

Mémoire de Maîtrise en médecine No 874

Analyse de l'activité de match chez l'arbitre de football par accéléromètre et critique des tests de sélection FIFA

Etudiant

Mike Chiari

Tuteur

Dr Gérald Gremion

Médecine du sport, Département de l'Appareil Locomoteur, CHUV

Co-tuteur

Dr Julien Chardonnens

Laboratoire de Mesure et Analyse du Mouvement, EPFL

Expert

Prof. Kamiar Aminian

Laboratoire de Mesure et Analyse du Mouvement, EPFL

Lausanne, décembre 2012

TABLE DES MATIERES :

ABSTRACT	3
MOTS-CLES	3
INTRODUCTION	4
METHODE DE MESURE	6
LIEU	6
PARTICIPANTS ET CRITERES D'INCLUSION	6
NOMBRE DE DONNEES	6
CHOIX DE L'APPAREIL	7
DISPOSITION DU SYSTEME	8
ENREGISTREMENT DES DONNEES	9
VALIDATION DE LA METHODE	11
METHODE D'ANALYSE ET PARAMETRES EXTRAITS	13
RESULTATS	14
DISCUSSION	17
LIMITATIONS ET AMELIORATIONS	20
RECHERCHES FUTURES	21
CONCLUSION	22
REMERCIEMENTS	23
ANNEXES	24
ANNEXE 1 : ASSOCIATION GPS-MAGNETOMETRE	24
ANNEXE 2 : PROTOCOLES DE MESURE EFFECTUEES EN PRE-TEST	25
ANNEXE 3 : CONSTRUCTION DES HISTOGRAMMES	26
ANNEXE 4 : BOXPLOTS	27
ANNEXE 5 : CALCUL D'OPTIMISATION DU "TEST PAR INTERVALLES" FIFA	28
BIBLIOGRAPHIE	29

ABSTRACT :

Introduction : Depuis 2005, le « Test FIFA » est utilisé chez les arbitres de football, comme critère de sélection pour monter dans les échelons de l'arbitrage et chaque arbitre base son entraînement dans cet objectif. Ce test a été développé grâce aux nombreux travaux scientifiques, ayant utilisé l'analyse vidéo, afin de quantifier les activités de match des arbitres et analyser leur performance en cours de match.

Objectifs : Le but de ce travail a été d'évaluer la performance de l'arbitre, lors d'un match de football, au moyen d'un accéléromètre en raison de sa facilité d'utilisation et en particulier d'évaluer si au cours du match, il existe une éventuelle diminution de la capacité de performance engendrée par la fatigue. Enfin, à la lumière des résultats, nous avons pu discuter du bien fondé du « *test par intervalle proposé par la FIFA* » comme moyen d'estimation de la capacité physique d'un arbitre.

Méthode : Il s'agit d'une étude prospective basée sur une analyse descriptive. Les données ont été récoltées dans des stades de football suisses $\geq 1^{\text{ère}}$ Ligue, du 01.12.2011 au 01.12.2012. Le groupe étudié était composé de 5 arbitres de football de sexe masculin, dont deux officiant en $1^{\text{ère}}$ Ligue et faisant partie des talents de l'Association Cantonale Vaudoise de Football (ACVF) et trois en Super League et Challenge League. Les 5 arbitres ont été équipés d'un iPhone 3GS®, muni d'une application, capable d'enregistrer les déplacements sur le terrain (arrêt, marche et course). Le traitement des données a été effectué par un programme Matlab®, élaboré par le Laboratoire des Mesures d'Analyse du Mouvement (LMAM) de l'EPFL, tout comme l'application en question. Pour ce travail ont été considérées les phases et les fréquences d'arrêt, de marche et de course tout au long de l'évolution de la partie.

Résultats : Durant les 90 minutes du match, la répartition se fait de la manière suivante : 13,74% du temps total où l'accéléromètre ne mesure aucune activité, 33,70% concernent une activité de course alors que le reste, 52,48% est de la marche. Avec l'avancement dans le match, il est constaté une augmentation des phases d'arrêt et une diminution du temps de course. Une intensité d'effort plus importante est observée lors des 15 premières minutes du match (environ 41,7% de course), alors qu'en fin de la partie, il y a une alternance de marche et de course avec des efforts de plus en plus brefs. La détermination de la médiane de durée des différents efforts a montré qu'un épisode de marche ou de course étaient de 5-6 secondes. De plus, les épisodes de marche ou de course étaient rarement >20 secondes.

Discussion : Les résultats montrent que l'accéléromètre est un système de mesure facile d'utilisation, permettant un gain de temps dans l'analyse des données pour évaluer la performance sportive.

Les principaux résultats de cette étude, ont mis en évidence une diminution de l'intensité des activités physiques de l'arbitre avec l'avancement du match, résultant soit de sa propre fatigue, soit de celle des joueurs dictant le rythme du jeu. Cette diminution se traduit par des déplacements de plus en plus brefs au fil du temps. La mesure de médiane du temps de course et de marche (5-6 sec) correspond à une activité aérobie pour la marche et anaérobie alactique pour la course. Par conséquent, le « test par intervalle » de la FIFA actuel ne nous semble pas adéquat en raison de sa filière énergétique de type anaérobie lactique.

Conclusion : Cette étude pilote apporte un nouveau type d'instrumentation efficace et simple, jamais employé auparavant dans l'analyse des activités de match des arbitres de football. Il permet d'explorer des mouvements avec précision au fil du match et apporte un nouvel aspect sur la quantification de performance des arbitres non exploré jusqu'ici. Après analyse de l'ensemble des paramètres, il semble que le test FIFA ne soit pas adapté à la performance exigée par l'arbitrage.

Mots-clés : Arbitre, Football, FIFA, Accéléromètre, Activité

INTRODUCTION :

La naissance officielle du football remonte à 1863 lorsque la Fédération Anglaise de Football est créée {1}. Son but était d'unifier le règlement {1}. Depuis lors, de nombreux progrès ont été fait, tant au point de vue du niveau du jeu des équipes, que dans l'application du règlement. Cette activité sportive est devenue avec le temps la plus populaire au monde et elle se veut aujourd'hui irréprochable en matière d'arbitrage. De ce fait, les exigences demandées aux arbitres sont de plus en plus grandes, afin de minimiser toujours plus les erreurs.

Pour mener à bien cette tâche, leur condition physique doit être optimale. En effet l'arbitre de football, est considéré comme un joueur à part entière et il doit être capable de suivre le rythme du jeu, de manière à, au cours de la partie, occuper la position la plus adéquate par rapport au déroulement de l'action. Ceci est donc crucial pour prendre la meilleure des décisions {2}.

Un arbitre de ligue nationale couvre une distance totale d'environ 11 km par match dont environ 900m à haute intensité (course rapide ou sprint) {3}. Une mauvaise condition physique augmenterait probablement les risques d'erreurs d'arbitrages. A cet effet, l'organe faïtier du football, la FIFA (Fédération International de Football Association) a introduit une batterie de tests physiques dans le but de mesurer la condition physique des arbitres au niveau international. Les fédérations nationales utilisent les mêmes tests pour leurs adhérents. Pour un arbitre, réussir les tests FIFA est un but capital et il base son entraînement physique dans cet objectif. En effet, en plus des connaissances pratiques et théoriques, la réussite de ces tests physiques est un critère de sélection essentiel pour monter dans les échelons de l'arbitrage national, voire international.

Ces tests ont été élaborés pour refléter au maximum le profil intermittent d'un match et sont divisés en deux parties distinctes :

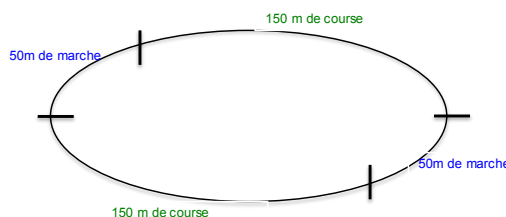
La première partie est appelée le « test de sprint » (Figure 1) : Il consiste à faire 6 x 40 m de sprint avec un temps de pause de 90 secondes entre chaque sprint tout en retournant à la ligne de départ en marchant {4}. Le temps de référence à atteindre pour réussir le test varie suivant la ligue. L'arbitre de niveau international doit effectuer chaque sprint en moins de 6,2 secondes {4}. Le test est effectué sur une piste d'athlétisme afin de le rendre uniforme.

Figure 1 : Schéma représentant le « Test de Sprint ».



La deuxième partie s'intitule « test par intervalles » (Figure 2) : Il s'agit d'effectuer 12 tours de 400m soit 4800m en tout, à savoir 24 sprints de 150m en 30 secondes au maximum, entrecoupés d'une récupération de 50m en 35 secondes que le candidat effectue en marchant. Ces exigences concernent les niveaux nationaux et internationaux. Elles sont adaptées pour les ligues inférieures. Le test est également réalisé sur une piste d'athlétisme afin de l'uniformiser.

Figure 2 : Schéma représentant le « Test par Intervalles ».



Ce test FIFA en deux parties a été développé grâce aux nombreuses études effectuées ces dernières années sur les arbitres. Parmi ces différents travaux, les différents mouvements des arbitres, lors d'un match, ont été analysés avec précision grâce à l'image vidéo. Les chercheurs se sont surtout intéressés à la distance parcourue, à l'intensité des déplacements, à la forme de ces derniers (course en avant, en arrière) et au pourcentage de temps passé dans une certaine activité {3,4,5,6,7,8,10,11,12}. Cependant, aucune étude ne s'est intéressée au nombre de répétitions du même mouvement d'une durée similaire durant un match et à l'évolution de ces répétitions durant la même période de jeu. Il n'existe donc, à l'heure actuelle, aucune donnée dans la littérature qui concerne la durée du mouvement qui revient le plus fréquemment.

En effet, les deux tests physiques exigés par la FIFA sont pour l'un de type anaérobique alactique (6 secondes d'effort avec 90 secondes de récupération) et pour l'autre de type anaérobique lactique (30 secondes d'effort avec récupération incomplète). En outre, le test FIFA s'effectue toujours dans la même direction, course en avant. Cette étude a pour but d'analyser si un test, tel que le test FIFA, est adéquat pour simuler la performance d'un arbitre sur le terrain. Recueillir de telles données permettra éventuellement dans le futur d'optimiser le test FIFA et donc d'optimiser les programmes d'entraînements des arbitres. Il permettra peut-être de cibler certains mouvements à entraîner plutôt que d'autres et de déterminer si le « test par intervalles » tel qu'il est proposé se justifie ou non. Nous pouvons déjà facilement remarquer les désavantages évidents que comportent ces tests FIFA: à titre d'exemple, ils ne tiennent pas compte des déplacements en arrière et des déplacements latéraux. Et pourtant ces types de déplacement engendrent une fatigue supplémentaire aux déplacements en avant {5}.

La littérature actuelle montre que les méthodes de choix utilisées jusqu'à présent ont été la vidéo et le fréquencemètre. C'est pourquoi un autre élément qui justifie cette étude, est le fait que l'accéléromètre, n'ait jamais été utilisé pour étudier les mouvements des arbitres de football, bien que l'on retrouve son utilisation dans d'autres pratiques sportives. En effet, cet appareil miniaturisé devrait permettre de faciliter la mesure et le traitement des données, car il est capable de mesurer une accélération et donc de déterminer le type de mouvement de manière quasi-automatique. Cette étude pilote a de ce fait pour but de combler une lacune, et de servir de base à des études futures. En effet, si des résultats similaires à l'analyse vidéo, sont obtenus en utilisant un accéléromètre, cela permettra sans doute de faciliter des analyses de la performance des arbitres et d'envisager par la suite son utilisation à des fins d'entraînement individuel.

Le premier objectif de cette étude est d'utiliser l'accéléromètre au lieu de la vidéo (en raison des avantages cités précédemment) dans le but d'analyser l'activité des arbitres selon la durée **d'arrêt**, de **marche** et de **course** en cours de match. Ceci permettra d'investiguer comment évolue sa performance au fil de la partie, en comparant son niveau d'activité entre la 1^{ère} et la 2^{ème} mi-temps, ainsi qu'entre différents moments d'une mi-temps (toutes les 15 minutes). En d'autres termes, d'évaluer si la capacité physique de l'arbitre a plutôt tendance à diminuer au cours du match, ou au cours d'une mi-temps (fatigue) avec pour conséquence un arbitre plus éloigné de l'action de jeu et un risque plus important de décisions erronées.

Le second aspect envisagé est de proposer une analyse critique du test FIFA, afin d'éventuellement proposer une amélioration, puisqu'il est utilisé par de nombreux arbitres comme objectif de performance à atteindre lors de leurs entraînements.

METHODE DE MESURE :

Cette étude a été soumise et approuvée par la commission cantonal (VD) d'éthique en date du 01.11.2011

Lieu :

Ce travail, ainsi que la récolte des données a été effectuée dans des stades de football de 1^{ère} Ligue, Challenge League et Super League de Suisse Romande et Alémanique durant la période allant de décembre 2011 à décembre 2012.

Les pré-tests ont été effectués sur un terrain de football 3^{ème} ligue.

Participants et critères d'inclusion :

Les arbitres de football sélectionnés devaient être de sexe masculin, âgés de <45 ans, officiant au minimum en 1^{ère} Ligue, être non tabagiques et ne présenter aucune anomalie cardio-pulmonaire. Parmi les arbitres de football d'élite romands entrant dans ces critères, cinq ont répondu présents pour participer à cette étude.

Le groupe étudié comprend donc 5 arbitres de football de sexe masculin, dont deux faisant partie de la sélection des talents de l'Association Cantonale Vaudoise de Football (ACVF). Les 3 autres, évoluent en Super League et Challenge League (Tableau 1). Les mesures ont été faites lors de deux matchs de 1^{ère} ligue, un match Challenge League et deux matchs de Super League.

Tableau 1 : Paramètres anthropométrique du groupe d'arbitres.

	Age	Poids (kg)	Taille (cm)	BMI (kg/m2)	Niveau
Arbitre 1	23 ans	71	176	22.92	1 ^{ère} ligue
Arbitre 2	26 ans	78	181	23.80	1 ^{ère} Ligue
Arbitre 3	37 ans	75	181	22.89	Challenge League
Arbitre 4	30 ans	75	186	21.67	Super League
Arbitre 5	37 ans	77.7	182	23.45	Super League

Nombre de données :

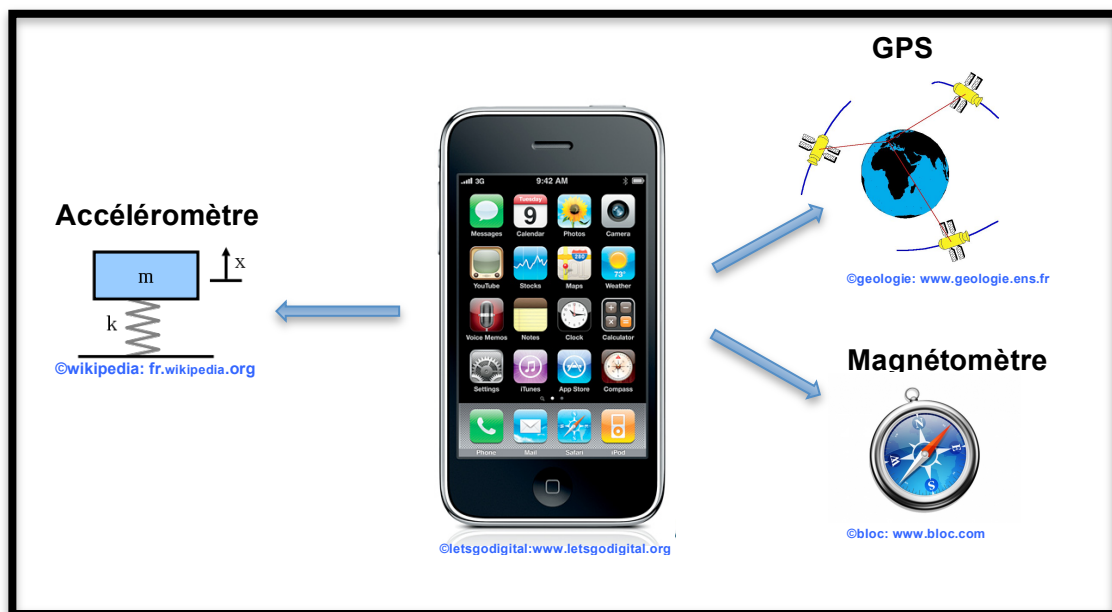
Les mesures ont été effectuées lors d'un match entier. Nous obtenons donc cinq 1^{ères} mi-temps et cinq 2^{èmes} mi-temps.

Choix de l'appareil :

L'arbitre, contrairement aux joueurs, ne subit aucun contact et donc présente l'avantage de pouvoir porter un dispositif de mesure qui ne risque pas de le blesser ou de blesser autrui. De plus, ses mouvements sont moins complexes que ceux des joueurs. En effet, il n'est pas nécessaire de tenir compte des courses avec ballon et des sauts, ce qui rend donc les arbitres plus aptes à être analysés que les joueurs. Malgré ces nombreux avantages, les arbitres présentent cependant le désavantage de ne pas pouvoir porter des appareils trop encombrants, qui risqueraient de les gêner dans leur course ou tout simplement qui seraient interdits par la FIFA. Il faut donc un appareillage petit et discret. Raison pour laquelle, nous avons trouvé judicieux d'utiliser un iPhone 3GS® muni d'une application développée par le laboratoire LMAM, à l'EPFL. Nous avons opté pour un iPhone® plutôt qu'un accéléromètre seul, car l'iPhone®, en plus d'un accéléromètre 100 Hz (Asahi-Kasei AK8973), gamme de $\pm 2g$, est également doté d'un magnétomètre 33 Hz (STMicroelectronics LIS331DL) ainsi que d'un GPS 1 Hz (Infineon Hammerhead II PMB 2525) {13} (Figure 3). Ces deux derniers instruments auraient également pu être utilisés dans le but d'obtenir davantage de paramètres.¹

Uniquement l'accéléromètre (de l'iPhone®) a été utilisé dans cette étude. Il présente peu de paramètres d'erreurs comparé à l'accéléromètre Physilog® et donc possède une grande fiabilité, même pour des mouvements très brefs {14}².

Figure 3 : Accéléromètre, Magnétomètre et GPS figurant dans un iPhone 3GS®.



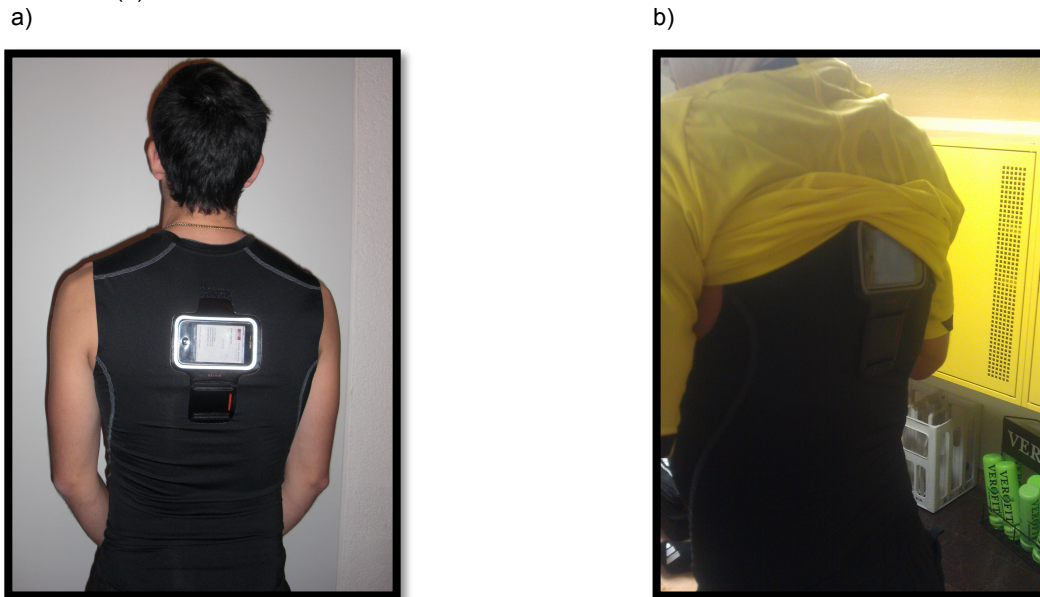
¹ Des études préliminaires ont été effectuées pour évaluer les performances des différents capteurs (voir annexe 1). Le GPS et le magnétomètre ont été exclus en raison d'un manque de performance.

² Pour plus de précision concernant le développement de l'application en question et la description du fonctionnement de l'accéléromètre, magnétomètre et GPS implantés dans l'iPhone®, se référer à Tornay {14}. A noter que des modifications ont été apportées par Julien Chardonnens, ingénieur à l'EPFL, pour adapter le système à la pratique du football et donc être utilisable dans cette étude.

Disposition du système :

L'iPhone® est fixé dans le haut du dos au niveau des vertèbres T5-T6 (Figure 4a). Il est maintenu à l'aide d'un gilet Nike® de sport moulant, sur lequel a été cousue une pochette Belkin® permettant d'y insérer l'iPhone®. Ceci permet donc de l'immobiliser au maximum, afin de diminuer le plus possible les mouvements parasites indésirables. Le maillot officiel de l'arbitre est simplement mis par dessus le système (Figure 4b).

Figure 4: Positionnement du système iPhone® au niveau des vertèbres T5-T6 (a) et par rapport à l'équipement de l'arbitre (b).

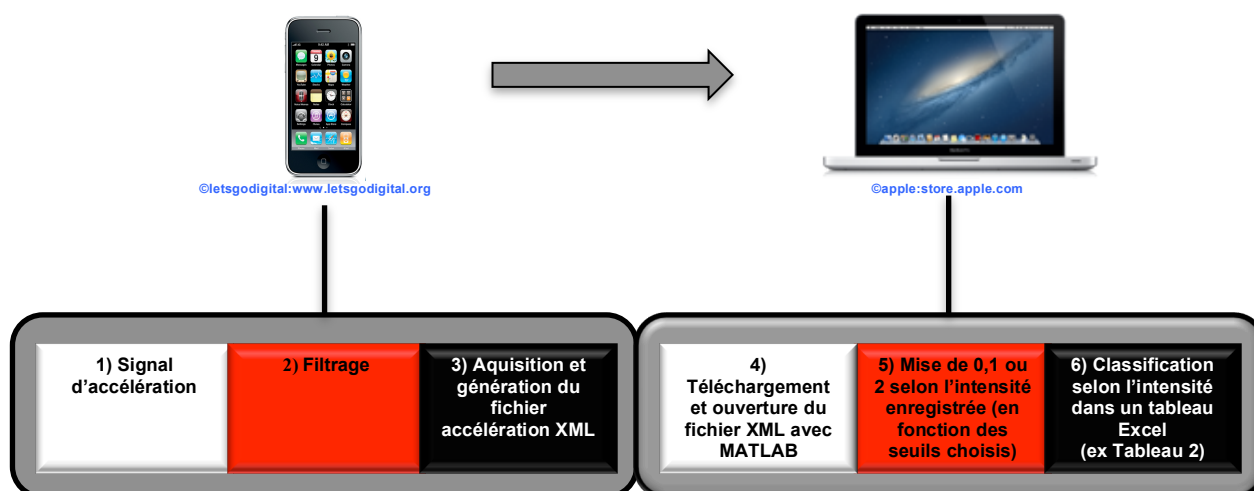


Il a été déterminé que le meilleur endroit pour l'enregistrement du signal, était au niveau du tronc. En effet, cela permet d'exclure le mouvement des membres. Le haut du dos semble aussi stable que le thorax. Dans l'éventualité où ce système pourrait s'appliquer aux joueurs de football, il y a également moins de risque de recevoir le ballon dans le dos comparé au thorax.

Enregistrement des données :

L'application de l'iPhone®, développée par le laboratoire LMAM (EPFL), est facile d'utilisation. Il suffit simplement de l'enclencher et de la stopper à l'instant souhaité. Nous allons maintenant expliquer brièvement comment le système fonctionne, afin de déterminer nos trois intensités de mouvements (arrêt, marche et course) tel que résumé dans la figure 5.

Figure 5 : Résumé du traitement des données (en ordre chronologique).



Tout d'abord, le signal enregistré par l'accéléromètre de l'iPhone® (1) est filtré (2), avant d'être acquis (3), afin d'enlever le bruit. En effet, il est nécessaire de filtrer les courbes, car une composante haute fréquence gênante vient s'ajouter au signal originel {14}. Ensuite l'iPhone® génère automatiquement un fichier XML.

Le fichier XML accélération acquis, est ensuite téléchargé sur un ordinateur et ouvert à l'aide d'un outil sur Matlab® (créé par le laboratoire LMAM) (4), qui est capable de lire ce fichier et ensuite de déterminer (5), si l'arbitre est arrêté, marche ou court. En effet, le programme vient calculer la déviation standard SD à chaque cycle (figure 6). Cette métrique permet ensuite d'être seuillée pour déterminer le type d'activité.

En d'autres termes, un cycle de SD entre 0-0,1g par l'application du téléphone, a été définie comme de l'« arrêt » et le programme Matlab® écrit dans la base de donnée un 0. Une accélération entre 0,1-0,5g est définie comme de la « marche » et l'algorithme retient en mémoire un 1. Une accélération >0,5g est définie comme une « course » et le programme note un 2.

Matlab® crée ensuite un fichier xls, avec ces chiffres, lisible avec Excel [(6) et (Tableau 2)]. L'iPhone® enregistre des données chaque seconde, donc en sommant les mêmes chiffres (0,1 ou 2) nous pouvons savoir combien de temps a duré chaque mouvement, ainsi que le temps total de chaque mouvement par quart d'heure ou par mi-temps. Ceci nous a permis donc de faire les différentes comparaisons que nous présenterons dans le chapitre « Résultats ».

Figure 6 : Exemple du signal accéléromètre obtenu avec sa déviation standard ($\pm SD$) pour la marche (a) et la course (b). La valeur de $\pm SD$ (double flèche rouge) est déterminée automatiquement par le système pour un cycle et en fonction du seuil auquel cette valeur se rapproche (voir texte), ce système peut déterminer s'il s'agit de course, marche ou arrêt³.

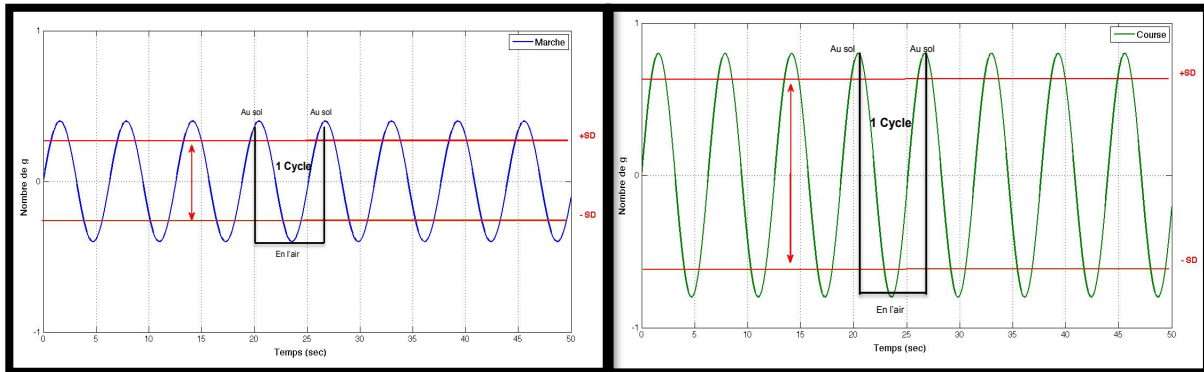


Tableau 2 : Exemple xls montrant l'intensité de mouvement chaque cycle.

Temps (s)	Intensité de Mouvement
1	1
2	1
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	1
9	1
10	2
11	2
12	2
13	2
14	2
15	1
16	1
17	1
18	1
19	1
20	1
21	2
22	2
23	2
24	2
25	2

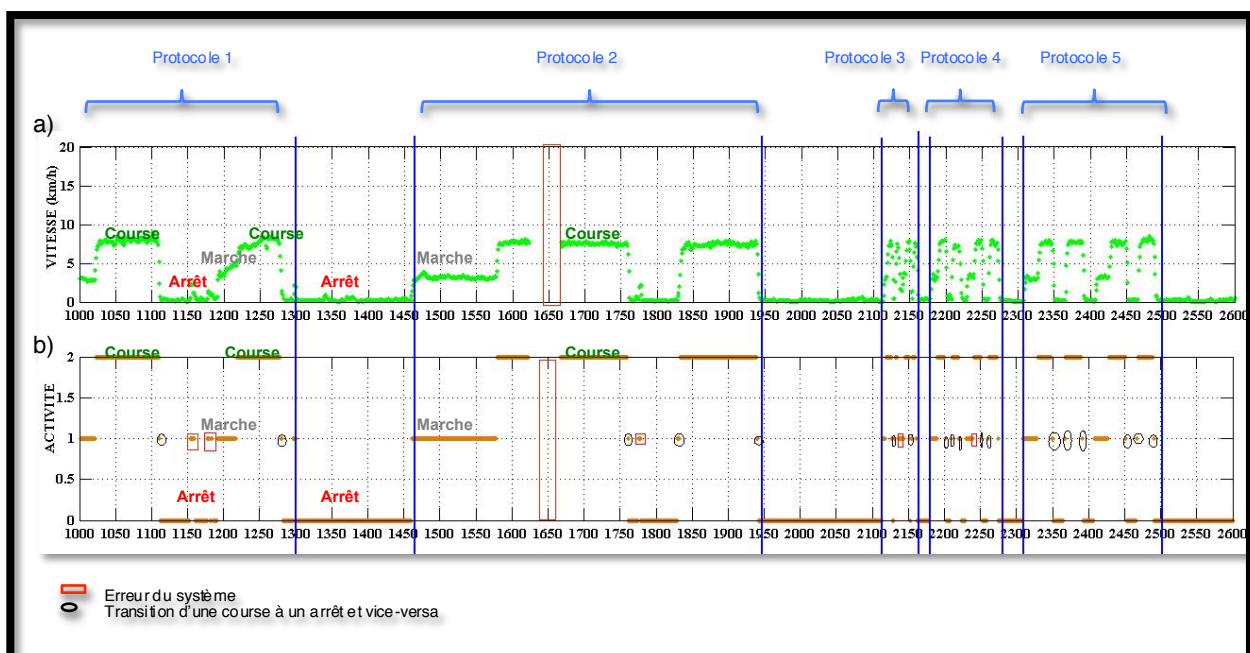
Marche 2 sec (rows 1-2)
 Arrêt 5 sec (rows 3-7)
 Marche 2 sec (rows 8-9)
 Course 5 sec (rows 10-14)
 Marche 6 sec (rows 15-20)
 Course 5 sec (rows 21-25)

³ A noter que ces figures sont des schémas à titres explicatifs dessinés afin de montrer que le signal accélérométrique de course est plus élevé que celui de marche. Ce ne sont pas de réels signaux, raison pour laquelle les seuils ne correspondent pas au texte.

Validation de la méthode :

Avant de soumettre le système aux arbitres, en condition de match, nous nous sommes adonnés à différents tests de simulations afin d'optimiser la sensibilité/spécificité du système. Ces derniers ont été effectués sur terrain, afin de tester la fiabilité du système et de voir s'il était possible d'améliorer sa précision en modifiant nos seuils. Pour ce faire, nous avons effectué cinq protocoles différents (voir annexe 2) dont les résultats obtenus sont résumés dans la figure 7. La figure 7a) relève les différentes vitesses enregistrées par l'accéléromètre⁴. A partir de celles-ci, en ayant choisi nos seuils au préalable, nous obtenons la figure 7b) qui permet de différencier entre arrêt, marche et course. Nous avons encadré en rouge, chaque erreur enregistrée par l'accéléromètre et encerclé en noir les transitions de course à arrêt.

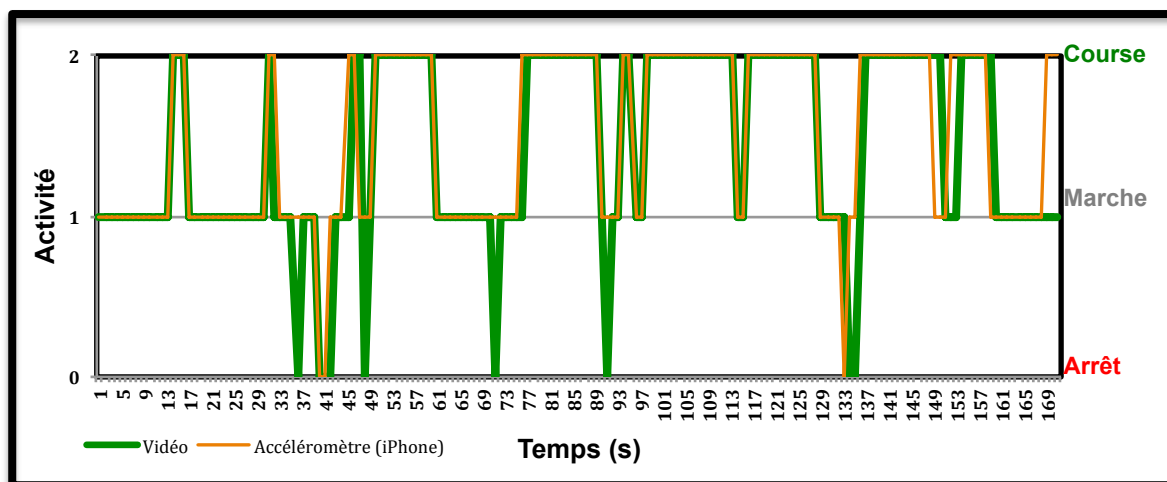
Figure 7 : 5 protocoles effectués en pré-test afin de tester la validité du système montrant a) les vitesses enregistrées par l'accéléromètre, b) la transformation de ces vitesses en type de mouvement (0=arrêt, 1=marche et 2=course) en appliquant nos seuils choisis au préalable .



⁴ A noter que l'accéléromètre sature à partir de 10 km/h, raison pour laquelle il ne nous était pas possible de différencier les différentes intensités de course.

La validation a également été faite, lors des conditions réelles de match, en utilisant une caméra vidéo 720p HH d'un Smartphone HTC Desire HD®. La comparaison entre l'accéléromètre et la vidéo est résumée dans la figure 8. Cette figure montre les performances de la méthode basée sur l'accéléromètre.

Figure 8 : Comparaison de l'accéléromètre à la vidéo pendant un match réel. Activité (0=Arrêt, 1=Marche, 2=Course) en fonction du temps(s).



De plus, la vidéo nous a également permis, de nous aider dans notre analyse. L'application iPhone® en question enregistre dès qu'elle est enclenchée et il n'est donc malheureusement pas possible de marquer le début du match, la fin de la 1^{ère} mi-temps, le début de la 2^{ème} mi-temps et la fin du match. Ces moments ont donc été déterminés à l'aide de la vidéo, en comparant les mouvements correspondants avec ceux enregistrés par l'accéléromètre aux mêmes instants.

Par ailleurs, afin de valider les résultats obtenus dans cette étude, nous allons les comparer par la suite aux résultats connus de la littérature par analyse vidéo.

Méthode d'analyse et paramètres extraits :

En raison d'un échantillon trop petit (5 sujets), aucune analyse statistique n'a été effectuée. L'extrapolation des données, nous a permis d'effectuer une analyse descriptive de « tendance », en formant des barplots, des histogrammes et des boxplots, ce qui a permis d'analyser les temps d'arrêt, de marche et de course ainsi que les durées de chacun de ces épisodes.

Les barplots (figures 9 et 10) expriment le temps total (en pourcentage de temps $\pm 1SD$) d'un type de mouvement (arrêt, marche ou course) pendant une mi-temps (figure 9) ou pendant un bloc de quart d'heure (figure 10). En faisant la moyenne des cinq arbitres, ces boxplots nous permettent de voir la tendance qu'à l'arbitre d'effectuer certains types de mouvements de manière préférentielle à des moments différents du match et donc de nous donner une idée sur l'évolution de la performance⁵. De plus, ils mettent également en évidence le nombre total des épisodes de course, de phases d'arrêt et de marche et de les comparer par mi-temps (Figure 11). Nous avons choisi de comparer chaque bloc de quart d'heure plutôt que de 5 minutes par exemple, car cela permettait ainsi des comparaisons avec la littérature.

Les histogrammes (Figure 12) sont construits de manière à sommer tous les mêmes types de mouvements (annexe 4) ayant duré le même nombre de secondes (en ordonnée) en fonction du temps (en abscisse) et permettent donc de déterminer, si la tendance des arbitres est plutôt d'effectuer d'avantage de longs déplacements ou au contraire des déplacements courts plus régulièrement pendant un match de football. En raison de difficultés à faire des moyennes, nous avons choisi de faire plutôt une addition des mouvements de même durée de nos 5 arbitres. Le tout a ensuite été divisé par cinq.

Afin de critiquer le test FIFA, nous avons également formé des boxplots (voir annexe 4) qui nous ont permis ensuite d'obtenir le Q25, médiane, Q75 et Q100 pour arrêt, marche et course. Ces différents paramètres sont résumés dans le Tableau 4 (voir Chapitre Résultats).

⁵ A noter que nous n'avons pas tenu compte des arrêts de jeu, afin de rendre comparable les mesures entre-elles.

RESULTATS :

Le Tableau 3 résume les activités totales de match enregistrées avec l'accéléromètres de l'iPhone® et les comparent à celles de la littérature ayant utilisé l'analyse vidéo.

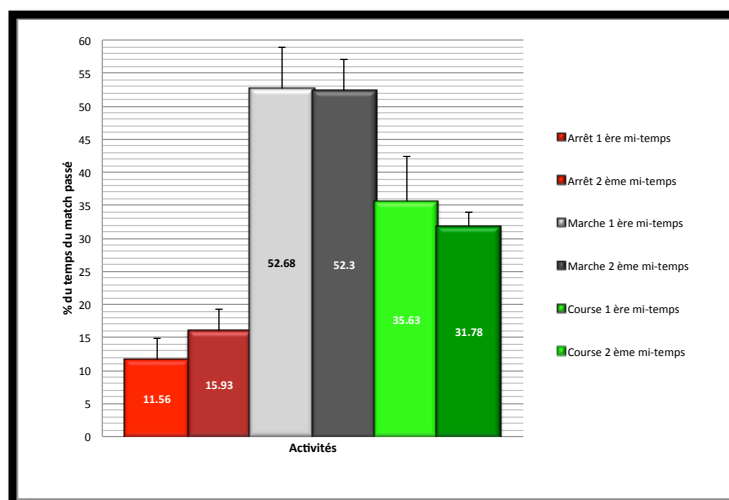
Tableau 3 : Pourcentage de temps des activités de match total.

	Accéléromètre (iPhone®)	Analyse Vidéo (Littérature)
Arrêt	13,74 ± 1,65%	11-22% {8}
Marche	52,48 ± 2,75%	41,4 ± 0.8% {5}
Course	33,70 ± 2,22%	36,9 % ⁶ {5}

Les résultats des activités de matchs (arrêt, marche et course) par mi-temps et par quart d'heure sont résumés dans les figures 9 et 10.

La comparaison des activités entre les mi-temps (Figure 9), à tendance à montrer une augmentation du temps de course et une diminution du temps d'arrêt en 2^{ème} période. Concernant le temps de marche, nous retrouvons des pourcentages de temps assez similaires entre les deux mi-temps.

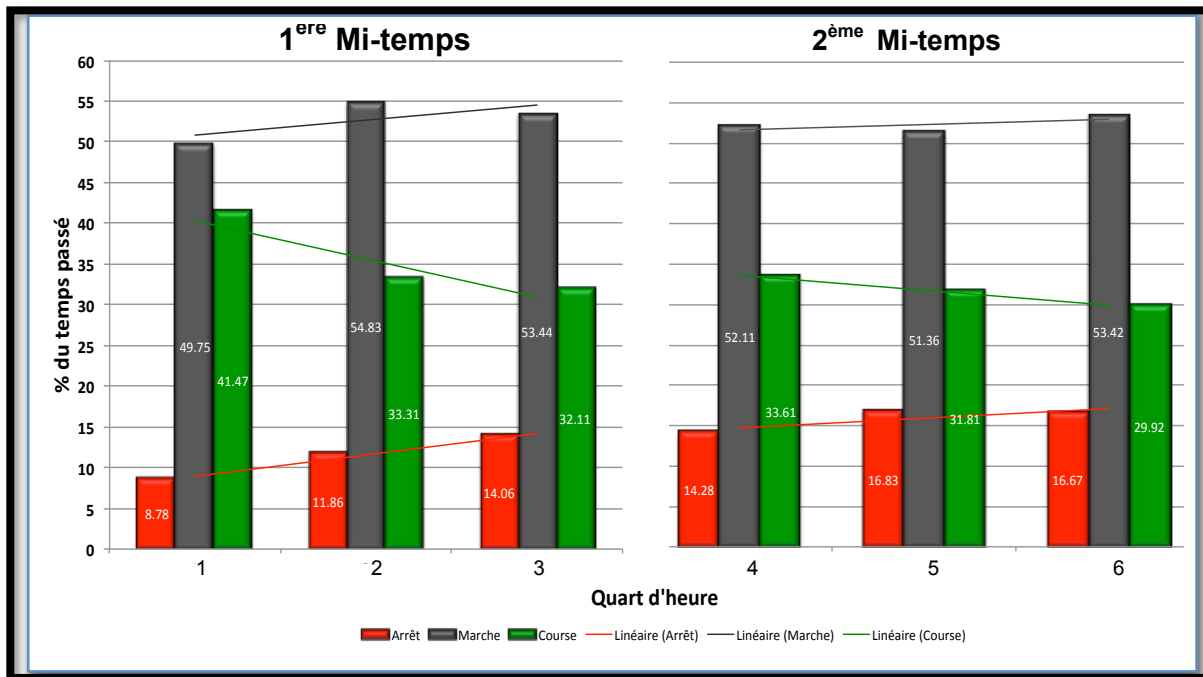
Figure 9 : Pourcentage de temps passé à différentes activités selon la mi-temps (sans les arrêts de jeu).



Il ressort de l'analyse de l'intensité des activités par tranche de 15 min (Figure 10), qu'il y ait une tendance au cours d'une même mi-temps à augmenter le temps de marche, d'arrêt et inversement à diminuer le temps de course. En effet, le temps de course diminue linéairement à chaque quart d'heure avec un plateau en 2^{ème}, 3^{ème} et 4^{ème} quart d'heure, puis diminue fortement jusqu'à la fin du match. De plus, nous nous apercevons également que le temps de course est le plus élevé lors du 1^{er} quart d'heure du match (41,7±7,67%).

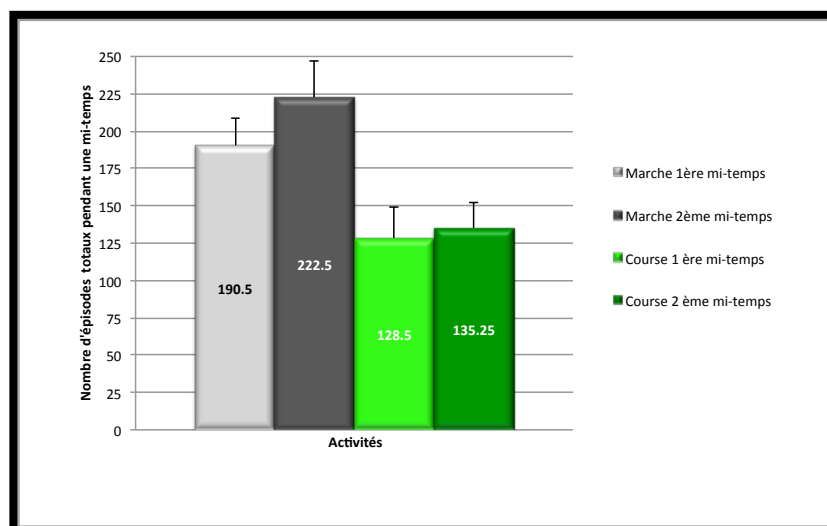
⁶ Le 36,9% a été déterminé en additionnant tous les types de course de l'étude de P.Krustrup & J.Bangsbo {5}.

Figure 10 : Pourcentage de temps passé à différentes activités selon le quart d'heure, lors de la 1^{ère} mi-temps et de la 2^{ème} mi-temps.



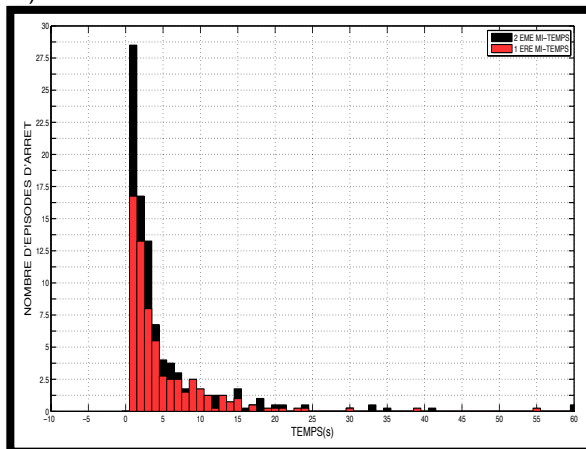
Une augmentation de la fréquence des épisodes de marche et de course est observée si l'on compare la 2^{ème} à la 1^{ère} mi-temps (Figure 11). Par ailleurs, la durée des épisodes de marche, course et arrêt semble se raccourcir en 2^{ème} période (Figure 12).

Figure 11 : Nombres d'épisodes totaux d'un type d'activité pendant une mi-temps (marche et course).

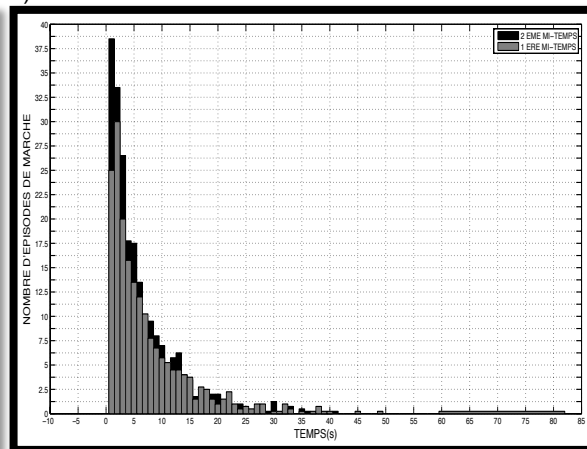


Figures 12 : Superposition des deux mi-temps montrant le nombre de fois qu'un même épisode de même durée est répété au cours d'une mi-temps pour arrêt (a), marche (b) et course (c)

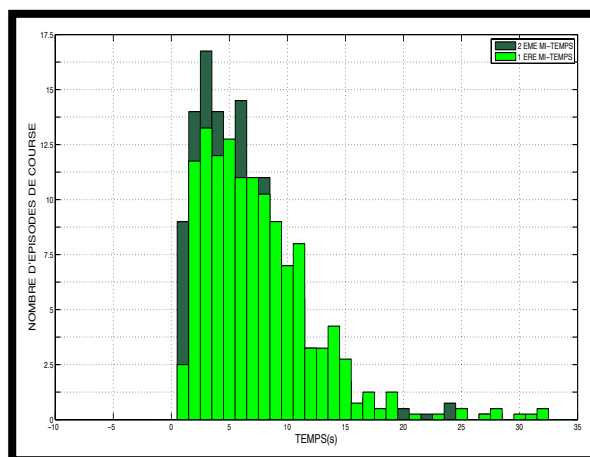
a) Arrêt



b) Marche



c) Course



Grâce à la formation de boxplots (voir annexe 4), il nous a été permis d'obtenir le tableau 4 ci-dessous. Ce qui est mis en évidence dans ce tableau, est la valeur de médiane concernant la durée de chaque épisode. Une médiane de 5 secondes est observée pour la marche et une médiane de 6 secondes pour la course. De plus, les épisodes de course n'excèdent jamais >20 secondes. Ceci nous permettra de discuter dans le chapitre suivant, l'objectif que se fixe chaque arbitre d'élite : « Réussir le test de sélection FIFA ».

Tableau 4 : Q25, médiane Q75 et Q100 des activités de match.

	Q25 (sec)	Médiane (sec)	Q75 (sec)	Q100 (sec)
Arrêt	1	3	5.5	12
Marche	2	5	9	19
Course	3	6	9	18

DISCUSSION :

Le but de ce travail a été d'évaluer la performance de l'arbitre lors d'un match de football, au moyen d'un accéléromètre, en raison de sa facilité d'utilisation et en particulier d'analyser si au cours du match, il existe une éventuelle diminution de la capacité de performance engendrée par la fatigue. Enfin, à la lumière des résultats, nous allons pouvoir discuter du bien fondé du « *test par intervalles proposé par la FIFA* » comme moyen d'estimation de la capacité physique d'un arbitre.

Afin de parvenir à nos résultats et donc évaluer les différentes activités de l'arbitre pendant un match de football, nous avons utilisé un iPhone 3GS®, équipé d'un module accéléromètre en raison des nombreux avantages que ce dernier présente (facilité d'utilisation, automaticité et gain de temps dans l'analyse des données). Les données obtenues par ce système seront successivement discutées.

Evolution de l'activité physique durant le match :

L'évolution de la performance a été analysée pour le match en entier, mais aussi par mi-temps et enfin par bloc de 15 minutes chacun. Pour ce faire, nous avons mesuré le temps sans aucune activité décelée par le système (arrêt), le temps au cours duquel le candidat a marché et enfin le temps occupé par de la course. Ces données ont été exprimées en pourcentage du temps total de la partie (90 minutes).

Lors de l'analyse du match, nous observons un temps d'arrêt total de 12 min 36 soit $13,74 \pm 1,65\%$, un temps de course de 30 min 33, soit $33,70 \pm 2,22\%$ et un temps de marche de 47 min 23 soit $52,48 \pm 2,75\%$ (Tableau 3). Ces résultats semblent similaires aux données obtenues dans d'autres travaux par image vidéo {5,6} (Tableau 3). Cependant, il existe une différence de 10% qui concerne le temps de marche entre les résultats de la littérature et les nôtres, soit $52,48 \pm 2,75\%$ pour l'accéléromètre de l'iPhone® contre $41,4 \pm 0,8\%$ pour la vidéo {5}. Cette différence n'est probablement pas significative, puisque les championnats testés ne sont pas les mêmes.

Concernant l'analyse par mi-temps (Figure 9), nos résultats montrent un temps d'arrêt de $11,56 \pm 3,25\%$, un temps de course de $35,63 \pm 6,78\%$ et un temps de marche de $52,68 \pm 6,23\%$ pour la 1^{ère} mi-temps et $15,93 \pm 3,35\%$, $31,78 \pm 2,09\%$, $52,30 \pm 4,44\%$ pour la 2^{ème} mi-temps respectivement. En d'autres termes, nous constatons qu'il y a moins de course et plus de posture statique lors de la 2^{ème} période. Le temps de marche, quant à lui, est analogue. Ces résultats sont identiques à ceux obtenus par image vidéo {4,5,7} et reflètent, tout comme l'étude de Krustrup {5}, une diminution de performance en seconde période (Figure 9). De même, il a été démontré dans une autre étude que lors de la 2^{ème} mi-temps, les arbitres diminuent les courses à hautes intensités, ainsi que les courses en arrière {5}. Cependant, il faut être prudent dans l'interprétation de ces données, car cette baisse de performance peut également être le reflet d'une diminution de l'intensité de jeu due, non pas à la fatigue de l'arbitre, mais à celle des joueurs ou encore à une modification stratégique dans une partie. En effet, si le résultat est acquis, pour l'une ou l'autre des équipes en présence, on peut imaginer que l'une des deux peut se contenter de gérer le score, ce qui entraîne un match avec moins d'engagement, vu l'approche du coup de sifflet final. Cependant, vers la fin du match, on observe un nombre plus important de fautes sifflées par l'arbitre. Ceci peut être lié au fait que les joueurs veulent gagner du temps et casser le rythme de jeu de l'adversaire, mais cela peut aussi être dû au fait que l'arbitre fatigué fait plus d'erreurs de jugements et siffle des fautes souvent injustifiées. Il y a donc plus d'interruption de jeu à mesure que la partie avance⁷. Malheureusement, aucune étude n'a mesuré le nombre de fautes pendant un match

⁷ En général, les raisons obligeant l'arbitre à s'arrêter lors d'un match sont multiples. Elles dépendent de l'intensité du match, de la ligue dans laquelle l'arbitre officie, de sa condition physique et des stratégies d'arbitrage {8}. Lors de l'enregistrement de nos matchs par vidéo, nous avons également pu constater que les arrêts sont le plus souvent le résultat d'une interruption de jeu (faute, remise en touche, corner, hors-jeu, etc.) et se produisent par conséquent rarement en cours de jeu.

de football, et ces arguments sont le fait d'entretiens avec les différents arbitres ayant participé à cette étude.

L'analyse des blocs de 15 minutes (Figure 10), tend à démontrer une augmentation de la marche et inversement une diminution de la course au fil du temps. A noter que le temps de course est le plus important lors du 1^{er} quart d'heure du match (environ 41,7%) et lors du premier quart d'heure de la seconde mi-temps, comme cela a été aussi constaté sur les analyses vidéo {7}. En effet, les quinze premières minutes du match sont la période dans laquelle l'arbitre est le plus actif, effectuant d'avantage de courses à hautes intensités, en comparaison avec la deuxième période {7}. Nous avons cité précédemment que le temps de course diminue linéairement à chaque quart d'heure avec un plateau en 2^{ème}, 3^{ème} et 4^{ème} quart d'heure, puis diminue fortement jusqu'à la fin du match (Figure 10). Ceci confirme ce qui avait été observé dans l'analyse de l'ensemble de la partie, ainsi que l'hypothèse de la fatigue, soit de l'arbitre, soit des joueurs. De même, les phases statiques augmentent linéairement à chaque quart d'heure avec une valeur minimal au 1^{er} quart d'heure et une valeur maximale au 6^{ème} quart d'heure.

Ainsi, ces résultats montrent une diminution de l'intensité des activités physiques de l'arbitre de football avec l'avancement du match. En effet, ces derniers vont dans le même sens que les études faites avec prise d'images vidéo qui démontrent aussi une diminution de l'intensité des activités de l'arbitre en 2^{ème} période {5}.

Fréquence des activités similaires :

En seconde partie, nous avons analysé à quelle fréquence revenaient des mêmes épisodes de durée similaire (Figure 12). Afin de les déterminer, nous avons comparé les deux mi-temps entre-elles (Figure 12). Nous avons constaté que les épisodes d'arrêt, course et marche deviennent de plus en plus courts avec l'avancement du match et pour conséquence une alternance plus importante de séquences de course et des arrêts. (Figure 11). Il est bien connu, que lors de n'importe quel effort intermittent, la survenue de fatigue pousse le sujet à effectuer des courses plus courtes, entrecoupées par des marches plus brèves, car il n'arrive plus à maintenir un effort intense sur une longue durée. Les études par analyse vidéo ont dénombré environ 1268 changements de mouvement lors d'un match de catégorie moyenne, ce qui peut sans doute contribuer à l'accumulation de fatigue {5}. Cependant, le fait d'alterner plus de fois course/marche/course/marche en 2^{ème} période, comme compensation à la fatigue accumulée, implique certainement un effort plus intense pour l'arbitre, ainsi qu'une fatigue supplémentaire, car chaque changement de mouvement entraîne une dépense d'énergie additionnelle.

En résumé, l'analyse vidéo a permis de montrer qu'avec l'avancement du match, les vitesses, ainsi que la distance parcourue diminuaient {2}. L'utilisation de l'accéléromètre a complété ces informations en mesurant la durée des épisodes de marche et de course au fil du match, ce qui n'avait jamais été effectué auparavant.

Considérations sur le Test FIFA :

En dernier lieu, nos derniers résultats vont nous permettre d'émettre nos considérations à propos du test de sélection FIFA actuel et plus particulièrement sur la deuxième partie du test, soit le « test par intervalles ».

Les résultats obtenus reflètent des médianes d'arrêt, de course et de marche de 3, 6 et 5 secondes respectivement (Tableau 4). Ils révèlent également qu'une course ou une marche dure rarement plus de 20 secondes (Figure 12 et Tableau 4). Par conséquent, le « test par intervalle » de la FIFA ne nous semble pas adéquat concernant la durée, étant donné que sa conception d'intervalles de 30 secondes de course et de 35 secondes de marche (récupération) s'apparente plus à un test anaérobie lactique. En effet, il ne ciblerait pas les zones d'activités réellement nécessaires lors d'un match, bien qu'un entraînement de ce type contribue à améliorer la consommation maximale d'oxygène du sportif qui le pratique. Dès lors, il pourrait être complété de manière plus utile par un test de sprint avec des durées de course plus courtes et pourquoi pas des changements de direction. Cet aspect concernant des durées trop longues, avait déjà été évoqué dans l'étude de Krstrup {4}.

A ce paramètre de durée, s'ajoute également le problème de vitesse. Lors du « test par intervalles », les arbitres doivent accomplir 150 m en <30 secondes, ce qui correspond à du 18 km/h. Selon l'étude de Krurstrup {5}, cette valeur correspond à de la course rapide (>18km/h)⁸. Pourtant, la part de course rapide (et de sprint) ne sont responsables que de 7-17% du temps total d'un match {2}. En effet, lors de match de compétition, l'arbitre se déplace principalement à basse intensité (de 6-13 km/h) {2}. Ce type de déplacement comprend la marche (environ 40%), le jogging (15,8%) et la course légère (9%) {5,11, 25, 17}. La course à moyenne intensité (de 13-18 km/h) quant à elle, compte pour environ 5% {5,11,17,18}. Par conséquent, cela laisse sous-entendre que le « test par intervalles » n'est pas parfaitement approprié, en raison des vitesses plus élevées que ce qui est généralement observé lors d'un match. Le seul intérêt dans sa réussite est de montrer, qu'il est nécessaire de bénéficier d'une bonne VO₂ max pour pratiquer l'arbitrage de haut niveau.

D'autres critiques sont également retrouvées dans la littérature le concernant. Il aurait en effet une validité basse, puisque 150m de course continue, à haute intensité, correspondent à un aller – retour sur le terrain, élément qui ne se passe jamais lors d'un match de football {2}. De plus, il ne tient pas du tout compte de l'activité multidirectionnelle, qui est caractéristique du match {2}.

Etant donné que les critiques sont nombreuses, nous allons maintenant tenter de proposer une optimisation du « test par intervalles » en se basant sur les données de la littérature, ainsi que sur nos résultats. Sachant que les pourcentages de temps des différentes intensités sont connus, ainsi que leurs vitesses et que les durées ont été déterminées par notre étude, il est possible de calculer quelles seraient les vitesses, distances et durées optimales pour le test par intervalles (voir annexe 5 pour le calcul). Selon nous, il serait préférable d'alterner des courses de basse intensité (6-13km/h) de 30m avec de la marche d'environ 6,25m plutôt que 150m à haute intensité (>18km/h) et 50m de marche comme c'est le cas à l'heure actuelle. Pour mémoire, c'était ce type de test qui était pratiqué il y a environ 3 ans en y incluant un changement de direction après 20 mètres de course.

La première partie du test FIFA, le « test de sprint », a également été critiquée dans la littérature. Il est vrai qu'il permet une bonne estimation de la performance pour les joueurs de football. Par conséquent, il pourrait aussi être de même importance pour les arbitres, puisqu'ils doivent être capables de suivre le même rythme {2}. Mais en réduire la distance (20-30m) avec moins de temps de récupération (20-30 secondes), pourrait l'améliorer {2}. En effet les arbitres font des sprints beaucoup plus courts que les joueurs {12}. Pour l'instant, le « test de sprint » possède une validité appropriée pour estimer la capacité de course réelle en match {2}.

En résumé, le test actuel de la FIFA (en 2 parties) exige des intensités plus élevées, que celles retrouvées en condition de match. Il ne reflète donc pas les conditions rencontrées lors d'un match. Néanmoins, ce « test par intervalles » FIFA correspond à une mesure indirecte de la VO₂ max des arbitres et peut de ce fait démontrer le niveau de condition physique minimal que l'on peut exiger d'un arbitre de haut niveau. Il a par conséquent toute sa raison d'être. Il pourrait être complété de tests plus spécifiques qui correspondent mieux à la performance d'un arbitre au cours d'une partie de football, comprenant une série de sprints plus courts avec phase de récupération plus courte et des changements de direction {5,10}. Sachant que chaque arbitre base son entraînement dans l'objectif de réussir ce test, le test FIFA permet donc d'assurer un entraînement à haute intensité (>85% de la FC max), étant donné que ce type d'entraînement a fait ses preuves dans l'amélioration de la condition physique et des performances de course {2}. Cependant, ces entraînements à haute intensité, combinés à l'augmentation de l'âge des arbitres, pourraient être responsables d'une augmentation du risque de blessures {2}. C'est pourquoi un entraînement moins intense, mais tout aussi efficace voire davantage, pourrait prévenir les blessures, tout en rendant les arbitres de football aussi performants.

⁸ Tandis que durant le « test de sprint » de la FIFA, les arbitres doivent sprinter en <6,2 secondes, ce qui correspond à du 23,22 km/h et donc à du sprint (>25 km/h) {8}.

LIMITATIONS ET AMÉLIORATIONS :

Étant donnée la petite taille de l'échantillon (5 arbitres), il n'était malheureusement pas possible d'effectuer une analyse statistique. C'est pourquoi cette étude se base sur une analyse descriptive. Malgré tout, nos données sont identiques à ce qui a déjà été démontré dans la littérature grâce à l'analyse vidéo et donc reproductible de la réalité. Cependant, il nous paraît tout de même primordial d'agrandir l'échantillon, afin d'avoir des données plus fiables dans le futur.

En seconde partie, il serait important de répéter plusieurs fois la mesure, sur le même arbitre, car une seule mesure par arbitre est probablement insuffisante, en raison des différences qu'il peut y avoir entre différents matchs. Choisir des arbitres officiants dans la même ligue et favoriser des conditions météorologiques similaires apporterait également des données plus précises.

Nos résultats pourraient être faussés, dans la mesure où une activité pourrait être divisée en deux parties, si par exemple une seconde d'une activité s'intercalait dans une autre activité. L'accéléromètre peut en effet faire une minime erreur faussant l'interprétation. Imaginons qu'au cours d'une marche de 31 secondes, l'iPhone® enregistre de manière erronée une seconde de course, alors qu'en réalité l'arbitre ne courait point, mais a tout simplement effectué un mouvement plus brusque pouvant être interprété comme de la course. L'activité « marche » sera donc séparée en deux marches de 15 secondes au lieu d'une seule. Ce qui influence probablement nos résultats, concernant la durée d'un épisode qui revient le plus fréquemment, ainsi que les valeurs de médiane présentées dans nos résultats. Il aurait de ce fait été préférable de faire abstraction de la seconde se trouvant au milieu d'une autre activité. Pour approfondir ce biais et donc le corriger, il aurait fallu comparer les mesures par une méthode de validation (ex : GPS de haute gamme) afin de déterminer le nombre de fois qu'une telle erreur se produit lors d'un match.

Un autre point important, serait d'effectuer des études supplémentaires, afin de valider le choix de nos seuils, lors de l'enregistrement du signal par l'accéléromètre. Pour les déterminer, nous nous sommes basés sur les pré-tests, mais un système de validation tel qu'un GPS de haute qualité (ex : GPS utilisé dans l'armée), faisant des mesures au cm près, pourrait très bien s'apprêter à une telle validation. Une investigation complémentaire serait donc plus que nécessaire pour avoir des résultats plus fiables.

Malheureusement, l'accéléromètre de l'iPhone® sature aux hautes intensités ($\pm 2g$). Il n'est dès lors pas possible de différencier les différentes intensités de course, alors que l'analyse vidéo le permet. Un développement dans l'appareillage devrait donc être fait ou alors utiliser simplement un accéléromètre tel qu'un Physilog®, sachant que ce dernier en est capable (voir chapitre suivant).

Notre système de mesure est limité quant à la différenciation des intensités de course (course légère, course à moyenne intensité, course à haute intensité ou sprint). En effet l'accéléromètre a seulement pu différencier trois intensités (arrêt, marche et course). Déterminer les différentes intensités de course serait important pour évaluer de manière plus précise les performances de match.

Enfin, si l'on continue à utiliser l'iPhone®, des améliorations pratiques devraient être apportées également. En effet, à l'heure actuelle il n'est pas possible de marquer précisément le début et la fin d'une mi-temps. Un marqueur devrait donc être incorporé dans le programme iPhone®, afin de déterminer les instants souhaités.

RECHERCHES FUTURES :

Pour compléter ce travail, mettre en évidence comment les différentes activités s'enchaînent et s'alternent entre-elles au fil du match pourrait se révéler fort intéressant. En effet, présenter ceci sous forme de « codes barres » permettrait de donner un aspect inexploré jusqu'ici à la performance de match des arbitres de football. Ce type de graphique est retrouvé dans la littérature {19}. En effet, l'évolution des activités journalières sur 24h chez les patients atteints de maladies chroniques a été analysée grâce aux codes barres {19}. Par conséquent, ces derniers pourraient également s'appliquer chez les arbitres de football.

Par ailleurs, afin d'approfondir le fait que les arbitres soient plus statiques en 2^{ème} période, il faudrait évaluer comment évolue le nombre de fautes en cours de match.

Comme cité précédemment (voir chapitre discussion), il serait également important de déterminer, les valeurs de vitesses, distances et durées exactes reflétant un match réel (plutôt que l'approximation effectuée par nos soins) de manière à améliorer le « test par intervalles » de la FIFA.

Concernant l'accéléromètre, il existe déjà sur le marché des accéléromètres de gamme plus élevée pouvant donc différencier les activités physiques avec plus de précisions que celles retrouvées dans la littérature. Par exemple, le Physilog® a été utilisé pour analyser différentes activités de mouvement et a montré qu'il était possible de déterminer les courses lentes et moyennes ainsi que du sprint {13}. Le Physilog® pourrait donc s'appliquer à la mesure des arbitres également. Dans un futur proche, un accéléromètre pourrait finalement être utilisé pour les arbitres à des fins d'entraînement individuel. Il faudrait donc mettre au point un programme automatique permettant la récolte des données, ainsi qu'une interprétation simple des résultats consultables par les arbitres eux-mêmes. Dans la même optique, en l'appliquant aux joueurs, il pourrait être utilisé par les entraîneurs afin d'optimiser la condition physique de chaque joueur individuellement.

Finalement, une étude pilote pourrait dans le futur être envisagée avec un appareil GPS et un magnétomètre associé à l'accéléromètre, afin de mesurer l'ensemble des mouvements qu'effectue un arbitre pendant un match (arrêt, marche, course, mouvement en avant, en arrière et de côté), en comparant les données obtenues avec celles d'un pré-test ou le sujet porterait un spiromètre, tout en effectuant ce même genre de mouvement. Il serait ainsi possible de mesurer avec précision le travail énergétique effectué par ce dernier, lors d'un match de football.

En effet, parmi les études sur les arbitres effectuées jusqu'à présent, aucune ne s'est réellement intéressée à leurs dépenses énergétiques qui pourtant semblent un élément essentiel pour arbitrer à titre professionnel. La gestion de l'alimentation est un élément primordial dans l'hygiène de vie de tout sportif, car des dépenses énergétiques mal compensées peuvent induire une hypoglycémie, une baisse de la capacité de réflexion et une diminution de performance. Donc, obtenir une valeur précise de la dépense énergétique chez les arbitres, particulièrement concernant l'utilisation des hydrates de carbone, permettrait de mieux équilibrer leurs apports énergétiques et d'améliorer le niveau de compétitivité des directeurs de jeu, surtout en fin de partie. Cependant, si la fréquence cardiaque (FC) a été acceptée comme méthode permettant de calculer les dépenses énergétiques dans de nombreuses pratiques sportives, elle présente le désavantage d'être influencée par d'autres facteurs que simplement l'effort physique. En effet, la fréquence cardiaque n'est pas un bon moyen d'appréciation de la performance. Elle est sensible à l'environnement, à l'hydratation et au stress. De ce fait, elle n'indique pas de manière précise le niveau d'activité physique qui fera monter la FC alors que l'arbitre peut tout simplement être statique (indication du point de pénalty après avoir sifflé une faute fatidique, par exemple). C'est pourquoi nous recommandons plutôt l'association accéléromètre-GPS-magnétomètre dans l'évaluation des dépenses énergétiques des arbitres de football.

CONCLUSION :

Cette étude pilote apporte un nouveau type d'instrumentation efficace, facilitant l'analyse, et simple d'utilisation qui de plus, n'avait jamais été utilisé auparavant dans l'évaluation des activités de match des arbitres de football.

Bien que l'accéléromètre employé dans cette étude est incorporé dans un téléphone portable et donc d'entrée de gamme, il a tout de même permis de montrer des résultats probants concernant la diminution de performance en 2^{ème} mi-temps. Ces résultats semblent aller dans le sens de ceux enregistrés par l'analyse vidéo et figurant dans la littérature. Son grand avantage est sa facilité d'utilisation. Il est effectivement plus simple que l'analyse vidéo. En contrepartie, en raison de sa basse fréquence, ce type d'accéléromètre n'a pas permis de différencier tous les types de course. Une amélioration devra donc être apportée dans cet objectif.

En plus d'explorer des mouvements avec précision au fil du match, l'accéléromètre a apporté un nouvel aspect sur la quantification de performance des arbitres non exploré jusqu'ici. En effet, nous avons également analysé les séquences de marche et de course et démontré que ces dernières devenaient de plus en plus brèves avec la partie, en traduisant une probable diminution de performance. Le nombre des alternances course-marche augmente au fil du match. Cette tendance est une autre démonstration de la fatigue qui progresse avec le temps. Cependant, nos résultats contiennent un certain nombre de limitations et devraient être réévalués de manière plus optimale dans le futur.

Enfin, à la lumière des résultats obtenus, il a été permis d'élaborer quelques considérations et propositions à propos des tests de sélection FIFA. En effet, après analyse de l'ensemble des paramètres, il semble que le test FIFA ne soit pas adapté aux exigences de l'arbitrage. Un calcul subjectif a donc été entrepris, afin de proposer de meilleurs paramètres de vitesse, distance et durée et donc pouvoir optimiser le « test par intervalles ». Il est vrai que le monde du football se veut de plus en plus exigeant sur le plan des capacités physiques des arbitres, et en particuliers sur la capacité de réflexion et de décision de ces derniers. Par conséquent, une condition physique suboptimale chez l'arbitre de football augmenterait le risque de multiplier les erreurs et donc de manquer à la tâche qui lui incombe. C'est pourquoi, l'amélioration de ce test FIFA nous paraît primordiale. Son développement dépend néanmoins d'une meilleure analyse des activités de match. Cependant, tant que l'activité des arbitres ne sera pas évaluée en parallèle à celle des joueurs lors du même match, il sera difficile de discerner si la diminution de l'intensité est attribuée à la fatigue, à la stratégie de préservation de l'effort, ou simplement à une baisse du rythme des joueurs {2}.

REMERCIEMENTS :

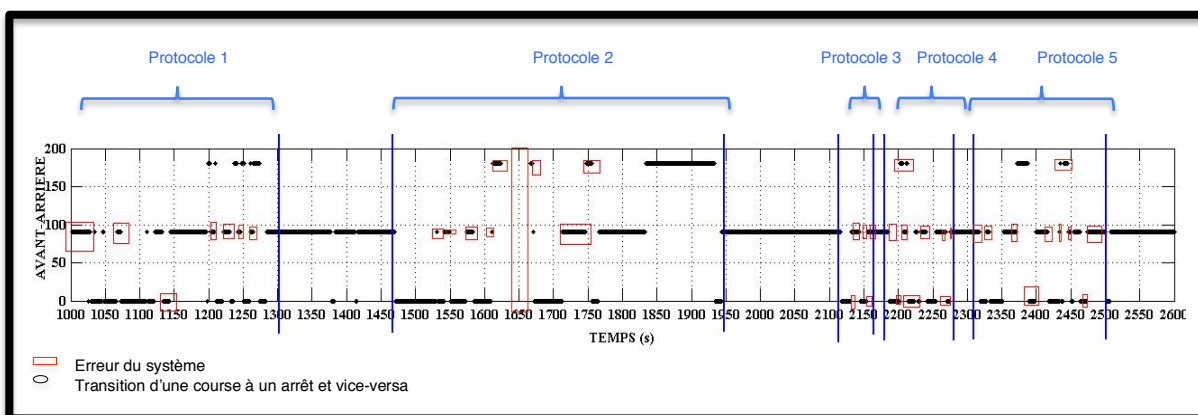
- Au Dr Gérald Gremion, médecin associé en médecine du sport au DAL, CHUV, pour l'idée originale du projet, sa supervision, le contact avec les arbitres d'élite, ainsi que pour les nombreux conseils tout au long de cette étude.
- A Julien Chardonnens, ingénieur au laboratoire LMAM à l'EPFL, pour le temps considérable qu'il a entrepris pour l'explication du fonctionnement du matériel et son aide dans l'analyse des données, des solutions apportées lors des difficultés rencontrées, ainsi que des nombreux conseils tout au long de ce travail.
- Au Laboratoire LMAM de l'EPFL pour m'avoir mis à disposition un ordinateur équipé de Matlab®, ainsi que l'application iPhone® qu'ils ont développée.
- Aux 5 arbitres pour avoir participé à cette étude, accepté de porter le dispositif en match officiel et de m'avoir obtenu l'accès à leur vestiaire personnel durant les matchs.
- A Chantal Daucourt, infirmière diplômée, entraîneur Swiss Olympic en médecine du sport, DAL, CHUV pour sa contribution lors de la phase pré-test avec les arbitres.
- A Adrian Cachinero, étudiant à l'EPFL, pour m'avoir fait participer dans son travail de Bachelor (« Ambulatory monitoring of physical activity in football »), ce qui m'a permis d'acquérir les notions de base de l'accéléromètre et son champs d'utilisation.
- A Milena Chiari, étudiante en droit, et à Pascale Baumann, étudiante en médecine, pour avoir testé l'iPhone® sur terrain lors de nos différents protocoles en début d'étude, ce qui a permis de définir nos seuils par la suite.
- A Vincent Santoro pour nous avoir mis a disposition, lors des pré-tests, le terrain de football de la Sallaz et plus particulièrement l'éclairage.
- A Igor Gossuin, étudiant en médecine, pour la mise a disposition de son iPhone 3GS®.

ANNEXE 1 : Association GPS-Magnétomètre :

En tant qu'étude pilote, le GPS et le magnétomètre de l'iPhone® auraient également pu être utilisés dans le but d'obtenir d'avantage de paramètres. En effet, l'application de l' iPhone® en question est également capable de les utiliser {13}. Son développement a été effectué lors d'une précédente étude au laboratoire LMAM, EPFL {14} et avait démontré qu'à l'heure actuelle, le GPS implanté dans l'iPhone®, n'était pas assez fiable et que le magnétomètre était de performance limitée {14}. Nous avons tout de même tenté de l'appliquer aux arbitres, car en couplant le GPS au magnétomètre, il aurait été possible de déterminer les mouvements arrières. Nous avons par conséquent fait de nombreux pré-tests durant la période allant du 01.12.2011 au 01.06.2012, afin de les rendre opérationnels pour les arbitres en condition de match.

La figure 13, met en évidence le résultat du couplage GPS-Magnétomètre afin de déterminer si le sujet se déplace en avant ou en arrière. En effet, il a été montré qu'il est possible de déterminer grâce à cet algorithme de couplage, le sens de déplacement {13}. Cependant, la sensibilité et la spécificité du système sont faibles, en raisons de nombreuses sources d'erreurs {13}. Effectivement, notre simulation (figure 3) confirme ceci, puisqu'il en ressort que de nombreuses erreurs sont présentes dans chacun des protocoles effectués. Le système GPS-Magnétomètre n'est donc pas fiable à l'heure actuelle pour déterminer les mouvements avant-arrière, raison pour laquelle leur détermination a été abandonnée dans cette étude.

Figure 13 : 5 protocoles effectués en pré-test afin de tester la validité du système montrant l'enregistrement des mouvements avant-arrière en utilisant le couplage GPS-magnétomètre (0-60 degré = avant, 60-120 degré = indéterminé ou arrêté, 120-180 degré = arrière). Sont encadrés en rouge toutes les erreurs de la détermination de mouvement avant-arrière par l'utilisation du couplage GPS-Magnétomètre comparé à la réalité.



ANNEXE 2 : Protocoles de mesure effectués en pré-tests :

Remarque : Le sujet courait à la vitesse à viser, grâce à un GPS Garmin® maintenu à son poignet, lui affichant la vitesse en temps réel.

Protocole 1 :

TYPE DE DEPLACEMENT	Vitesse moyenne à viser	Durée totale de chaque déplacement
Marche en avant	5 km/h	30 sec
Course légère en avant	9 km/h	30 sec
Course rapide en avant	12 km/h	30 sec
Sprint en avant	17 km/h	30 sec
Arrêt		2 min
Marche en arrière	3.50 km/h	30 sec
Course légère arrière	5 km/h	30 sec
Course rapide arrière	7.5 km/h	30 sec

Protocole 2 :

TYPE DE DEPLACEMENT	Vitesse moyenne à viser	Durée totale de chaque déplacement
Marche	5 km/h	2 min
Course	10 km/h	3 min
Arrêt	0 km/h	1 min
Course arrière	6 km/h	2 min

Protocole 3 :

TYPE DE DEPLACEMENT	Vitesse moyenne à viser	Durée totale de chaque déplacement
Marche	5 km/h	5 sec
Course	10 km/h	5 sec
Arrêt	0 km/h	5 sec
Course arrière	6 km/h	5 sec
Arrêt	0 km/h	5 sec
Marche	5 km/h	5 sec
Course	10 km/h	5 sec
Arrêt	0 km/h	5 sec
Course arrière	6 km/h	5 sec
Arrêt	0 km/h	5 sec

Protocole 4 :

TYPE DE DEPLACEMENT	Vitesse Moyenne à viser	Durée totale de chaque déplacement
Marche	5 km/h	10 sec
Course	10 km/h	10 sec
Arrêt	0 km/h	10 sec
Course arrière	6 km/h	10 sec
Arrêt	0 km/h	10 sec
Marche	5 km/h	10 sec
Course	10 km/h	10 sec
Arrêt	0 km/h	10 sec
Course arrière	6 km/h	10 sec
Arrêt	0 km/h	10 sec

Protocole 5 :

TYPE DE DEPLACEMENT	Vitesse Moyenne à viser	Durée totale de chaque déplacement
Marche	5 km/h	20 sec
Course	10 km/h	20 sec
Arrêt	0 km/h	20 sec
Course arrière	6 km/h	20 sec
Arrêt	0 km/h	20 sec
Marche	5 km/h	20 sec
Course	10 km/h	20 sec
Arrêt	0 km/h	20 sec
Course arrière	6 km/h	20 sec
Arrêt	0 km/h	10 sec

ANNEXE 3 : Construction des histogrammes :

Nous avons rassemblé à la suite chaque épisode d'arrêt et les avons mis ensemble et fait de même avec la marche et la course (Figure 14) au cours d'une mi-temps. Si nous avons pris seulement 45 minutes, nous aurions la plupart du temps coupé l'épisode se chevauchant avec les arrêts de jeu. C'est pourquoi, nous avons systématiquement ajouté l'épisode entrecoupé à la mi-temps en question, afin de respecter une certaine systématique. Cependant cela engendre que chaque mi-temps n'a pas tout à fait la même durée. Ensuite, en transférant ces données dans Matlab®, il a été possible de tracer des histogrammes (Figure 15) en regardant combien de fois revenait chaque épisode de course ayant la même durée lors de chaque mi-temps. Idem avec les épisodes de marche et d'arrêt. Nous avons donc compté combien de fois revenait le même épisode.

Ensuite, vu qu'il était trop compliqué d'en faire des moyennes, nous avons mis les cinq 1^{ères} et les cinq 2^{èmes} mi-temps ensemble et nous avons ensuite divisé le tout par 5. Ceci nous a permis de montrer une tendance.

Figure 14 : Histogramme construit avec Excel®, montrant chronologiquement les 105 mouvements de course étant survenus au cours de la 1^{ère} mi-temps de l'Arbitre 4.

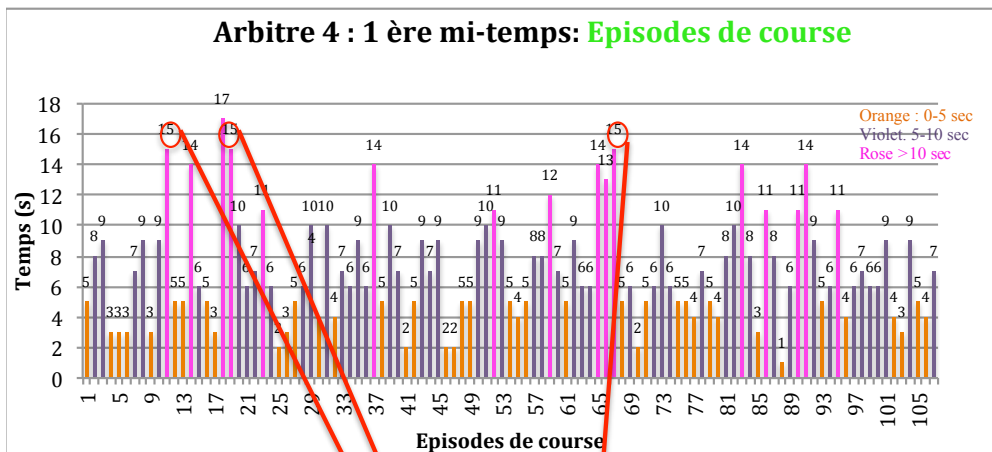
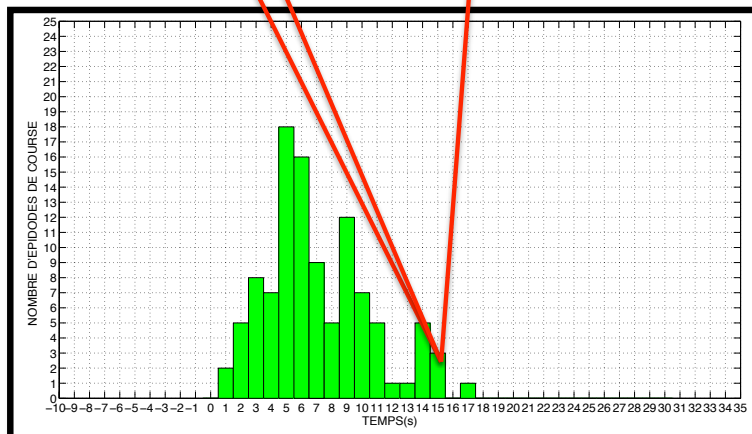


Figure 15 : Histogramme construit avec Matlab®, sommant tous les événements similaires de la figure 14. Nombre d'épisodes de course de même durée en fonction de sa durée en secondes.

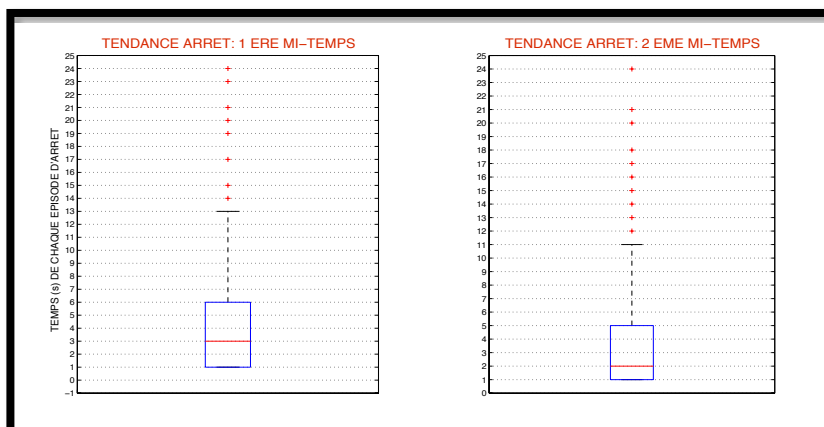


ANNEXE 4 : Boxplots :

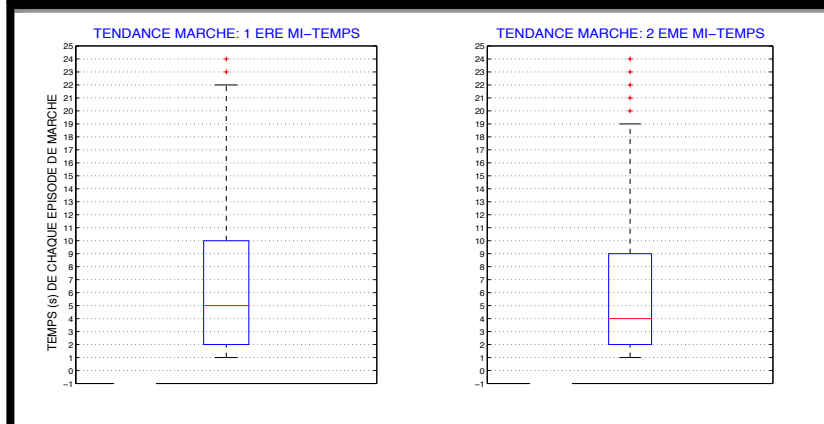
Remarque : Les boxplots sont construits de manière similaire aux histogrammes (voir annexe 3)

Figure 13 : boxplots montrant la tendance du nombre de fois qu'un même épisode de même durée est répété pour arrêt (a), marche (b) et course (c). Comparaison par mi-temps et mise en évidence des médianes de durée des différents efforts.

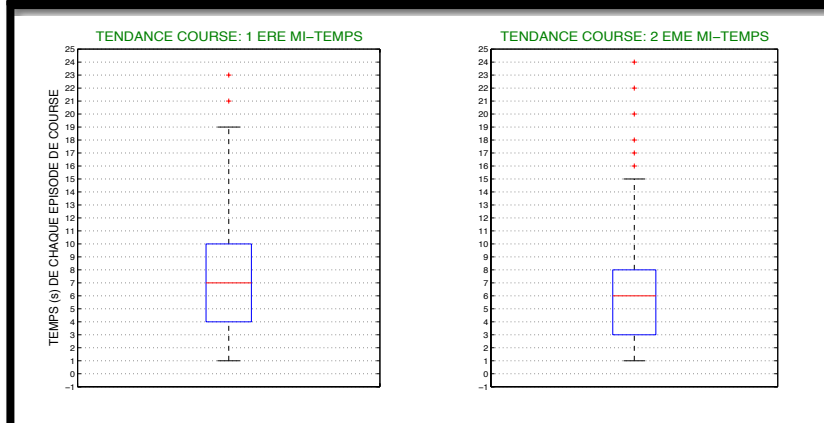
a)



b)



c)



ANNEXE 5 : Calcul d'optimisation du « test par intervalles » FIFA :

Sachant qu'il a été démontré que le jogging (8km/h) compte pour 15,8% du match, que la course lente (12 km/h) pour 9,3 % et la course modérée pour 4,8 % {4}, nous obtenons un total de 29,9% et donc le jogging vaut 52% de ces 29,9%, la course lente 31% et la course modérée 16%. Nous pouvons calculer : $0,52 \times 8 + 0,31 \times 12 + 0,16 \times 15 = 10,28 \text{ km/h} = 2,85 \text{ m/s}$ et donc si on multiplie par 6 sec (Tableau 4) on obtient 17,1 m. Donc, il en découle que pour améliorer le « test par intervalles », il faudrait alterner des courses de basse intensité d'environ 20m avec de la marche d'environ 6,25m (marche = 3-6 km/h = 4,5 km/h = 1,25 m/s x médiane de 5 sec = 6,25 m).

BIBLIOGRAPHIE :

- 1) fr.wikipedia.org/wiki/Football [En ligne]. [Modifié le 25 novembre 2012 ; cité le 7 juin 2008]. Disponible: <http://fr.wikipedia.org/wiki/Football>
- 2) Weston M, Castagna C, Impellizzeri FM, Bizzini M, Williams a M, Gregson W. Science and medicine applied to soccer refereeing: an update. *Sports Med.* 2012;42(7):615–31.
- 3) Weston M, Drust B, Atkinson G, et al. Variability of soccer referees' match performances. *Int J Sports Med.* 2011;32:190-4.
- 4) Krstrup P, Helsen W, Randers MB, Christensen JF, MacDonald C, Rebelo AN, et al. Activity profile and physical demands of football referees and assistant referees in international games. *J Sports Sci.* 2009; 27:1167-76.
- 5) Krstrup P, Bangsbo J. Physiological demands of top-class soccer refereeing in relation to physical capacity: effect of intense intermittent exercise training. *J Sports Sci.* 2001;19(11):881–91.
- 6) Castagna C, Abt G, D'Ottavio S. Physiological aspects of soccer refereeing performance and training. *Sports Med.* 2007;37:625-46.
- 7) Mallo J, Navarro E, Aranda JM, et al. Activity profile of top-class association football referees in relation to fitness test performance and match standard. *J Sports Sci.* 2009;27:9-17.
- 8) Castagna C, Abt G, D'Ottavio S. Activity profile of international-level soccer referees during competitive matches. *J Strength Cond Res.* 2004;18(3):486-90.
- 9) Krstrup P, Helsen W, Randers MB, et al. Activity profile and physical demands of football referees and assistant referees in international games. *J Sports Sci.* 2009;27:1167-76.
- 10) Mallo J, Navarro E, Garcia-Aranda JM, et al. Activity profile of top-class association football referees in relation to performance in selected physical tests. *J Sports Sci.* 2007;25:805-13.
- 11) Asami T, Togari H, Ohashi J. Analysis of movement patterns of referees during soccer matches. In: Reilly T, Lees A, Davids K, et al., editors. *Science and football*. London: E & FN Spon, 1988;341-5.
- 12) Weston M, Castagna C, Impellizzeri F, et al. Analysis of physical match performance in English Premier League soccer referees with particular reference to first half and player work rates. *J Sci Med. Sport* 2007;10:390-7.
- 13) Cachinero A. Ambulatory monitoring of physical activity in football. Semester Bachelor, Ecole polytechnique fédérale, Lausanne. Forthcoming 2011.
- 14) Tornay J. Développement d'une application iPhone afin d'extraire les paramètres spatio-temporels liés à la trajectoire en ski alpin, Semester Bachelor, Ecole polytechnique fédérale, Lausanne. Sous presse 2010.
- 15) Carling C, Bloomfield J, Nelsen L, Reilly T. The role of motion analysis in elite soccer. *Sports Med.* 2008;38(10):839–62.
- 16) Catterall C, Reilly T, Atkinson G, et al. Analysis of work rate and heart rates of association football referees. *Br J Sports Med.* 1993;27:153-6.
- 17) D'Ottavio S, Castagna C. Physiological load imposed on elite soccer referees during actual match play. *J Sports Med Phys Fitness* 2001; 41(1):27-32.
- 18) Weston M, Castagna C, Impellizzeri FM, et al. Ageing and physical match performance in English Premier League soccer referees. *J Sci Med. Sport* 2010;13:96-100.
- 19) Annie Paraschiv-Ionescu A, Perruchoud C, Buchser E, Aminian K. Barcoding human physical activity to assess chronic pain conditions. *PloS one* [Internet]. 2012 Jan [cited 2012 Dec 9];7(2): [about 11 p.]. Available from: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3285674&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>