiellement immobile au moment du contact avec le ballon. En même temps, la jambe inférieure s'étend vigoureusement autour du genou jusqu'à atteindre une extension presque complète au moment du contact avec le ballon. En conséquence, la vitesse du pied de frappe atteint son maximum juste avant le contact avec le ballon (Lees & Davids, 2002, cité d'après Van Der Kamp, 2006 ; Lees & Nolan, 1998, cité d'après Van Der Kamp, 2006). Selon les lois de l'International Football Association Board, lors d'un tir au but, le gardien de but doit rester sur sa ligne de but, face au tireur, entre les poteaux, jusqu'à ce que le ballon, posé à une distance de 11 m de la ligne du but, ait été botté. Le ballon met entre 300 et 600 ms pour atteindre la ligne de but à partir du moment où il est botté (Bar-Eli & Azar, 2009 ; Morya et al., 2003).

1.2 Le rôle décisif des tirs au but

Les tirs au but ont un rôle prépondérant, que ce soit dans des compétitions nationales ou internationales et à tous les niveaux. En effet, l'un des traits les plus caractéristiques du football est le faible score avec lequel les rencontres se soldent souvent. Les tirs au but servent ainsi à départager les équipes lors de matchs nuls dans des compétitions telles que la Coupe du monde ou la Coupe d'Europe (Morya et al., 2003). Navarro et al. (2013) estiment que dans un match sur cinq de la phase d'élimination de tournois internationaux, tels que la Coupe du monde, la Copa Libertadores sud-américaine et la Ligue des champions européenne, le vainqueur est déterminé par une série de tirs au but. Dans la même lignée, Bar-Eli et Azar (2009) et Morya et

al. (2003) affirment que plusieurs matchs du Championnat d'Europe et de la Coupe du Monde ont été gagnés ou perdus aux tirs au but.

Considérant la rapidité et la précision avec laquelle des footballeurs professionnels peuvent placer le ballon dans le but et le temps requis par un gardien pour atteindre les bords du but, les experts sont souvent d'avis que l'avantage est écrasant pour le tireur de but. Cependant, 18 à 35 % des tirs au but sont manqués lors des matchs officiels (Masters et al., 2007 ; Morya et al., 2003 ; Van Der Kamp, 2006). Marquer des buts depuis le point de penalty n'est donc pas aussi simple qu'on pourrait le croire. De multiples facteurs psycho-physio-biomécaniques entrent effectivement en jeu lors d'un match de football (Morya et al., 2003), notamment la pression psychologique importante à laquelle est soumis le tireur (Van Der Kamp, 2006).

La répétition mentale peut diminuer les effets négatifs de la pression psychologique, mais une condition préalable, nécessaire pour augmenter la probabilité d'une exécution réussie, est la mise en œuvre de la « meilleure » stratégie possible de tir au but (Van Der Kamp, 2006). Cet aspect est traité dans le sous-chapitre 1.4.

1.3 L'aspect émotionnel

En raison de sa nature décisive, le tir au but est l'exemple par excellence d'une situation de haute pression dans le sport (Navarro et al., 2012). Une pression élevée est systématiquement liée à une plus faible performance individuelle en matière de tirs au but (Jordet et al., 2007). Pour Jordet (2009), le sentiment de pression est déterminé par la peur d'obtenir des résultats inférieurs aux attentes lors d'une compétition dont l'importance est perçue comme élevée. Craquer sous la pression est ainsi décrit comme un cas de défaillance de l'autocontrôle suite à une mise en danger de l'ego. Dans cette perspective, le fait d'avoir une très haute estime de soi peut parfois créer une plus grande pression, car les personnes qui ont une bonne opinion d'elles-mêmes ont « plus à perdre » que les autres lorsqu'elles sont confrontées au risque de recevoir une évaluation défavorable (comme lors d'une tentative de but où l'échec est possible ou probable). Des chercheurs, Baumeister et al. (1993, cité d'après Jordet, 2009 ; 1996, cité d'après Jordet, 2009) et Lampird et Mann (2006, cité d'après Jordet, 2009) ont montré que, lorsqu'elles sont exposées à un risque considérable, les personnes ayant une haute estime de soi, ou certaines formes de haute estime de soi, réagissent de manière moins adaptative que celles ayant une faible estime de soi. D'autres chercheurs, Gibson et al. (2002, cité d'après Jordet, 2009) et Baumeister et al. (1985, cité d'après Jordet, 2009), ont montré que le fait de ne pas être favori dans une compétition peut aussi conduire à un niveau plus élevé de pression perçue sur les performances et à une réduction des performances.

Jordet (2009) explique qu'en général on réagit avec colère ou anxiété à tous les événements qui remettent sérieusement en cause l'image qu'on a de soi. Les émotions désagréables enrayent parfois les mécanismes d'autocontrôle et provoquent le désir d'échapper immédiatement à la détresse émotionnelle. Le désir de fuite peut nuire aux performances et, en fin de compte, s'avérer contre-productif. Ce processus de fonctionnement est documenté dans deux études sur la déstabilisation des tireurs sous la pression lors de tirs au but dans le cadre de matchs internationaux. Dans la première étude, Jordet et Hartman (2008, cité d'après Jordet, 2009) constatent en effet que les participants se trouvant dans des situations de très haute pression, autrement dit lorsque la défaite ou la victoire dépend de la réussite d'un tir au but, écourtent significativement les temps de préparation (ce qui pourrait refléter un désir d'en finir avec le tir), qu'ils adoptent davantage de comportements d'évitement, notamment le temps de réponse plus faible, et qu'ils réussissent moins de tirs que les joueurs confrontés à des tirs de moindre pression, autrement dit lorsqu'un tir au but ne conduit pas instantanément à la défaite ou à la victoire. Dans une seconde étude, Jordet note que les joueurs jouissant d'une réputation internationale (définis comme tels car ils ont reçu une ou plusieurs récompenses internationales prestigieuses, comme le titre de « Joueur de l'année de la FIFA », par exemple) obtiennent de moins bons résultats lors des tirs au but décisifs et adoptent davantage de comportements d'autocontrôle trahissant l'envie d'évitement que les joueurs jouissant d'une moins grande notoriété (Jordet, s.d., cité d'après Jordet, 2009). Dans ces deux études, il est démontré que des temps de préparation faibles sont liés à de mauvaises performances, ce qui suggère que ce type d'autocontrôle est potentiellement autodestructeur lors de l'exécution d'un tir au but (Jordet, 2009).

De leur côté, Wood et Wilson (2011) soulignent l'effet perturbateur de l'anxiété sur l'attention visuelle, le contrôle visuo-moteur et le placement du tir lors des tirs au but. Dans leur enquête, l'anxiété s'avère être le principal facteur contribuant à l'échec de la performance. Lorsqu'ils étaient anxieux, les participants montraient un biais attentionnel vers le gardien de but en position centrale. Ce changement de positionnement du regard, induit par l'anxiété, influençait la direction du tir, conduisant à un plus grand nombre de tirs centraux et de tirs sauvés.

En 2012, Navarro et al. examinent l'effet de la pression élevée sur le point de non-retour, ou le temps minimum nécessaire à un tireur pour répondre au plongeon du gardien de but, lors d'un exercice de tirs au but. Le gardien de but se déplaçait d'un côté et les participants disposaient de différents laps de temps pour diriger le ballon vers le côté opposé dans des situations de basse pression, c'est-à-dire dans un laboratoire isolé acoustiquement, ensuite dans des situations de haute pression, c'est-à-dire avec un public participatif. Ils découvrent que la majorité des

participants sont considérablement stressés par la présence du public. Étant donné que dans une tâche de tir au but en conditions réelles le temps nécessaire pour répondre aux indices donnés par le gardien est presque deux fois plus long qu'en conditions d'exercice (Van der Kamp, 2006, cité par Navarro et al., 2012), ils retiennent fort probable que les effets négatifs d'un niveau de pression élevé soient amplifiés dans des conditions réelles de tir au but. Leurs résultats de recherche fournissent donc des preuves solides démontrant l'influence majeure du facteur stress sur les échecs des tirs au but (Navarro et al., 2012).

Un an plus tard, Navarro et al. (2013) décident de se focaliser sur le rôle du gardien de but dans la réussite ou non des tirs au but. Leurs résultats mettent en évidence que la performance du tireur est affectée par la présence du gardien de but, d'autant plus lorsque le tireur sait que le gardien de but est informé de l'endroit où il va tirer. De fait, avec la présence du gardien de but, non seulement le nombre de buts réussis diminuait, mais les tirs étaient aussi plus centrés, c'est-à-dire plus proches du gardien. Même lorsqu'ils recevaient l'instruction de viser une cible prédéfinie, les tireurs au but n'étaient pas capables d'ignorer complètement la présence du gardien de but. Au contraire, ils avaient tendance à frapper le ballon plus près de lui.

Jordet et al. (2007) et Wood et al. (2015) analysent alors des solutions face à la pression psychologique. Jordet et al. proposent des stratégies de contrôle du stress, qui réduisent l'importance perçue des tirs au but et peuvent avoir une influence positive sur le résultat final. Par exemple, les joueurs peuvent utiliser des techniques cognitives pour imaginer et/ou apprendre à se convaincre que les tirs au but sont des tirs d'entraînement, plutôt que des tirs décisifs dans un tournoi majeur. De plus, des routines systématiques avant la performance (pour une application aux tirs au but) peuvent être mises en place pour contribuer à détourner l'attention des joueurs de l'importance du coup de pied et à l'orienter vers des indices physiques et cognitifs plus constructifs et spécifiques à la tâche qui précède le coup de pied. Ils proposent aussi d'utiliser certaines composantes spécifiques aux tirs au but pour simuler les événements vecteurs de stress aussi précisément possible que dans la réalité. Le stress peut ainsi être simulé en augmentant l'importance des tirs d'entraînement (par exemple avec des spectateurs supplémentaires, la publication des résultats dans les médias et la distribution de récompenses ou de punitions) ou en assignant aux joueurs un ordre de tir spécifique qui serait plus ou moins important pour le résultat total (Jordet et al., 2007). Enfin, sur la base de leurs résultats, et ce bien qu'ils soient de nature descriptive et se réfèrent à un faible nombre de joueurs, Jordet et al. suggèrent le profil de footballeur qu'il vaut mieux choisir pour tirer au but. En effet, ils ont découvert que les attaquants ont tendance à marquer plus de buts que les défenseurs, que les

remplaçants sont susceptibles de marquer plus que les titulaires, et que les jeunes joueurs marquent souvent plus que les joueurs plus âgés.

1.4 Les stratégies lors d'un tir au but

D'un point de vue tactique, un joueur peut aborder un tir au but de deux façons, identifiées sous les noms de « stratégie indépendante du gardien » et « stratégie dépendante du gardien » (Morya et al. 2003 ; Van Der Kamp, 2006).

1.4.1 Stratégie du tireur indépendante du gardien

En adoptant cette stratégie, le tireur au but choisit à l'avance l'emplacement de la cible et ne tient pas compte de l'action du gardien pendant l'élan. Le plan concernant la direction du coup de pied peut être basé sur les préférences du tireur au but en matière de coups de pied, sur la connaissance des préférences ou sur la place du gardien dans le but, mais il est important que le tireur ne modifie pas son plan une fois que l'élan a commencé (Kuhn, 1988, cité d'après Van Der Kamp, 2006).

1.4.2 Stratégie du tireur dépendante du gardien

Dans le cas de la stratégie dépendante du gardien, le tireur choisit à l'avance un emplacement temporaire de la cible, mais se garde la possibilité de modifier par la suite la direction que prendra le ballon. Pendant l'élan, le tireur essaie de récolter un maximum d'informations à partir des actions du gardien de but, afin d'anticiper de quel côté il va plonger. Il place alors le ballon du côté opposé (Kuhn, 1988, cité d'après Van Der Kamp, 2006).

En anticipant le côté vers lequel le gardien de but va plonger, le tireur au but entend diminuer la probabilité que le gardien puisse atteindre le ballon et sauver le coup de pied. Cette stratégie utilise les informations qui transparaissent dans les postures et les mouvements du gardien, mais sa mise en œuvre peut également être facilitée par la connaissance du côté préféré du gardien en particulier. La stratégie dépendant du gardien semble d'autant plus avantageuse lorsque le gardien s'engage tôt. C'est peut-être pour cette raison que de nombreux joueurs préfèrent la stratégie dépendante du gardien à la stratégie indépendante du gardien (Van Der Kamp, 2006).

1.4.3 Comparaison entre les deux stratégies

Kuhn et Morya et al. (2003) affirment que la stratégie la plus fréquemment employée lors des tirs au but est celle dépendante du gardien. Kuhn (1988, cité d'après Van Der Kamp, 2006)

avance qu'environ trois quarts des tireurs utilisent cette stratégie de « boucle fermée », mais il ne dit pas si elle est plus efficace que celle indépendante du gardien.

En 2006, Van Der Kamp se penche sur un désavantage de la stratégie dépendante du gardien, qui est un avantage de la stratégie opposée : le temps de visée. Il affirme que la méthode de tir au but dépendante du gardien peut être problématique à cause de l'effort supplémentaire demandé à la faculté de perception (ou d'attention visuelle) pendant l'élan. Pour soutenir son argumentation en faveur de la stratégie indépendante du gardien, il explique que le tir est précédé de la visée et que le regard posé fixement sur l'emplacement de la cible avant le tir au but permet de contrôler avec une meilleure précision le mouvement de tir. En effet, les résultats de ses recherches confirment que la performance lors des tirs au but est susceptible d'être moins bonne dans la condition de stratégie dépendante du gardien. Sachant qu'une diminution du temps disponible pour modifier la direction de tir entraîne un risque plus élevé de tirs non seulement ratés mais aussi mal dirigés, il en conclut qu'une stratégie basée sur l'anticipation des mouvements du gardien de but peut nuire à la performance des tirs au but, principalement en raison du manque de temps pour modifier l'action du coup de pied.

Navarro et al. (2013) appuient les conclusions de Van Der Kamp et affirment également que la stratégie indépendante du gardien est la méthode préférable pour tirer au but. Ils admettent qu'un tir vers le côté opposé au plongeon du gardien de but empêche ce dernier d'intercepter le ballon et réduit l'exigence de précision du coup de pied. Néanmoins, la stratégie dépendante du gardien ne peut réussir que si l'information sur la direction du plongeon du gardien peut être captée relativement tôt dans l'élan. Par conséquent, Navarro et al. (2013) sont d'avis que, contrairement à la stratégie dépendante du gardien, la stratégie indépendante du gardien est l'approche la plus prudente et la plus efficace pour effectuer des tirs au but. La première raison en faveur de leur argumentation est que les gardiens de but n'ont jamais réussi à sauver les tirs dirigés vers l'un des deux coins supérieurs du but, ce qui indique que viser ces zones est gage de réussite. Deuxièmement, sur la base du temps nécessaire aux gardiens de but pour plonger et atteindre les différentes zones du but, les tireurs au but peuvent se permettre de botter vers l'un des coins supérieurs avec une force modérée sans que le gardien de but puisse intercepter le ballon, et ceci, même si le gardien anticipe la direction du ballon avec un début de mouvement aussi tôt que 300 ms avant le contact pied-balle du botteur. Troisièmement, grâce au plus long temps de fixation du regard à leur disposition, les tireurs au but peuvent concentrer leur attention sur des éléments plus importants pour l'exécution précise du coup de pied, comme la cible et le ballon (Navarro et al., 2013).

En 2015, Noël et al. définissent les caractéristiques qui distinguent les stratégies de tir au but et ainsi développent une méthode pour identifier l'utilisation d'une stratégie indépendante ou dépendante du gardien lors des compétitions. Ils listent trois variables (l'attention au gardien, la fluidité de l'élan et la technique de tir) qui, combinées ensemble, permettent de deviner la stratégie de tir dans 92 % des cas. Contrairement à Kuhn (1988, cité d'après Van Der Kamp, 2006), ils observent que 78 % - 85 % des tirs au but sont bottés indépendamment du gardien. De plus, et toujours contrairement aux études antérieures, rien n'indique d'après eux qu'une stratégie est supérieure par rapport à l'autre. Selon Noël et al. (2015), la stratégie indépendante du gardien permet aux joueurs de bénéficier d'un plus grand contrôle (perçu) de la situation, grâce à l'utilisation de routines préalables à la performance (Jackson & Baker, 2001, cité d'après Noël et al.). Cela est particulièrement avantageux pour les tireurs moins expérimentés, puisqu'ils prennent eux aussi souvent part aux séances de tirs au but (ce qui peut expliquer le recours beaucoup plus fréquent à la stratégie indépendante du gardien dans les tournois les plus compétitifs ; Noël et al., 2021). Cependant, les chercheurs admettent que les deux stratégies ont des taux de réussite similaires et suggèrent que les tireurs au but adoptent une stratégie mixte pour tirer bénéfice d'une plus grande difficulté de prévision. En effet, l'utilisation d'une stratégie invariable permet aux gardiens de but de deviner plus facilement la direction du coup de pied. Par conséquent, l'idéal consiste à interchanger les stratégies indépendante et dépendante du gardien, de façon à maximiser les chances de marquer pour les deux stratégies. Dans leur dernière étude (2021), Noël et al. poussent leur analyse plus loin. Les résultats qu'ils obtiennent leur font constater qu'il serait avantageux d'interchanger les deux stratégies de tir au but de façon judicieuse, car si les taux de réussite de l'utilisation de la stratégie indépendante du gardien et de la stratégie dépendante du gardien sont assez similaires (75 % contre 72 %), ils dépendent toutefois fortement du comportement du gardien de but. En effet, dans le cas où le gardien s'engage relativement tard sur un côté du but, la stratégie indépendante du gardien s'avère plus efficace. Elle l'est moins, dans le cas où le gardien de but se déplace tôt. Par conséquent, il est essentiel de laisser les gardiens de but dans l'incertitude quant à la stratégie de tir au but à laquelle ils peuvent s'attendre, afin d'éviter de leur permettre d'adapter leur propre stratégie aux préférences personnelles de chaque tireur de but (Noël et al., 2021).

1.5 État des lieux scientifique sur la stratégie dépendante du gardien

Une étude de Morya et al. (2003) explique que plus le joueur s'approche du ballon, plus il est difficile de modifier le coup de pied prévu ou de réagir de manière appropriée à l'action du gardien de but. Morya et al. utilisent l'expression « point de non-retour » pour indiquer le

moment où la réponse à un stimulus ne peut plus être arrêtée. Dans le cas spécifique des tirs au but, plutôt que d'établir le point au-delà duquel l'action du tireur ne peut plus être inhibée, il est important de déterminer l'instant précis jusqu'auquel il est encore possible de modifier le côté du but vers lequel le ballon est frappé, en se basant sur des indices glanés auprès du gardien. Dès 1997, les résultats d'une étude de Franks et Harvey établissent que la réorientation du coup de pied nécessite les premiers ajustements du mouvement de botté au moins 200 à 250 ms avant le contact avec le ballon, et probablement plus tôt. Les chercheurs estiment que dans la stratégie il faut aussi prendre en compte le fait que les ajustements du mouvement de botté ne suivent pas instantanément la prise d'informations critiques appelant à un changement de direction (Franks & Harvey, cité d'après Van Der Kamp, 2006).

En 2003, Morya et al. démontrent que, lorsque le mouvement du gardien est initié 400 ms avant que le tireur au but n'atteigne le ballon, la performance des participants atteint un taux de réussite proche de 100 %. Ils expliquent toutefois que pendant leur expérience, au lieu de devoir rediriger le coup de pied dans un tir au but classique, les participants choisissaient la nouvelle direction du tir en inclinant un levier vertical vers la gauche ou vers la droite. Le taux de réussite pourrait donc être considéré plus proche des 100 %. En effet, lorsqu'un ajustement de l'action de botter est nécessaire, on peut s'attendre à un temps de réponse plus long (Bowtell et al., 2009).

De son côté, Van Der Kamp (2006), se base sur une étude de Williams et Weigelt de 2002 et arrive à la conclusion qu'étant donné les contraintes sur l'action (différentes de celles d'un tir au but réel), la décision de modifier la direction du tir doit être prise au moins 300 à 500 ms avant le contact avec le ballon, afin d'éviter la dégradation de la performance du tir au but. Il estime que la performance rejoint le niveau du hasard lorsque le mouvement du gardien commence 150 ms avant le contact avec le ballon.

Trois ans plus tard, Van Der Kamp (2006) constate que lorsque 600 ms sont encore à disposition du tireur de but, seuls 75 % des coups de pied sont redirigés avec succès, mais il admet que les participants à son étude tentaient de rediriger leur tir vers une cible de dimensions particulières (0,6 x 0,6 m). La tâche plus difficile imposée par Van Der Kamp peut donc avoir nécessité un temps de réponse plus important (Bowtell et al., 2009).

En 2009, Bowtell et al. (2009) arrivent enfin à la conclusion qu'au moins 300 ms - 350 ms sont nécessaires pour réagir à l'action du gardien et réussir à rediriger un tir vers le côté opposé au plongeon. Selon eux, la stratégie dépendant du gardien peut être efficace si le joueur apprend le moment après lequel il ne peut plus changer avec succès la direction du tir (environ 350 ms - 400 ms avant le contact pied-ballon) et quelles informations le gardien peut lui fournir jusque-

là. Leurs résultats de la performance aléatoire, qu'ils placent autour de 350 ms avant le contact pied-ballon, et de la performance parfaite, autour de 500-600 ms, se situent dans les valeurs de Morya et al. et de Van Der Kamp.

Suite aux conclusions de ces chercheurs, Alli réalise en 2022 une étude empirique innovante se rapprochant des conditions de jeu réelles et réalisée sur le terrain. Sa collaboration avec un club professionnel, le FC Lucerne, lui permet de récolter cette fois des données de jeunes joueurs ayant des compétences footballistiques élevées. Grâce à l'utilisation du casque de réalité augmentée HoloLens, il précise à 301,15 ms en moyenne le seuil minimal de temps avec taux de réussite de 50 % permettant à un footballeur d'élite junior de rediriger son tir au but en fonction du plongeon du gardien. En parallèle, il démontre qu'une période d'entraînement est efficace pour améliorer les capacités sensori-motrices des tireurs, puisque ce seuil a diminué significativement (-105,23 ms) entre les pré- et post-sessions. Son étude se basant sur un échantillon assez restreint (6 sujets), il a été décidé de poursuivre son travail et de lancer une nouvelle étude empirique servant à confirmer ses résultats.

1.6 Objectif du travail

Ce travail de master s'inscrit dans la continuité de l'étude de Alli (2022). L'étude empirique est également réalisée sur le terrain avec l'utilisation de la réalité augmentée et contribue au rapprochement toujours plus près d'une enquête en conditions réelles. Elle poursuit deux buts. Le premier est de déterminer le seuil moyen de temps auquel un footballeur d'élite juniors est capable de rediriger son tir au but avec un taux de réussite de 50 %, lorsqu'il met en pratique la stratégie dépendante du gardien, autrement dit lorsqu'il prend une décision quant à la direction de son tir en fonction du mouvement d'anticipation du gardien. Le seuil, calculé en millisecondes, représente cette prise de décision avant le contact pied-ballon.

Le deuxième objectif de ce travail est de vérifier si ce seuil moyen de temps des joueurs peut être abaissé grâce à une période d'entraînement de plusieurs semaines. Plus précisément, cette période d'entraînement se composerait de 12 séances de tirs au but, correspondant à 240 tirs au total, répartis sur 4 semaines.

Pour atteindre ces objectifs, le présent travail tentera de répondre aux questions de recherche suivantes:

1. Quel est le seuil moyen de temps requis pour rediriger un tir au but du côté opposé au plongeon du gardien avec un taux de réussite de 50 % ?

2. Une période d'entraînement spécifique de tirs au but permet-elle d'abaisser le seuil moyen de redirection du tir ?

Hypothèses de recherche:

1. Le seuil moyen de temps requis pour rediriger un tir au but du côté opposé au plongeur du gardien avec un taux de réussite minimum de 50 % se situe entre 300 et 400 ms.
2. Une période d'entraînement spécifique de tirs au but permet effectivement d'abaisser le seuil moyen de redirection du tir au but.

2 Méthode

2.1 Description de l'échantillon

L'échantillon de cette étude était composé de footballeurs (N=7) d'élite juniors, âgés entre 15 et 17 ans, des équipes U16, U17 et U18 du club professionnel du FC Bâle. Plus précisément, ont participé au test : 2 joueurs du FC Bâle U16 (moyenne d'âge : 15.0 ans), dont un droitier et un gaucher, 3 joueurs du FC Bâle U17 (moyenne d'âge : 16.0 ans), dont deux droitiers et un gaucher, et 2 joueurs du FC Bâle U18 (moyenne d'âge : 17.0 ans), dont un droitier et un gaucher. On peut donc dire qu'il y avait un équilibre entre tireurs droitiers (N=4) et tireurs gauchers (N=3). L'échantillon était varié au niveau du poste sur le terrain, puisqu'il était composé de défenseurs, de milieux de terrain et d'attaquants.

2.2 Design de l'étude

L'étude était caractérisée par 12 sessions de 20 tirs au but chacune, tirés par chaque sujet (N=7). 3 séances de tirs par semaine portant sur 4 semaines étaient prévues, afin d'arriver à tirer 240 buts. Les joueurs ont pris part aux sessions les mêmes jours et aux mêmes heures, dans la même séquence et avec la même fréquence, selon un planning horaire bien défini.

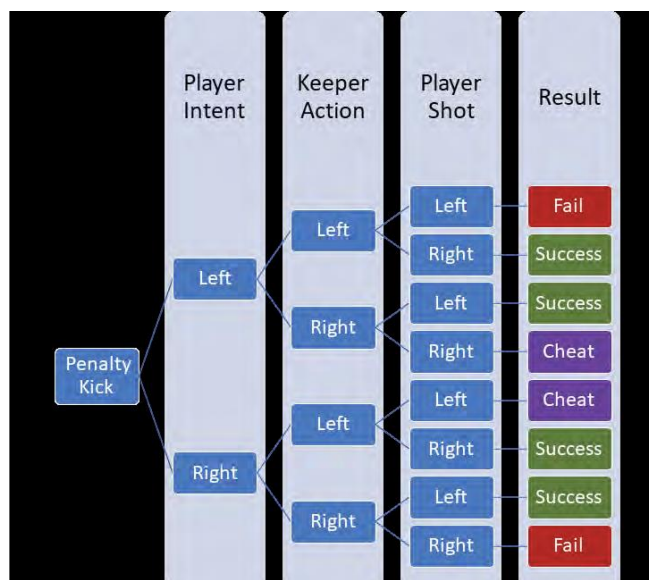
Le nombre de tirs par session, la fréquence des sessions et la durée de la collecte des données ont été choisis sur base de l'emploi du temps des footballeurs et en vue surtout d'obtenir des résultats fiables. En effet, il était important de ne pas imposer une charge musculaire trop importante aux tireurs et de réduire le risque d'apparition de l'ennui et de la fatigue pouvant impacter la motivation et la concentration des joueurs et donc influencer les résultats.

Tous les sujets ont reçu les mêmes instructions et eu droit à des tirs d'essai avant chaque séance, afin de s'accoutumer à la stratégie dépendante du gardien et à l'équipement.

Comme dans le travail de Alli (2022), deux variables ont été prises en compte : le côté où le joueur voulait diriger le ballon et le côté où le gardien allait plonger. Pour informatiser les variables et les situations qui en découlaient, deux lettres correspondant aux côtés ont été accolées : la lettre L (=Left) pour le côté gauche et/ou la lettre R (=Right) pour le côté droit, la première lettre indiquant l'intention de direction de tir du tireur et la deuxième désignant la direction du plongeon du gardien. Quatre conditions pouvaient donc se produire : LR, RL, RR, LL. Mais puisque l'étude concernait la mise en pratique de la stratégie dépendante du gardien, les tireurs devaient rediriger leur tir dans les conditions RR et LL, et non RL et LR. Au final, huit scénarios étaient possibles (cf. Figure 1).

Figure 1

Huit scénarios pour 4 conditions



Note. De gauche à droite : l'intention du tireur et l'action du gardien correspondant aux quatre conditions (LL=Left-Left ; LR=Left-Right ; RL=Right-Left ; RR=Right-Right), et la direction effective du ballon tiré par le joueur amenant au résultat (Fail=Echec ; Success=Réussite ; Cheat=Triche) et donc aux huit scénarios (CopeLab, 2021 cité d'après Alli, 2022).

A noter que le résultat Cheat était obtenu lorsque que le joueur ignorait son intention de tir (ou plus précisément, l'intention qui lui avait été imposée par l'équipement technologique) et redirigeait son tir alors qu'il ne devait pas le faire.

2.3 Description détaillée des méthodes et des instruments de recherche

Dans ce travail de recherche, la collecte de données a été réalisée au Nachwuchs-Campus Basel, le centre d'entraînement de la relève du FC Bâle, entre le 20.10.2022 et le 01.12.2022. Comme dans le cas de l'étude de Alli (2022), les tirs au but ont été exécutés sur un terrain de football synthétique posé en extérieur, à l'intérieur d'une surface de réparation, avec un but de dimensions standards (7,32 m x 2,44 m) et un point de penalty situé comme de coutume à 11 m de la ligne de but.

Pour les participants (N=7), 3 sessions hebdomadaires durant 4 semaines consécutives étaient prévues. Lors de chacune des séances, chaque sujet devait exécuter 20 tirs au but, ce qui durait environ 15-20 minutes.

Globalement, une session de tirs au but, tous joueurs confondus, pouvait durer jusqu'à 2 heures et 20 minutes.

2.3.1 L'application SimulKick

Durant les sessions, les joueurs portaient un casque de réalité augmentée Hololens2, dans lequel tournait l'application SimulKick. L'application a été développée en langage de programmation C# avec le moteur 3D temps réel Unity ainsi que le toolkit de réalité augmentée MRTK de Microsoft. SimulKick projetait en temps réel un gardien holographique dans le but et déclenchait son plongeon en prenant en compte la course d'élan du joueur.

SimulKick communiquait en continu par wifi avec KickManager, une application PC développée en langage de programmation Java que le chercheur, c'est-à-dire moi dans le cas présent, utilisait pour gérer les sessions des joueurs et les télécharger sur SimulKick. L'application KickManager transmettait en temps réel à SimulKick les données d'un lidar (acronyme de l'anglais Light Detection And Ranging, détection de la lumière et mesure à distance ; Lidar, 2023) permettant de détecter la présence du ballon lorsqu'il était placé sur le point de penalty.

2.3.2 Préparation matérielle

L'expérience SimulKick s'est déroulée sur un terrain de football de dimensions standards. Seule la présence d'un joueur et du chercheur était nécessaire pour effectuer la session d'entraînement d'un sujet, le gardien étant projeté en réalité augmentée. Avant de pouvoir débiter une session, le chercheur avait besoin d'environ 15 minutes de préparation pour l'installation et la calibration du matériel.

Tout d'abord, il installait le lidar sur trépied à 1,5 mètres du point de penalty, à droite si le tireur était gaucher ou à gauche si le tireur était droitier. Le faisceau laser du lidar devait pointer le centre du ballon lorsque celui-ci était posé sur le point de penalty. Un support holographique (une caisse grise) était disposé à environ 2 mètres de l'autre côté du point de penalty. Ce support installé à courte distance assurait la réflexion du rayon laser du lidar lorsque le ballon était tiré. Le chercheur installait ensuite un PC portable sur une petite table placée derrière le lidar. Le lidar était branché à un port USB du PC. Un téléphone portable était utilisé en mode hotspot wifi pour offrir une communication réseau entre le PC et le casque HoloLens. Une PowerStation

portable, rechargée à 100 % avant l'expérience, permettait d'assurer la recharge électrique des divers périphériques : PC portable, téléphone mobile, casque HoloLens. Une fois le matériel mis en place, le PC et l'HoloLens étaient allumés et connectés au hotspot wifi, les applications KickManager et SimulKick étaient ensuite démarrées sur le PC et l'HoloLens, respectivement. L'adresse IP de l'HoloLens, disponible dans l'interface holographique de SimulKick, était entrée dans l'application KickManager, suite à quoi SimulKick et KickManager étaient connectés au travers du réseau wifi.

2.3.3 Calibration de l'HoloLens

Muni du casque HoloLens, le chercheur parcourait alors durant environ 3 minutes la zone du tir au penalty en dirigeant de manière répétitive et systématique son regard vers le sol puis vers l'horizon. L'HoloLens pouvait ainsi cartographier la zone de l'expérience. La carte du monde environnant ainsi obtenue permettait d'ancrer en temps réel l'espace virtuel dans la réalité. Il lui suffisait ensuite simplement de prononcer à haute voix le mot « calibration » pour démarrer la phase de calibration de SimulKick. Un petit cylindre jaune apparaissait instantanément au point d'intersection du plan donné par le sol détecté par l'HoloLens et une droite imaginaire tracée dans la direction du regard. Le chercheur disposait de 3 secondes pour placer à l'aide du regard le cylindre holographique sur le point de penalty, afin qu'il s'y fixe. Une cage de but holographique apparaissait alors sur le sol à 11 mètres du point de penalty. Le chercheur disposait à nouveau de 3 secondes pour superposer la cage holographique à la cage réelle, en ajustant sa position grâce à la direction de son regard. Il pouvait à tout moment refaire une nouvelle calibration en prononçant à nouveau le mot « calibration ».

2.3.4 Démarrage d'une session de tirs au but

Le joueur, muni du casque HoloLens, était prêt pour son premier tir au but. Sur l'interface de KickManager, le chercheur mettait à jour la liste des joueurs, puis demandait une nouvelle session pour le joueur suivant. KickManager se connectait au travers du wifi et des données mobiles au serveur de session online. La nouvelle session de tirs au but, modélisée à partir des sessions précédentes du joueur, était téléchargée sur l'HoloLens.

2.3.5 Déroulement d'un tir au but

Avant chaque tir, le joueur plaçait le ballon sur le point de penalty. SimulKick projetait une sphère holographique rouge sur le point de penalty lorsque le ballon n'était pas présent et verte lorsque le lidar avait détecté la présence du ballon (cf. Figure 2). Le joueur devait ensuite se

placer à plus de 2 mètres du point de penalty pour prendre sa course d'élan. SimulKick projetait deux cibles holographiques vertes lorsque la distance minimum était respectée, rouges dans le cas contraire (cf. Figure 3). Pour signifier à SimulKick qu'il était prêt, le joueur devait fixer le gardien du regard, au moyen d'un point blanc virtuel devenant vert lorsque le gardien était fixé correctement, durant plus de 3 secondes. L'état de SimulKick passait en mode « prêt à tirer », la scène holographique était mise à jour avec une seule cible jaune indiquant l'intention de direction de tir que le joueur devait avoir (cf. Figure 4).

Figure 2

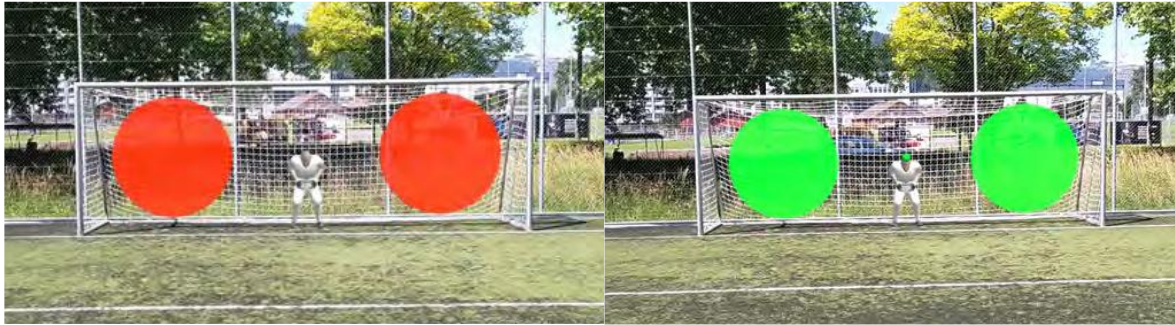
Point de penalty virtuel avec ballon réel



Note. La figure illustre le point de penalty virtuel (vert) quand le ballon réel est correctement placé dessus (Alli, 2022)

Figure 3

Recherche de la distance idéale pour la course d'élance



Note. La figure illustre les deux cibles holographiques lorsque le tireur cherche la distance idéale pour pouvoir initier sa course d'élance. À gauche (cercles rouges), la distance est insuffisante et à droite (cercles verts), elle est suffisante (Alli, 2022)

Figure 4

L'état « prêt à tirer »



Note. La figure illustre le seul cercle restant (jaune), indiquant l'intention de direction de tir que le joueur doit avoir (Alli, 2022)

Le joueur pouvait dès lors prendre sa course d'élance et tirer au but. Lorsque le joueur entrait dans la zone des 2 mètres de distance du point de penalty, l'état de SimulKick passait en mode « course d'élance » et la cible jaune disparaissait. Il ne restait alors plus que le gardien holographique dans la cage de but. Le plongeon du gardien était déclenché par SimulKick durant la course d'élance du joueur. Le timing du plongeon était défini au préalable par la session

en cours, tandis que le déclenchement du plongeon était estimé sur la base d'un modèle de la course d'élan du joueur. Après 3 secondes en mode « course d'élan », SimulKick passait automatiquement en mode « tir effectué ».

Le chercheur reportait alors sur KickManager le résultat du tir : LEFT, RIGHT, CENTER, OUT ou SKIP. LEFT et RIGHT étaient utilisés lorsque le joueur avait tiré à gauche, respectivement à droite, dans le but. CENTER était utilisé lorsque le joueur avait tiré au centre du but, soit sur la surface du gardien avant son plongeon. SKIP pouvait être exceptionnellement utilisé lorsqu'un problème était survenu lors du tir au but. Le joueur pouvait à nouveau placer le ballon sur le point de penalty et effectuer le tir suivant de la session selon le même processus.

2.3.6 Fin de la session de tirs au but

Après 20 tirs au but, SimulKick informait le joueur que la session avait été complétée. Le chercheur pouvait alors accepter ou refuser la session sur KickManager. Un fichier de données textuelles au format json contenant les informations de la session était envoyé au serveur online qui calculait le nouveau seuil du joueur et adaptait la session suivante en conséquence.

2.3.7 Luminosité, soleil et pluie

L'HoloLens est initialement conçu pour être utilisé en intérieur ou dans un environnement avec une luminosité contrôlée. En extérieur, il était essentiel de prendre en compte la luminosité du soleil. Par exemple, il était préférable de choisir le côté du terrain de foot selon la position du soleil, afin que celui-ci soit dans le dos du joueur lors du tir au but. De même, il était recommandé d'avoir un arrière-plan plutôt sombre derrière le but pour mieux visualiser le gardien. Pour accentuer le contraste des hologrammes en luminosité extérieure, l'application d'un film teinté sur la visière du casque HoloLens était indispensable. Lors de fortes chaleurs, comme dans le cas de l'étude d'Alli (2022), les batteries avaient tendance à surchauffer. L'ajout d'un tissu blanc sur la batterie noire de l'HoloLens avait permis d'éviter un tel cas de figure. Dans le cas présent, l'expérience se déroulait en automne, cette mesure de prévention n'était donc pas nécessaire. Enfin, le facteur précipitations devait aussi être pris en compte car l'HoloLens ne supporte pas de fortes averses et il fallait être prêt à mettre le casque à l'abri.

2.3.8 Modélisation de la course d'élan

Déclencher avec précision le plongeon du gardien holographique un nombre prédéfini de millisecondes avant l'impact pied-ballon était un défi majeur. En effet, le moment exact de l'impact pied-ballon lors d'un tir au but était tout simplement impossible à prévoir. Il était

cependant demandé à chaque joueur d'effectuer une course d'élan la plus similaire possible d'un tir à l'autre. Ceci impliqua qu'il était désormais possible d'estimer une course d'élan en se basant sur un modèle personnalisé. SimulKick modélisait chaque course d'élan au centimètre près, en associant à toutes les distances du point de penalty comprises entre 0 et 200 cm le nombre de millisecondes avant l'impact pied-ballon s'y rapportant. La distance était calculée horizontalement entre la position de l'HoloLens et le point de penalty (la position du ballon). Lorsque le joueur effectuait une nouvelle course d'élan pour tirer au but, SimulKick utilisait le modèle de la course d'élan précédente pour déclencher le plongeon du gardien.

Pour donner un exemple concret, imaginons que le gardien holographique devait effectuer un plongeon 350 ms avant l'impact pied-ballon. Lors de la nouvelle course d'élan du joueur, SimulKick appariait en temps réel la distance parcourue avec celle du modèle pour estimer le nombre de millisecondes qu'il restait avant l'impact pied-ballon. Le plongeon du gardien était déclenché lorsque le nombre de millisecondes de course restant estimé correspondait au stimulus souhaité, soit 350 ms. Puis, SimulKick adaptait dynamiquement son modèle grâce à l'échantillonnage de la nouvelle course d'élan. Lorsque le stimulus souhaité était trop éloigné de la réalité (différence de plus de 100 ms), donc que la course d'élan était trop différente de son modèle, le tir n'était pas comptabilisé.

2.4 Analyse statistique des données

Tout comme dans l'étude d'Alli (2022), cette nouvelle étude tenait compte de deux facteurs principaux: la session (Pré et Post, respectivement Baseline et After training) et la redirection du coup de pied (croisé et non croisé). Pour chaque sujet, ces deux facteurs ont été manipulés, c'est-à-dire que les mesures ont été répétées. Le seuil de redirection avec taux de réussite de 50 %, autrement dit le temps minimum requis pour réussir à rediriger le coup de pied dans 50 % des cas, représentait la variable dépendante.

L'utilisation d'une approche de modélisation linéaire à effets mixtes a permis d'évaluer l'effet des deux facteurs et de leur interaction sur la variable dépendante. D'un côté, les intercepts des participants ont été insérés en tant qu'effets aléatoires. De l'autre côté, les deux principaux facteurs ont été insérés dans le modèle en tant qu'effets fixes. En tout, quatre modèles ont été ajustés. Premièrement, un modèle comprenant seulement l'intercept. Deuxièmement, un modèle comprenant l'intercept et un prédicteur, le facteur Session. Troisièmement, un modèle comprenant l'intercept et deux prédicteurs, les facteurs Session et Redirection. Quatrièmement, un modèle comprenant l'intercept, les facteurs Session et Redirection en tant que prédicteurs et l'ordonnée à l'origine (Alli, 2022). La comparaison entre les quatre modèles, grâce à des tests

de rapport de vraisemblance, a permis d'obtenir les valeurs p. De plus, la méthode de Kenward-Roger (Halekoh & Højsgaard, 2014, cité d'après Alli, 2022) a rendu possible l'approximation des degrés de liberté. En tant qu'indicateur de la taille de l'effet, le R au carré marginal a été calculé et ce pour chaque facteur.

Des tests de Wilcoxon, tests non paramétriques pour les mesures répétées, ont été réalisés pour faire les comparaisons directes entre les moyennes de seuils et R a été calculé comme indicateur de la taille de l'effet (Alli, 2022).

3 Résultats

3.1 Résultats des seuils de redirection

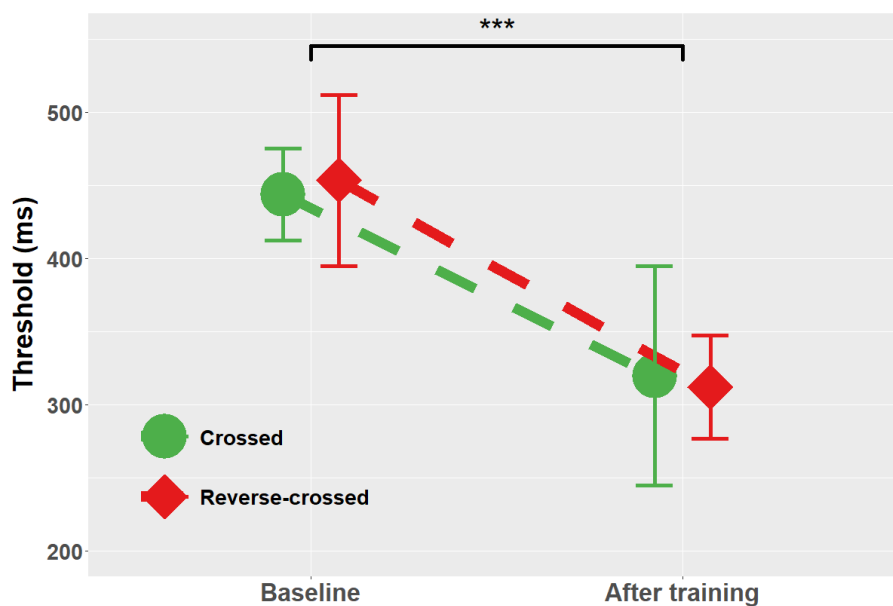
L'analyse des résultats de l'enquête met en évidence une différence significative entre les seuils moyens de redirection à taux de réussite de 50 % des sessions Pré et Post ($\chi^2(1) = 26.64$, $p < .001$). Le seuil moyen de redirection est en effet passé de 448,45 ms dans la session Pré à 315,91 ms dans la session Post (cf. Figure 5).

La différence entre les sessions Pré et Post explique 62% de la variance du seuil (R^2 marginal = 0,62).

De plus, les résultats n'ont montré aucun effet principal de la redirection (381,68 ms pour la redirection croisée contre 382,68 ms pour la redirection non croisée ; $\chi^2(1) = 0,0028$, $p > .05$) et aucune interaction entre les deux facteurs ($\chi^2(1) = 0.21$, $p > .05$).

Figure 5

Seuils moyens de redirection (Pré- et Post-session)



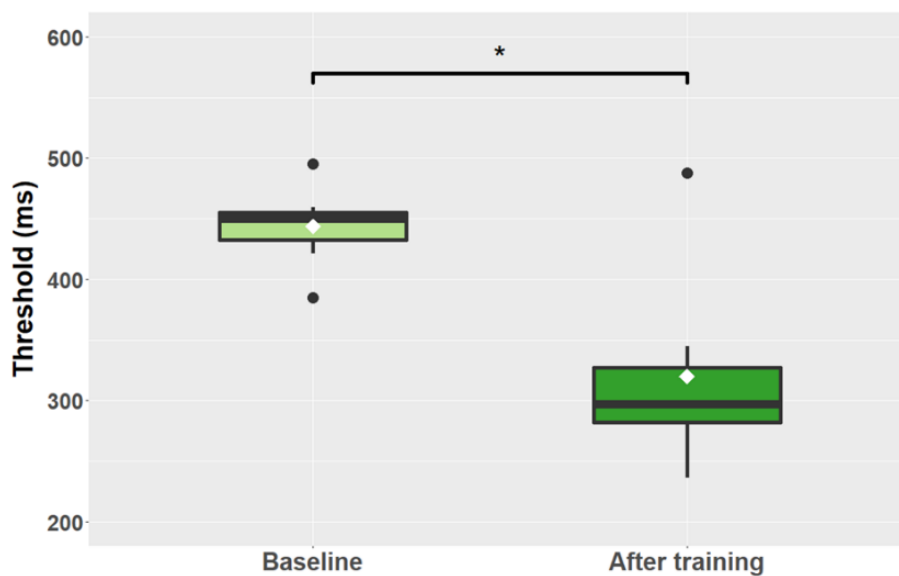
Note. L'axe des abscisses illustre les sessions Pré (Baseline) et Post (After training), tandis que l'axe des ordonnées indique en millisecondes (ms) les seuils moyens de redirection à un taux de réussite de 50 %. Des box plots propres à chacun des types de redirection, croisé (Crossed) en vert et non-croisé (Reverse-crossed) en rouge, ont été créés pour chaque session.

3.2 Résultats des seuils de redirection croisée et non-croisée des tirs

Les données croisées (cf. Figure 6) et non-croisées (cf. Figure 7) ont été analysées de façon distincte. Une comparaison entre les seuils moyens mesurés dans les sessions Pré et Post a été faite pour chaque type de redirection. Pour la redirection croisée, il a été observé une différence significative entre les seuils de redirection des sessions Pré et Post, avec une moyenne plus basse dans la session Post (319,76 ms) que dans la session Pré (443,60 ms, $p < .05$, $R = 0,77$, c'est-à-dire, une taille d'effet importante). Dans le cas de la redirection non-croisée, le même schéma a été observé : 312,07 ms dans la session Post contre 453,30 ms dans la session Pré ($p < .05$, $R = 0,90$, c'est-à-dire une taille d'effet importante).

Figure 6

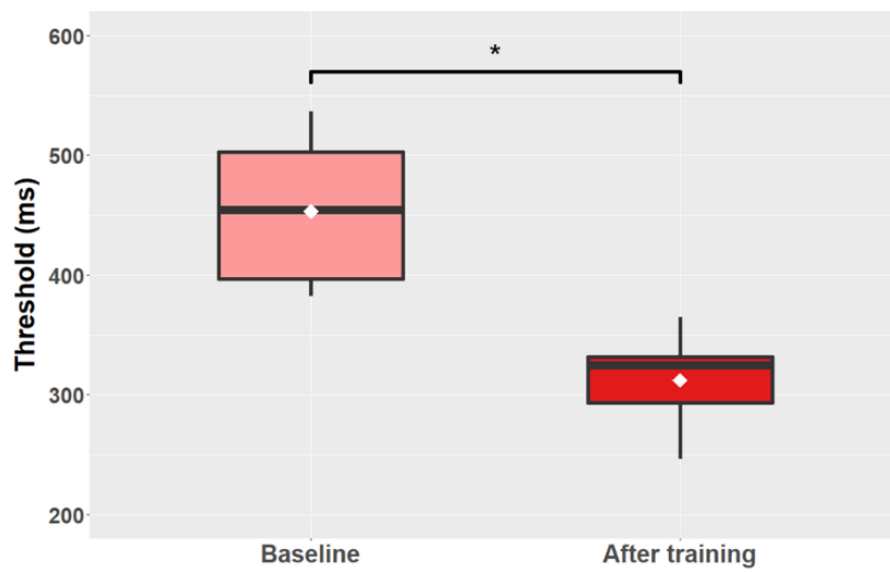
Seuils moyens de redirection croisée (Pré- et Post-sessions)



Note. L'axe des abscisses illustre les sessions Pré (Baseline) et Post (After training), tandis que l'axe des ordonnées indique en millisecondes (ms) les seuils moyens de redirection croisée à un taux de réussite de 50 %.

Figure 7

Seuils moyens de redirection non-croisée (Pré- et Post-sessions)



Note. L'axe des abscisses illustre les sessions Pré (Baseline) et Post (After training), tandis que l'axe des ordonnées indique en millisecondes (ms) les seuils moyens de redirection non-croisée à un taux de réussite de 50 %.

4 Discussion

La présente étude s'est focalisée sur la stratégie du tireur dépendante du gardien adoptée par le tireur lors du tir au but. Cette stratégie de « boucle fermée » (Kuhn, 1988, cité d'après Van Der Kamp, 2006) comprend plusieurs étapes : le choix initial d'une cible, l'obtention pendant l'élan d'informations à partir des actions du gardien afin d'anticiper la direction de son plongeon et la décision finale de la direction du tir suivie par le placement effectif du ballon, le but étant bien entendu d'envoyer le ballon du côté opposé au plongeon du gardien (Van der Kamp, 2006).

Plus précisément, au travers de ce travail de recherche, il était question d'étudier le temps minimum nécessaire à un footballeur pour rediriger son tir au but à un taux de réussite de 50 % et de comprendre si une période d'entraînement pourrait s'avérer efficace pour diminuer ce temps.

4.1 Discussion par rapport au premier objectif du travail

Le premier objectif du travail était de déterminer le seuil de temps auquel les footballeurs d'élite juniors sont capables de rediriger leur tir au but avec un taux de réussite de 50 %, lorsqu'ils mettent en pratique la stratégie dépendante du gardien lors d'un tir au but.

Les résultats ont montré que pour un taux de réussite de 50 % le seuil de temps de redirection moyen des joueurs était de 315,91 ms. La distinction plus détaillée entre types de réorientation a permis d'établir les seuils moyens de réorientation croisé de 319,76 ms et non-croisé de 312,07 ms. Par conséquent, les résultats de cette étude concordent avec ceux obtenus dans les études scientifiques passées (Alli, 2022 ; Morya et al., 2003 ; Bowtell et al., 2009 ; Van Der Kamp, 2006).

En effet, ils entrent dans la fourchette de temps découverte par Morya et al. en 2003. Ces derniers ont démontré que lorsque le mouvement de plongeon du gardien commençait 400 ms avant le contact avec le ballon la performance des footballeurs était de presque 100 % et que lorsque le mouvement du gardien était initié 150 ms avant le contact pied-ballon la performance diminuait au niveau du hasard (Morya et al., 2003, cité d'après Van Der Kamp, 2006). Cependant, dans l'étude qui vient d'être réalisée, les sujets étaient confrontés à une tâche plus proche de la réalité, puisqu'ils devaient non pas actionner un levier, mais modifier leur action tout en étant en mouvement, dans le cours de leur élan, ce qui a permis d'obtenir des données plus fiables et précises.

Un constat similaire peut être fait en comparaison avec les résultats de Van Der Kamp en 2006. Le chercheur a réussi à établir un seuil de redirection de 600 ms pour un taux de succès de 75

%, mais la tâche était plus compliquée dès lors que la cible mesurait 0,6 x 0,6 m, ce qui a probablement influencé les résultats. En effet, on peut supposer qu'à cause de la demande de plus grande précision, un facteur pas forcément recherché dans la stratégie dépendante du gardien et donc dans ce travail, les participants nécessitaient d'un temps de redirection plus important.

La validité des données de cette étude est aussi confirmée par rapport aux résultats de Bowtell et al. (2009). En effet, le seuil moyen de redirection pour un taux de réussite de 50 %, établi à 315,91 ms pour les sessions Post, se situe à l'intérieur des 300 - 350 ms de temps estimées nécessaires par les chercheurs pour réagir à l'action du gardien et réussir à rediriger un tir vers le côté opposé à son plongeon. Toutefois, Bowtell et al. avaient pour leur étude utilisé deux faisceaux lumineux en guise de stimuli pour représenter la direction du plongeon du gardien. On peut donc estimer que l'expérience réalisée auprès des joueurs d'élite juniors du FC Bâle a donné des résultats plus fiables, car il y avait un gardien dans le but, même si celui-ci était sous forme d'avatar, et qu'ainsi l'expérience se déroulait dans des conditions encore un peu plus proches de la réalité.

Enfin, les résultats de l'étude sont fort comparables à ceux de celle d'Alli en 2022. En effet, les méthodes et les instruments de recherche étaient exactement les mêmes, tout comme le type d'échantillon, composé de footballeurs d'élite juniors s'entraînant cinq jours par semaine, certaines fois avec des doubles séances, plus le match du week-end. Il n'est donc pas surprenant que le seuil de redirection des tirs au but soit bas. Le fait qu'il est proche des 301,15 ms trouvées par Alli (2022) constitue un autre gage de validité et de fiabilité des données de cette étude.

En conclusion, l'analyse des données a permis de déterminer le seuil moyen de redirection du tir de 315,19 ms pour un taux de réussite de 50 %. L'hypothèse de recherche, selon laquelle le seuil de temps requis pour rediriger un tir au but du côté opposé au plongeon du gardien se situait entre 300 et 400 ms, a donc été validée.

4.2 Discussion par rapport au deuxième objectif du travail

Le deuxième objectif de ce travail de recherche consistait à comprendre si le seuil de temps des joueurs pouvait être abaissé grâce à une période d'entraînement de 12 séances de tirs au but réparties sur 4 semaines, correspondant à 240 tirs au total.

Les résultats ont montré que le seuil moyen de redirection avec un taux de réussite de 50 % était passé des 448,15 ms de la session Pré aux 315,91 ms de la session Post (cf. Figure 5), ce qui correspond à une amélioration de la performance de 29,51 % puisque le seuil a diminué de 132,24 ms entre les deux types de session.

L'analyse plus en détail, selon le type de redirection, a permis de constater que les seuils diminuaient significativement et de façon similaire dans les deux cas. Plus spécifiquement, le seuil a chuté de 123,84 ms (-27,92 %) dans le cas de la réorientation croisée (319,76 ms dans la session Post contre 443,60 ms dans la session Pré ; cf. Figure 6) et de 141,23 ms (-31,16 %) dans le cas de la réorientation non-croisée (312,07 ms dans la session Post contre 453,30 ms dans la session Pré ; cf. Figure 7).

Cette analyse différenciée a été décidée afin de vérifier s'il y avait, comme le pensaient Chiappori et al. (2002, cité d'après Alli, 2022) et Palacios Huerta (2003, cité d'après Alli, 2022), une meilleure performance dans les tirs au but croisés. En effet, suite à l'étude de la structure anatomique du pied, ils étaient arrivés à la conclusion que dans le tir croisé la fermeture du pied lors de la frappe était plus naturelle, ce qui permettait d'être plus précis. Cependant, dans la présente étude et dans celle d'Alli (2022) les performances des réorientations croisée et non croisée étaient similaires. Sachant que les recherches se basaient sur l'étude de la stratégie dépendante du gardien, on peut donc en déduire que la précision, outil d'évaluation de la performance dans les études des auteurs susmentionnés, n'est pas un facteur déterminant de la stratégie dépendante du gardien. Dans cette dernière, il y a d'autres facteurs outre ceux biomécaniques qui entrent en jeu, tels la perception-cognition et la technique (Wood & Wilson, 2011, cité d'après Alli, 2022).

En comparaison avec les résultats d'Alli (2022), on remarque que les sujets du FC Bâle ont connu une progression relativement similaire dans leur performance aux tirs au but. En effet, au cours de cette dernière expérience les footballeurs ont abaissé leur seuil moyen de redirection de 123,84 ms, contre les 105,33 ms de l'échantillon d'Alli.

Les conclusions des deux études s'alignent ainsi sur celles de la recherche de Bar-Eli et Azar, dans laquelle les chercheurs avançaient que la probabilité de gagner une séance de tirs au but pouvait être augmentée grâce à une pratique systématique et donc recommandaient que l'entraînement aux tirs au but soit pratiqué de manière systématique par les joueurs de football (Bar-Eli & Azar, 2009). Les experts ainsi formés auraient alors un avantage perceptif-cognitif et visuomoteur par rapport aux exécutants moins qualifiés (Wood & Wilson, 2011).

L'hypothèse de recherche selon laquelle une période d'entraînement spécifique de tirs au but permettait effectivement d'abaisser le seuil de redirection du tir au but a donc elle aussi été validée.

4.3 Forces et faiblesses de l'étude

Cette étude a permis de vérifier les conclusions et compléter les données collectées par Alli en 2022. C'est donc ensemble que les deux travaux de recherche participent à une meilleure compréhension du seuil de redirection du tir en fonction de la stratégie dépendante du gardien. Les instruments technologiques qui ont été utilisés pour collecter et élaborer les données ont été déterminants pour atteindre les objectifs, de sorte que les progrès constants dans la technologie promettent d'ultérieures avancées fort intéressantes.

Les forces de l'étude, ainsi qu'Alli (2022) le soulignait, résident avant tout dans la méthodologie et les instruments de prise de mesure. En effet, l'utilisation du matériel s'est avérée pratique dès que l'on connaissait son fonctionnement et il pouvait être utilisé à l'extérieur dans un environnement réel, et donc sur un terrain de football avec tous les éléments physiques qui le composaient. Le casque holographique Hololens2, l'équipement Lidar, les logiciels et les algorithmes ont dès lors permis de faire des tirs au but dans des conditions plus proches de la réalité au moyen d'un gardien avatar restitué dans un but réel. Celui-ci reproduisait le mouvement de plongeon d'un gardien de but lors d'un tir au but, pour permettre aux tireurs de s'entraîner. Comme il a été prouvé, les joueurs ont tiré bénéfice de cette technologie visant à améliorer leur stratégie de tir dépendante du gardien, afin d'avoir de meilleures chances de remporter les matchs. Un autre point de force essentiel de cette étude réside dans les sujets participants. Le fait que les données ont été recueillies à partir d'un échantillon composé de joueurs d'élite juniors d'un club professionnel de football, à savoir le FC Bâle, a en effet permis de collecter des données de qualité, car ils possédaient d'importantes compétences footballistiques.

Les faiblesses de l'étude résident quant à elles dans l'éventuelle nécessité de s'adapter aux conditions de luminosité et météorologiques pour le bon fonctionnement du matériel technologique, dans le risque de panne technique et dans les limites actuelles de la technologie. Même s'il était possible en cas de forte luminosité d'appliquer un film teinté sur la visière du casque HoloLens, en cas de grosses averses le casque ne pouvait être utilisé, car il devait être protégé. Par chance, la météo était clémente durant toute la durée de la collecte de données et aucune panne technique n'est survenue. Il y a juste eu un petit inconvénient : à deux reprises, les éléments virtuels ont disparu. Pour y remédier, il a simplement fallu éteindre et rallumer le casque holographique.

Ensuite, les limites concernant la réalité augmentée sont malheureusement encore importantes. De grands progrès peuvent encore être fait par rapport à la figure du gardien avatar. Bien entendu, grâce à cette figure, l'expérience s'est rapprochée des conditions réelles d'un tir au

but. Cependant, celle-ci était encore loin de la réalité, car le gardien avatar était vêtu en blanc, n'avait pas de visage et restait statique pendant toute la course d'élan du tireur, alors qu'un gardien réel expérimenté aurait effectué des mouvements pour le distraire ou l'induire en erreur. D'autre part, la réalité augmentée ne permet pas encore de modifier l'environnement physique et acoustique autour du footballeur. Par exemple, d'immerger le joueur dans un stade rempli de milliers de supporters bruyants et d'ajouter la présence de coéquipiers et adversaires. Ainsi, il n'était pas possible d'inclure à l'expérience l'aspect émotionnel, afin de reproduire des conditions de stress intense typiques d'un tir au but.

Les faiblesses de l'étude résident également dans les sujets de l'échantillon, en raison des possibles blessures et de l'agenda des joueurs. Les blessures des joueurs étaient un facteur que nous ne pouvions pas contrôler et qui malheureusement a causé un abandon et des retards. En effet, il était à la base prévu un échantillon de huit sujets, mais leur nombre a dû passer à sept, car un des joueurs souffrait de blessures à répétition l'empêchant de prendre part aux séances de tirs au but. De plus, certains autres joueurs ont eu des blessures mineures qui les ont rendu indisponibles à une ou deux occasions. Il est également arrivé qu'une séance ne pouvait pas avoir lieu parce qu'un entraînement d'équipe était annulé, afin de permettre aux joueurs de se reposer. Par conséquent, le planning n'a pas pu être respecté à la lettre par tous les tireurs (certains ont terminé une voire deux semaines plus tard, et malgré un prolongement de la période de collecte des données de deux semaines, un sujet n'a participé qu'à 11 des 12 séances prévues, terminant à 220 buts tirés sur 240).

Enfin, les footballeurs des équipes du FC Bâle U16, U17 et U18 ayant un programme chargé, il a été impossible d'avoir un échantillon plus grand pour notre étude. Les joueurs vivaient en effet presque comme des professionnels, entre entraînements collectifs et individuels, séances d'analyse vidéo, de renforcement musculaire et de physiothérapie, sans oublier le fait qu'ils avaient tous entre 15 et 17 ans et devaient donc également suivre des cours à l'école.

5 Conclusion

L'étude des tirs au but dans le contexte du football est devenue un sujet de recherche de plus en plus courant, qui suscite l'intérêt non seulement dans des domaines strictement liés au sport, comme la biomécanique et la psychologie sportive, mais aussi dans des domaines aussi divers que l'économie et les mathématiques (Navarro et al., 2013). Les tirs au but, avec tous les enjeux qui les entourent, revêtent une importance capitale dans le football actuel. D'énormes sommes d'argent sont en jeu. Le football est en effet un sport populaire qui soulève des passions. Le tireur au but subit ainsi une grande pression. Face aux actions d'un gardien de but qui cherchent à lui faire perdre la concentration, face au comportement verbal et non verbal des adversaires regroupés autour de la surface de réparation qui cherche à le déstabiliser, parfois distrait par le comportement des coéquipiers, face aussi à la pression exercée par la foule, sans parler des millions de téléspectateurs qui regardent le match à la maison, le tireur professionnel est soumis à une forte pression qui peut dans certains cas sérieusement entraver l'action de son tir. Dans ces situations de déstabilisation et de pression intenses, l'automatisme se révèle être primordiale (Van Der Kamp, 2006). Elle permet de ne pas perdre le contrôle, donc de garder ses chances de marquer un but, et s'acquiert grâce à l'entraînement. Le choix tactique de la stratégie idéale à adopter ainsi que son exécution correcte décideront ainsi de l'issue de beaucoup de matchs, dont les finales de compétitions nationales et internationales.

Ce travail scientifique a étudié le seuil de temps auquel un footballeur d'élite juniors est capable de rediriger un tir au but avec une probabilité de succès de 50 % dans le cadre de la stratégie dépendante du gardien. Le seuil moyen de redirection a pu être établi à 315,91 ms (sans grande différence entre les redirections croisée et non croisée). De plus, il a été démontré que le seuil de temps des joueurs pouvait être amélioré par le biais d'entraînements de tirs au but répétés.

La réussite de la stratégie dépendante du gardien passe ainsi par la connaissance du seuil de redirection du tir et par l'entraînement aux tirs au but, dont les séances devraient idéalement être planifiées sur base des données et des résultats de travaux comme celui-ci et d'autres.

Ce travail de recherche a démontré l'importance d'un entraînement dans des conditions les plus proches possibles de la réalité. Il a mis en évidence l'utilité de la technologie, de même que les forces et les faiblesses d'un entraînement avec utilisation de la réalité augmentée, qui permet justement de se rapprocher des conditions réelles d'un match. Afin de s'entraîner dans des conditions de jeu toujours plus réelles, il sera fondamental pour les futures recherches footballistiques de continuer à profiter du progrès technologique, et notamment de la réalité augmentée.

Enfin, ce travail s'est focalisé sur une seule stratégie tactique avec laquelle il est possible d'aborder un tir au but : la stratégie dépendante du gardien. Cependant, comme l'ont affirmé Noël et al. en 2015, l'idéal pour chaque tireur serait d'interchanger judicieusement les stratégies indépendante et dépendante du gardien, de façon à être moins prévisible et à ce que les chances de marquer soient maximisées. Le message aux acteurs du football moderne est donc lancé : le succès d'une équipe et d'un club passera par l'entraînement des joueurs à une stratégie de tir au but mixte, avec l'aide de la technologie.

Bibliographie

- Alli, A. (2022). Seuil minimum à partir duquel la décision des footballeurs d'élite de rediriger un coup de pied lors d'un penalty est encore possible. *Travail de master, Université de Fribourg, Suisse*.
- 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>
- Jordet, G. (2009). Why do English players fail in soccer penalty shootouts? A study of team status, self-regulation, and choking under pressure. *Journal of Sports Sciences*, 27(2), 97-106. <https://doi.org/10.1080/02640410802509144>
- 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, 121–129. doi: 10.1080/02640410600624020
- Lidar. (2023). In *Larousse*. <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/lidar/47055>
- Masters, R. S. W., van der Kamp, J., & Jackson, R. C. (2007). Imperceptibly Off-Center Goalkeepers Influence Penalty-Kick Direction in Soccer. *Psychological Science*, 18(3), 222-223. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01878.x>
- Morya, E., Ranvaud, R., & Pinheiro, W. M. (2003). Dynamics of visual feedback in a laboratory simulation of a penalty kick. *Journal of Sports Sciences*, 21(2), 87-95. <https://doi.org/10.1080/0264041031000070840>
- Navarro, M., Miyamoto, N., van der Kamp, J., Morya, E., Ranvaud, R., & Savelsbergh, G. J. P. (2012). The Effects of High Pressure on the Point of No Return in Simulated Penalty Kicks. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 34(1), 83-101. <https://doi.org/10.1123/jsep.34.1.83>
- Navarro, M., van der Kamp, J., Ranvaud, R., & Savelsbergh, G. J. P. (2013). The mere presence of a goalkeeper affects the accuracy of penalty kicks. *Journal of Sports Sciences*, 31(9), 921-929. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.762602>
- Noël, B., Furley, P., van der Kamp, J., Dicks, M., & Memmert, D. (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>
- Noël, B., van der Kamp, J., & Klatt, S. (2021). The Interplay of Goalkeepers and Penalty Takers Affects Their Chances of Success. *Frontiers in Psychology*, 12, 645312. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.645312>

- 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>
- Williams, A. M., & Weigelt, C. (2002). Vision and proprioception in interceptive actions. In K.Davids, G. Savelsbergh, S. J. Bennett, & J. van der Kamp (Eds.), *Interceptive actions in sport: Information and movement* (pp. 90 – 108). London: E & FN Spon.
- Wood, G., Jordet, G., & Wilson, M. R. (2015). On winning the “lottery” : Psychological preparation for football penalty shoot-outs. *Journal of Sports Sciences*, 33(17), 1758-1765. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1012103>
- Wood, G., & Wilson, M. R. (2011). Quiet-eye training for soccer penalty kicks. *Cognitive Processing*, 12(3), 257-266. <https://doi.org/10.1007/s10339-011-0393-0>