

## Etude corrélative entre quelques variables biomécaniques de la trajectoire du ballon et la précision du tir du coup franc direct dans le football.

- BESSENOUCI Hadj Ahmed Islem,<sup>1</sup> - SBA Bouabdallah<sup>2</sup>  
- REGUIG Madani,<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire APS, Société, Education et Santé, Institut d'Education Physique et Sportive, Université Hassiba Benbouali Chlef, Algérie

<sup>2</sup>Laboratoire APS, Société, Education et Santé, Institut d'Education Physique et Sportive, Université Hassiba Benbouali Chlef, Algérie

<sup>3</sup>Institut d'Education Physique et Sportive, Université Abdelhamid Ben Badis Mostaganem, Algérie.

**Résumé :** Le but de cette étude est de définir la nature de la corrélation entre quelques variables biomécaniques de la trajectoire du ballon influant sur la précision du tir du coup franc direct dans le football, en émettant l'hypothèse qu'il existe une corrélation statistiquement significative ainsi qu'un taux de contribution important entre ces variables. L'échantillon se compose de cinq (05) joueurs sénior semi professionnelle (Age :  $22,8 \pm 2,59$  ans, Expérience :  $12,4 \pm 1,86$  ans, Poids :  $67,8 \pm 4,27$  Kg, Taille :  $1,75 \pm 0,04$  m), l'instrument de collecte des données est un test d'aptitude de précision du tir du coup franc direct sur trois (03) positions différentes (Droite, Centre, Gauche) sur une distance de 20 mètre. Les résultats ont révélé qu'il y a une corrélation statistiquement significatives entre la précision du tir du coup franc direct et le temps d'envol ( $p < 0,05$ ) avec un taux de contribution de 61 %, l'angle d'envol ( $p < 0,05$ ) avec un taux de contribution de 37 %, et la vitesse du ballon ( $p < 0,05$ ) avec un taux de contribution de 63 %, et l'accélération du ballon ( $p < 0,05$ ) avec un taux de 62 %, la quantité du mouvement ( $p < 0,05$ ) avec un taux de contribution de 63 % et l'énergie cinétique ( $p < 0,05$ ) avec un taux de contribution de 62 %.

**Mots-Clés :** Football, Variables biomécanique, trajectoire ballon, Précision, Coup franc direct.

### Correlative study between some biomechanical variables of the ball trajectory and the accuracy of the direct free kick in football.

**Abstract:** The aim of this study is to define the nature of the correlation between some biomechanical variables of the ball trajectory affecting the accuracy of the direct free kick in football, by hypothesizing that there is a statistically significant correlation and a significant contribution rate between these variables. The sample consists of five (5) senior semi-professional players (Age:  $22.8 \pm 2.59$  years, Experience:  $12.4 \pm 1.86$  years, Weight:  $67.8 \pm 4.27$  Kg, Height:  $1.75 \pm 0.04$  m), the data collection instrument is an accuracy test of direct free kick shot on three (03) different positions (Right, Center, Left) over a distance of 20 m. The results revealed that there was a statistically significant correlation between the accuracy of the direct free kick and the flight time ( $p < 0.05$ ) with a contribution rate of 61%, the angle of flight ( $P < 0.05$ ) with a contribution rate of 37%, and ball velocity ( $p < 0.05$ ) with a contribution rate of 63%, and ball acceleration ( $p < 0.05$ ) With a rate of 62%, the amount of movement ( $p < 0.05$ ) with a contribution rate of 63% and kinetic energy ( $p < 0.05$ ) with a contribution rate of 62%.

**Keys Words:** Football, Biomechanical variables, ball trajectory, accuracy, direct free kick.

تحليل بعض المتغيرات البيوميكانيكية لمسار الكرة المؤثرة على دقة ركلة حرة مباشرة في كرة القدم.

ملخص:

المهدف من هذه الدراسة هو تعريف طبيعة العلاقة بين بعض المتغيرات البيوميكانيكية لمسار الكرة المؤثرة على دقة ركلة الحرة المباشرة في كرة القدم، وذلك بطرح الفرضية بأن هناك علاقة الارتباطية ذات دلالة إحصائية ونسبة مساهمة معتبرة بين هذه المتغيرات. عينة البحث مكونة من خمسة (05) لاعبين أكابر شبه محترفين (العمر:  $22.8 \pm 2.59$  سنة، الخبرة:  $12.4 \pm 1.86$  سنة، الوزن:  $67.8 \pm 4.27$  كغ، الطول:  $1.75 \pm 0.04$  م)، وأداة جمع البيانات هو اختبار الدقة ركلة الحرة مباشرة في ثلاثة (03) وضعيات مختلفة (يمين، وسط، يسار) على مسافة 20 مترا، وكشفت النتائج أن هناك علاقة الارتباطية ذات دلالة إحصائية بين دقة ركلة حرة مباشرة وزمن الطيران الكرة ( $p > 0,05$ ) بنسبة مساهمة 61%، وزاوية الطيران الكرة ( $p > 0,05$ ) بنسبة مساهمة 37%، وسرعة الكرة ( $p > 0,05$ ) وذلك بنسبة مساهمة 63%، وتسارع الكرة ( $p > 0,05$ ) وذلك بنسبة 62%، وكمية الحركة ( $p > 0,05$ ) مع نسبة مساهمة 63%، والطاقة الحركية ( $p > 0,05$ ) بنسبة مساهمة 62%.

الكلمات المفتاحية: كرة القدم، المتغيرات البيوميكانيكية، مسار الكرة، دقة، ركلة حرة مباشرة.

## ➤ INTRODUCTION

Le football est de loin le sport le plus populaire au monde, il attire le plus grand nombre de spectateurs parmi les différentes branches du sport. (Pakdemirli, 2015). La biomécanique c'est la science qui peut aider les athlètes à mieux comprendre leurs techniques gestuelles dans une discipline donnée (Anthony J. Blazeovich, 2007) De la même manière, donnée aux entraîneurs la possibilité d'étudier la cinématique et la cinétique, en appliquant les concepts élémentaires dans la description du mouvement d'un corps ou d'un outil sportif. (De Luca, Faella, W, Halliday D, & A, 2017).

On trouve dans de nombreux sports des mouvements de projectile ; au basket-ball lors du lancer franc, lors du lancer de marteau du javelot et du disque, le service smash au volley-ball, tir du penalty, dégagement du gardien du but, tir du corner et le tir du coup franc direct ou indirect au football, presque tous les ballons et outils, utilisés dans le sport deviennent un projectile une fois lancé, frapper ou tirer.

Le coup franc est l'une des habileté offensive les plus importantes dans le football pour marquer un but, c'est la tentative d'expédier le ballon dans le but adverse par une frappe de balle au-dessous d'un mur de joueurs qui se trouve à une distance de 9.15 m du ballon. La trajectoire du tir du coup franc direct est déterminée par les conditions initiales du projectile (Angle initial, vitesse initial et hauteur initial) (McGinnis, 2013), transférés par le pied après le contact de ce dernier avec le ballon.

Lors de la Coupe du Monde de la FIFA 1998, sur les 171 buts marqués, 42 provenaient de coups de pieds arrêtés, dont 50 % provenaient de coups francs (Grant et al. 1999). Il est donc pas surprenant, que la plupart des équipes contiennent au moins un coup franc par match. (Alcock, 2010) a fait une étude statistique sur les fréquences des buts sur coup franc lors des précédentes coupes du monde féminin, en 1991 sur les 99 buts marqués seulement un seul était marqué sur un coup franc soit avec un pourcentage de 1.01%, en 1999, 132 buts marqués, 05 sur coup franc, avec 4.07%, en 2003, 107 but marqués, 05 sur coup franc, 4.67%, en 2007, 111 buts marqué, 07 sur coup franc, 6.31%.

Cependant, les meilleurs joueurs n'arrivent pas à convertir leurs tirs du coup franc par un but qui pourra basculer l'issue du match en faveur de leurs équipes, des statistique ont été publier sur le site WhoScored.com le 16/11/2015 sur la conversion des coup franc lors de la saison 2013/2014 du top 5 des championnats européens, on y trouve que Cristiano Ronaldo sur ses 73 tentative du tir du coup franc il n'ait arrivé qu'a marqué seulement 05 avec un

taux de réussite 6.8%, Lionel Messi, 70 tentatives, 04 marqués, avec un taux de réussite de 5.7%, et en bas du tableau Zlatan Ibrahimovic sur les 61 tentative, il a marqué 03 buts, ce qui lui donne un taux de réussite de 4.9%. Sur le même site, le 16/04/2015, on y trouve les statistiques des tirs du coup franc des mêmes joueurs cités aux dessus, et cela pour la saison 2014/2015, en intégrant cette fois le taux de précision des tirs, Lionel Messi 31 tentatives, 02 buts, 6.7% taux de conversion et 32.3% taux de précision des tirs. Zlatan Ibrahimovic, 16 Tentatives, 01 but, 6.3 % taux de conversion, et 31.3 % taux de précision. Cristiano Ronaldo, 24 tentatives ; 01 buts, 4.2 % taux de conversion, et 29.2 % taux de précision.

Le coup franc est une technique qui permet de faire basculer une rencontre à son avantage. Pour tout footballeur, marquer un but lors d'une rencontre est une chose importante qui procure une joie immense, comme il est constaté, que ça soit sur le plan collectif ou individuel, dans les compétitions masculines ou féminines, le coup franc est souvent décisif au cours d'une rencontre de football, toute fois que, il n'est pas toujours transformé par le tireur. Cependant cette étude porte sur la compréhension du rôle de quelques variables biomécaniques de la trajectoire du ballon à la réussite du tir du coup franc direct dans le football.

Pour répondre à cet enjeu, le travail de cette étude se concentre sur la problématique suivante : Quelles sont les natures corrélationnelles de quelques variables biomécaniques de la trajectoire et la précision du tir du coup franc direct dans le football ?

Les objectifs généraux de cette étude sont :

- La définition des valeurs des variables biomécaniques de la trajectoire du ballon (temps d'envol, angle initial, vitesse, accélération, énergie cinétique et quantité du mouvement) influant sur la précision du coup franc direct.
- Fournir des indices biomécaniques pour réussir le coup franc direct.

Afin de répondre aux questions de la

problématique les hypothèses suivantes sont émises :

- Il y a une corrélation statistiquement significative avec un taux de contribution important entre les variables cinématique (temps d'envol, angle initial, vitesse et accélération du ballon) de la trajectoire du ballon et la précision du coup franc direct.
- Il y a une corrélation statistiquement significative avec un taux de contribution important entre les variables cinétique (énergie cinétique et quantité du mouvement du ballon) de la trajectoire du ballon et la précision du coup franc direct.

### ➤ Methodologie

#### 2-1- Methodologie de la recherche :

Selon sa nature, cette étude suit la méthode descriptive.

#### 2-3- Echantillon :

L'échantillon de cette étude se compose de cinq (05) joueurs sénior semi professionnelle sur les 22 joueurs de l'équipe, choisie d'une manière systématique avec un pourcentage de 22.72%. Le tableau (02) décrit les caractéristiques générales de l'échantillon de l'étude :

**Tableau (01) : Caractéristiques générales de l'échantillon**

	Age	Expérience	Poids	Taille
<b>Moyenne</b>	22,8 ans	12,4 ans	67,8 Kg	1,75 m
<b>Ecart Type</b>	2,59	1,86	4,27	0,04

#### 2-4- Les variables de L'étude :

**2-4-1- La variable indépendante :** Une variable est dite indépendante quand elle constitue la cause présumée d'un phénomène d'étude, dans la relation cause à effet. C'est celle que le chercheur veut mesurer, et dans cette étude les variables indépendante sont les variables biomécaniques (Cinématique ; Temps d'envol du ballon, angle d'envol du ballon, la vitesse du ballon et l'accélération du ballon. Cinétique ; La quantité du mouvement et l'énergie cinétique du ballon).

**2-4-2- La variable dépendante :** La variable dépendante est celle qui subit les effets de la variable indépendante. Voilà pourquoi elle est l'effet présumé d'un phénomène d'étude. C'est le facteur que le chercheur essaye ou veut expliquer, et dans cette étude la variable dépendante est la précision du tir du coup franc direct en football.

**2-4-3- La variable parasite :** une variable est dite parasite quand elle fait partis de tout facteur non désirable influant sur la variable dépendante, et de ce fait nuit à l'établissement clair d'une relation entre les variables biomécanique de la trajectoire du ballon et la précision du tir du coup franc direct.

Afin de normaliser et contrôler ces variables parasites, les chercheurs ont procédé ainsi :

- Eliminer la pression en effectuant le teste dans un stade vide.
- Eliminer l'enjeu en retirant le gardien de but du test.
- Donner les mêmes ballons pour tous les joueurs.
- Donner les mêmes instructions pour tous les joueurs.
- Tous les joueurs ont tiraient dans le même but.

#### 2-5- Les critères de qualité du teste :

**2-5-1- La validité**

La méthode de validité différentielle a été utilisé pour déterminer la différence entre deux groupe de niveau différent, cinq joueurs semi professionnels, et cinq joueurs amateur ont été choisi, les résultats sont montré dans le tableau suivant :

**Tableau (02) :** *représente les moyennes, les écarts type et le T Student des deux croupes*

	Semi professionnels		Amateur		T Student
	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	
<b>Précision</b>	31.99	3.62	15.16	2.01	<b>*12.195</b>

*\*T student est significatif au niveau 0,05.*

Comme on peut le voir sur le tableau (02), la valeur de T Student calculé (12.195) est significative au seuil ( $p < 0,05$ ), cela signifie qu'il y a une différence statistiquement significative entre les deux groupe, ce qui nous dévoile que le test a une très grande validité.

**2-5-2- La fidélité ou fiabilité :**

La fidélité par test-retest consiste simplement à refaire le test de précision du tir du coup franc direct à nouveau aux mêmes joueurs après un intervalle de temps (Dix jours), et calculer le coefficient de corrélation entre les deux tests comme il est indiqué au tableau suivant :

**Tableau (03) :** *représente les moyennes, les écarts types et le coefficient de corrélation du teste et re-test.*

Variables	Test (avant dix jours)		Re-test (après dix jours)		Corrélation (r)
	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	
<b>Précision</b>	32.01	3.13	31.87	2.91	<b>*0.901</b>

*\*La corrélation est significative au niveau 0,05.*

Le tableau (03) ci-dessous nous montre que la valeur du coefficient de la corrélation calculé (0.901) est significative au seuil ( $p < 0,05$ ), cela traduit une corrélation statistiquement significative entre le test et le re-test. Le test a une forte fidélité.

**2-5-3- Objectivité :**

L'objectivité s'entend comme le fait que les conclusions de l'évaluation n'ont pas été influencées par les préférences personnelles ou les positions institutionnelles des responsables de l'évaluation.

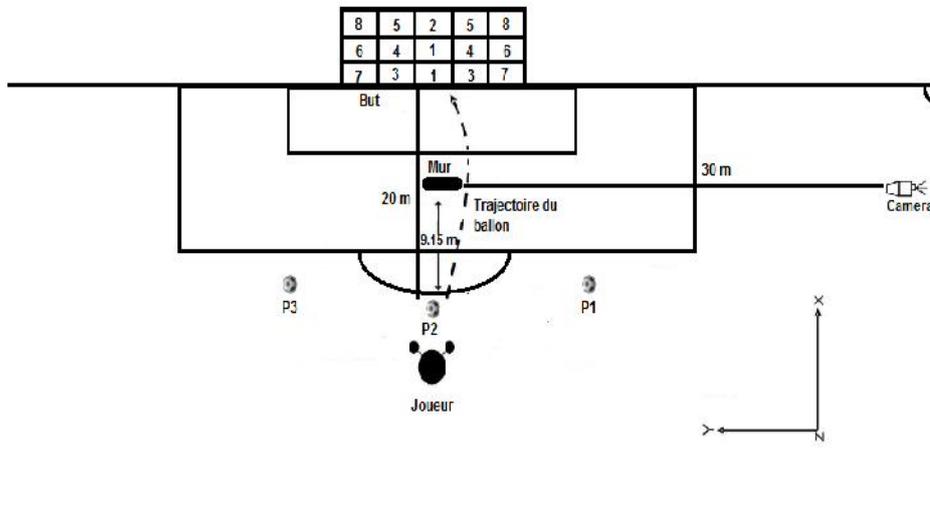
Caractéristique d'une procédure dont le résultat dépend des caractéristiques de l'individu examiné plutôt que des caractéristiques de l'examineur et, ainsi, ne varie pas d'un examinateur à l'autre. Cette procédure doit donc être explicite et standardisée de sorte que divers examinateurs utilisant un même test avec un même sujet arrivent au même résultat. Puisque la fiabilité du teste est élevée cela conduit également à une grande objectivité au test de cette étude.

**2-6- L'instrument de collecte des données :**

**2-6-1- Teste du tir du coup franc direct :** Ballon placé a trois positions différentes (droite, centrale et gauche) sur une distance de 20 m des buts avec mur règlementaire (9,15 m), le but divisé avec 6 bandes, en 15 rectangles égaux d'une hauteur de 81 cm et d'une largeur de 146 cm, et numéroté de 1 à 8 selon la difficulté de la précision, cinq ballons de football réglementaire, des bandes élastiques.

**2- 6- 2- L'enregistrement de la trajectoire du ballon :** camera Homday X-PERT, résolution vidéo : 1808p/720p, vitesse d'enregistrement : 25 ips / 50 ips, sur une distance de 30 m perpendiculaire au plan frontal de la trajectoire du ballon. Figure 1.

**Figure (01) :** Procédure de collecte des données.



**3- Analyse vidéo :** L'analyse vidéo a été réalisée par le logiciel Tracker ver 4.95. Figure2.

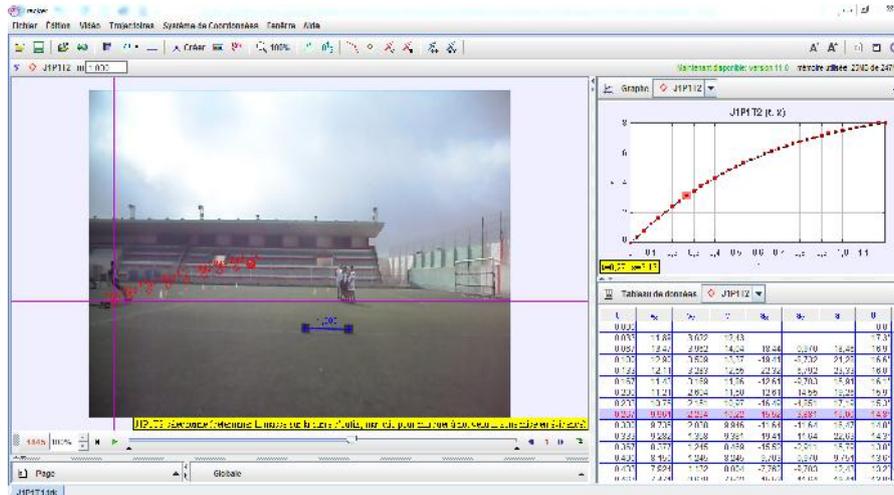


Figure (02) : Analyse vidéo par le logiciel Tracker.

## 2-7- Traitement Statistique :

En utilisant les paramètres de tendance centrale (moyenne arithmétique) et de dispersion (écart-type) ainsi que le t student, pour la partie descriptive et le calcul des coefficients de corrélation de Bravais Pearson (r) et la taux de contribution qui est égale au carré du coefficients de corrélation ( $r^2$ ) pour la partie analytique. Les calculs ont été effectués par l'utilitaire d'analyse du logiciel Excel de Microsoft Office 2010.

### 2-7-1- Formule T Student :

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{N_1} + \frac{s_2^2}{N_2}}}$$

### 2-7-2- Formule Coefficient de corrélation :

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

#### I. Résultats :

Après la collecte et l'analyse vidéo, puis l'analyse statistiques des données, on peut observer les résultats comme suite :

**Tableau (04) : Résultats corrélatifs attribués aux variables cinématiques.**

		Variables Cinématiques			
		$t$	$\theta_0$	$v$	$\alpha$
Moyennes		1,33	17,09	15,39	12,14
Ecart Types		0,21	4,15	2,47	3,95
Précision	Coefficient de Corrélation	**0,781	**0,608	**-,0791	**-,0789
	Coefficient de Détermination	61 %	37 %	63 %	62 %

\*\* . La corrélation est significative au niveau 0,05 (bilatéral).

Comme il est présenté sur le tableau 04 ci-dessus :

- 1. Temps d'envol ( $t$ ):** la moyenne du temps d'envol du ballon est de 1,33 s et l'écart type est de 0,21, une corrélation de 0,781 avec la précision du tir du coup franc direct, au niveau signification  $p < 0,05$ , alors que le taux de contribution est de 61%.
- 2. Angle d'envol ( $\theta_0$ ):** la moyenne de l'angle d'envol du ballon est de 17,09° et l'écart type est de 4,15, une corrélation de 0.608 avec la précision du tir du coup franc direct, au niveau signification  $p < 0,05$ , alors que le taux de contribution est de 37%.
- 3. La vitesse ( $v$ ):** la moyenne de la vitesse du ballon est de 15,39  $m.s^{-1}$  et l'écart type est de 2,47, une corrélation de -0,791 avec la précision du tir du coup franc direct, au niveau signification  $p < 0,05$ , alors que le taux de contribution est de 63%.
- 4. L'accélération ( $\alpha$ ) :** la moyenne l'accélération du ballon est de 12,14  $m.s^{-2}$  et l'écart type est de 3,95, une corrélation de -0,789 avec la précision du tir du coup franc direct, au niveau signification  $p < 0,05$ , alors que le taux de contribution est de 62%.

**Tableau (05) : Résultats corrélatifs attribués aux variables cinétiques.**

		Variables Cinétiques	
		$P$	$Ec$
Moyennes		6,92	54.66
Ecart types		1,11	17,79
Précision	Coefficient de Corrélation	**-,0792	**-,0789
	Coefficient de Détermination	63 %	62 %

\*\* . La corrélation est significative au niveau 0,05 (bilatéral).

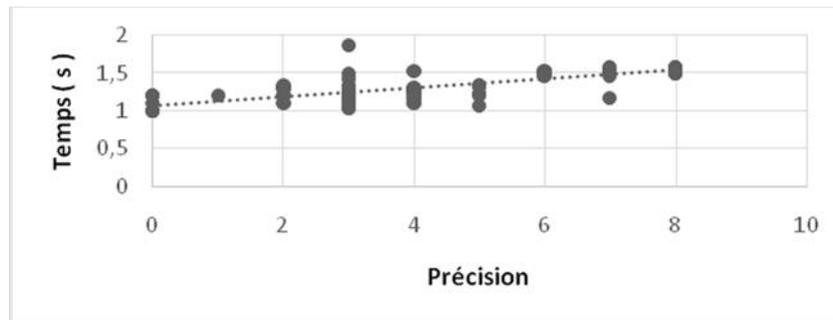
Comme il est présenté sur le tableau 05 ci-dessus :

5. **Quantité de Mouvement ( $p$ )** : la moyenne de la quantité du mouvement du ballon est de  $6,92 \text{ kg.m.s}^{-1}$ , et l'écart type est de 1,11, une corrélation de -0,792 avec la précision du tir du coup franc direct, au niveau signification  $p < 0,05$ , alors que le taux de contribution est de 63%.
6. **Energie Cinétique ( $E_c$ )** : la moyenne de l'énergie cinétique du ballon est de  $54,66 \text{ J}$  et l'écart type est de 17,79, une corrélation de -0,789 avec la précision du tir du coup franc direct, au niveau signification  $p < 0,05$ , alors que le taux de contribution est de 62%.

➤ **Discutions :**

**Hypothèse 01** : « *Il y a une corrélation statistiquement significative avec un taux de contribution important entre les variables cinématique de la trajectoire du ballon et la précision du coup franc direct* ».

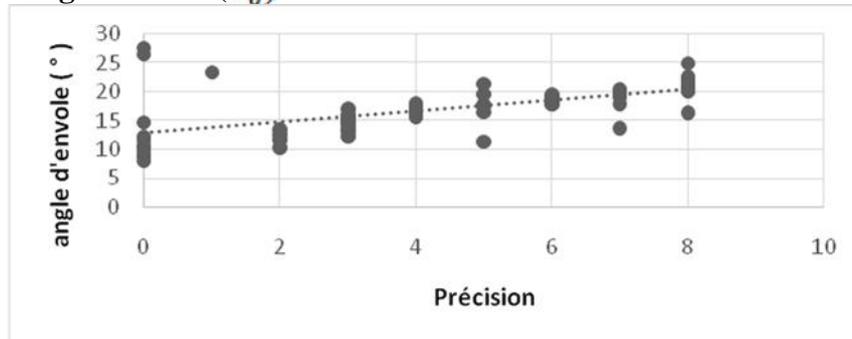
1. **Temps d'envol ( $t$ )** :



**Figure (03)** : Nuage de point corrélatifs entre le temps d'envol et la précision.

La figure (03) représente la corrélation entre le temps d'envol du ballon et la précision du tir du coup franc direct, il est observé que les deux variables ont une corrélation linéaire positive, tout comme il est constaté que le temps d'envol du ballon varie entre 1 s et 1,9 s avec une moyenne de 1,33 s, durant les 20 m que séparent le positionnement initial du ballon et les buts, ces résultats vont dans le même sens que l'étude de (De Luca et al., 2017) qui a conclu que le temps minimal d'envol du ballon est compris 0,70 s et 1,63 s, ce qui laisse peu de temps au gardien de but pour anticiper la trajectoire du ballon, donc, d'augmente les chances de convertir le coup franc en but.

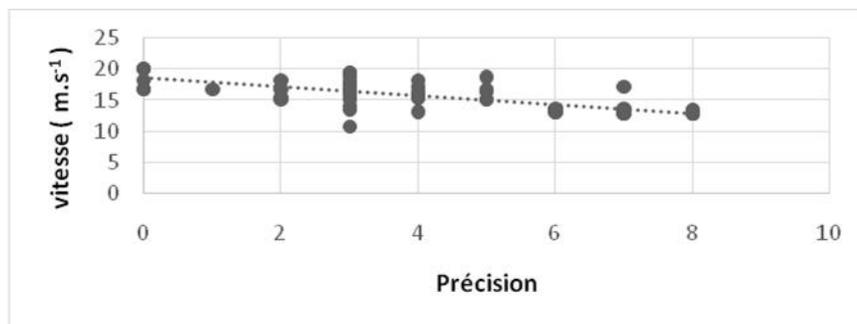
## 2. Angle d'envol ( $\theta_0$ ) :



*Figure (04) : Nuage de point corrélatifs entre l'angle d'envol et la précision.*

La figure (04) représente la corrélation entre l'angle d'envol du ballon et la précision du tir du coup franc direct, l'angle d'envol a une corrélation linéaire positive avec la précision du tir, on observe que le meilleur angle selon cette étude pour réussir le tir du coup franc est de  $25^\circ$ , ce qui confirme les résultats de (Hong, Chung, Nakayama, & Asai, 2010) en admettant que la moyenne de l'angle d'envol du ballon lors du tir du coup franc est de  $29,3^\circ \pm 5,9$  pour un tir de balle flottante et de  $21,8^\circ \pm 3,6$  pour un tri avec une trajectoire de balle courbée.

## 3. Vitesse du ballon ( $v$ ) :



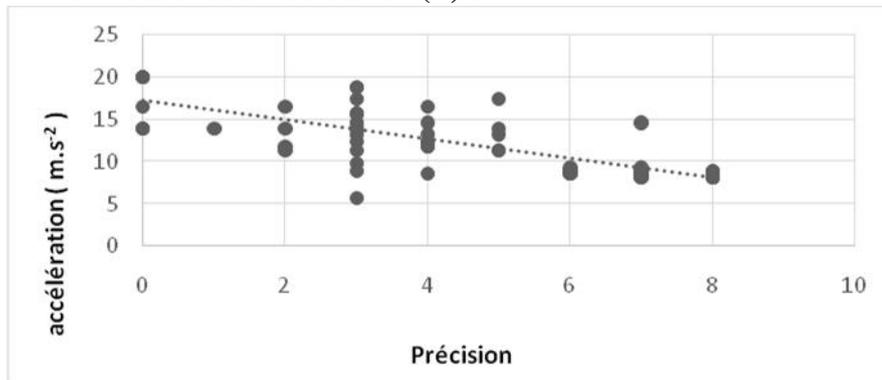
*Figure (05) : Nuage de point corrélatifs entre la vitesse du ballon et la précision.*

La figure (05) représente la corrélation entre la vitesse du ballon et la précision du tir du coup franc direct, la vitesse a une corrélation linéaire négative avec la précision du tir, il est accordé que plus la vitesse d'un mouvement augmente, moins il sera précis selon la loi de Fitt (Fitts, 1954), on retrouve ce principe au football, plus le joueur cherchera à frapper fort, plus la vitesse du ballon sera

élevée mais la précision diminuera (Kellis & Katis, 2007; van den Tillaar & Ulvik, 2014). On peut voir que la moyenne de la vitesse du ballon est de  $15,39 \pm 2,47 \text{ m.s}^{-1}$ , alors que (Hong, Kazama, Nakayama, & Asai, 2012) affirment que la moyenne de la vitesse du ballon lors du tir direct au but aux dessus du mur est de  $28,3 \text{ m.s}^{-1}$ , pour un tir avec une balle flottante la vitesse est de  $25,8 \text{ m.s}^{-1}$ , alors que pour un tir courbé la vitesse est de  $26,0 \text{ m.s}^{-1}$ , pour conclure que la vitesse du tir du coup franc direct est comprise entre 24,7 et  $29,9 \text{ m.s}^{-1}$ , alors que pour un coup franc courbée la vitesse est comprise entre 25,4 et  $27,4 \text{ m.s}^{-1}$ .

(De Luca et al., 2017) estime que la vitesse initiale du ballon  $v_0 = 20,4 \text{ m.s}^{-1}$ , afin que le ballon parcourt la trajectoire de son envol durant le tir du coup franc en un minimum de temps.

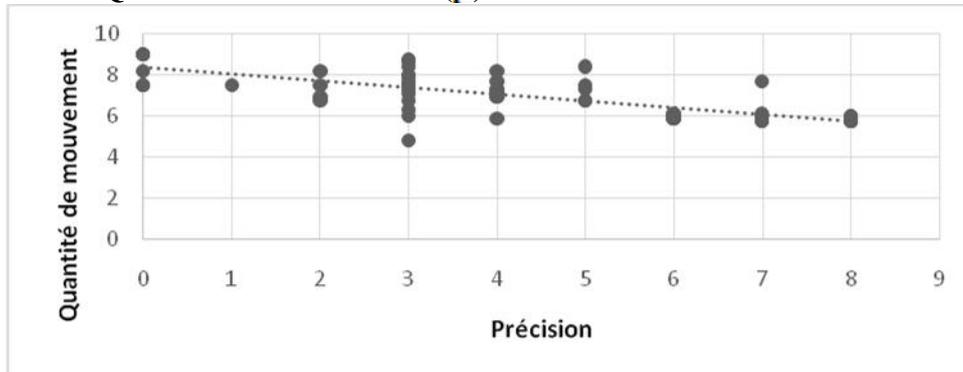
#### 4. Accélération du ballon ( $a$ ) :



**Figure (06) :** Nuage de point corrélatifs entre l'accélération du ballon et la précision.

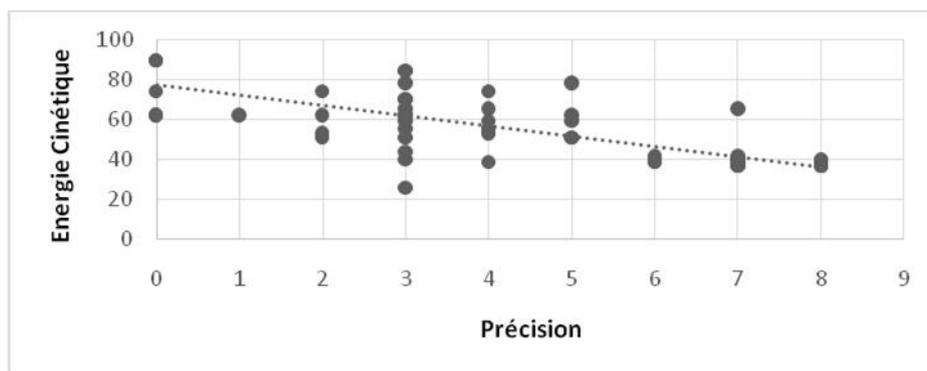
La figure (06) représente la corrélation entre l'accélération du ballon et la précision du tir du coup franc direct, tout comme la vitesse, l'accélération a une corrélation linéaire négative avec la précision du tir, avec une moyenne de  $12,14 \pm 3,95 \text{ m.s}^{-2}$ , cela se comprend vu la vitesse que le ballon lors de son envol afin de maximiser au plus haut les chances de la précision du tir, l'accélération du ballon est comprise entre 9 et  $20 \text{ m.s}^{-2}$ .

**Hypothèse 02 :** « Il y a une corrélation statistiquement significative avec un taux de contribution important entre les variables cinétique de la trajectoire du ballon et la précision du coup franc direct ».

**5. Quantité du mouvement ( $p$ ) :**

**Figure (07) :** Nuage de point corrélatifs entre la quantité du mouvement du ballon et la précision.

La figure (07) représente la corrélation entre la quantité du mouvement du ballon et la précision du tir du coup franc direct, la quantité du mouvement du ballon est comprise entre 5 et 9  $kg.m.s^{-1}$ , alors que sa corrélation est statiquement linéaire négative avec la précision du tir du coup franc direct, cela s'explique par la corrélation négative entre la vitesse du ballon et la précision du tir selon la loi de Fitts, comme il est connue que la quantité du mouvement et le produit de la masse et la vitesse de translation du ballon comme il est indiqué plus haut. Le transfert de la quantité du mouvement se fait à travers la chaîne cinétique de tous les corps, en commençant par le pied d'appuis en remontant vers la jambe, puis la cuisse (gauche pour un tireur droitier), puis vers le tronc et en redescendant vers la cuisse, puis la jambe et enfin le pied droit du tireur après l'impact avec le ballon (Tsaousidis & Zatsiorsky, 1996).

**6. Energie cinétique du ballon ( $E_c$ ) :**

**Figure (08) :** Nuage de point corrélatifs entre l'énergie cinétique du ballon et la précision.

La figure (08) représente la corrélation entre l'énergie cinétique du ballon et la précision du tir du coup franc direct, la quantité du mouvement du ballon est comprise entre 25 et 90  $J$ , bien que sa corrélation est statiquement linéaire négative avec la précision du tir du coup franc direct, tout comme la quantité du moment du ballon.

#### ➤ Conclusion

Les exigences du football moderne ne cessent d'augmenter. Il est connu que les sports collectifs comme le football sont forts complexes de par les paramètres qu'ils mettent en jeu. Effectivement, le travail de cette étude s'est concentré sur les paramètres biomécaniques entrant en jeu sur la trajectoire du ballon lors du tir du coup franc direct. En étudiant les corrélations de ces derniers avec la précision du tir du coup franc.

Le but de cette étude était d'identifier les variables biomécaniques influant sur la précision du coup franc direct, tout en définissant les phases importantes de l'exécution du tir du coup franc, afin de fournir des indices biomécaniques aux joueurs et entraîneurs pour réussir le coup franc direct.

Les résultats obtenus mettent en avant les variables cinématiques et cinétiques ayant une corrélation statistiquement importante avec la réussite du tir du coup franc, en mettant le point sur le temps et l'angle d'envol du ballon qui ont une corrélation fortement positive au seuil de signification  $p < 0,05$ , avec des taux de contribution important 62% et 37%, en concluant que le temps d'envole idéal pour la réussite du coup franc est de  $1,33 \pm 0,21$ , alors que l'angle d'envol est de  $25^\circ$ , la vitesse et l'accélération du ballon ont une corrélation statistiquement négative avec 63 % de taux de contribution pour la vitesse et 62% pour l'accélération, en concluant que la vitesse du tir du coup franc direct est comprise entre 24,7 et 29,9  $m.s^{-1}$ , alors que pour un coup franc courbée la vitesse est entre 25,4 et 27,4  $m.s^{-1}$ . Les variables cinétique, la quantité du mouvement et l'énergie cinétique du ballon ont des corrélations statistiquement négative au seuil de signification  $p < 0,05$ , avec des taux de contribution 62% et 63% à la suite.

#### ➤ Références

1. Alcock, A. (2010). Analysis of direct free kicks in the women's football World Cup 2007. *European Journal of Sport Science*, 10(4), 279–284. <http://doi.org/10.1080/17461390903515188>
2. Anthony J. Blazeovich. (2007). *Sports Biomechanics: The Basics: Optimising Human Performance*. (A&C Black, Ed.). London: A&C Black Publishers Ltd. Retrieved from [http://basijcssc.ir/sites/default/files/Anthony\\_Blazeovich\\_Sports\\_Biomechanics\\_The\\_Basics\\_Optimising\\_Human\\_Performance\\_2007.pdf](http://basijcssc.ir/sites/default/files/Anthony_Blazeovich_Sports_Biomechanics_The_Basics_Optimising_Human_Performance_2007.pdf)

3. De Luca, R., Faella, O., W, S. F. W. and Z. M., Halliday D, R. R. and W. J., & A, T. P. (2017). An ideal free-kick. *European Journal of Physics*, 38(1), 14002. <http://doi.org/10.1088/0143-0807/38/1/014002>
4. Fitts, P. M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 47(6), 381–391. <http://doi.org/10.1037/h0055392>
5. Hong, S., Chung, C., Nakayama, M., & Asai, T. (2010). Unsteady aerodynamic force on a knuckleball in soccer. *Procedia Engineering*, 2(2), 2455–2460. <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2010.04.015>
6. Hong, S., Kazama, Y., Nakayama, M., & Asai, T. (2012). Ball impact dynamics of knuckling shot in soccer. *Procedia Engineering*, 34, 200–205. <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.04.035>
7. Kellis, E., & Katis, A. (2007). Biomechanical characteristics and determinants of instep soccer kick. ©*Journal of Sports Science and Medicine*, 6, 154–165. Retrieved from <http://www.jssm.org>
8. McGinnis, P. M. (2013). *BIOMECHANICS OF SPORT AND EXERCISE* (3rd Editio). Human Kinetics.
9. Pakdemirli, M. (2015). Determining the velocities and angles for a free kick problem, 5(June), 1–5.
10. Tsaousidis, N., & Zatsiorsky, V. (1996). Two types of ball-effector interaction and their relative contribution to soccer kicking. *Human Movement Science*, 15(6), 861–876. [http://doi.org/10.1016/S0167-9457\(96\)00027-9](http://doi.org/10.1016/S0167-9457(96)00027-9)
11. van den Tillaar, R., & Ulvik, A. (2014). Influence of Instruction on Velocity and Accuracy in Soccer Kicking of Experienced Soccer Players. *Journal of Motor Behavior*, 46(5), 287–291. <http://doi.org/10.1080/00222895.2014.898609>