

Université de Montréal

Validité et limite de la technique du GPS dans l'analyse de la tâche en football

Par

Nabyl Bekraoui

Département de kinésiologie



Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures
en vue de l'obtention du grade de
Maître ès sciences (M. Sc.)
En sciences de l'activité physique

Décembre 2004

© Nabyl Bekraoui, 2004



GV

201

U54

2005

V.008

AVIS

L'auteur a autorisé l'Université de Montréal à reproduire et diffuser, en totalité ou en partie, par quelque moyen que ce soit et sur quelque support que ce soit, et exclusivement à des fins non lucratives d'enseignement et de recherche, des copies de ce mémoire ou de cette thèse.

L'auteur et les coauteurs le cas échéant conservent la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent ce document. Ni la thèse ou le mémoire, ni des extraits substantiels de ce document, ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans l'autorisation de l'auteur.

Afin de se conformer à la Loi canadienne sur la protection des renseignements personnels, quelques formulaires secondaires, coordonnées ou signatures intégrées au texte ont pu être enlevés de ce document. Bien que cela ait pu affecter la pagination, il n'y a aucun contenu manquant.

NOTICE

The author of this thesis or dissertation has granted a nonexclusive license allowing Université de Montréal to reproduce and publish the document, in part or in whole, and in any format, solely for noncommercial educational and research purposes.

The author and co-authors if applicable retain copyright ownership and moral rights in this document. Neither the whole thesis or dissertation, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms, contact information or signatures may have been removed from the document. While this may affect the document page count, it does not represent any loss of content from the document.

Université de Montréal
Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé :

Validité et limite de la technique du GPS dans l'analyse de la tâche en football

Présenté par :

Nabyl Bekraoui

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

PRINCE, FRANÇOIS	Président rapporteur
LÉGER, LUC	Directeur de recherche
CAZORLA GEORGES	Membre du jury

Mémoire accepté le :

SOMMAIRE

Un système d'analyse de tâche peut être considéré valide lorsqu'il donne accès à une information juste et précise. Cette étape est vitale pour préparer au mieux les athlètes à faire face aux demandes de leur sport.

Pour le football, une multitude de systèmes de notation sont utilisés, dont l'enregistrement vidéo, la notation manuelle et l'enregistrement vidéo informatisé. Les distances parcourues et les vitesses de déplacement sont parmi les facteurs les plus analysés. Pour cette raison nous avons essayé de valider une technique qui permet d'analyser ces deux facteurs et qui n'a jamais été utilisée dans le football. Les Systèmes de Navigation par Satellites (GPS).

Ce mémoire comporte deux parties : une revue de la littérature et une étude expérimentale.

La revue de la littérature traite les thématiques suivantes : l'importance de l'analyse par notation, la description, utilité et limites des techniques de notations avec en premier la notation manuelle suivis de la notation audio, notation vidéo et manuelle, notation vidéo informatisée et finalement les notations avec un potentiel dans l'analyse en football, l'accéléromètre et les systèmes de navigation par satellite.

Quant à l'étude expérimentale, elle avait pour but de déterminer la variabilité inter joueurs et inter parties des vitesses de déplacement instantanées et des distances parcourues dans le football au moyen d'unités GPS à 1 Hz et d'en établir les limites.

Pour cette étude nous avons retenu 15 joueurs males, participant dans la ligue québécoise de football U-19 ainsi que dans le championnat collégial. Un test triangulaire maximal sur tapis roulant en laboratoire a servi à déterminer la vitesse maximale aérobie (VAM) par mesure directe du VO_2 . Un radar a été utilisé pour détecter la vitesse de course maximale en ligne droite sur une distance de 50 m. Pour l'indice de fatigue, il fut déterminé à partir d'un test de répétition de sprints en navette sur 10 m. Enfin, les

distances parcourues ainsi que les différentes vitesses de déplacement durant les matchs ont été mesurées grâce à une unité GPS portée par le joueur dans un mini sac à dos.

Pour les résultats obtenus, la vitesse de pointe mesurée par radar et la VAM moyenne étaient respectivement égales à $31,7 \text{ km.h}^{-1}$, et $16,9 \text{ km.h}^{-1}$. Les joueurs parcouraient en moyenne 7033 m lors des 65 premières minutes de jeux (~9500 m pour 90 minutes), ce qui représente une vitesse moyenne de $6,4 \text{ km.h}^{-1}$. Durant 88% du temps, les joueurs étaient en moyenne en dessous de 75% VAM alors qu'ils sont en moyenne 3,7% du temps au dessus de 100% de la VMA.

En ce qui concerne les variations inter-joueurs, les défenseurs parcourent le moins de distance alors que les milieux de terrains en parcourent le plus. Malheureusement nous n'avons pas eu assez de données pour étudier les variations intra joueur.

Les résultats sont encourageants vu qu'ils concordent avec la littérature. Une étude avec plus de sujets et de matchs et notée simultanément par plusieurs systèmes de notation permettrait de définir plus clairement la situation, le GPS s'étant montré adéquat à cette fin.

Mots clés : GPS, système de notation, football, distance, VAM.

SUMMARY

A system used for task analysis is only considered valid if it gives access to precise information. This step is very important since it is considered to be vital for the athlete's preparation in facing the demands of their sport.

In football, many notational systems have been used, like video recording, hand notation or computerized video imaging. The distances covered as well as running intensity are two important factors that most of task analysis in football have focused on. For this reason, we are trying to see, if Satellite Navigation Systems or Global Positioning Systems (GPS) can be a good tool for this kind of application since it gives precise instant speed and distance travelled and that it has never been used in football.

This master thesis consists of a part one which is a literature review and a part two which is an experimental study.

In the first part, we will define and set the pros and cons of the different notational systems used in analysing football. We will start with the hand notation, followed by the audio notation, then video recording, video recording combined with hand notation, computerized video recording and finally look into some new techniques with potential for the future of task analysis in football such as GPS systems and accelerometers.

Concerning the experimental study, the main goal is to validate the data collected by GPS by comparing it to what has been reported in other studies in terms of distance covered and running intensities.

For this study, we have recruited 15 male soccer players from the Québec U-19 soccer league and the collegiate championship. A triangular maximal test on a treadmill in a lab was used to determine the maximal aerobic velocity (MAV) by direct VO_2 measure.

Maximum speed was measured by radar through a sprint in a straight line over a distance of 50 m while the fatigue index was calculated from the results of a 10 m shuffle sprint. As for the total distance covered during the game and the different moving speeds, it was measured by a GPS unit placed in a small bag pack worn by the players during the games.

Our results show that the average maximum speed measured by radar and MAV were respectively equal to 31,7 km.h⁻¹ and 16,9 km.h⁻¹. The average distance travelled during the first 65 minutes was 7033 m (~9500 m pour 90 minutes) which translates in an average speed of 6,4 km.h⁻¹. Players spent on average 88% and 3,7 % of the total time respectively below 75% MAV and over 100% MAV.

Defenders covered the smallest distance while midfielders covered the longest distance. Unfortunately, we didn't have enough data to study players between games variations.

Our results are very encouraging since they are on the same line as what has been reported in literature. A study with more subjects and games and analysed simultaneously by multiple and different systems, will allow us to determine more precisely the limits of the GPS technique.

Key words: GPS, notation systems, football, distance, MAV.

REMERCIEMENTS

Je ne peux commencer l'écriture des premières lignes de cette page de remerciements sans avoir une pensée à mes grands-parents, El Hajja Zahia et El Haj H'med.

Ma dette de reconnaissance va en premier lieu à mon professeur Luc Léger pour l'intérêt qu'il a manifesté à mon égard, pour ses conseils, encouragements et amitié depuis le début de ce projet, et de m'avoir tellement appris, tant sur le plan de la recherche que sur le plan humain.

Je remercie le professeur Georges Cazorla pour nous avoir donné l'idée du projet ainsi que le professeur François Prince pour avoir accepté de faire partie de mon jury.

Je remercie les responsables du laboratoire de physiologie de l'exercice, Jonathan Tremblay, Arthur Long, François Lecot, Chantal Daigle, qui grâce à leur aide et expertise une grosse partie du projet a été réalisée.

Je remercie tout le personnel du secrétariat pour leur aide et gentillesse, Chantal Lalande, Lucille Caron, Lucie Senneville, Francine Normandeau, Micheline Therrien et Pierre Beauchamp.

Je tiens à remercier Otmane Ibrir, Djamel Laarabi de l'union des entraîneurs de soccer du Québec pour m'avoir aidé à trouver des sujets. Je remercie aussi, le FC Select U-19 de la Rive-Sud et l'équipe masculine de soccer du collège Champlain ainsi que tous les sujets qui ont participé à cette étude.

Je remercie mes amis, Omar Benzime, Adil Arrout, Yacine Karckach et la famille Daoudi pour leur aide et support avant et durant cette aventure, sans oublier Chamseddine Guinoubi pour son sauvetage de dernière minute.

Je remercie les responsables du CEPsum pour m'avoir permis d'utiliser leurs locaux et matériels.

Enfin, ce projet n'aurait pu s'écrire sans l'amour et l'appui moral de mes parents, M'hamed et Fatima, mes sœurs Leila et Aziza, mon oncle Mustapha et sa femme Souad ainsi que tous les autres membres de ma famille.

TABLES DES MATIÈRES

PAGE TITRE.....	i
PAGE D'IDENTIFICATION DU JURY.....	ii
SOMMAIRE.....	iii
SUMMARY.....	v
REMERCIEMENTS.....	vii
TABLES DES MATIÈRES.....	viii
LISTE DES TABLEAUX.....	ix
LISTE DES FIGURES (1/2).....	xiv
LISTE DES FIGURES (2/2).....	xv
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS.....	xvi
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
<u>PARTIE I : RECENSION DES ÉCRITS.</u>	
LES SYSTÈMES DE NOTATION DANS LE FOOTBALL	3
1.0 INTRODUCTION.....	3
1.1 IMPORTANCE DE L'ANALYSE PAR NOTATION :	4
2.0 DESCRIPTION, UTILITÉ ET LIMITES DES TECHNIQUES DE NOTATION	7
2.1 NOTATION MANUELLE.....	7
2.2 AUDIO 8	
2.3 VIDÉO 9	
2.4 VIDÉO INFORMATISÉE.....	12
2.5 SYSTÈME DE NAVIGATION PAR SATELLITES	18
2.6 ACCÉLÉROMÈTRE.....	22

3.0 DISTANCE ET VITESSE DES DÉPLACEMENTS AU FOOTBALL AU MOYEN DES DIFFÉRENTES TECHNIQUES DE NOTATION.	25
3.1 NOTATION MANUELLE	25
3.2 ENREGISTREMENT VIDÉO ET NOTATION MANUELLE	28
3.3 NOTATION AUDIO	33
3.4 NOTATION INFORMATISÉE	35
3.5 RÉSULTATS OBTENUS PAR GPS :	42
3.6 COMPARAISONS DES TECHNIQUES.....	43
4.0 CONCLUSION	45
RÉFÉRENCES.....	48

PARTIE II: ÉTUDE EXPÉRIMENTALE	
VALIDITÉ ET LIMITES DE LA TECHNIQUE DU GPS DANS L'ANALYSE DE LA TÂCHE EN FOOTBALL	54
1.0 INTRODUCTION.....	54
2.0 MÉTHODOLOGIE.....	55
2.1 DESCRIPTION DES SUJETS ET SCHÈME EXPÉRIMENTAL.....	55
2.2 TESTS ET MESURES.....	57
2.2.1 VITESSE AÉROBIE MAXIMALE.....	57
2.2.2 VITESSE MAXIMALE DE SPRINT.....	57
2.2.3 INDICE DE FATIGUE.....	57
2.2.4 ENREGISTREMENTS GPS.....	58
3.0 RÉSULTATS.....	61
3.1 TRACÉS DES DÉPLACEMENTS DES JOUEURS OBTENUS PAR GPS.....	61
3.2 DISTANCE PARCOURUE ET VITESSE MOYENNE SOUTENUE.....	61
3.3 VARIATION DES DISTANCES.....	63
3.4 PROPORTION DU TEMPS PASSÉ À DIFFÉRENTS %VMA.....	64
4.0 DISCUSSION.....	66
4.1 ASPECTS MÉTHODOLOGIQUES.....	66
4.2 DISTANCES PARCOURUES.....	66
4.3 INTENSITÉ DES COURSES DE DÉPLACEMENT.....	67
5.0 CONCLUSION.....	68
RÉFÉRENCES.....	70

LISTE DES TABLEAUX

PARTIE I: RECENSION DES ÉCRITS

LES SYSTÈMES DE NOTATION DANS LE FOOTBALL

<u>Tableau 1.</u>	Vitesses correspondantes aux différentes formes de déplacements selon les classifications utilisées par différents auteurs.....	11
<u>Tableau 2.</u>	Exemple de notation avec clavier codifié.....	11
<u>Tableau 3.</u>	Liste des paramètres analysés par catégories et sous catégories (tiré de www.sport-universal.com).....	17
<u>Tableau 4.</u>	Exemple de données mises en mémoire par le GPS pendant 22 s durant un match.....	24
<u>Tableau 5.</u>	Longueur de foulée durant différents types de déplacements et distance totale parcouru.....	30
<u>Tableau 6.</u>	Récapitulation des différentes distances obtenues avec différents systèmes de notation.....	39

LISTE DES FIGURES (1/2)

PARTIE I: RECENSION DES ÉCRITS

LES SYSTÈMES DE NOTATION DANS LE FOOTBALL

<u>Figure 1 :</u>	Ohashi et coll. : Caméras avec potentiomètre, calcul par trigonométrie (1987) (<i>Adapté de [23]</i>).....	13
<u>Figure 2 :</u>	Ohashi et coll. : Caméra et potentiomètre, calcul par trigonométrie (1999) (<i>Adapté de [22]</i>).....	14
<u>Figure 3:</u>	Évolution de la précision des unités de navigation par GPS depuis 2000.....	19
<u>Figure 4:</u>	Principe de la détermination de la position sur terre grâce au GPS.....	19
<u>Figure 5:</u>	Déplacements de l'arbitre durant la première mi-temps.....	27
<u>Figure 6:</u>	Proportions de la distance totale parcourue que représentent les différentes intensités de course.....	31
<u>Figure 7:</u>	Proportions du temps total que représentent les différentes intensités de déplacement.....	33
<u>Figure 8:</u>	Carte représentant un terrain de football à échelle réduite utilisée par Reilly et Thomas (1976).....	34
<u>Figure 9:</u>	Erdman 1991 : Système vidéo utilisant 1 caméra vidéo fixe.....	35
<u>Figure 10:</u>	Distances moyennes parcourues rapportées grâce à différentes fréquences d'enregistrement vidéo.....	37
<u>Figure 11:</u>	Tracé obtenu par GPS sur 90 minutes de jeux. Milieu latéral dans un 3-5-2.....	43
<u>Figure 12:</u>	Évolution des distances maximales rapportées au fil du temps et des techniques.....	44
<u>Figure 13:</u>	Distance moyenne par match en fonction de la date de publication	44
<u>Figure 14:</u>	Les différentes techniques de notation et les activités qu'elles peuvent enregistrer.....	47

LISTE DES FIGURES (2/2)**PARTIE II ÉTUDE EXPÉRIMENTALE****VALIDITÉ ET LIMITE DE LA TECHNIQUE DU GPS DANS L'ANALYSE DE LA
TÂCHE EN FOOTBALL**

<u>Figure 1:</u>	Vitesses moyennes GPS et théoriques du test progressif de course navette sur 20 m.....	59
<u>Figure 2:</u>	Variation intra joueur de la distance parcourue entre le match #1 et le match #2	63
<u>Figure 3:</u>	Variation interposition de la distance totale moyenne parcourue	63

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

DGPS	Differential Global Positioning System
GPS	Global Positioning System
h	heure
km	kilomètre
m	mètre
ml	millilitre
n	nombre
s	seconde
SA	Selective Availability
VAM	Vitesse aérobie maximale
VO ₂	Volume d'oxygène (ml kg ⁻¹ min ⁻¹)
WAAS	Wide Area Augmentation System

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Ce mémoire est composé de deux parties distinctes, c.-à-d. 1) une recension des écrits portant sur, les différentes techniques de notation utilisées à date dans la quantification et l'analyse de l'effort dans le football ainsi que sur la potentialité de nouvelles techniques de notation comme les Systèmes de Navigation par Satellites (GPS) et les accéléromètres et 2) une étude expérimentale sur l'utilisation du GPS pour quantifier les variations de vitesses et de déplacements entre les joueurs et les parties.

La recension des écrits comporte deux sections. Dans la première nous allons introduire et définir la notation et son importance. Par la suite, nous allons décrire en détail les différents systèmes de notation utilisés dans le football en respectant l'ordre suivant : notation manuelle, audio, vidéo, vidéo informatisée pour finir avec les nouvelles techniques que nous pensons utilisables dans le football. À la fin de la deuxième section et tout en respectant le même ordre, nous discuterons des vitesses et distances obtenues par ces techniques de notation tout en essayant d'en comparer les résultats.

La deuxième partie de ce mémoire est une étude expérimentale descriptive cherchant à déterminer la validité et limites des Systèmes de Navigations par Satellites dans l'analyse de la tâche en football. Les vitesses de déplacements obtenues dans les études sont souvent des vitesses moyennes. Le fait de pouvoir obtenir des vitesses instantanées nous paraît très avantageux et plus fiable pour déterminer les intensités des déplacements en pourcentage de la VAM. Valider le GPS à travers cette étude donnera au football et au sport intermittent en générale un nouvel outil d'analyse de tâche simple, valide et abordable.

PARTIE I :

RECENSION DES ÉCRITS

LES SYSTÈMES DE NOTATION DANS LE FOOTBALL

LES SYSTÈMES DE NOTATION DANS LE FOOTBALL

1.0 INTRODUCTION

Cette revue de littérature porte sur les moyens techniques utilisés dans l'analyse et la quantification des efforts au football. Connaître et comparer les différentes approches d'observation utilisées au football est important pour mieux comprendre les besoins de ce sport et mieux définir les charges de travail et d'entraînement.

Le football est un sport collectif qui se joue sur deux mi-temps de 45 minutes avec un intervalle de repos de 15 minutes. La durée totale est donc de 90 minutes alors que la durée effective de jeu varie selon les matchs. Durant la coupe du monde en 1978¹, la rencontre Écosse-Iran comprenait 52 minutes de jeux effectifs contre 76 minutes pour Allemagne-Pays-Bas [1, 2]. Ceci démontre que malgré des règles de jeux universelles, les demandes physiologiques varient d'une rencontre à une autre, ce qui rend difficiles l'analyse des matchs et la détermination des charges de travail. À cela viennent s'ajouter la liberté de mouvement des joueurs qui se concrétise par une gamme infinie de gestes moteurs et par des enchaînements peu répétitifs. Enfin, la méfiance des entraîneurs envers ces nouvelles techniques d'analyse ne facilite guère leur implantation.

L'intérêt grandissant de la recherche pour le football est symbolisé par l'organisation dès 1987 d'une série de 5 congrès " *World Congress of Science and Football* ". Les actes de ces congrès, sous le titre "*Science and Football* " (I, II, III, IV et V) [3] permettent non seulement de connaître les différentes techniques d'analyses utilisées en football, mais permettent aussi d'en suivre l'évolution entre 1987 et 2003, dates des premiers et derniers congrès. Toutes ces recherches contribuent aussi d'une certaine manière à l'évolution du football. En effet, elles permettent de mieux connaître les besoins physiologiques de ce sport et de mieux planifier, éviter ou limiter les surmenages physiques et psychologiques qui risquent de mener aux blessures ou aux baisses de performance. En 2000, Hawkins et coll.[7] ont rapporté qu'en moyenne un joueur subit 1.3 blessure par saison et s'absente 20.4 jours par blessure.

¹ Et non en 1986. comme le rapporte Tumilty [2]

Afin d'optimiser la préparation et réduire le taux d'absentéisme, l'entraîneur et le préparateur physique ont besoin de données spécifiques sur les demandes des efforts fournis durant les matchs. Or, différentes techniques d'analyse sont utilisées à cette fin. Tout en étant nombreuses, la plupart des études qui portent sur la quantification de l'effort couvrent rarement tous les aspects du football. Plusieurs tests et techniques de mesure ont donc été mis en place afin de pouvoir disséquer les actions qui se déroulent durant un match. Chaque technique présente des avantages et des inconvénients qu'il importe de connaître afin d'identifier les meilleures ou d'en développer de nouvelles afin d'obtenir une analyse très proche de la réalité et ainsi donner une idée précise sur ce qui se passe sur le terrain que ce soit sur le plan tactique, technique, physique ou statistique.

Nous essaierons donc de répondre à ces questions en faisant un bilan de ces différentes techniques. Nous soulignerons tout d'abord l'importance de l'analyse par notation en général avant de se pencher plus en détail sur les différentes techniques utilisées dans le football en commençant par la notation manuelle et audio suivie par l'analyse vidéo manuelle et informatisée, et enfin l'utilisation de techniques plus récentes comme les systèmes de navigation par satellites (GPS) et les accéléromètres.

1.1 IMPORTANCE DE L'ANALYSE PAR NOTATION :

L'évolution d'un sport passe par une "analyse critique" c.-à-d. l'interprétation de données récoltées par le moyen d'une méthode de notation. Les résultats de ces méthodes permettent de faire évoluer le sport en améliorant les règles ainsi que l'approche des entraîneurs. Mais pour qu'une méthode soit valide, il faut d'abord établir ses degrés d'objectivité et de fiabilité. Reilly [8] cite Clarke qui en 1964, définissait le degré de fiabilité d'une méthode comme étant "le degré de consistance avec laquelle l'outil de mesure peut être utilisé". Par exemple un outil qui sert à mesurer la distance, peut être fiable dans le sens qu'il donnera toujours la même distance, mais pour qu'il soit valide, il faut que la distance mesurée reflète aussi la réalité.

Il existe deux types d'analyses, qualitatives et quantitatives. L'une complète l'autre, mais le degré de difficulté dans la réalisation est différent[9]. En effet, l'analyse qualitative est plus difficile et plus compliquée à réaliser, car elle demande une formation spécifique des observateurs, cette formation de perfectionnement peut être aussi bien vue comme avantageuse qu'handicapante. Comme le rapporte Franks [8], qui après avoir demandé à des novices et à des experts d'analyser la performance de gymnastes, a trouvé que les experts sont plus inclinés à commettre des fautes de jugement, car ils se sentent obligés de trouver "la faute". Il a aussi trouvé que la trop grande spécificité des connaissances des entraîneurs et leur excès de confiance sont des facteurs à ne pas négliger, car ils ne sont pas portés à remettre en question leurs habiletés à analyser et à juger [9].

La philosophie et le vécu de l'observateur doivent être pris en considération. Par exemple lorsque jugé par un spécialiste Anglais, un joueur d'Amérique latine ou un joueur africain évoluant dans le championnat de football anglais sera considéré comme très doué techniquement (dribble et touché de balle) alors que dans son championnat local, il sera "ordinaire" puisque entouré de nombreux joueurs jouissants de capacités techniques similaires. L'atteinte de résultats objectifs et généralisables peut donc être difficile avec l'analyse qualitative. Donc une analyse qualitative est assez difficile à réaliser en espérant avoir des résultats objectifs. Par contre, une analyse quantitative est beaucoup plus facile à réaliser et les résultats ne sont pas affectés par les sentiments personnels de l'observateur. Par exemple, une étude qui se concentre sur les qualités physiques d'un joueur et sur les charges de travail internes durant un match (coût énergétique, fréquence cardiaque, etc.) n'est pas mise en cause par la subjectivité de l'évaluateur puisque les protocoles à suivre sont similaires pour chaque sujet.

L'analyse engendre un phénomène d'information et de rétroaction important pour le footballeur. En effet, qu'il soit qualitatif ou quantitatif, le bilan de performance obtenu permet à l'athlète de mieux se connaître. L'information et la rétroaction qui en résultent, se manifestent de deux façons. Intrinsèque, elle correspond à l'information obtenue grâce aux propriocepteurs de l'athlète sur les différentes réactions de son corps par rapport à l'exercice et à l'effort fourni et extrinsèque, elle correspond à l'information obtenue grâce aux observations de l'entraîneur [10], information qui dans la plupart des cas permet de déterminer les limites technico-tactiques de l'athlète. La combinaison de ces deux types

d'informations/rétroactions permet donc de dresser un bilan qualitatif et quantitatif de la performance de l'athlète et de mettre en place un travail plus spécifique lors de sa préparation physique.

Sans pour autant nier l'importance de l'analyse qualitative, nous limiterons l'objet de cet exposé aux différentes approches utilisées pour l'analyse quantitative. Selon les ressources et le personnel disponibles, les moyens utilisés peuvent parfois être rudimentaires (crayon et papier), ou très sophistiqués (vidéo informatisée...). Les coûts sont différents bien sûr et les résultats ne sont toujours pas garantis.

Certains entraîneurs se passent de la notation formelle (notes écrites, graffitis ou enregistrement électronique), car il existe des programmes de notation informelle basée strictement sur la mémorisation de l'entraîneur. Celui-ci apprend non seulement à retenir plus d'information, mais aussi à distinguer l'information utile de l'information secondaire. Ce genre de programme n'est d'ailleurs pas exclusif au sportif puisqu'il est aussi utilisé par d'autres spécialistes comme la police et plus précisément par les enquêteurs au criminel. Par exemple, le policier apprendra à retenir certains détails environnementaux alors que la victime figée par la peur ne regardera que son agresseur sans véritablement le voir ou porter attention aux détails utiles. De même que le spectateur qui ne suit que le ballon, l'entraîneur aguerri aura une vision plus périphérique du jeu et en retiendra les éléments clefs. Avec l'expérience, il arrivera aussi à retenir une quantité d'information étonnante.

Même si beaucoup d'entraîneurs se fient à leur capacité de mémorisation, cette façon d'enregistrer l'information est malgré tout loin d'être suffisante. Ainsi, il a été démontré que même pour un entraîneur de niveau international, seul 45% de ce qui se passe lors du match est retenu et la probabilité de se rappeler tous les moments critiques d'un match n'est que de 42%. En fait, les entraîneurs se rappellent avec plus de précision des situations de balles arrêtées que des situations de jeux fluides [11]. Par exemple, lorsqu'il y a un coup franc ou un coup de coin, non seulement le jeu est arrêté, ce qui permet à l'entraîneur d'analyser tout ce qui passe autour, mais aussi l'entraîneur n'a qu'à se concentrer que sur une seule situation de jeu à la fois. Lorsque le ballon est remis en jeu toutefois, l'entraîneur se trouve face à une multitude d'actions prenant place simultanément (porteur du ballon, défenseur, attaquants faisant des courses...). Le meilleur moyen d'obtenir un nombre plus important

d'informations est donc d'utiliser un moyen de notation formelle (analyse par notation).

La notation n'est pas une technique nouvelle. En Égypte au temps des pharaons, on utilisait l'hieroglyphe comme moyen de notation, pour lire des mouvements de danse [10]. Les systèmes de notations existent donc depuis plusieurs milliers d'années. Mais la notation ne fut vraiment établie qu'au 11^e siècle, avec les notes de musique. Aujourd'hui la notation est un outil indispensable auquel font appel tous les domaines. Cet outil facilite l'enregistrement et le stockage de grandes quantités de données.

Dans les sections suivantes, nous décrivons plus en détail les différentes techniques de notation.

2.0 DESCRIPTION, UTILITÉ ET LIMITES DES TECHNIQUES DE NOTATION

2.1 NOTATION MANUELLE

La notation manuelle est une technique peu coûteuse, accessible à tous et sans difficulté matérielle importante (transport d'équipement lourd, installation et étalonnage d'équipements électroniques sophistiqués, accès à l'électricité...). En général, le matériel requis se limite à des crayons et du papier à écrire. Cette technique a été l'une des premières utilisées pour enregistrer de l'information.

Malheureusement, elle ne présente pas que des avantages. Elle nécessite plusieurs heures de formation des observateurs; de plus, chaque observateur ne peut suivre qu'un seul joueur à la fois si l'on veut enregistrer sans arrêt toute l'activité du joueur du début à la fin du match; puis à cela, vient s'ajouter le travail que doit faire la personne chargée de l'analyse des données [2, 10, 12]. Pour l'analyse de l'activité des joueurs de champs durant les matchs, il faut former et employer 10 observateurs familiarisés avec la technique et les différents symboles de notation.

La notation manuelle demande une grande simplicité dans le choix des symboles ou codes de notation. En effet, plus les codes sont simples, plus facile sera la tâche de l'observateur et moins d'erreurs seront commises. Aussi le nombre de types d'actions à enregistrer ne doit

pas être trop grand, surtout si l'information est recueillie durant le match et non durant une rediffusion vidéo qui permet le ralenti ainsi que le visionnement répétitif d'actions que l'observateur aura manquées. Farhi [13] a utilisé cette technique de notation manuelle durant le visionnement vidéo de matchs, avec pour but une analyse quantitative combinée avec une analyse qualitative

L'un des problèmes que pose la notation manuelle vient aussi du fait que des données comme la vitesse de déplacement et la distance totale ne sont pas obtenues en temps réel et demande donc des heures supplémentaires de calcul² avant de passer à la phase de l'analyse.

A titre d'exemple, les observateurs utilisés par Sanderson et Way [14] dans l'analyse d'un match de squash d'une durée d'une heure ont eu besoin de 5 à 8 h de formation et de 40h de travail pour organiser les données obtenues. Les observateurs ont eu aussi besoin de 20 à 30 feuilles pour enregistrer l'information recherchée.

Avec l'évolution technologique, l'analyse quantitative fait de moins en moins appel à la notation manuelle. La vidéo informatisée a en effet pris le relais et est utilisée de plus en plus par les clubs de football.

2.2 AUDIO

La notation audio est très peu utilisée dans l'analyse quantitative du football. Reilly et Thomas [8] et Yamanaka et coll. [15] ont fait appel à l'enregistrement audio lors de leurs analyses respectives sans l'utiliser de manière similaire. Yamanaka et coll. ont utilisé cette technique afin de mettre en mémoire les actions que leur système de notation ne pouvait pas enregistrer comme, les sauts, les contacts avec le ballon, les têtes et les tacles, alors que Reilly et Thomas [8] ont enregistré les différents types de déplacements qu'ils ont classifié auparavant grâce à la longueur et fréquence des foulées en s'aidant de repères spatio-

² Par exemple, il faut estimer la distance parcourue pour un segment de course donné au moyen de repères étalons et, pour obtenir la vitesse, diviser cette distance par les temps de passage de l'horloge vidéo ou encore, calculer le nombre de foulées pour un segment de course donné puis la fréquence de ceux-ci avec les temps de passage de l'horloge vidéo et enfin la vitesse et la distance avec les courbes étalons fréquence/vitesse établi sur des segments de distance connus à différentes vitesses.

temporels à l'aide d'un terrain sur papier à échelle réduite et aux traces de la tondeuse sur la pelouse des stades où ont eu lieu les matchs analysés.

Reilly et Thomas [8] ont aussi démontré que la technique pouvait être précise lorsque comparée à l'analyse vidéo. En effet, lors de leur étude de validation, ils ont obtenu un degré de fiabilité moyen ($r = 0,95$) pour toutes les activités qu'ils ont recensé, marche arrière, marche avant, course lente, course rapide et sprint.

La notation audio présente l'avantage de permettre l'enregistrement d'un nombre important de données, mais demande beaucoup de temps pour convertir ces données verbales en information utile pour l'analyse.

2.3 VIDÉO

L'enregistrement vidéo est aujourd'hui le moyen le plus utilisé par les chercheurs dans le football. La vidéo permet un accès illimité à tout ce qui se passe sur le terrain. L'observateur contrôle les limites temporelles puisque l'analyse des données ne se fait pas en temps réel. Cette technique passe par l'utilisation de caméras vidéo dont le nombre varie selon les systèmes utilisés, informatisés ou non.

Par définition, la notation par vidéo non informatisée est l'enregistrement vidéo combiné avec la notation manuelle. Mais il existe deux types de notation manuelle, une se servant de papiers et d'un crayon [8] et l'autre se servant d'un clavier codifié [16].

La notation manuelle avec vidéo et sans ordinateur peut être affectée par la technique d'analyse. Par exemple, Bangsbo et coll. [17] ainsi que Mohr et coll. [18] ont utilisé un système de notation similaire à celui utilisé par Farhi [13] et par Reilly et Thomas [8] pour catégoriser les intensités de course, mais avec une technique différente pour y parvenir. Mohr et coll. à la différence de Bangsbo et coll., ont utilisé un ordinateur pour codifier les différents types de course sans pour autant que les données soient traitées et classées par une technique informatisée. Ainsi, ils ont mesuré les vitesses moyennes de déplacements des différents types de courses au lieu de mesurer la longueur des foulées. Les sujets ont fait des déplacements filmés à différentes vitesses de course sur une distance connue. Ces enregistrements ont permis à Bangsbo et coll. d'analyser en détail les vitesses avant de les classer en différentes catégories. L'enregistrement du match a été projeté sur écran de télé et visionné par un observateur muni d'un chronomètre et qui reconnaît et enregistre les

différentes vitesses grâce à des marqueurs placés auparavant sur le terrain. La distance totale est obtenue en multipliant les différentes vitesses par leurs durées respectives avant d'en faire la somme.

Dans le cas de l'utilisation de la longueur des foulées, les vitesses sont calculées selon la fréquence de foulées qui sont mesurées en déplaçant les sujets à différentes vitesses entre deux points sur une distance connue. La longueur de la foulée pour chaque vitesse est alors calculée en divisant le nombre de foulées par la distance. On peut raisonnablement se demander si les différences observées entre les résultats rapportés par ces auteurs (Tableau 1) sont dues à la technique de mesure utilisée ou à de réelles différences.

Dans l'utilisation de la notation manuelle avec clavier, le problème se situe dans l'entrée des données qui est très complexe comme le décrivent Hughes et Franks [10], chaque action porte un code spécifique (Tableau 2) et ceci peut être très compliqué pour l'observateur. L'usage du clavier QWERTY est le plus commun, dans certains cas, des claviers spécifiques aux besoins de l'étude sont utilisés. En général le clavier est adapté aux besoins et est divisé en différentes parties, chaque partie correspond à un type d'activité spécifique. Cette méthode a pour but d'enregistrer un maximum de données et faciliter la tâche de l'observateur

Tableau 1 : Vitesses correspondantes aux différentes formes de déplacements selon les classifications utilisées par différents auteurs

Type de déplacement	Vitesse (km h ⁻¹) selon différents auteurs		
	<i>Bangsbo et al.[17]</i>	<i>Mohr et al.[18]</i>	<i>Van Gool et al.[19]</i>
Immobilité	0	0	0
Marche	6	6	7.34
Course lente	8	8-12	-----
Course moyenne	12	15	17.6
Course rapide	18	18	24.95
Course arrière	12	10	-----
Sprint	30	30	29.34

Tableau 2 : Exemple de notation avec clavier codifié. Ali et Farralay 1991 [15]

Action	Code	Activité	Temps à la fin de l'activité
0	1	Course lente	21 :57 :03
1	0	Marche	21 :57 :06
2	1	Course lente	21 :57:16
3	0	Marche	21 :57:31
4	3	Sprint	21 :57:36
5	0	Marche	21 :57:39
6	1	Course lente	21 :57:42
7	2	Course rapide	21 :57:49
8	1	Course lente	21 :58:00
9	4	Immobile	21 :58:10
10	1	Course lente	21 :58:14
11	0	Marche	21 :58:26
12	1	Course lente	21 :58:43
13	0	Marche	21 :58:50
14	1	Course lente	21 :59:03
15	2	Course rapide	21 :59:13
16	1	Course lente	21 :59:36
17	3	Sprint	21 :59:41
18	1	Course lente	21 :59:44
19	4	Immobile	21 :59 :50
20	1	Course lente	22 :00 :03
* La durée des activités a été mesurée en secondes			

En terminant rappelons que même si la notation manuelle à partir d'enregistrements vidéo permet de visionner plus d'une fois le déroulement du jeu et ainsi, d'apporter plus d'exactitude aux analyses effectuées tout en augmentant le nombre d'actions qu'on veut analyser, la cueillette des données par analyse vidéo prend beaucoup de temps que la simple notation manuelle en temps réel; on a qu'à penser que l'enregistrement lui-même dure aussi longtemps que la notation manuelle en temps réel sans compter le temps de l'installation et surtout les retours fréquents sur l'enregistrement.

2.4 VIDÉO INFORMATISÉE

Il existe des systèmes de vidéo informatisée qui permettent la notation de l'activité sans l'intervention d'un observateur. L'enregistrement vidéo est directement traité par un logiciel. L'objectivité de la personne chargée de l'analyse ne peut affecter la valeur des données obtenues sauf dans le cas des calculs par trigonométrie. Dans ce dernier cas, chaque joueur participant à l'étude est suivi par deux caméras montées sur des trépieds munis d'un potentiomètre [20-23] (Fig.1 & 2) et opérées manuellement. Un étalonnage sur des variations angulaires connues permet de convertir les données du potentiomètre (volts) en données angulaires (degrés) au moyen d'un convertisseur analogique-digital. Les données sont mises en mémoire au 0.1 s puis, par calcul trigonométrique, la distance parcourue entre deux points peut être calculée ainsi que la vitesse de déplacement avec le temps requis pour aller d'un point à l'autre grâce à l'horloge interne des caméras-vidéos.

Les déplacements sur le terrain peuvent aussi être enregistrés en continu. Mais le fait que la vitesse est obtenue à partir du mouvement de la caméra, la concentration et l'agilité de la personne qui filme, peuvent affecter la valeur des données enregistrées. Ces erreurs sont minimisées en compilant la moyenne mobile de 5 s. Si le joueur disparaît du champ de vision de la lentille, cela peut aussi être corrigé en traçant les graphes de déplacement et de vitesse en fonction du temps de minute en minute et en corrigeant au besoin.

Il existe des systèmes de notation par vidéo qui sont indépendants dans leurs prises de données. La personne chargée de l'analyse des données n'a aucun contact avec les caméras. Les données sont affichées sur l'écran d'un ordinateur pour analyse en temps quasi réel avant correctif, du moins. Pour avoir les résultats de chaque joueur, il faut autant de paires

de caméras avec potentiomètre et de caméramans que de joueurs ce qui représente un travail colossal surtout s'il faut faire un contrôle de qualité pour apporter d'éventuels correctifs.

Une autre technique consiste dans la projection des matchs enregistrés sur vidéo sur un plan bi-axial (x-y) [19]. Les vitesses de déplacements prédéterminées sont les mêmes que celles décrites dans le Tableau 1 et utilisées par Bangsbo et coll.[17]. La position du joueur est prise aux deux secondes est représentée par $(x_1$ et y_1 pour la position 1 et x_2 et y_2 pour la position 1 + 1s). La distance D, est calculée grâce à la formule $D = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$.

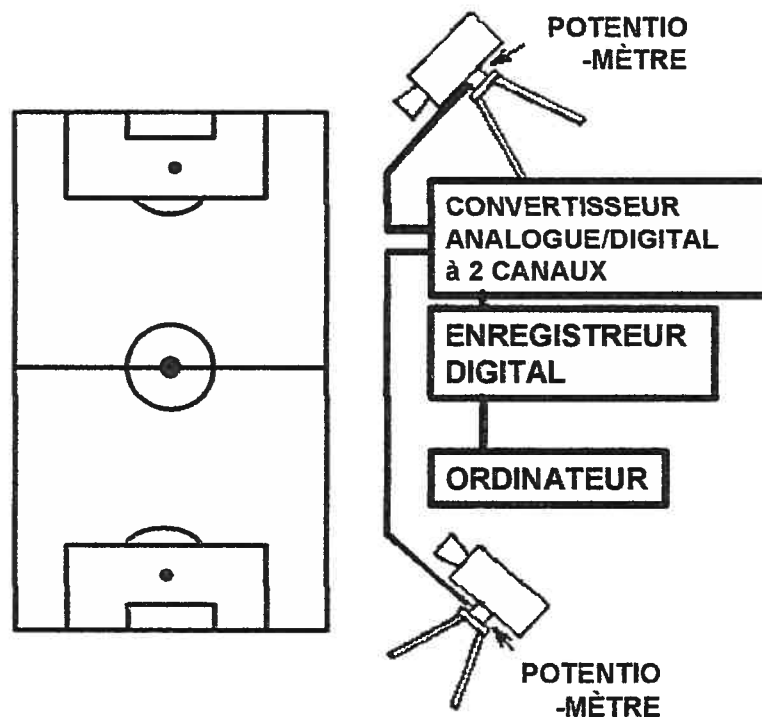


Figure 1 : Ohashi et coll : Caméras avec potentiomètre, calcul par trigonométrie (1987) (Adapté de [23])

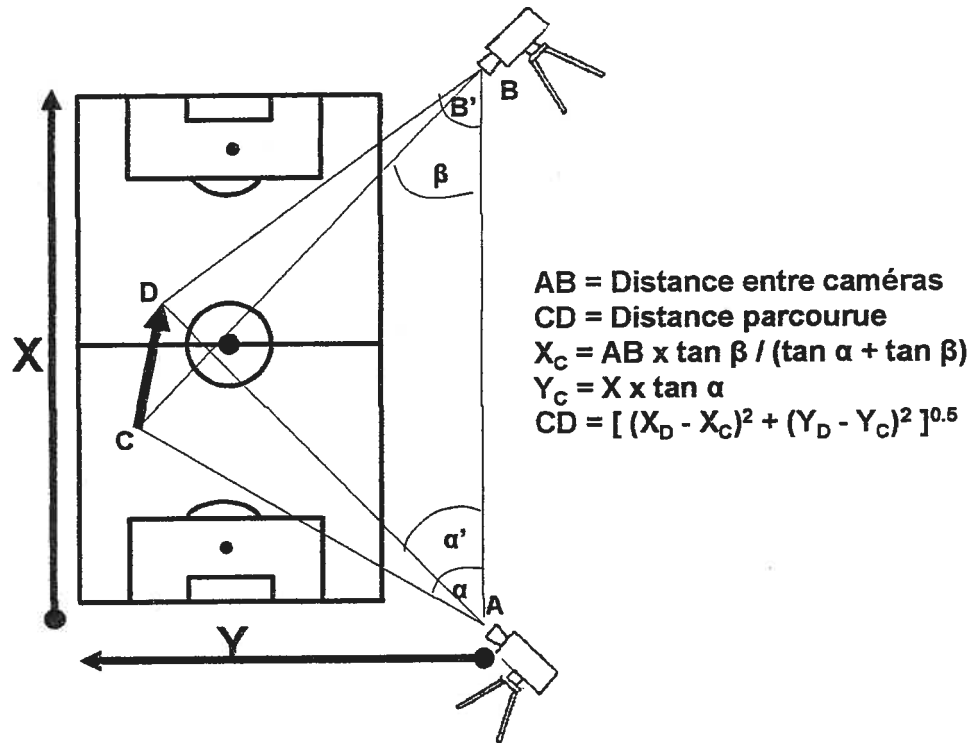


Figure 2 : Ohashi et coll. : Caméra et potentiomètre, calcul par trigonométrie (1999)
(Adapté de [22])

Nous ne pouvons éviter de parler plus en détail d'un système de vidéo informatisée avant-gardiste, commercialisé sous le nom AMISCO (Analyseur modalisateur, informatique des sports collectifs, www.sport-universal.com). Contrairement aux précédents systèmes, celui-ci ne suit pas un seul joueur à la fois, mais possède un ensemble de caméras (entre 6 et 8) capables de suivre l'activité des 22 joueurs. Ce système enregistre 25 images par seconde et donne une vitesse de déplacement toutes les 0.6 secondes. Les données enregistrées sont traitées par un logiciel qui permet d'en faire une analyse qualitative ou quantitative selon les besoins du chercheur. Amisco est un système très évolué qui donne une foule de statistiques individuelles et collectives en temps quasi réel et en continu sous forme de valeur instantanée ou de courbes en fonction du temps depuis le début du match. Amisco est un service géré par une firme privée qui fait l'analyse entière d'un match et qui livre un produit sur DVD. Le contenu de cette analyse est fort varié. Outre les distances, déplacements et vitesses, avec ou sans balle, on donne des statistiques individuelles et collectives sur les tirs au but et les passes réussites ou non avec leur trajectoire et distance,

les déplacements de groupuscules de joueurs sélectionnés afin de vérifier et corriger les schémas tactiques, les événements (nombre de hors-jeu, fautes, coups francs, corners, touches et tirs).

Les distances parcourues peuvent être réparties en marche (0-7 km h⁻¹), jogging (7 à 14 km h⁻¹), course (14 à 21 km h⁻¹) et sprint (>21 km h⁻¹). L'état physique en cours est différencié en rouge. Ces seuils définis par défaut sont modifiables dans le mode "options".

Pour souligner jusqu'à quel point le système est évolué, on peut détailler quelques éléments de l'analyse effectuée au niveau des transmissions de balle par exemple.

La **liste des transmissions** détaille chaque transmission de balle effectuée pendant la partie.

La table indique :

- Le joueur qui l'a réalisée.
- La période et le temps exact de la transmission.
- Si celle-ci a été faite en remise en jeu, et si oui sur quelle remise.
- Son résultat (l'événement suivant).
- Sa longueur.
- Son effet et sa zone d'arrivée (pour les centres uniquement, cf. Concepts).
- Le nombre de joueurs dépassé vers l'avant ou vers les côtés.

Le **tableau joueur** offre un résumé des transmissions des joueurs sélectionnés, à partir des champs suivants :

- Nombre de transmissions sur la période de temps sélectionnée.
- Nombre de transmissions réussies sur la période de temps sélectionnée.
- Pourcentage de réussite sur la période de temps sélectionnée.
- Pourcentage de transmissions sur la période sélectionnée, par rapport au total du match.
- Longueur moyenne.
- Vitesse du ballon.
- Ballons perdus.
- Moyenne de joueurs dépassés.

Enfin, les paramètres analysés sont répertoriés en trois grandes catégories, c.-à-d. les transitions, les positions de jeu, l'analyse de jeu et l'implication physique (Tableau 3).

Ce qui est moins évident avec Amisco, c'est la technologie utilisée pour parvenir à une telle analyse des faits ainsi que la marge d'erreur des faits rapportés. Retenons que les distances

totales parcourues sur un match sont en moyenne nettement plus importantes que celles rapportées dans les études antérieures ayant utilisées d'autres approches toutes catégories de joueurs confondus (~14 vs ~10 km, Dassié [24]).

En résumé, la vidéo informatisée est un moyen qui facilite l'enregistrement d'un très grand nombre de données. Néanmoins, elle demande du personnel qualifié. Les résultats obtenus ne sont pas automatiquement justes et valides et la taille du matériel limite la mobilité et rend le transport difficile. A cela viennent s'ajouter des coûts élevés du matériel (~ 30000 \$) ou des services d'analyse qui doivent souvent être fait par la firme qui distribue ce genre de système de notation.

Tableau 3 : Liste des paramètres analysés par catégories et sous catégories (tiré de www.sport-universal.com).

Catégorie	Sous Catégorie	Paramètres
Transition	Gagné/Perdu	Carte perte-gain Tableau joueur Graphes de temps Graphes joueur Carte cumulée
	Duels	Carte Duel Tableau joueur Graphes de temps Graphes joueur Carte cumulée
Analyse position	Position moy.	-
Analyse de jeu	Transmission	Carte des transmissions Liste des transmissions Tableau joueur Sociogramme Graphes de temps Graphes joueur Carte cumulée
	Tirs	Carte des tirs Position des tirs Liste des tirs Tableau joueur
	Vitesse de jeu	Tableau joueur Graphes de temps Graphes joueur Carte cumulée
Physique	Vitesse	Carte des trajectoires Liste des états Tableau joueur Graphes de temps Graphes joueur
	Accélération	Carte des accélérations Liste des états Tableau joueur Graphes de temps Graphes joueur
Résumé	Tactique	-
	Equipe	-
	Gardien	-
	Physique	-

2.5 SYSTÈME DE NAVIGATION PAR SATELLITES

Le système de navigation par satellites (GPS) est une technique qui permet de déterminer avec précision, la position d'un sujet sur terre ainsi que, sa vitesse de déplacement instantanée, sa direction, la distance parcourue et la durée du déplacement [25]. La précision est directement affectée par plusieurs facteurs comme la qualité de l'unité, l'heure de la journée durant laquelle les mesures sont prises, présence de bâtiments et l'emplacement de l'unité sur le corps du sujet et la qualité des signaux qui sont mieux reçus quand les satellites sont à l'horizon qu'au zénith.

Le GPS a été initialement conçu en 1970 pour servir l'armée et le système de défense américain. Jusqu'en mai 2000, le département de défense américain a volontairement brouillé les signaux satellites limitant ainsi la précision des mesures à ± 30 m ("Selective Availability" ou SA). La disparition du SA a permis de réduire l'erreur à moins de 15 m. Par la suite, grâce à l'introduction du "Differential Global Positioning System" (DGPS) qui s'appuie sur l'utilisation de stations fixes (voir plus loin), l'erreur a été réduite à ± 5 m. Enfin, l'introduction du Wide Area Augmentation System (WAAS), qui grâce à 25 stations références fixes à travers les États-Unis d'Amérique et deux stations dites principales, l'une sur la cote Est et l'autre sur la cote Ouest, permet d'améliorer la précision à moins de 3 m et ce à 95 % du temps (Fig.3).

Toutes ces nouvelles options sont gratuites pour les usagers et accessibles aux unités GPS vendues au public. Notons cependant que le WAAS n'est accessible que pour les applications en Amérique du Nord.

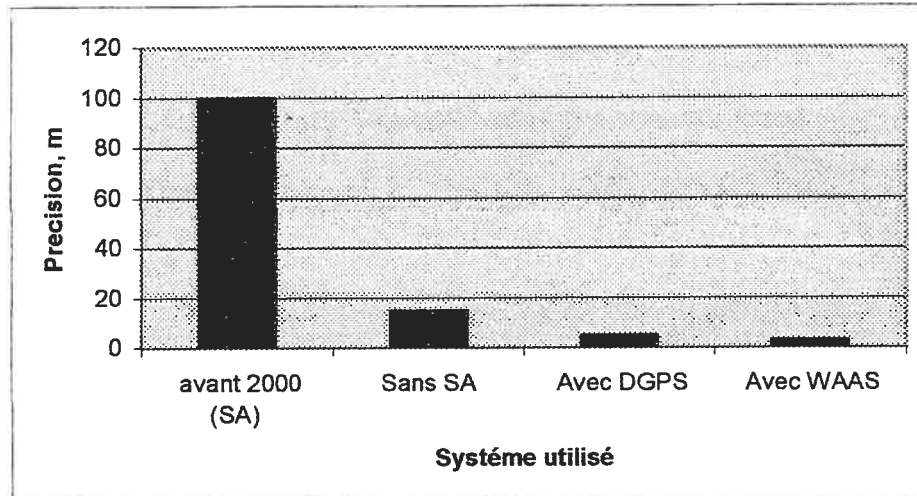


Figure 3 : Évolution de la précision des unités de navigation par GPS depuis 2000.

Le GPS est intéressant puisqu'il donne de façon instantanée accès aux vitesses de déplacements et à la distance parcourue. Essayons maintenant de simplifier le processus par lequel le GPS obtient ces informations.

Le GPS détermine la position en calculant le temps que mettent les signaux radio transmis par chaque satellite pour atteindre le récepteur sur terre. Les signaux sont envoyés de façon synchronisée par 27 satellites en orbite. Chaque satellite offre une multitude de positions possibles. Ces positions font un tracé sphérique autour du satellite. Pour cette raison, il est nécessaire d'utiliser plusieurs satellites à la fois dont l'intersection des sphères représente la position sur terre (fig. 4).

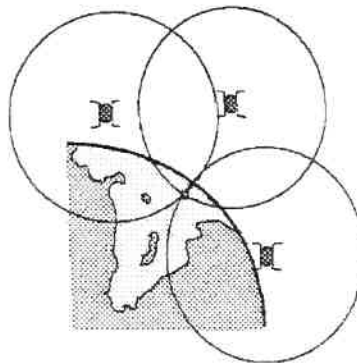


Figure 4 : Principe de la détermination de la position sur terre grâce au GPS. [26]
(Empruntée)

Une très bonne réception de 11 satellites est requise pour que le système de navigation

fonctionne sans trop d'erreurs vu que les satellites gravitent autour de la terre et se relaient pour envoyer les signaux vers le récepteur.

Trois satellites au moins sont nécessaires pour obtenir la vitesse, la distance parcourue et la localisation, alors qu'un quatrième satellite permet d'obtenir l'altitude. Les trois ou quatre satellites offrant la meilleure réception sont retenus puis, la distance séparant le satellite et le récepteur GPS, est estimée à partir du temps mesuré que met le signal pour parvenir au récepteur et de la vitesse connue de propagation de l'onde radio. Par trigonométrie, la position terrestre du récepteur GPS est ensuite calculée à partir des 3 distances récepteur/satellite préalablement calculées. La position obtenue à partir des calculs, est corrigée grâce à la présence de stations références immobiles (DGPS), qui sont en fait des récepteurs GPS de très haute performance, dont l'emplacement est connu. Les changements de position successifs permettent alors de déterminer la distance parcourue, la trajectoire suivie et la vitesse de déplacement, et ce, de façon absolue ou dans chacun des trois axes (longitude, latitude et altitude).

Pour l'utilisation de cette technique de système de navigation par satellites, les unités les plus adaptées au football par leur taille et poids (pas plus grand qu'un téléphone cellulaire) ont une fréquence d'échantillonnage de 1 Hz (une mesure par seconde) et ont une mémoire avec assez d'espace pour contenir plus que les 5400 secondes nécessaires pour un match de football au complet. Selon notre propre expérience, les sujets équipés d'une unité GPS (MAP76 s, Garmin USA) peuvent jouer leur match sans gêne. L'unité est légère (200 g) et est placée dans un mini sac à dos avec bande élastique et velcro pour limiter le ballonnement lors du déplacement du joueur. Auparavant, nous avons vérifié avec succès, la capacité du GPS à déterminer, la vitesse de déplacement, les changements de direction et la distance totale parcourue par l'intermédiaire de parcours balisés et de tests à vitesses prédéterminées (course progressive sur tracé navette de 20 m, test progressif Léger-Boucher de course sur piste de 400m et parcours zigzag sur 20 m) [27-29], nos résultats rapportent une sous-estimation moyenne de la vitesse de $0,5 \text{ km.h}^{-1}$. Avec une fréquence d'échantillonnage similaire de 1Hz, Lep et coll. [30] ont validé la capacité à acquérir les vitesses de déplacements et ont obtenu une corrélation ($r=0,97$) entre la vitesse donnée par le GPS et la vitesse dérivée à partir du temps ainsi qu'une précision de 1,57 m.

En ce qui concerne la précision dans la détermination du positionnement, Larsson et coll. [31] ont trouvé que leur unité donnait une erreur de positionnement de 2 m et une erreur

moyenne de 0,80 m sur la distance totale parcourue. A titre comparatif, l'unité utilisée dans cette étude pesait 1100g ce qui représente presque 6 fois le poids de l'unité que nous avons utilisée pour notre étude de validation [27] et n'échantillonnait qu'une fois toutes les 5 secondes (0,2 Hz). Avec une fréquence presque similaire (0,16 Hz), Schutz et Herren [25] ont obtenu une variabilité de $\pm 0.2 \text{ km.h}^{-1}$, ce qui dans ce cas, est très négligeable quand on calcule les coûts énergétiques de façon indirecte à partir des vitesses surtout que les vitesses lors de cette étude, ont atteint 25 km.h^{-1} .

En utilisant une unité GPS qui donne les vitesses moyennes sur une minute, Schutz et Chambraz [32] ont obtenu une corrélation ($r = 0,99$) entre les vitesses GPS et les vitesses calculées manuellement, avec une erreur systématique égale à $1,1 \text{ km.h}^{-1}$ pour la marche, $0,7 \text{ km.h}^{-1}$ pour la course à pied sur des vitesses entre 2 et 20 km.h^{-1} et $0,8 \text{ km.h}^{-1}$ pour le vélo sur des vitesses inférieures à 40 km.h^{-1} .

Les fortes corrélations et les erreurs systématiques négligeables obtenues, nous permettent de conclure que la technique du GPS est prometteuse pour mesurer des vitesses modérées. Le GPS s'avère donc être un outil utile dans la mesure des distances, des vitesses et dans la détection des changements de direction. À partir de ces résultats et aussi sachant que les joueurs de football dépassent très rarement les 25 km.h^{-1} (entre .7 et 3 % du temps) [17, 19], le GPS paraît idéal pour obtenir les vitesses de déplacements et distances parcourues dans le football.

Pour ce qui est des données mises en mémoire par le GPS, elles sont obtenues contrairement à l'analyse par vidéo, immédiatement après la fin de l'activité, le tout se fait en téléchargeant le contenu de la mémoire du GPS (± 10 secondes) vers un ordinateur. Les données peuvent aussi être obtenues en temps réel par télémétrie, malheureusement cela est beaucoup plus complexe et coûteux.

Un exemple de fichier de données obtenues par GPS est présenté dans le Tableau 4. Nous pouvons remarquer que la distance est cumulative, et que chaque seconde d'enregistrement correspond à une vitesse, altitude, latitude et longitude. Ces deux dernières valeurs, sont importantes pour avoir le tracé des déplacements du joueur (voir Fig. 11, section suivante).

Les nouvelles unités GPS sont faciles à manipuler par leur poids léger et leur programmation facile, mais ne peuvent suivre qu'un seul sujet à la fois à moins d'avoir plusieurs unités. Le GPS permet d'obtenir le nombre d'arrêts complets d'un joueur sans en

expliquer la cause contrairement à la vidéo, à l'audio et à la notation manuelle. De même, on ne sait pas si le joueur se déplace en pas chassés, en course arrière ou avant... Mais comme les données sont prêtes à être analysées sans trop de manipulations, cela en fait un outil intéressant dans l'analyse du football lors de la simulation de matchs ou matchs d'entraînement du moins puisque la réglementation ne permet pas le port de tels appareils en compétition. Ajoutons que la mise en vente ou la mise en disponibilité d'unités petites et légères ayant des fréquences d'échantillonnage supérieures à 5 Hz ou mieux de 30 Hz ou plus, permettrait de mieux capter les accélérations, changements de direction et sauts rapides qui ne peuvent être saisis à 1 Hz. À date, les unités possédant les fréquences désirées sont inutilisables en football en raison de leur poids et taille.

2.6 ACCÉLÉROMÈTRE

L'accéléromètre est une technique très utilisée en biomécanique. L'accéléromètre comme son nom l'indique détecte les accélérations du corps suivant différents axes. Certains accéléromètres sont triaxiaux et détectent donc le mouvement dans un espace tridimensionnel, avec trois axes orthogonaux indépendants (horizontal, vertical et latéral). La somme des trois vecteurs qui est le vecteur magnitude (VM), est obtenu en utilisant la formule " $VM = \sqrt{(x^2 + y^2 + z^2)}$ " Les données de ces unités sont en unités de déplacement et en unités de dépense énergétique. La dépense énergétique est la somme du coût énergétique au repos plus le coût énergétique nécessaire pour faire un déplacement sur l'axe X, Y ou Z (pour les accéléromètres triaxiaux). En général, l'accéléromètre est porté à la hanche pour quantifier l'activité physique modérée et détecter les changements de vitesses importants. A la course, il devrait être stimulé à la fois par les variations de vitesses intra et inter foulées alors que sur un vélo, il n'est sensible qu'aux variations de vitesses du vélo à moins d'être porté aux jambes plutôt qu'à la hanche. Les fréquences d'échantillonnage vont d'une mesure par seconde (1 Hz) [34, 35, 33] à une centaine de mesures par seconde (100 Hz) [36]. La fréquence utile varie selon les besoins de l'étude. Pour suivre et mesurer l'activité physique des sujets pendant une semaine ou même une journée, la mémoire des appareils limite souvent la fréquence d'échantillonnage. On se limite alors à des fréquences de 1 Hz en présumant que sur de telles périodes, on pourra discriminer les plus actifs des moins actifs et aussi quantifier la dépense d'énergie encourue même si des actions brèves et

soudaines (sauts, sprints..) ne peuvent de toute évidence être détectées à cette fréquence. D'ailleurs, plusieurs études ont comparé et validé ce type d'accéléromètres par rapport à des questionnaires [37, 38], la mesure de la dépense d'énergie par l'eau doublement marquée [39] ou même la mesure de $\dot{V}O_2$ [35, 33, 40-42]. Pour des activités plus courtes (1 à 2 h), une fréquence plus élevée est appropriée pour obtenir une représentation plus juste de la réalité.

Dans le cas du football, l'accéléromètre peut être utile vu qu'il permet de détecter les activités en 3D. A priori et à fréquence élevée (>30 Hz), l'accéléromètre placé à la hanche devrait permettre de quantifier les accélérations soudaines et courtes et même les sauts verticaux sans toutefois pouvoir les identifier de façon précise à moins de coupler cette mesure à une analyse vidéo. Porté au pied, l'accéléromètre devrait aussi être sensible aux frappes de balles. Malheureusement, les accéléromètres ne sont pas encore au point pour être utilisés dans le football. Les unités à haute fréquence n'ont été testées qu'en ligne droite et sur des distances courtes sans changement de direction [34, 35]. Or, nous connaissons la nature intermittente et non stable des vitesses de déplacement en football, leur utilité apparaît donc bien restreinte pour l'analyse de ce sport. De plus, le fonctionnement de ces unités peut être dérégulé par des courses durant lesquelles le corps du sujet est incliné [36]. Néanmoins, des applications prometteuses avec accéléromètre à haute fréquence, sensible aux variations de vitesses dans le déplacement horizontal du CG à la course ou à la marche aux différentes phases de la foulée par exemple, semblent voir le jour (www.locometrix.com, www.dynastream.com).

Tableau 4 : Exemple de données mises en mémoire par le GPS pendant 22 s durant un match

Latitude	Longitude	Altitude	Date	Heure	Temps, s	Distance, m	Vitesse, m.s ⁻¹
N45-25.5319'	W073-28.0729'	15,5	2003-08-22	23:24:27	800	1460	1,1
N45-25.5313'	W073-28.0733'	15,5	2003-08-22	23:24:28	801	1461	1,2
N45-25.5307'	W073-28.0736'	15,5	2003-08-22	23:24:29	802	1463	1,2
N45-25.5300'	W073-28.0737'	16	2003-08-22	23:24:30	803	1464	1,4
N45-25.5291'	W073-28.0738'	16	2003-08-22	23:24:31	804	1466	1,6
N45-25.5282'	W073-28.0738'	16	2003-08-22	23:24:32	805	1467	1,7
N45-25.5272'	W073-28.0738'	16	2003-08-22	23:24:33	806	1469	1,9
N45-25.5259'	W073-28.0737'	16	2003-08-22	23:24:34	807	1472	2,5
N45-25.5244'	W073-28.0736'	16	2003-08-22	23:24:35	808	1474	2,8
N45-25.5227'	W073-28.0735'	16	2003-08-22	23:24:36	809	1477	3
N45-25.5209'	W073-28.0735'	16	2003-08-22	23:24:37	810	1481	3,4
N45-25.5190'	W073-28.0737'	16,5	2003-08-22	23:24:38	811	1484	3,6
N45-25.5171'	W073-28.0741'	16	2003-08-22	23:24:39	812	1488	3,5
N45-25.5153'	W073-28.0749'	16	2003-08-22	23:24:40	813	1491	3,4
N45-25.5138'	W073-28.0758'	16	2003-08-22	23:24:41	814	1494	3,1
N45-25.5123'	W073-28.0767'	16,5	2003-08-22	23:24:42	815	1497	2,9
N45-25.5109'	W073-28.0777'	16,5	2003-08-22	23:24:43	816	1500	2,9
N45-25.5095'	W073-28.0789'	16	2003-08-22	23:24:44	817	1503	3
N45-25.5081'	W073-28.0799'	16	2003-08-22	23:24:45	818	1506	2,9
N45-25.5069'	W073-28.0808'	16,5	2003-08-22	23:24:46	819	1509	2,6
N45-25.5060'	W073-28.0816'	16,5	2003-08-22	23:24:47	820	1511	1,8
N45-25.5055'	W073-28.0823'	16,5	2003-08-22	23:24:48	821	1512	1,5
N45-25.5050'	W073-28.0832'	16,5	2003-08-22	23:24:49	822	1514	1,4

3.0 DISTANCE ET VITESSE DES DÉPLACEMENTS AU FOOTBALL AU MOYEN DES DIFFÉRENTES TECHNIQUES DE NOTATION.

Après avoir décrit les principes, utilité et limites des différentes techniques susceptibles d'être utilisées pour analyser la tâche du footballeur, nous allons maintenant synthétiser et analyser les résultats obtenus au football avec ces différentes techniques, sauf pour les accéléromètres pour lesquels nous n'avons pu répertorier d'étude. Précisons que cette analyse se limite essentiellement aux déplacements du joueur bien que certaines techniques d'analyse permettent de dégager une analyse plus poussée du football (nombre de tacles, de frappes de balle avec pied ou avec tête, de déplacements de tout genre...).

Comme beaucoup de travaux ont été répertoriés, nous présentons d'abord les résultats obtenus par ordre chronologique pour la section notation manuelle et par comparaison des résultats obtenus par manipulations identiques dans les sections qui suivent, pour ensuite les discuter en fin de section.

3.1 NOTATION MANUELLE

Les premiers travaux utilisant la notation manuelle ont été ceux de Walter Winterbottom, ancien responsable de la fédération anglaise de football (FA) en 1952. Bangsbo [12] cite ce travail dont le but était d'obtenir la distance totale parcourue en reproduisant les déplacements des joueurs effectués en course rapide et en course lente, sur un terrain dessiné sur papier sans en préciser l'échelle. La distance totale rapportée était de 3361m, répartie en 2347 m de course lente et 1015 m de course rapide. Reprise par Knowles et Brooke en 1974 dont les résultats sont cités par Reilly et Thomas, Withers et coll. et Bangsbo [12, 8, 43]. Cette technique divisa l'activité en 3 catégories cette fois. Ils ont trouvé que les joueurs parcourent une distance totale moyenne de 4833 m dont 1703 m en marche, 2610 m en course lente et seulement 520 m en course rapide. Un an après l'étude de Knowles et Brook, Whitehead [44] en observant et en notant l'activité des joueurs sur un papier pendant 10 minutes de chaque mi-temps, a estimé que la distance totale parcourue

moyenne se situe autour de 11700 m. Ces résultats sont très largement supérieurs (+3600 m) à ceux trouvés durant la même période par Reilly et Thomas [8] par système audio.

En 1986, Ekblom [45] a noté toutes les deux minutes le mouvement des joueurs et leurs différentes vitesses de déplacement en les suivant sur un terrain sur feuille de papier à une échelle réduite (1 : 400). Durant la période de validation de sa technique, Ekblom a trouvé une erreur de 2% sur la distance totale obtenue en comparant les résultats obtenus par les notations de deux observateurs analysant le même joueur. Par position, la distance totale moyenne parcourue rapportée par cette étude se situe entre 9100 m et 9600 m pour les latéraux et entre 10200 m et 11100 m pour les milieux alors qu'elle se situe entre 9800 m et 10600 m pour les attaquants.

Cette même technique d'analyse utilisant un terrain dessiné sur papier a été reprise par Asami et coll. [46] en 1987 mais pour suivre le déplacement des arbitres. Les feuilles devaient être changées toutes les 5 minutes et l'échelle était plus grande que celle utilisée par Ekblom [45] (Échelle 1 : 350 vs 1 : 400). Nous remarquerons que le tracé obtenu (Fig. 5) ressemble beaucoup au type de tracé obtenu par un joueur (Fig.11) par navigation satellite dont nous parlons dans la section résultats GPS. Nous pouvons très clairement remarquer une cinétique exclusivement en diagonale d'un coin à l'autre du terrain, ce qui concorde avec la réalité puisqu'un arbitre se doit de couvrir les côtés ou il n'y a pas de juges de touche, ceux-ci au nombre de deux étant placés à chaque extrémité de côté opposé. En terme de distance parcourue, les arbitres font en moyenne un total de 10081 m. Notons juste pour l'instant que cette valeur est nettement plus élevée que celle rapportée pour les joueurs auparavant. Elle est répartie en 3385 m de marche, 4851 m de course lente et 1772 m de course rapide. La course lente est l'activité dominante suivie par la marche et la course rapide.

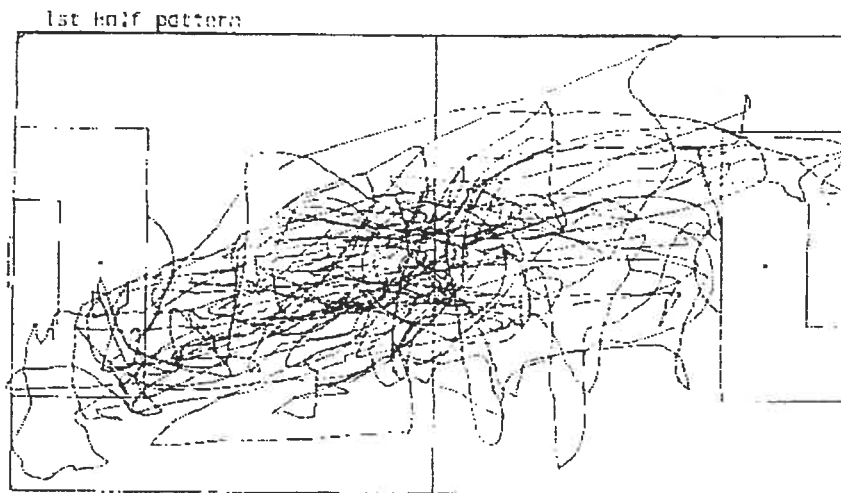


Figure 5: Déplacements de l'arbitre durant la première mi-temps. (Asami et coll. 1987) (Empruntée [46])

En se penchant sur la contribution relative de ces différentes intensités et types de course dans le cumul de la distance, nous trouvons certaines similarités et différences qui varient d'une étude à l'autre. D'un côté, il y a Whitehead [44] qui trouve des valeurs de 3600 m supérieures à celles de Reilly et Thomas [8] (dont la technique a été validée par comparaison à la vidéo). Cette différence est peut-être due à des erreurs de notation, vu que, comme cité antérieurement, le même championnat et le même type de joueurs furent étudiés, ce qui rend encore plus difficile l'explication d'un tel écart. À l'autre extrême, les valeurs de 3361 m et 4833m obtenus dans les premières études de Winterbottom en 1952 et Knowles et Brooke en 1974, respectivement, sont nettement inférieures et ne font plus guère référence bien qu'on ne sache pas pourquoi?

La notation manuelle est définie comme étant peu coûteuse. Le cas n'est pas toujours vrai puisque certaines études engendrent des frais supplémentaires pour embaucher un nombre important d'observateurs et d'analystes [14]. Le système doit rester simple en se limitant par exemple à l'enregistrement du déplacement des joueurs. Car un nombre élevé de tâches nécessite une procédure compliquée et difficile à gérer.

Cette technique demande une concentration constante et le fait que l'observateur manque quelques actions de jeux quand il quitte le joueur des yeux pour noter l'activité sur papier,

présente aussi un inconvénient. Pour cette raison, l'analyse de matches enregistrés par vidéo permet à l'observateur d'arrêter et de reprendre les différentes actions et paraît donc plus objective et rigoureuse.

En conclusion, la notation manuelle dans le football permet de mesurer la distance parcourue, de repérer les différents types de déplacements et d'avoir une idée sur les vitesses moyennes de déplacements. Nous ne pensons pas que la notation manuelle soit un outil idéal pour déterminer les charges de travail externes avec précision. Le fait d'avoir des vitesses moyennes et non des vitesses instantanées peut fausser l'analyse. En effet, le fait de n'utiliser que des vitesses moyennes ne nous dit pas si une accélération est soudaine et très importante ou bien si elle est progressive, de même pour une décélération, car les coûts énergétiques et les systèmes sollicités ne sont pas les mêmes. Tous ces facteurs sont très importants pour connaître les filières énergétiques, le type de fibres musculaires appelées à intervenir et le type d'entraînement spécifique pour préparer le joueur à faire face à de telles demandes.

Malgré des différences parfois appréciables dans la distance totale parcourue, les différentes études sont toutes d'accord sur l'ordre d'importance des différentes intensités de déplacements. La course lente est l'activité dominante, suivie par la marche et la course rapide (incluant les sprints).

Mais il n'y a pas que les déplacements et leur intensité à considérer. La notation manuelle peut aussi repérer et dénombrer les différents types d'actions encourues, données fort utiles à la détermination de charges de travail. Si la cueillette de cette information s'ajoute à celle des déplacements, la tâche des notateurs devient bien complexe et sujette à l'erreur à moins d'augmenter le nombre de ceux-ci, et par conséquent, le coût et la durée de ces analyses.

3.2 ENREGISTREMENT VIDÉO ET NOTATION MANUELLE

Les distances moyennes totales trouvées dans les études utilisant l'enregistrement vidéo combiné à la notation manuelle, varient considérablement entre 7280 et 11527 m [17, 13, 8, 18, 43, 47, 48]. Pourtant, le matériel utilisé dans toutes ces études est le même sauf que la technique utilisée pour reconnaître les différentes vitesses de déplacement et calculer la distance totale parcourue est différente. Certaines utilisent la longueur et fréquence des foulées [13, 43, 47, 48] et trouvent les plus petites distances comparativement à celles qui

ont fait appel aux vitesses de déplacement [16-18, 47].

Pour les études basées sur la longueur des foulées (Tableau 5), la distance parcourue rapportée par Farhi [13] et Zazoui [48] dans leur étude respective est proche et se situe autour de 7800 m. Le fait d'avoir analysé des joueurs de la même région (Afrique du Nord) facilite la comparaison des résultats et en explique certaines similitudes. L'activité comme pour le reste des études citées dans cette section, est divisée en marche, course lente, course rapide et sprint. En pourcentage de distance parcourue en sprint (Fig. 7), les joueurs marocains de Zazoui [48] sont en tête (14,3%) , suivis par leurs homologues algériens (10,1%) et français (8,7%) analysés lors de la même étude [13]. Ces mêmes joueurs Français couvrent une plus grande distance en course lente (39,6%) que les Algériens 33,0% et les Marocains 25,7%. Les trois groupes couvrent, à $\pm 2\%$, la même distance en course rapide. Est-ce que ces résultats nous permettent de dresser définitivement un profil du joueur marocain comparativement au joueur algérien et français? Malheureusement, nous ne pouvons ni l'affirmer ni le nier à travers ces deux études, car elles sont différentes; celle de Farhi [13] a analysé une quinzaine de matchs officiels alors que celle de Zazoui [48] n'a analysé qu'un seul match d'entraînement. Zazoui [48] s'est basé sur la rétroaction des joueurs pour déterminer l'intensité de jeux lors du match qu'il a analysé, et conclure qu'elle était similaire à celle des matchs officiels. Dans ce cas, l'information émise est très subjective et peut être affectée par l'état physique et mental du joueur, ainsi que par l'absence de la pression psychosociale d'un vrai match bien qu'on ne connaisse pas encore l'importance de ces contraintes.

Concernant la distance totale parcourue, la plus grande distance répertoriée est celle rapportée par Withers et coll.[43], soit 11527 m, obtenue à partir du calcul de la longueur des foulées. Cette distance moyenne est celle de joueurs professionnels australiens. Pourtant, Withers et Coll. ont utilisé les mêmes longueurs de foulées que celles utilisées par Farhi [13], sauf en course lente (1,36 m vs 0,95 m) et course arrière lente (1,25 m vs 0,70 m) (Voir Tableau 5). La contribution de chaque activité en terme de pourcentage de la distance totale moyenne parcourue est identique alors que le joueur australien parcourt en moyenne 3727 m de plus. Cette différence ne peut être expliquée par le seul facteur qui est la différence des longueurs des foulées. Nous pensons qu'au-delà de cette différence et de celle citée par Farhi [13] qui l'attribue au fait que le jeu australien est beaucoup plus physique, des erreurs de notation ou d'interprétation ont été commises. Une différence de 3727 m est trop grande pour être expliquée par seul le facteur style de jeux ou mentalité et

motivation du joueur. Rappelons qu'avec la notation manuelle seule, des différences aussi importantes avaient aussi été remarquées ce qui remet en cause l'utilisation de cette approche sans l'introduction de nouvelles instructions mieux standardisées.

Pour les pourcentages des différentes activités, nous trouvons et comme le montre la figure 6, que le joueur Sud-américain à 3% près, couvre la même distance en course lente (42% vs 39,6%) et course rapide (11% vs 14,4%) que le joueur Français, et plus de deux fois moins la distance en sprint (4% vs 8,7% et 10,10%) du joueur Français et Algérien. Le pourcentage en marche est sensiblement le même (32% vs 31% vs 34,5%). La distance totale moyenne parcourue est du même ordre de grandeur et varie entre 7280 m et 8638m

Tableau 5 : Longueur de foulée durant différents types de déplacements et distance totale parcourue.

Auteurs	Pays	Niveau	Longueur de la foulée en mètre selon le type de déplacement						Distance totale (m)
			Marche	Course lente	Course rapide	Sprint	Course arrière lente	Course latérale	
Relly et coll 1976 [8]	Angleterre	Professionnel	0,64	0,9	1,13	1,24	0,60	X	8680
Farhi 1999 [13]	France & Algérie	Professionnel	0,80	0,93	1,63	1,76	0,70	0,73	7725±588* 8448±707*
Withers et coll 1982 [43]	Australie	Professionnel	0,82	1,36	1,75	1,76	1,25	0,78	11527
Zazoui 2004 [48]	Maroc	Professionnel	0,79	0,98	1,57	1,75	1,24	1,58	7280±910*
Moyenne			0,76	1,04	1,52	1,63	0,95	1,03	8732

*Représente la variation dans la distance totale moyenne parcourue

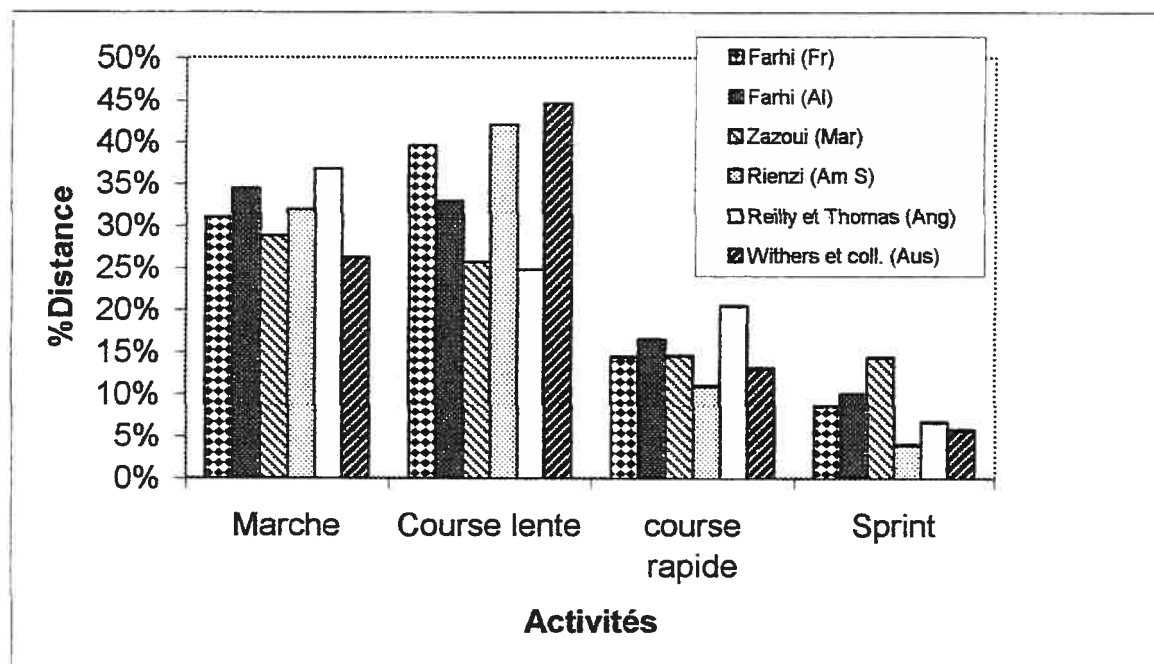


Figure 6 : Proportions de la distance totale parcourue que représentent les différentes intensités de course (résultats obtenus à partir de la mesure des longueurs et/ou la fréquence des foulées) ¹

Entre parenthèses les pays des joueurs étudiés

Fr = France, Al = Algérie, Am S = Amérique du Sud, Ang = Angleterre, Mar = Maroc

¹Rienzi et coll. ont utilisé la vitesse de déplacement et non la longueur de foulée

En s'appuyant sur la vitesse moyenne des différents types de déplacement [16-18] plutôt que sur la distance moyenne des foulées, les distances moyennes parcourues par match sont généralement plus importantes (10800 m vs 8000 m) [17, 18] et montrent que les joueurs sont en moyenne immobiles entre 17,10% et 19,50% du temps, marchent entre 40% et 43,60 %, font de la course lente entre 28,50% et 32,50 %, de la course rapide entre 5,70% et 7,90% et sprint entre 0,90% et 1% (Fig. 6).

Utilisant le même type de technique, mais en ne s'intéressant qu'au pourcentage de temps passé à différentes intensités de course et non à la distance parcourue, et comme nous pouvons le voir sur la figure 7, Ali et Farralay [16] ont trouvé avec des joueurs de statut amateur, des résultats très différents de ceux de Bangsbo et coll.[17] et Mohr et coll.[18] quand il s'agit de la marche, cette différence peut être due au fait que ces derniers ont analysé des professionnels de haut niveau qui récupèrent des activités de haute intensité en course lente et non en marche. Autre fait qui a attiré notre attention, c'est la différence de 3440 m entre les deux distances moyennes extrêmes parcourues 12930 m et 9490 m qu'ont

rapporté Bangsbo et coll [17] pour une distance moyenne totale de 10800 m.. Cette variabilité n'a pas été expliquée par les auteurs, mais nous pouvons présumer que les distances parcourues ont été affectées par un changement du schéma tactique, d'un changement de position du joueur, ou bien par la valeur de l'adversaire.

La seule étude ayant analysée des joueurs de camp adverse lors du même match est celle de Rienzi et coll.[47] qui en utilisant le même protocole que celui utilisé dans les études citées auparavant [16-18, 8, 2, 19, 43] ont trouvé un degré de variabilité égale à 1158 m pour les joueurs Sud-américains et 703 m pour les joueurs Anglais pour des distances totales moyennes égales à 8638 m et 10014 m . Ce degré de variabilité apparaît plus acceptable que ce qui fut rapporté par Bangsbo et coll [17] (1158 m vs 2300 m).

Globalement, l'activité qui domine durant le match, est la marche, suivie par la course lente, la course rapide et le sprint. Toutes les études rapportent des pourcentages qui respectent cet ordre, et en terme de pourcentage de la distance et en terme de pourcentage de durée totale. L'explication de la trop grande variabilité de la distance totale moyenne parcourue reste problématique vu que les études sont effectuées dans différents pays, avec différents observateurs, ce qui multiplie les sources potentielles d'erreurs pour expliquer certains écarts. Aussi, malgré le fait que l'ordre de grandeur des différentes activités en pourcentage de la distance moyenne totale parcourue est semblable, il reste que les valeurs des pourcentages sont différentes. Ceci démontre que connaître les durées exactes des différentes activités et leur ordre d'importance durant un match sont très importants pour en connaître les exigences physiologiques.

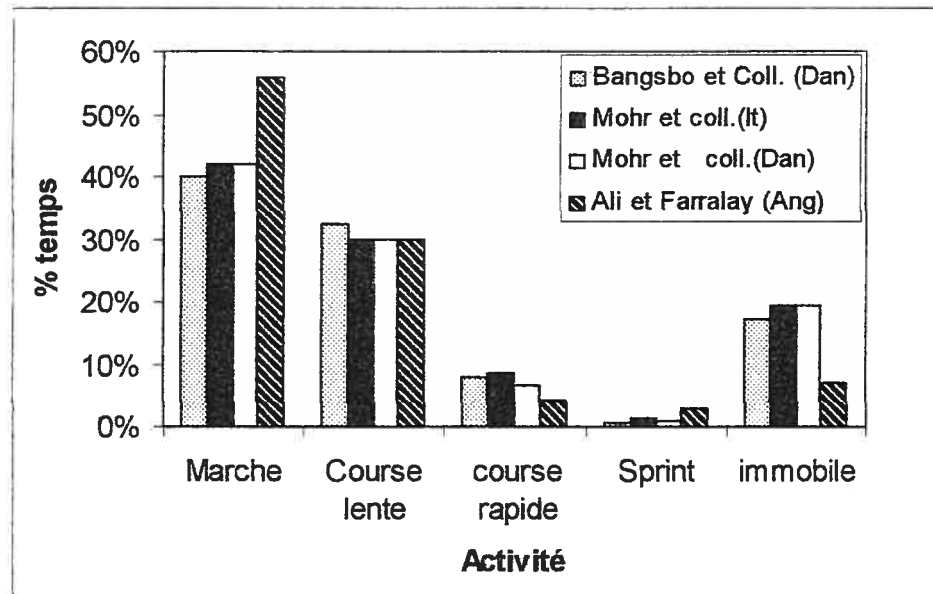


Figure7 : Proportions du temps total que représentent les différentes intensités de déplacement (résultats obtenus à partir de l'utilisation de la vitesse de déplacement)
 Entre parenthèses les pays des joueurs étudiés
 (It)= Italie , (Dan)= Danemark, Ang = Angleterre

3.3 NOTATION AUDIO

Les seules études que nous avons pu recenser et qui utilisent la notation audio (voir section Description des systèmes d'analyse) sont celles de Reilly et Thomas [8] et Yakamanaka et coll. [15]. En 1976, Reilly et Thomas [8] ont suivi le mouvement de 40 joueurs professionnels du championnat anglais, et qui en plus de quadriller le schéma du terrain pour faciliter les repères spatio-temporels (voir fig. 8), ont utilisé un enregistrement l'audio non seulement pour noter les mouvements de sauts, de touches de balles, de têtes et de tacles comme l'ont fait Yakamanaka et coll.[15] mais aussi pour enregistrer les différents types de courses et leurs durées respectives pour ensuite en calculer la distance totale moyenne parcourue. Reilly et Thomas ont divisé les déplacements en 5 catégories et ont trouvé qu'un joueur fait en moyenne 3187 m en course lente, 1810 m en course rapide, 2150 m en marche, 974 m en sprint, et 559 m en marche arrière. La distance totale parcourue variait entre 7100 m et 10900 m pour une moyenne de (8680 m) qui est inférieure de 3900 m à celle rapportée à la même époque (12640 m) et pour le même type de joueurs par Whitehead [44].

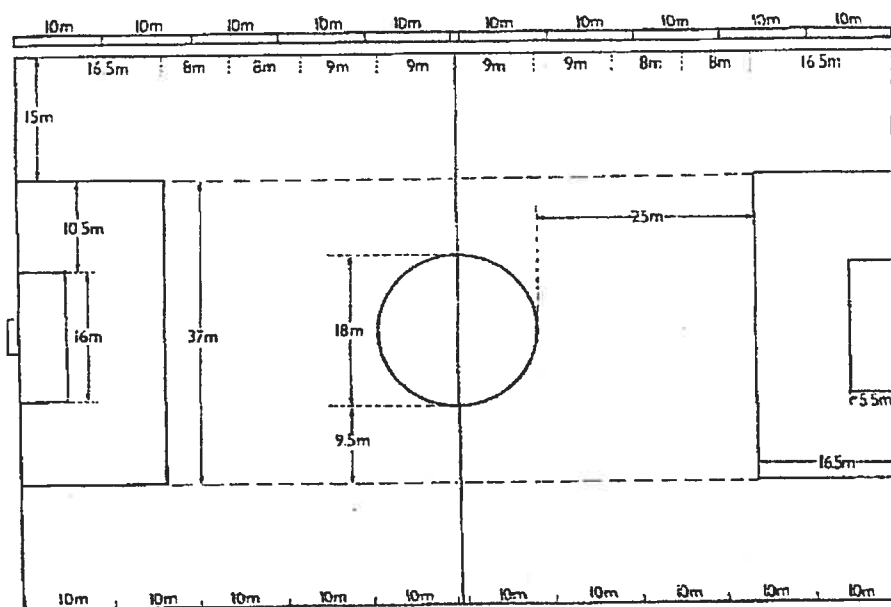


Figure 8 : Carte représentant un terrain de football à échelle réduite utilisée par Reilly et Thomas (1976) (empruntée [8])

Yamanaka et coll. [15] ont fait la seule autre étude que nous avons pu trouver. L'observateur muni d'un enregistreur audio et d'un chronomètre devait enregistrer la durée et le nombre de répétitions de chaque type d'activité: la marche, la course lente, la course rapide, l'immobilité et le sprint. L'analyse des données s'est faite grâce à un logiciel spécial. Les résultats obtenus montrent que la course lente et la marche sont l'activité dominante (83%-88% du temps) et que le sprint et la course rapide sont beaucoup plus rare (7%-10%) alors que le reste du temps, le joueur est immobile pour diverses raisons (blessures, arrêt de jeux, etc...). Puisque les résultats obtenus concordent avec ceux de Reilly et Thomas [8], Mayhew et Wenger [49], Withers et coll. [43] qui ont utilisé la longueur des foulées pour déterminer la distance parcourue, nous pouvons en déduire que la technique utilisée par Yakamana et coll. est aussi valide que la leur et que l'objectivité de l'information enregistrée n'a pas été affectée par les observateurs.

3.4 NOTATION INFORMATISÉE

Passons maintenant aux résultats obtenus par vidéo informatisée. Le nombre de caméras utilisées dans l'acquisition de l'image varie entre une et huit [19, 22, 23, 24, 50] alors que la fréquence d'acquisition de l'image varie entre 1 et 50 Hz [19, 20, 21, 22, 23, 24, 50]. La fréquence choisie, dicte le nombre de données à obtenir et naturellement, plus la fréquence est grande et plus grand est le nombre de données acquises. C'est pourquoi Erdman [50] qui en 1990 n'avait pas accès à la technologie informatisée, a dû se limiter à n'enregistrer que les cinq premières minutes d'un match seulement avec une caméra à 50 Hz (Fig. 9). Par contre avec une fréquence d'échantillonnage beaucoup plus petite (1 Hz, 2 Hz et 10 Hz), on a pu analyser la totalité des matchs [19, 22, 23]. Le nombre de données à traiter ne semble plus poser un problème aujourd'hui vu les différents logiciels et technologies mis à disposition des chercheurs [20, 21, 24].

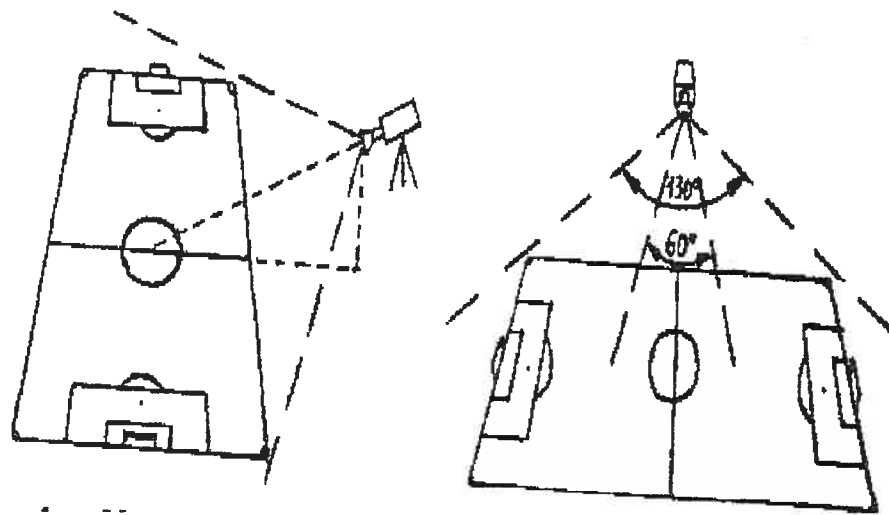


Figure 9 : Erdman 1991 : Système vidéo utilisant 1 caméra vidéo fixe. (Empruntée[50])

En regardant les résultats obtenus avec une fréquence de 50 Hz, et en prenant pour acquis que la vitesse moyenne calculée par Erdman durant les 5 premières minutes est celle de toute la première mi-temps, et que le joueur connaisse une baisse de régime durant les 15 dernières minutes de jeux comme celle rapportée par Mohr et coll. [18], la distance totale

doit être approximativement égale à 11,5 km ce qui se rapproche de certaines distances rapportées dans la littérature [17, 22, 23, 19, 43].

Pour Ohashi et coll. [22, 23] qui dans deux études séparées à des fréquences d'enregistrement de 2 et 10 Hz, ont obtenu des distances moyennes totales de 10746 m et 11584 m. Nous remarquons que les distances obtenues sont proportionnelles aux fréquences. Nous pouvons très clairement aussi, voir qu'avec 10 et 50 Hz les distances sont très proche l'une de l'autre. Seule la distance de 13520 m rapportée par Dassie [24] est très largement supérieure (fig.10).

La technique d'Ohashi a été reprise par Castagna et coll. [20, 21] avec un nombre beaucoup plus important de sujets, pour étudier des jeunes joueurs et des arbitres. Dans ces deux cas, les résultats obtenus ne peuvent être utilisés pour comparaison vu que les autres études sont faites avec des joueurs de champs adultes. Mais à titre indicatif, Castagna et coll. ont rapporté que les jeunes de 12 ans analysés sur des matchs de 60 minutes, parcourent en moyenne 6175 ± 318 m ce qui représente une vitesse moyenne de $6,3 \text{ km.h}^{-1}$ qui projetée sur 90 minutes donne une distance de 9450 m, ce qui est inférieure de 2134 m à celle rapportée par Ohashi et coll. [22] pour des adultes professionnels (11584 m). On peut s'attendre à une différence entre des professionnels et des jeunes de 12 ans. Reste à voir si la différence est vraiment de l'ordre de 2134 m, ou bien si elle est beaucoup plus importante que cela.

La plus grande distance moyenne parcourue a été rapportée par de Dassie [24]. Le système AMISCO (25 Hz) utilisé dans cette étude a permis de trouver que l'arrière central et l'arrière latéral en liga espagnol (Première division professionnelle) parcourent respectivement 13015 ± 1085 m et 14043 ± 943 m. Ces distances sont supérieures à celles obtenues dans toutes les autres études. Il faudrait comparer cette étude à d'autres études utilisant le même système ou non sur parcours balisé pour en vérifier la validité.

La fréquence ne peut à elle seule expliquer, la présence de variation d'une étude à l'autre, ou l'ordre de grandeur des distances rapportées. En effet, les distances rapportées grâce à des enregistrements à 10 Hz et à 50 Hz sont similaires, alors qu'à 25 Hz les distances rapportées sont largement supérieures, ce qui prêche à penser que l'erreur est aléatoire. Donc pour isoler le ou les facteurs responsables d'une telle variation, il faut éliminer tout ce qui peut, de manière directe ou indirecte, affecter l'activité des joueurs. Pour cela, analyser le

même groupe de joueurs durant les mêmes matchs à différentes fréquences d'enregistrement nous paraît être le meilleur moyen pour connaître les limites de l'influence de celle-ci, ou démontrer que de telles variations sont tout simplement normales. On peut aussi se demander s'il est pertinent d'avoir des fréquences élevées et s'il y a une fréquence idéale pour obtenir un maximum d'informations. Nous pouvons noter que les résultats ne varient pas beaucoup à partir d'enregistrements à 10 Hz alors que les plus petites distances rapportées ont été obtenues à 1 et 2 Hz (10225 ± 580 m et 10341 m) [23, 19] (fig.10). En principe toutefois et comme l'ont démontré Ohashi et coll.[22, 23] à 2 et 10 Hz, nous pensons que la fréquence n'est pas trop importante pour mesurer les déplacements (trajectoire, distance et vitesse) alors que pour l'analyse biomécanique précise de la cinétique de certaines gestuelles (technique de frappe, contact et position du pied ou de la tête lors d'une frappe de balle..), des fréquences supérieures à 20 Hz sont désirables. De plus sur un match entier, nous pouvons obtenir à 50 Hz au-delà de 270 000 données par joueur ce qui peut rendre la tâche d'analyse assez laborieuse.

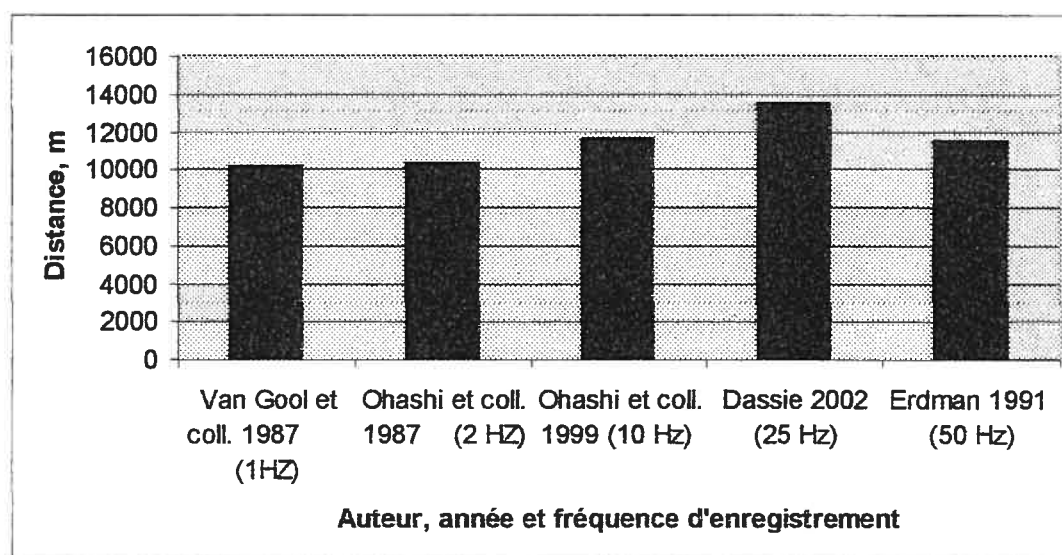


Figure 10 : Distances moyennes parcourues rapportées grâce à différentes fréquences d'enregistrement vidéo

Les systèmes informatisés mettent les données à disposition du chercheur dans des temps très courts. Ceci élimine les délais rencontrés avec les autres techniques manuelles ce qui

fait passer l'information de manière vite et efficace. Les statistiques et les schémas tactiques sont les plus importants pour les entraîneurs. Les systèmes aujourd'hui sont performants dans ce domaine, mais aucun ne peut affirmer avec certitude la validité des distances et vitesses obtenues étant donné les écarts considérables observés d'une étude et/ou d'une technique de notation à l'autre (Tableau 6)

Tableau 6 : Récapitulation des différentes distances obtenues avec différents systèmes de notation

Méthode	Auteur	Pays	An	Niveau	n	Positions	Activité % Temps	Distance totale (m)
Vidéo informatisée	Van Gool et coll. [19]	Belgique	1987	Universitaire	7	NA	M = 42.9 CL= 42.6 CR+S=7.5	10225 ± 580
	Ohashi et coll. [23]	Japon	1987	Professionnel	4			10341
	Ohashi et coll. [22]	Japon	1999	Professionnel	1	?		5792 m (45°)
	Dassie [24]	Espagne	2002	Professionnel Liga	23	DF= 4 DFL= 4 MO= 6 MDF= 4 AT=5		DF = 13015 ± 1085 DFL= 14043 ± 943
				Professionnel Segunda B	19	DF= 3 DFL= 4 MO= 4 MDF= 4 AT= 4	DFL= 14135 ± 685 AT = 13145 ± 2874	
Castagna et coll.[20]	Italie	2003	Arbitre Ligue pro	14	NA		10949 ± 1095 12303 ± 665	
Vidéo+notation manuelle	Withers et coll.[43]	Australie	1982	Philips Soccer league	20	DF = 5 DFL = 5 M = 5 AT = 5	% distance M = 31.4 CL = 47.1 S+CR=18.8	DF = 10169 ± 1460 DFL = 11980 ± 1873 M = 12194 ± 2366 AT = 11766 ± 949
	Bangsbo et coll.[17]	Danemark	1991	Professionnel Semi pro	9 5	DF = 4 M = 7 AT = 3	M = 40.4 CL = 35.1 CR = 8.1 S = 0.7 I = 17.1	DF = 10100 M = 11400 AT = 10500
	Farhi[13]	France	1999	Professionnel	16	DFL : 5 DF : 4 M : 4 AT : 3		DFL : 7618 DF : 8978 M : 9082 AT : 8115
	Farhi[13]	Algérie	1999	Professionnel	16	DFL : 4 DF : 4 M : 4 AT : 4		DFL : 7725 DF : 6842 M : 8187 AT : 8134
	Rienzi et coll.[47]	Amérique du Sud	2000	Professionnel	17	DF = 7 M = 6 AT = 4	%distance M = 32% CL = 42% CR = 11% S = 4%	DF = 8696 ± 976 M = 9826 ± 1031 AT = 7736 ± 929

Tableau 6 : Récapitulation des différentes distances obtenues avec différents systèmes de notation (suite 2/3)

Méthode	Auteur	Pays	An	Niveau	n	Positions	Activité % Temps	Distance totale (m)
Vidéo notation manuelle	Rienzi et coll.[47]	Angleterre	2000	Professionnel	6	DF = 2 M = 4		10104 ± 703
	Mohr [18]	Danemark	2003	Professionnel	24	DF = 11 DFL = 9 M = 13 AT = 9	M = 43,60 % CL=28,50 % CR = 5,70 % S = 0,90 % I = 18,40 %	10330 ± 260
		Italie		Professionnel	18		M = 41,8 % CL = 26,80 % CR = 7,30 % S = 1,40 % I = 19,50 %	10860 ± 180
	Zazoui [48]	Maroc	2004	Professionnel 1ere division nationale	10	DF : 4 M : 3 AT : 3	% distance M: 28,9 CL: 25,7 CR: 14,45 S: 14,3	DF: 7138 M: 8263 AT: 6483
Manuelle	Winterbottom ²	Angleterre	1952	Professionnel		NA	Distance, m M+CL=2347 CR+S= 1015	3331
	Knowles et Brooke ²	Angleterre	1974	Professionnel	40	NA	Distance, m M=1703 CL= 2610 S+CR=520	4833
	Ekblom [45]	Suède	1986	4ieme division	40	NA		DF = 9600 M= 10600 AT = 10100

Tableau 6 : Récapitulation des différentes distances obtenues avec différents systèmes de notation (suite 2/3)

Méthode	Auteur	Pays	An	Niveau	n	Positions	Activité % Temps	Distance totale (m)
Audio	Reilly et Thomas [8]	Angleterre	1976	Professionnel 1ere division	40	DF = 7 DFL = 8 M = 11 AT = 14 G = 1	% distance M = 24.8 CL = 36.8 CR = 11.2 S = 6.7	DF = 7759 ± 521 DFL = 8245 ± 816 M = 9805 ± 787 AT = 8397 ± 710
	Yamanaka et coll [15]	Europe Amérique du sud	1987	Professionnel	10		Temps, s M=2990±40 CL=1767±569 CR=308±124 S=104±53 I= 232±160	
		Japon,		Professionnel	19		Temps, s M = 2588±353 CL =2034±443 CR=371±122 S=262±183 I= 262±183	
		Japon		Scolaire	20		Temps, s M = 2575±350 CL =1889±498 CR=425±150 S=143±120 I= 379±120	

Abréviations : Course rapide = CR, course lente = CL, Immobilité = I, Marche = M, Sprint = S

Attaquant = AT, Défenseur = DF, Défenseur latéral = DFL, Milieux = M, Milieux défensif = MDF, Milieux offensifs= MO.

Gardien de but= G . Non spécifié = NS

Résultats des meilleurs joueurs pris en considération

(1) Tels que rapportés par Bangsobo [17]

3.5 RÉSULTATS OBTENUS PAR GPS :

À notre connaissance, notre étude est la seule qui rapporte des données sur les trajectoires (Fig. 11), déplacements cumulatifs et vitesses instantanées de déplacement au football au moyen du GPS (voir partie expérimentale). Nous avons trouvé que les défenseurs parcouraient la plus petite distance (6757 m) et qu'ils sont suivis par les attaquants (6803 m) et les milieux de terrains (7336 m). Cet ordre est le même que celui rapporté par la littérature. [45, 8, 43]. Les résultats obtenus aussi montrent que les joueurs passent en moyenne, 3,7 % du temps en sprint ($V \geq 100\%$ VAM), 11,4% en course rapide et sprint ($V \geq 75\%$ VAM), et 79,6% en marche et course lente ($V \leq 60\%$ VAM). Ces pourcentages sont du même ordre de grandeur que ceux trouvés par vidéo informatisée et par vidéo avec notation manuelle [17, 19]. Les mesures prises par le GPS se sont faites sur une moyenne de 65 minutes puisque les mesures ont été faites durant des matchs officiels, et que pour des raisons tactiques ou autres, certains joueurs ne purent compléter pas la totalité des 90 minutes. Mais en comparant la vitesse moyenne obtenue par GPS, $6,53 \text{ km.h}^{-1}$, aux autres vitesses moyennes calculées (entre 6.4 et 7.01 km.h^{-1}) sur 90 minutes, nous trouvons qu'il y a une très grande similitude [8, 17, 19, 43, 45].

Le GPS présente l'avantage de non seulement donner la totalité de la distance parcourue, mais aussi comment (trajectoire, changements de direction et vitesse) cette distance ou portion de celle-ci, a été parcourue, et ce, par une simple manipulation des données.

La technique du GPS peut être considérée comme outil d'analyse dans les années à venir surtout que la taille des unités et leur fréquence d'échantillonnage s'améliorent sans cesse dans une direction qui les rendra compatibles et utilisables dans le football. Reste que les données obtenues seront toujours limitées aux vitesses, altitudes et distances parcourues.

Ajoutons qu'en ce qui concerne ce type de mesure le GPS est vraiment précis, ce qui fut vérifié par étalonnage contre des parcours balisés effectués à des vitesses connues. De ce fait, même si le GPS en peut être porté dans les matchs officiels, il peut servir d'étalon pour vérifier la validité des autres techniques.

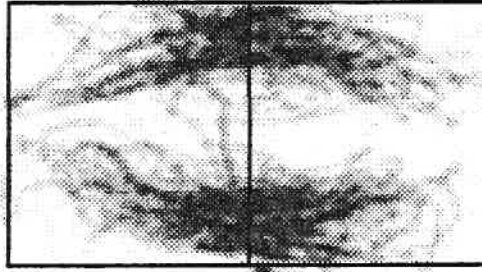


Figure 11 : Tracé obtenu par GPS sur 90 minutes de jeux. Milieu latéral dans un 3-5-2.

3.6 COMPARAISONS DES TECHNIQUES

Au-delà des différences observées entre les études utilisant la même technique (Figures 10, 8, 7 et Tableaux 6 et 5), des différences systématiques semblent caractériser les différentes techniques d'analyse et comme ces techniques ont été graduellement introduites au fil du temps il est aussi possible qu'elles reflètent une réelle évolution du jeu et de la performance des joueurs (fig. 12). Ainsi de la notation manuelle des années 75, à la notation manuelle avec vidéo basée sur les foulées moyennes des années 80 à celle basée sur la vitesse moyenne des années 90 à la vidéo informatisée des années 2000, on note une progression constante dans la distance maximale parcourue ce qui pourrait tout aussi bien refléter une amélioration des performances que des différences méthodologiques.

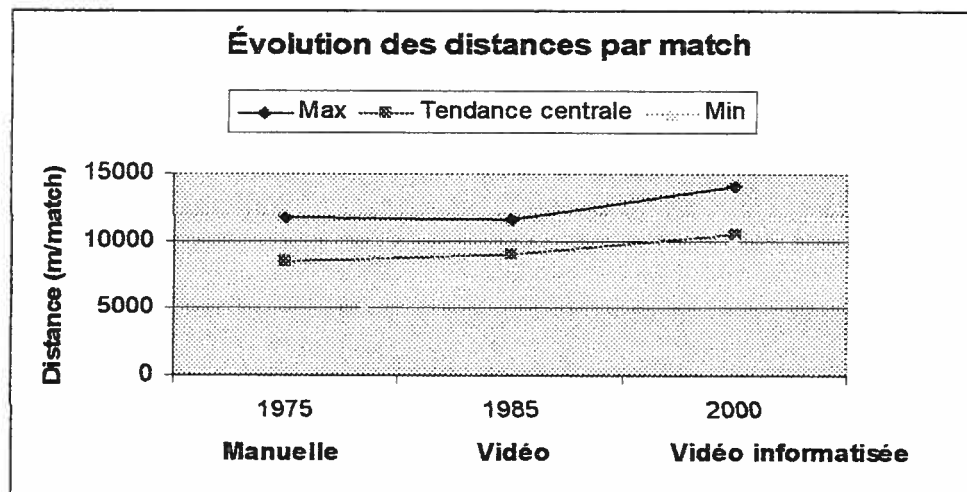


Figure 12 : Évolution des distances maximales rapportées au fil du temps et des techniques.

Cela est aussi supporté par la régression obtenue au fil du temps entre la distance moyenne parcourue par match et la date où ces données ont été rapportées (Fig. 13). Bien sûr, la dispersion des données est grande, reflétant non seulement des différences méthodologiques, mais aussi des différences entre positions de joueurs, niveau de joueurs ou simplement situations de jeu ou importance des matchs. Mais encore une fois on note une progression certaine de la distance parcourue et donc de la vitesse moyenne maintenue puisque la durée des matchs est constante.

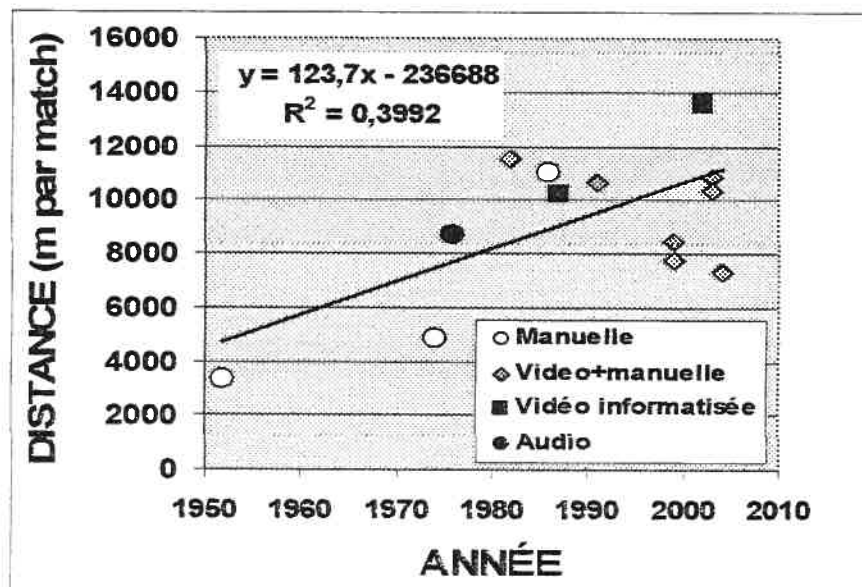


Figure 13 : Distance moyenne par match en fonction de la date de publication.

4.0 CONCLUSION

Les différentes techniques de notation sont différentes par leur fonctionnement, leur utilité et leurs limites (Figure 14). Malgré cela et malgré certaines exceptions, il que la distance parcourue par un joueur dans un match se situe entre 9500 et 11000 m et que la marche représente la plus grosse activité suivie par la course lente, la course rapide et le sprint.

Les deux études qui ont trouvé des valeurs qui ne ressemblent pas aux moyennes trouvées sont celles de Winterbottom (3331m) cité par Bangsbo [12] et Dassie [24] (14000 ± 200 m).

Pour les nouvelles techniques, le GPS paraît comme outil prometteur, mais serait plus efficace si nous le combinons avec la vidéo ou la notation manuelle afin de détecter les actions tel que les tacles, les têtes, les courses avec et sans ballon. Comme il n'existe pas encore de technique qui analyse tout ce qui se passe sur le terrain (Figure 14), nous avons défini six différents types d'activités qui méritent d'être analysées et quantifiées au football :

1. Tacles, têtes passes (bonnes vs mauvaises), types d'accélération, duels, dribbles, nombre de touches de balle, tirs (cadrés ou non), types de courses
2. Vitesses instantanées % VMA
3. Causes des arrêts de jeu
4. Temps de jeu effectif (quand le ballon est en jeu), temps avec et sans ballon
5. Coût énergétique instantané
6. Distance parcourue

Aucune technique ne permet de noter toutes ces activités. La vidéo informatisée est la technique qui permet de détecter et d'enregistrer le plus d'activités. Comme les règlements du football interdisent le port de tout objet durant les matchs officiels, la vidéo reste le seul moyen d'analyse disponible. Néanmoins, le GPS peut être utilisé durant la période préparatoire d'avant saison.

Une technique à considérer pour l'avenir, est le port par les joueurs de puces qui par télémétrie transmettent des signaux en continu à un récepteur placé en dehors du terrain. Ceci est réalisable vu qu'il existe déjà un système qui permet d'enregistrer la fréquence cardiaque par télémétrie. Vu le poids et la taille des puces, il serait possible de les intégrer à

l'équipement des joueurs sans les gêner et donc prendre des mesures durant des matchs officiels.

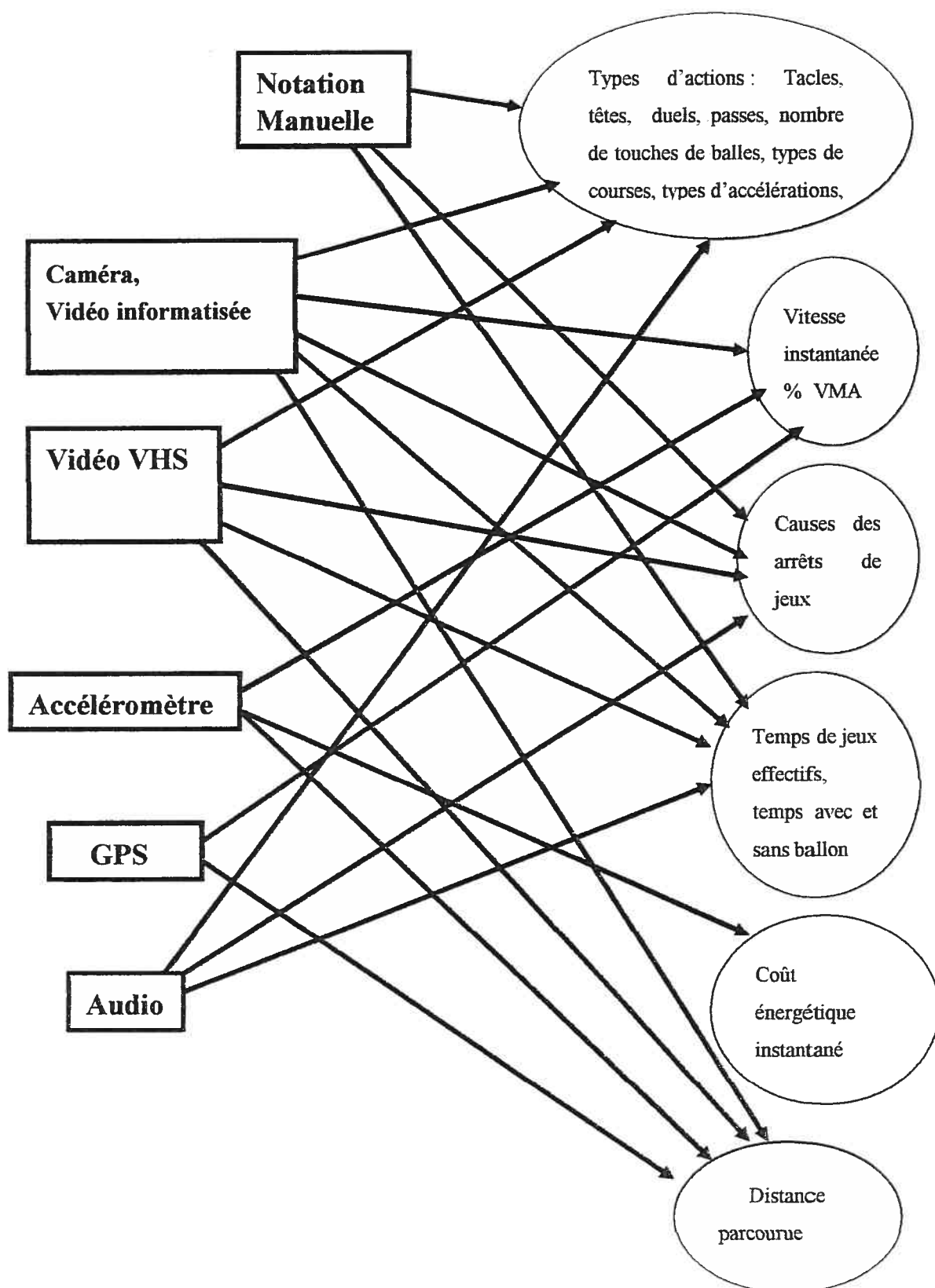


Figure 14 : Les différentes techniques de notation et les activités qu'elles peuvent enregistrer

RÉFÉRENCES

1. FIFA, <http://www.FIFA.com/en/mens/statistics/index.html>. The official website of the Fédération Internationale de Football Association, 2004.
2. Tumilty, D., *Physiological Characteristics of Elite Soccer Players*. Sport Medicine, 1993. 16(2): p. 80-96.
3. Reilly, T. *Science and Football V: The Proceedings of the 5th World Congress on Science and Football*. April 2003. Portugal: Routledge.
4. Hughes, M., T. Reilly, and J. Bangsbo. *Science and football III : proceedings of the Third World Congress of Science and Football, Cardiff, Wales, 9-13 April, 1995*. in *Third World Congress of Science and Football*. 1997. London: E & FN Spon.
5. Reilly, T., J.P. Clarys, and A. Stibbe. *Science and football II : Proceedings of the Second World Congress of Science and Football*. in *Second World Congress of Science and Football*. 22nd-25th May 1991. Eindhoven, Netherlands: E & FN Spon, London, 1993.
6. Reilly, T. and Liverpool Polytechnic., *Science and football : proceedings of the First World Congress of Science and Football, Liverpool, 13-17th April 1987*. 1988, London ; New York: E. & F.N. Spon. xx, 651.
7. Hawkins, R.D., M.A. Hulse, C. Wilkinson, A. Hodson, and M. Gibson, *The association football medical research programme : an audit of injuries in professional football*. British Journal of Sports Medicine, 2001. 35: p. 43-47.
8. Reilly, T. and V. Thomas, *A motion analysis of work-rate in different positional roles in professional football match-play*. Journal of Human Movement Studies, 1976. 2: p. 87-97.
9. Franks, I.M., *The Effects of Experience on the Detection and Location of Performance Differences in a Gymnastic Technique*. Research Quarterly for Exercise and Sport, 1993. 64(2): p. 227-231.
10. Hughes, M. and I.M. Franks, *Notational analysis of sport*. 1997, London: E. & F.N. Spon. xvi, 216 p.
11. Franks, A. and G. Miller, *Eye witness testimony in sports*. Journal of sports behavior, 1986. 9: p. 39-45.

12. **Bangsbo, J., *The physiology of soccer.* Acta Physiologica scandinavica, 1994. 151(Supplementum 619): p. 23-30.**
13. **Farhi, A., *De l'étude comparative entre football pratiqué en Algérie et en France à l'élaboration de batteries de tests de détection, de sélection et de suivi de l'entraînement.* 1999, Université Victor Segalen Bordeaux II: Bordeaux. p. 212.**
14. **Sanderson, F.H., *A notation system for analysing squash.* Physical education review, 1983. 6: p. 19-23.**
15. **Yamanaka, K., S. Haga, M. Shindo, J. Narita, S. Koseki, Y. Matsuura, and M. Eda. *Time and Motion Analysis in Top Class soccer games.* in *Science and football : Proceedings of the First World Congress of Science and Football.* 13th-17th April 1987. Liverpool, England: E. & F.N. Spon London ;New York, pp: 334-340.1988.**
16. **Ali, A. and M. Farrally, *A computer-video aided time motion analysis technique for match analysis.* J Sports Med Phys Fitness, 1991. 31: p. 82-88.**
17. **Bangsbo, J., L. Norregaard, and F. Thorso, *Activity Profile of Competition Soccer.* Canadian Journal of Sports Science, 1991. 16(2): p. 110-116.**
18. **Mohr, M., P. Krstrup, and J. Bangsbo, *Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue.* Journal of sports sciences, 2003. 21: p. 519-528.**
19. **Van Gool, D., D. Van Gerven, and J. Boutmans. *The Physiological Load Imposed on Soccer Players During Real Match Play.* in *Science and football : proceedings of the First World Congress of Science and Football.* 1987. Liverpool, England: E. & F.N. Spon London ;New York, pp: 51-59.1988.**
20. **Castagna, C. and G. Abt, *Intermatch variation of match activity in elite Italian soccer referees.* J Strength Cond Res, 2003. 17(2): p. 388-392.**
21. **Castagna, C., S. D'Ottavio, and G. Abt, *Activity profile of young soccer players during actual match play.* J Strength Cond Res, 2003. 17(4): p. 775-780.**
22. **Ohashi, J., O. Miyagi, H. Nagahama, T. Ogushi, and K. Ohashi. *Application of an analysis system evaluating intermittent activity during a soccer match.* in *Science and football IV: Proceedings of the Fourth World Congress of Science and Football, Sydney, Australia.* 22nd-26th February 1999: Routledge, London, pp:132-136. 2002.**

23. Ohashi, J., H. Togari, M. Isokawa, and S. Suzuki. *Measuring Movement Speeds and Distances covered During Soccer Match-Play*. in *Science and football : Proceedings of the First World Congress of Science and Football*. 13th-17th April 1987. Liverpool, England: E. & F.N. Spon London ;New York, pp: 329-333.1988.
24. Dassie, N., *Exigences Physiologiques Du Football: L'exemple Du Football Professionnel Espagnol*, in *Faculté des Sciences du Sport et de l'éducation Physique*. Nov 2002, Université de Bordeaux II: Bordeaux.
25. Schutz, Y. and R. Herren, *Assessment of speed of human locomotion using a differential satellite global positioning system*. *Med. Sci. Sports Exerc*, 2000. 32: p. 642-646.
26. Larsson, P., *Global Positioning System and Sport-Specific Testing*. *Sports medicine*, 2003. 33(15): p. 1093-1101.
27. Léger, L. and N. Bekraoui. *Validity of 1Hz 3D accelerometer and Global Positioning System to quantify physical activity*. in *CESEP*. 2003. Niagara Falls, Canada.
28. Léger, L. and R. Boucher, *An indirect continuous running multistage field test: the Université de Montréal Track Test*. *Canadian Journal of applied sports science*, 1980. 6(2): p. 77-84.
29. Léger, L., D. Mercier, C. Gadoury, and J. Lambert, *The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness*. *Journal of sports sciences*, 1988. 6: p. 93-101.
30. Lep, J., G. Gannon, C.C. Lewis, and D. Kriellaars. *Assessment of Total Body Kinematics Using the Global Positioning System*. in *Conference proceedings. CSEP*. School of medical Rehabilitation, Faculty of Medicine, University of Manitoba, Winnipeg.
31. Larsson, P., L. Burlin, E. Jakobsson, and K. Henriksson-Larsen, *Analysis of performance in orienteering with treadmill tests and physiological field tests using a differential global positioning system*. *Journal of sports science*, 2002. 20.(7): p. 529-35.
32. Schutz, Y. and A. Chambaz, *Could a satellite-based navigation system (GPS) be used to assess the physical activity of individuals on earth?*. *Eur. J of Clinical Nutrition.*, 1997. 51: p. 338-339.

33. Nichols, J.F., C.G. Morgan, J.A. Sarkin, J.F. Sallis, and C.K. J., *Validity, reliability, and calibration of the Tritrac accelerometer as a measure of physical activity*. *Med Sci Sports Exerc*, 1999. 31(6): p. 908-912.
34. Chen, K.Y. and S. Ming, *Improving energy expenditure estimation by using a triaxial accelerometer*. *Journal of applied physiology*, 1997. 86(6): p. 2112-2122.
35. Nichols, J.F., C.G. Morgan, L.E. Chabot, J.F. Sallis, and K.J. Calfas, *Assessment of Physical Activity with Computer Science and Applications, Inc., Accelerometer : Laboratory Versus Field Validation*. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 2000. 71(1): p. 36-43.
36. Le bris, R., O. Girard, G.P. Millet, B. Auvinet, and E. Barrey, *Relations entre la consommation d'oxygène et des mesures accélérométriques en course à pied sur piste*. *Non publié*. 2004.
37. Aadahl, M. and T. Jorgensen, *Validation of a new Self-Report Instrument for Measuring Physical Activity*. *Med Sci Sports Exerc*, 2003. 35(7): p. 1196-1202.
38. Leenders, N.Y.J.M., W.M. sherman, and H.N. Nagaraja, *Comparisons of four methods of estimating physical activity in adult women*. *Med Sci Sports Exerc*, 2000. 32(7): p. 1320-1326.
39. Bouten, C.V.C., W.P.H.G. Verboeket-Van De Venne, K.R. Westerterp, M. Verduin, and J.D. Janssen, *Daily physical activity assessment: comparison between movement registration and doubly labeled water*. *Journal of applied physiology*, 1996. 81(2): p. 1019-1026.
40. Rowlands, A.V., P.W.M. Thomas, R.G. Eston, and R. Topping, *Validation of the RT3 Triaxial Accelerometer for the Assessment of Physical Activity*. *Med Sci Sports Exerc*, 2004. 36(3).
41. Strath, S.J., J. Bassett, D. R., and A.M. Swartz, *Comparison of MTI Accelerometer Cut-Points for Predicting Time Spent in Physical Activity*. *Int J Sports Med*, 2003. 24: p. 298-303.
42. Trost, S.G., D. Ward, S., S. Moorhead, M., , P. Watson, D., W. Riner, and J. Burke, R., *Validity of teh computer science and applications (CSA) activity monitor in children*. *Med Sci Sports Exerc*, 1998. 30(4): p. 629-633.
43. Withers, R.T., Z. Maricic, S. Wasilewski, and L. Kelly, *Match analysis of Australian professional soccer players*. *Journal of Human Movement Studies*, 1982. 8: p. 159-176.

44. Whitehead, N., *Conditioning for Sports*. pp. 40-42. 1975, Yorkshire: E.P. Publishing Co. Ltd.
45. Ekblom, B., *Applied physiology of soccer*. Sports medicine, 1986. 3: p. 50-60.
46. Asami, T., H. Togari, and J. Ohashi. *Analysis of movement patterns of referees During Soccer Matches*. in *Science and football : proceedings of the First World Congress of Science and Football*. 1987. Liverpool, England: E. & F.N. Spon London ;New York, pp: 341-345.1988.
47. Rienzy, E., B. Drust, T. Reilly, J.E.L. Carter, and A. Martin, *Investigation of anthropometric and work-rate profiles of elite south american international soccer players*. J Sports Med Phys Fitness, 2000. 40: p. 162-169.
48. Zazoui, M., *Etude de la charge physiologique et biologique d'un match de football et délais nécessaires à la récupération*. 2004, Université Victor Segalen Bordeaux II: Bordeaux.
49. Mayhew, S.R. and H.A. Wenger, *Time-Motion analysis of professional Soccer Players*. Journal of Human Movement Studies, 1985. 11: p. 49-52.
50. Erdman, W.S. *Quantification of Games - Preliminary Kinematic investigations in soccer*. in *Science and Football II: Proceedings of the Second world congress of science and football*. 22nd-25th May 1991. Eindhoven, Netherlands: EFN SPON, London, p.174-179.1993.

PARTIE II

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

VALIDITÉ ET LIMITES DE LA TECHNIQUE DU GPS DANS L'ANALYSE DE LA TÂCHE EN FOOTBALL

VALIDITÉ ET LIMITES DE LA TECHNIQUE DU GPS DANS L'ANALYSE DE LA TÂCHE EN FOOTBALL

1.0 INTRODUCTION

Le football se joue à onze contre onze sur deux périodes de 45 minutes avec un intervalle de repos de 15 minutes. Le joueur exécute une variabilité d'actions de façon intermittente, irrégulière et aléatoire. Ce côté imprévisible rend le football difficile à analyser et à quantifier. Cela explique pourquoi la majorité des études sont surtout limitées sur la distance totale parcourue ainsi que sur les différentes activités ayant lieu durant un match [1-8].

Les techniques de notations utilisées varient beaucoup d'une étude à l'autre et il ne faut pas être surpris qu'il en soit ainsi des résultats obtenus. Par exemple, les distances moyennes parcourues lors d'un match de 90 minutes varient de 3 331 m avec la notation manuelle de Winterbottom en 1952 telles que rapportées par Bangsbo [9] à 14 000 m grâce à la vidéo informatisée en 2002 de Dassie [10]. L'évolution du football ne peut expliquer à elle seule cet écart extrême puisqu'en éliminant ce facteur, deux études réalisées durant la même période, dans le même championnat et dans des conditions similaires peuvent engendrer des résultats différents comme en témoignent les distances trouvées par Reilly et Thomas [6] (8600 m) et Whitehead [11] (11700 m). Cela ne peut s'expliquer que par le fait que le premier a utilisé une technique de notation audio sur 90 minutes [6] et que le deuxième a noté manuellement pendant 10 minutes par mi-temps.

D'autres techniques vidéo ont aussi donné des valeurs plus basses se situant généralement autour de 9 500 à 11 000 m [1, 4, 5, 12, 13, 14, 15] de sorte que les techniques utilisées introduisent probablement certains biais qu'il importe d'identifier. En plus de la distance parcourue, les différentes techniques de notation permettent de déterminer le pourcentage du temps total passé pour différentes catégories de déplacements. Ainsi, un joueur passe en moyenne 45% du temps en marche, 30% en course lente, 10% en course rapide, entre 2 et 5% en sprint et entre 10 et 12% en immobilité.[6, 9, 16, 13, 15].

Il nous est apparu utile de vérifier l'utilité et le réalisme du GPS pour l'analyse de la tâche en football et identifier l'ordre de grandeur probable des distances parcourues lors d'un match. Précisons que la technique du GPS a déjà été testée avec succès dans l'analyse de déplacements à la marche et la course à pied, mais en ligne droite seulement. Ainsi, Lep et coll. [17] de même que Schutz et Chambaz[18] ont obtenu des corrélations supérieures à 0.97 entre la vitesse déterminée par GPS et la vitesse chronométrée avec des marges d'erreur ne dépassant pas $\pm 0.2 \text{ km h}^{-1}$ sur une gamme de vitesse allant de 2 à 20 km h^{-1} . Pour les distances calculées par le GPS, Larsson et coll.[19] ont trouvé que la distance cumulative parcourue obtenue par GPS était erronée de seulement de 2,13 m tout au plus sur une distance totale de 4300 m.

Le but de notre étude est donc de déterminer la validité, l'utilité et les limites du GPS dans l'analyse de la vitesse de déplacement instantanée et des distances cumulatives et trajectoires parcourues en football. Ces mêmes données seront utilisées afin d'établir la proportion du temps passé à différentes intensités absolues (km.h^{-1}) ou relatives (%VAM) ainsi que pour étudier la variabilité de toutes ses mesures d'un match à l'autre ou encore d'un joueur à l'autre ou d'une position à l'autre. Enfin, nous tenterons de vérifier si les résultats obtenus par GPS telle la distance parcourue, la vitesse moyenne soutenue ou passée en haut de telle ou telle vitesse, sont corrélés à différents indices d'aptitude physique comme la VAM, la vitesse de sprint ou la capacité à répéter des sprints. Notons que seules les données des 65 premières minutes sont analysées vu que les mesures furent prises lors de matchs officiels et non lors de matchs amicaux, donc certains joueurs n'ont pu compléter les 90 minutes pour des raisons tactiques ou de mauvaise performance. Tous les joueurs ont complété au moins 65 minutes.

2.0 MÉTHODOLOGIE

2.1 DESCRIPTION DES SUJETS ET SCHÈME EXPÉRIMENTAL

Quinze joueurs de sexe masculin ont volontairement participé à cette étude. Les procédures ont été approuvées par le comité d'éthique de l'université. Les sujets jouent tous au football

dans la ligue U-19 du Québec (niveau junior, 17-19 ans) ainsi que dans leur équipe collégiale sauf un joueur âgé de 21 ans et faisant partie de l'équipe scolaire. Les mesures ont été prises durant des matchs officiels avec leur club ainsi qu'avec leur équipe scolaire, le championnat scolaire étant le prolongement du championnat extérieur. Les deux équipes utilisaient le même schéma tactique (3-5-2) en utilisant 3 défenseurs, 5 milieux de terrain dont 2 latéraux et 3 centraux, et 2 attaquants. Les joueurs ont été choisis selon leur position. Nous avons pris 2 joueurs par poste sauf pour les défenseurs parmi lesquels nous en avons pris 3 pour des raisons tactiques. Nous n'avons pas pris de gardien de but vu que notre étude porte sur les joueurs de champ. Nous avons commencé notre étude en utilisant 15 joueurs, mais pour des raisons hors de notre contrôle (Blessures, suspensions), seulement 9 joueurs ont pu participer aux matchs et aux tests d'aptitude physique. Pour chaque joueur nous avons mesuré la vitesse aérobie maximale, la distance totale parcourue lors de 2 matchs, la vitesse maximale de sprint, et un indice de fatigue basé sur la capacité à répéter des sprints tel que décrit ci-après. Les caractéristiques biométriques sont présentées pour l'ensemble des joueurs et pour chaque position (Tableau 1).

Tableau 1 : Caractéristiques des sujets (moyenne ± écart type)

	Age an	Poids kg	Taille cm	VAM km h ⁻¹	50 m Sprint km h ⁻¹	Indice fatigue
Tous n=9	18 ±1,2	68,8 ±8,1	173,3 ±5,6	16,9 ±1,1	31,7 ±1,2	0,95 ±0,03
Coefficient de variation	6,8%	11,8%	3,2%	6,2%	3,9%	3,1%
Défenseurs n=3	18	73,6	178,3	16,3	32,1	0,96
Milieux Centraux n=2	17,5	63,3	173,0	17,5	32,5	0,97
Milieux latéraux n=2	19,5	7,0	169,0	18,0	31,2	0,92
Attaquants n=2	17	69	172,5	16,0	30,9	0,94

2.2 TESTS ET MESURES

2.2.1 VITESSE AÉROBIE MAXIMALE

Nous avons déterminé la VAM des joueurs en faisant un test triangulaire maximal sur tapis roulant avec mesure directe de VO_2 . Après 5 minutes de mise en train à une vitesse de 8 $km.h^{-1}$ et à 0 degré d'inclinaison, nous avons augmenté la vitesse de 1 $km.h^{-1}$ toutes les 2 minutes jusqu'à épuisement. La VAM utilisée lors des comparaisons avec les vitesses obtenues à partir du GPS on été obtenues en divisant le VO_2 max par 3,5 pour obtenir l'équivalent d'une VAM sur piste et non sur tapis roulant afin d'exprimer correctement les vitesse sur terrain en %VAM sur terrain également..

Les gaz expirés passent par un circuit ouvert et sont analysés en temps réel grâce un système de mesure métabolique automatisé et informatisé (Moxus-T modular- VO_2 System, Pittsburgh). Les résultats obtenus étaient moyennés toutes les 30 secondes.

2.2.2 VITESSE MAXIMALE DE SPRINT

Après 20 minutes de mise en train constituée de 12 minutes de course à pied à un rythme lent suivi de 8 minutes d'étirement. Chaque joueur a fait 2 sprints en ligne droite sur une distance de 60 mètres avec 5 minutes de repos entre les deux sur piste intérieure de caoutchouc. Seul le meilleur des deux essais fut conservé. La vitesse maximale fut mesurée au moyen d'un radar, le Stalker ATS (modèle Sport, Stalkerradar, Texas, USA). Pour éviter toute interférence avec les gens sur la piste, nos joueurs ont couru dans un couloir protégé par des paravents d'un côté et par le mur de l'autre.

2.2.3 INDICE DE FATIGUE

Les joueurs ont effectué le test sur une piste intérieure d'athlétisme. Le test se compose de 3 sprints effectués en course navette de 10 m. Entre le premier et le deuxième sprint, le

sujet a 10 minutes de repos alors que ce repos n'est que de 3 min entre le deuxième et le troisième sprint.

- Sprint 1 : 4 x 10 m
 - 10 minutes de repos
- Sprint 2 : 16 X 10 m
 - 3 minutes de repos
- Sprint 3 : 4 x 10

L'indice de fatigue a été calculé en divisant la vitesse maximale atteinte durant le sprint 3 par la vitesse maximale atteinte durant le sprint 1.

2.2.4 ENREGISTREMENTS GPS

2.2.4.1 DESCRIPTION DES UNITÉS

Dans cette étude, nous avons utilisé des unités GPS Garmin à 1 Hz (Garmin international, Olathe, Kansas, USA). Chaque unité fonctionne avec deux batteries de type AA et possède une antenne interne et offre la possibilité d'ajouter une antenne externe. Les antennes utilisées dans notre étude, sont plates, reliées à l'unité par un fil. Il a été prouvé dans une étude antérieure que la présence d'une antenne externe permet une meilleure lecture des signaux et donne de meilleurs résultats [20]. Pour cette raison nous avons opté pour une antenne externe en plus de l'antenne incorporée dans l'unité. Le tableau 2 présente les caractéristiques des unités et des antennes.

Tableau 2 : Caractéristiques de l'unité GPS et de l'antenne

	Poids, g	Longueur, cm	Largeur, cm	Epaisseur, cm
Unité GPS	218	15,7	6,8	3,55
Antenne	5-10	6,95	5,08	1,90

2.2.4.2 VALIDATION DE L'UNITÉ GPS

Pour la validation des unités nous avons utilisé des parcours balisés durant lesquels nous avons imposé la vitesse (test progressif de course navette sur 20 m [21] et test progressif sur piste [22]), la direction (zigzag) et la distance parcourue. Le test navette était le plus proche du football vu qu'il combine, accélération, décélération et changement de direction.

Nous avons trouvé que les vitesses données par GPS et les vitesses imposées par le test navette sur 20 ont un coefficient de corrélation égale à 0,936 avec un degré de sous-estimation de la vitesse moyenne égale à 0,5 km.h⁻¹. Les résultats obtenus nous ont permis de déduire que la technique du GPS peut être utilisée comme outil de notation dans le football pour les distances et les vitesses. La figure 1 montre la similitude entre les vitesses moyennes imposées par le test du 20 m navette et les vitesses moyennes calculées à partir des vitesses obtenues par GPS.

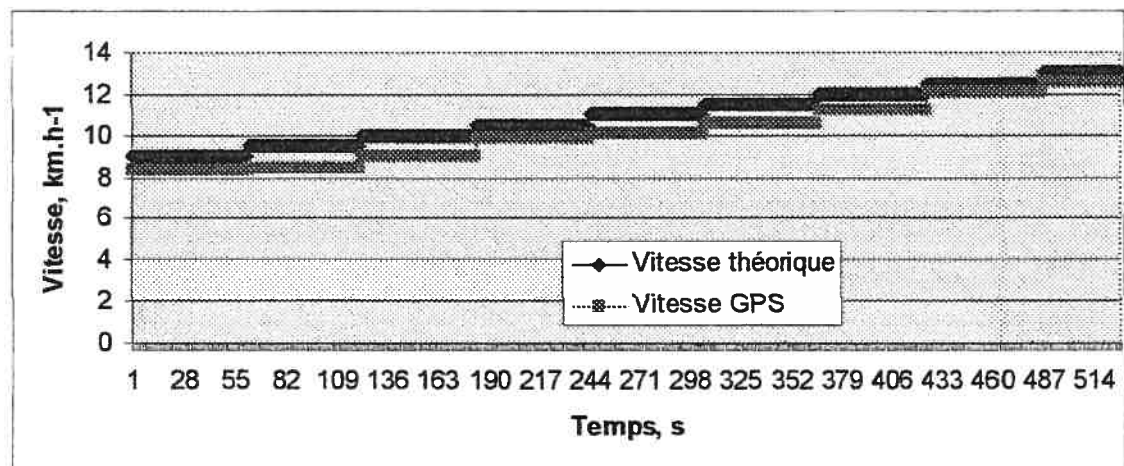


Figure 1 : Vitesses moyennes GPS et théoriques du test progressif de course navette sur 20 m.

2.2.4.3 TRAITEMENT DES DONNÉES

Les données des matchs sont obtenues par téléchargement. Un ordinateur portable a été utilisé, avec un logiciel spécifique au GPS (GPS Utility par Alan Murphy, Angleterre). Une fois téléchargées, les données sont transférées sur fichier Excel pour traitement. La vitesse est convertie de $m.s^{-1}$ en $km.h^{-1}$. La distance parcourue est directement donnée de façon cumulative. L'observateur sur le coté du terrain muni d'un chronomètre et d'une montre afin d'avoir des repères temporels, marque l'heure à laquelle le match commence, la fin de la première période, le début et la fin de la deuxième période. La durée de l'intervalle de repos est ensuite soustraite de la durée totale rapportée par le GPS vu que les unités ont continué à enregistrer durant la mi-temps. Comme les joueurs mesurés ne jouaient pas nécessairement tout le match, nous avons parfois rapporté les résultats en fonction de la plus grande durée commune à tous nos sujets (65 min) et parfois nous les avons extrapolés à 90min à des fins comparatives avec les données de la littérature. Sur les joueurs qui avaient effectivement fait 90 min, les valeurs réelles et extrapolées étaient pratiquement pareilles.

Nous avons classé les vitesses obtenues par GPS par ordre croissant avant de les diviser en cinq catégories. Les catégories sont exprimées en pourcentage de temps que le joueur passe à un certain pourcentage de sa VMA (>40%, entre 40 et 60%, <60%, >75% et >100%).

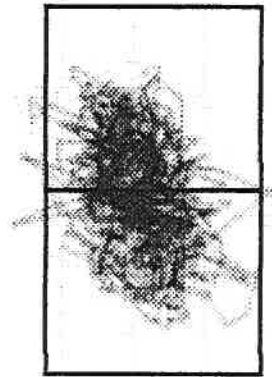
2.3 ANALYSES STATISTIQUES

Sauf indication contraire, les statistiques descriptives sont représentées par la moyenne et l'écart type. Les différences de distance parcourue et de vitesse moyenne maintenue entre les matchs ou mi-temps ont été vérifiées au moyen d'un test t pairé alors que la régression simple et la régression multiple ont été utilisées pour établir le lien entre les variables de l'aptitude physique et celles obtenues en match avec le GPS.

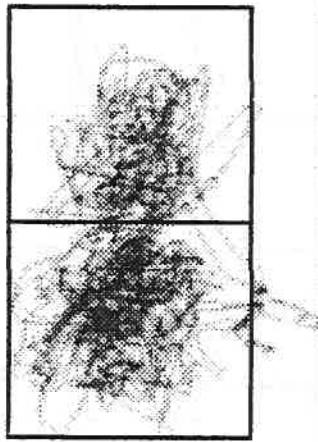
3.0 RÉSULTATS

3.1 TRACÉS DES DÉPLACEMENTS DES JOUEURS OBTENUS PAR GPS

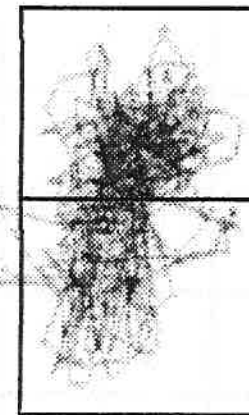
Le GPS permet de retracer les trajectoires des joueurs et le territoire couvert durant toute la période d'enregistrement. Les données obtenues (voir schémas ci-dessous) sont conformes aux jeux de position habituels. Ce type d'analyse permet aussi de voir si un joueur se conforme ou s'éloigne de ses consignes tactiques.



Tracé d'un milieu de terrain latéral. Tracé d'un milieu de terrain central



Tracé d'un défenseur



Tracé d'un attaquant

3.2 DISTANCE PARCOURUE ET VITESSE MOYENNE SOUTENUE

La distance moyenne parcourue est égale à $7002,4 \pm 554,98$ m. Les milieux latéraux parcourent la plus grande distance 7643 m, suivis par les milieux centraux 6930 m, les attaquants 6803 m et les défenseurs 6757 m. La vitesse moyenne est égale à $6,35 \text{ km.h}^{-1}$.

Les milieux latéraux ont la plus grande vitesse moyenne ($6,77 \text{ km.h}^{-1}$), suivis par, les milieux centraux ($6,37 \text{ km.h}^{-1}$), les attaquants ($6,19 \text{ km.h}^{-1}$) et les défenseurs ($6,16 \text{ km.h}^{-1}$) (Tableau 3).

Tableau 3 : Distance moyenne parcourue (D) et vitesse moyenne (VM) par joueur pendant 65 minutes de jeu.

Position	VM	VM	VM	VM	VM	D	D	D
	MT1	MT2	MT1	MT2	(#1)	Match	Match	Match
	Match#	Match#	Match #	Match#		#1	#2	(#1)
	1	1	2	2				
ML	6,97	6,42	7,38	6,03	6,70	7426	7562	7494
ML	7,22	6,58	7,01	6,55	6,84	8525	7058	7792
Moyenne ML	7,1	6,5	7,2	6,29	6,77	7976	7310	7643
MC	5,85	6,15	6,48	6,70	6,30	6655	7058	6857
MC	6,78	6,47	6,34	6,16	6,44	7243	6765	7004
Moyenne MC	6,32	6,31	6,41	6,43	6,37	6949	6912	6930
DF	5,84	6,46	6,11	5,61	6,01	6538	6567	6553
DF	6,92	6,15	6,69	6,37	6,53	7383	6902	7143
DF	6,09	5,61	5,95	6,10	5,94	6645	6504	6575
Moyenne DF	6,28	6,07	6,25	6,03	6,16	6855	6658	6757
AT	6,33	6,93	7,49	7,46	7,05	6977	8108	7543
AT	5,5	4,84	5,70	5,30	5,34	5995	6132	6064
Moyenne AT	5,92	5,89	6,6	6,38	6,21	6486	7120	6803
Total n=9								
Moyenne	6,39	6,18	6,57	6,25	6,35	7043	6961,8	7002,4
Écart type	0,61	0,62	0,62	0,63	0,53	721,6	590,4	555
Minimum	5,5	4,84	5,70	5,30	5,34	5995	6132	6063,5
Maximum	7,22	6,93	7,49	7,46	7,05	8525	8108	7791,5
Coefficient de variation	0,0948	0,100	0,095	0,100	0,083	0,102	0,085	0,079

3.3 VARIATION DES DISTANCES

Nos résultats montrent que la distance moyenne totale parcourue varie entre 6757 m (défenseurs) et 7643 m (milieux latéraux). La variation moyenne entre les deux matchs était égale à 66 m. La plus grande variation inter match a été réalisée par les attaquants et les milieux latéraux (~ 615) m alors que la plus petite variation a été réalisée par les milieux centraux (37 m)

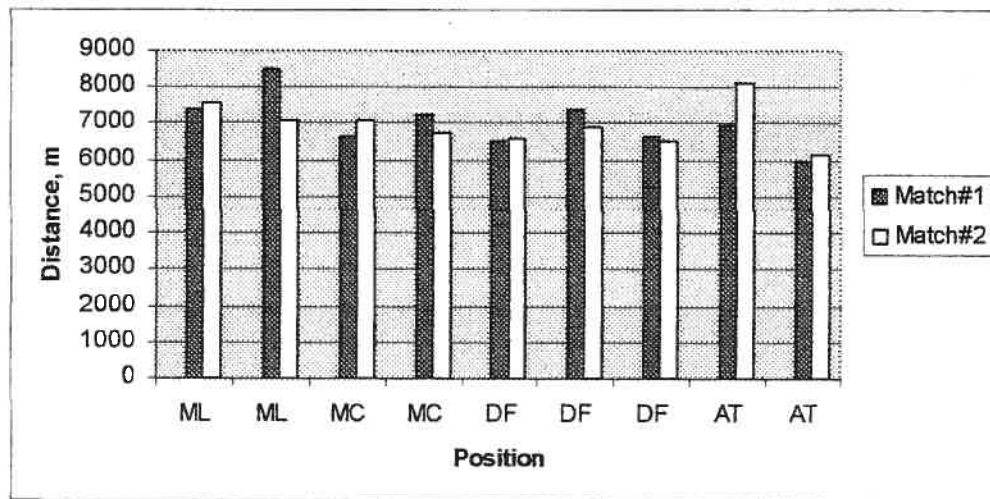


Figure 2 : Variation intra joueur de la distance parcourue entre le match#1 et le match#2 (ML : Milieux Latéral, MC : Milieu Central, DF : Défenseur, AT : Attaquant)

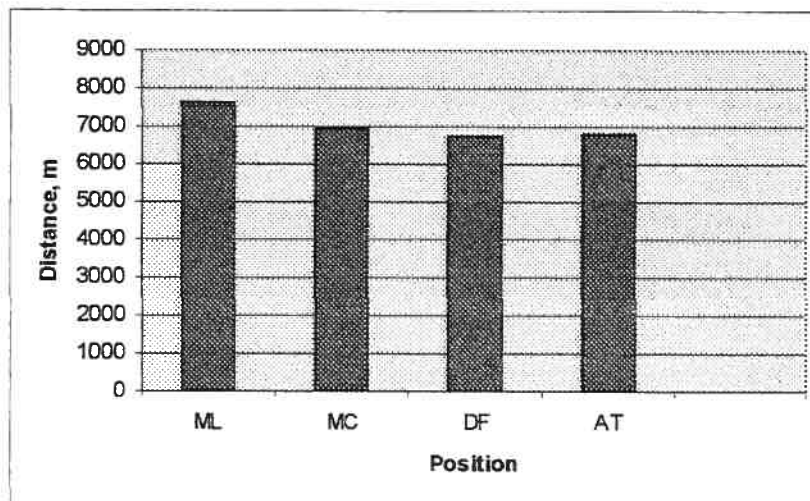


Figure 3 : Variation interposition de la distance totale moyenne parcourue

3.4 PROPORTION DU TEMPS PASSÉ À DIFFÉRENTS %VAM

L'activité des joueurs par rapport à leur VAM est présentée dans les tableaux 4 et 5. Les calculs en pourcentage de temps passé à certains pourcentages de la VAM, démontrent qu'en moyenne 80% du temps est passé en dessous de 60 % de la VAM et alors que seulement 3,7% est passé au dessus de 100% de la VAM (Tableau 5).

Par position, les milieux latéraux passent le moins de temps en dessous de 60% de leur VMA (76,88%) alors que les défenseurs en passent le plus (81%). Les milieux centraux passent le moins de temps en dessus de 100% de leur VAM (2,56%) comparativement aux attaquants qui sont les plus actifs dans cette catégorie avec (4,69 %). Pour les vitesses lentes, en dessous de 60% de la VAM, les pourcentages se situent entre 81% pour les défenseurs et 76,88% pour les milieux latéraux.

Tableau 4 : Moyenne par position des proportions de temps passés à différents % VAM

Position	V<40%VAM	40<V<60%VAM	V<60%VAM	V>60%VAM	V>75%VAM	V>100% VAM
ML	68	8,7	76,7	23,3	13,3	4,58
MC	67,5	12,6	80,1	19,9	10,9	2,56
DF	65,5	15,6	81	19	10	3,15
AT	66,1	13,8	79,9	20,1	12	4,69
Moyenne	66,8	12,7	79,4	20,6	11,5	3,74

Tableau 5 : Proportion du temps passé à différent % VAM.

Position	V<40%		V<40%		40<V<60		40<V<60%		V<60%		V<60%		V<80%		V>75		V>75		V>100		V>100		
	VAM	Match	VAM	1 et 2	%VAM	Match	VAM	1 et 2	%VAM	Match	#1	#2	%	VAM	1 et 2	%	VAM	Match	%	VAM	Match	%	
ML	68,3	67,5	68	68	12,5	11,7	12,1	12,1	80,9	79,2	80	80	10,7	10,7	10,9	10,8	4	4	4,7	4,7	4,3	4,3	
ML	67,4	68,5	68	68	5,6	5	5,3	5,3	73,1	73,5	73,3	73,3	16	15,5	15,8	15,8	4,6	4,6	5,1	5,1	4,9	4,9	
MC	74,9	67	71	71	9,1	14,3	11,7	11,7	84,1	81,3	82,7	82,7	7,6	10,2	8,9	1,2	1,2	1,9	1,9	1,5	1,5	1,5	
MC	62,2	65,7	64	64	13,5	13,6	13,6	13,6	75,7	79,4	77,5	77,5	13,6	12	12,8	12,8	4,5	4,5	2,6	2,6	3,6	3,6	
DF	66,2	68,4	67,3	67,3	15,7	14,9	15,3	15,3	82	83,3	82,6	82,6	9,4	9,4	9,4	9,4	3	3	3	3	3	3	
DF	63,7	64,9	64,3	64,3	13,3	14,9	14,1	14,1	77,1	79,7	78,4	78,4	14	11,7	12,9	12,9	4,5	4,5	3,7	3,7	4,1	4,1	
DF	65,3	64,1	64,7	64,7	16,7	17,9	17,3	17,3	82	82	82	82	7,5	8,1	7,8	2,2	2,2	2,5	2,5	2,4	2,4	2,4	
AT	62,4	55	58,7	58,7	11,4	14,4	12,9	12,9	73,8	69,4	71,6	71,6	15,4	19,5	17,4	5,2	5,2	8,7	8,7	7	7	7	
AT	74,7	72,3	73,5	73,5	15,2	14,10	14,7	14,7	89,9	86,4	88,1	88,1	5,3	7,8	6,5	1,8	1,8	3,1	3,1	2,4	2,4	2,4	
Total n=9																							
Moyenne	67,3	65,9	66,6	66,6	12,6	13,4	13	13	79,8	79,4	79,60	79,60	11	11,7	11,4	3,5	3,5	3,9	3,9	3,7	3,7	3,7	3,7
Écart type	4,8	4,8	4,31	4,31	3,49	3,55	3,36	3,36	5,43	5,10	5,08	5,08	3,87	3,73	3,65	1,44	1,44	2,06	2,06	1,62	1,62	1,62	
Minimum	62,2	55	58,7	58,7	5,6	5	5,3	5,3	73,1	69,4	71,6	71,6	5,3	7,8	6,5	1,2	1,2	1,9	1,9	1,5	1,5	1,5	
Maximum	74,9	72,3	73,5	73,5	16,7	17,9	17,3	17,3	89,9	86,4	88,1	88,1	16	19,5	17,4	5,2	5,2	8,7	8,7	7	7	7	7
Coefficient de variation	0,071	0,072	0,065	0,065	0,278	0,265	0,2585	0,2585	0,068	0,064	0,064	0,064	0,349	0,319	0,321	0,417	0,417	0,527	0,527	0,440	0,440	0,440	0,440

3.5 CORRÉLATION DE LA VAM, DE LA VITESSE MAX ET DE LA CAPACITÉ À RÉPÉTER DES SPRINTS AVEC LES MESURES OBTENUES EN SITUATION DE JEU

Il n'y a pas de corrélations significatives, simples ou multiples, entre la VAM, la vitesse maximale de sprint et la capacité à répéter les sprints.

4.0 DISCUSSION

4.1 ASPECTS MÉTHODOLOGIQUES

Les sujets qui ont participé à cette étude sont tous du même club de football et du même niveau ainsi que de la même catégorie d'âge. Le $\dot{V}O_{2\max}$ moyen est de $60 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$, et correspond au profil habituel des joueurs de football [1, 12, 23]. Pour le schéma tactique, les deux équipes, collégiale et régional, adoptaient un système en 3-5-2. Les joueurs ont gardé la même position durant la collecte des données lors des deux matchs. Quant au port de l'unité GPS, une période de familiarisation lors de deux matchs amicaux a aussi permis de faire les ajustements nécessaires pour qu'il n'y ait aucun gêne durant les matchs officiels. Seules les données des joueurs ayant porté une unité GPS lors de deux matchs au moins ont été incluses dans l'étude.

4.2 DISTANCES PARCOURUES

Dans notre étude, nous avons obtenu une distance totale moyenne de 7033 m sur 65 minutes de jeux et une vitesse moyenne de déplacement égale à $6,37 \text{ km.h}^{-1}$. En faisant une projection sur 90 minutes tout en considérant que la vitesse moyenne sur 65 minutes et la

même que pour toute la durée du match, nous obtenons une distance totale moyenne de 9555 m. qui correspond à celle qu'ont parcouru les joueurs qui ont complété 90 minutes et dont les résultats ne sont pas cités dans cette étude. Cette distance est aussi en accord avec ce qui a été rapporté, par notation manuelle [12], par enregistrement vidéo combiné avec notation manuelle [1, 13, 14], ou par système de vidéo informatisé [4, 5, 15], par contre, elle est largement inférieure au 14000 m obtenus de l'analyse par système vidéo informatisée (Amiso) [10].

Les variations inter-match ne sont pas très importantes selon nos résultats, ce qui peut être expliqué par le fait de n'avoir pu utiliser que les données de deux matchs par joueur. Afin de tirer une conclusion définitive, il aurait fallu avoir des données non seulement sur plusieurs matchs (entre 8 et 10) mais sur l'ensemble des 90 minutes.

Pour les variations inter-joueurs, il est connu que les milieux de terrains parcourent les plus grandes distances et que les défenseurs parcourent la plus petite distance [12, 3, 6, 8], en concordance avec ces résultats, nos défenseurs ont parcouru la distance la moins importante (6757 m) alors que les milieux ont parcouru les plus grandes distances (7646 m pour les latéraux et 6930 m pour les centraux). Il n'est pas non plus surprenant de voir que les joueurs latéraux parcourent la plus grande distance puisque les demandes d'un système de jeu en 3-5-2 font qu'ils apportent un soutien constant à l'attaque et à la défense

4.3 INTENSITÉ DES COURSES DE DÉPLACEMENT

En nous basant sur la VAM (VAM moyenne égale à $16,9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) comme vitesse de référence et en exprimant les vitesses instantanées des joueurs en pourcentage de celle-ci et en utilisant la classification des vitesses de déplacements de Bangsbo et coll. [1], Mohr et coll. [13] et Ali et coll. [16], nous avons trouvé que les joueurs en moyenne passent 3,74 % du temps en course rapide et sprints ($>100\%$ VAM), contre 8% dans ce qui a été rapporté ailleurs [16, 1, 13, 15, 24]. Cette différence peut être due à plusieurs facteurs, dont les restrictions tactiques qui amoindrissent la liberté de déplacement des joueurs qui peut affecter le nombre d'appels de balle qu'ils peuvent faire durant un match (actions qui se

font en sprint), ou aussi par le niveau de jeux, par les conditions atmosphériques, par la qualité de l'opposition ou encore par la combinaison de deux ou de plusieurs de ces facteurs.

En ce qui concerne la marche et la course lente (<75% VAM), le pourcentage (88,5%) de nos joueurs, est similaire à ceux rapportés (83% à 88%) par Yakamana et coll. [24] et (84%) par Van Gool et coll. [15], mais supérieure (70% en moyenne) à ceux de Mohr et coll. [13], Bangsbo et coll.[1] et Ali et coll.[16]. Cette différence pourrait s'expliquer que par le fait que nos joueurs ont une faible capacité à répéter les sprints et les courses rapides et que leur récupération active est plus faite en marche qu'en course lente ou bien que la qualité de l'adversaire et le niveau de jeux leur donnent plus de temps pour se replacer.

Pour les différences inter-joueurs, les attaquants (4,69%) font le plus de courses rapides et sprints alors que les milieux centraux sont le moins actifs (2,56%) à cette intensité. Les latéraux sont seconds à 4,58% suivis des défenseurs avec 3,15%. Pour les activités les moins intenses, les défenseurs passent le plus du temps (90%) en marche et course lente secondés par les milieux centraux (89,2%) alors que les latéraux (86,7%) et les attaquants (88%) sont les moins actifs dans ce secteur.

Nos pourcentages de temps passé à différentes intensités de course, suivent le même ordre de grandeur que celui que rapportent d'autres études. La marche et la course lente sont les activités dominantes alors que les sprints et les courses rapides sont les moins fréquents. Ceci donc confirme la nature intermittente du football qui est à dominance aérobie bien que les moments critiques soient de nature anaérobie et explosive.

5.0 CONCLUSION

En conclusion, la distance totale moyenne parcourue par nos joueurs et la durée des différents types de vitesses de déplacements sont très proches de ce que rapporte la littérature. Le GPS est le seul outil accessible à tous par son coût et par sa simplicité d'usage, qui permet d'obtenir les vitesses de déplacement instantanées. Ceci est encourageant et fait du système de navigation par satellite un outil très prometteur dans

l'acquisition de données pour l'analyse de tâche. Néanmoins, une fréquence d'échantillonnage plus grande augmenterait la précision et détecterait les mouvements brusques et de nature alactique comme les sauts, les tacles et les changements de direction soudains qui échappent aux petites fréquences (<5Hz). Le GPS comme tout autre outil d'analyse présente certaines limites dont l'incapacité, à différencier entre la course avant et la course arrière, et à donner les différentes raisons d'inactivité du joueur. Le GPS ne peut être utilisé que par un seul joueur à la fois contrairement à la vidéo.

Le GPS confirme aussi la nature à dominance aérobie et intermittente non continue de l'effort dans le football.

Le GPS est néanmoins, le seul outil à date qui a la capacité de mesurer des vitesses instantanées autre qu'en ligne droite et dont la validité a été testée. Cet outil permettra aussi aux chercheurs et préparateurs physiques de compléter les autres approches comme l'utilisation des fréquences cardiaques, obtenues en général lors de tests d'efforts maximums continus, comme indicateurs de l'intensité de l'effort durant des activités de nature intermittente.

En nous basant sur l'évolution de la technique de la navigation par satellite tant par le poids et la taille que par la performance de ses unités, nous pouvons nous attendre à avoir dans quelques années des outils de mesures dont l'utilisation pourrait être permise lors de matchs officiels.

La présente étude a donc confirmé l'utilité et le réalisme des mesures obtenues par GPS en football.

RÉFÉRENCES

1. Bangsbo, J., L. Norregaard, and F. Thorso, *Activity Profile of Competition Soccer*. Canadian Journal of Sports Science, 1991. **16**(2): p. 110-116.
2. Ekblom, B. and Comité international olympique. Commission médicale, *Football (soccer)*. Handbook of sports medicine and science ; 3. 1994, Oxford ; Boston: Blackwell Scientific. viii, 227.
3. Farhi, A., *De l'étude comparative entre football pratiqué en Algérie et en France à l'élaboration de batteries de tests de détection, de sélection et de suivi de l'entraînement*. 1999, Université Victor Segalen Bordeaux II: Bordeaux. p. 212.
4. Ohashi, J., O. Miyagi, H. Nagahama, T. Ogushi, and K. Ohashi. *Application of an analysis system evaluating intermittent activity during a soccer match*. in *Science and football IV: Proceedings of the Fourth World Congress of Science and Football, Sydney, Australia*. 22nd-26th February 1999: Routledge, London, pp:132-136. 2002.
5. Ohashi, J., H. Togari, M. Isokawa, and S. Suzuki. *Measuring Movement Speeds and Distances covered During Soccer Match-Play*. in *Science and football : Proceedings of the First World Congress of Science and Football*. 13th-17th April 1987. Liverpool, England: E. & F.N. Spon London ;New York, pp: 329-333.1988.
6. Reilly, T. and V. Thomas, *A motion analysis of work-rate in different positional roles in professional football match-play*. Journal of Human Movement Studies, 1976. **2**: p. 87-97.
7. Tumilty, D., *Physiological Characteristics of Elite Soccer Players*. Sport Medicine, 1993. **16**(2): p. 80-96.
8. Withers, R.T., Z. Maricic, S. Wasilewski, and L. Kelly, *Match analysis of Australian professional soccer players*. Journal of Human Movement Studies, 1982. **8**: p. 159-176.

9. Bangsbo, J., *The physiology of soccer*. Acta Physiologica scandinavica, 1994. **151**(Supplementum 619): p. 23-30.
10. Dassie, N., *Exigences Physiologiques Du Football: L'exemple Du Football Professionel Espagnol*, in *Faculté des Sciences du Sport et de l'éducation Physique*. Nov 2002, Université de Bordeaux II: Bordeaux.
11. Whitehead, N., *Conditioning for Sports*. pp. 40-42. 1975, Yorkshire: E.P. Publishing Co. Ltd.
12. Ekblom, B., *Applied physiology of soccer*. Sports medicine, 1986. **3**: p. 50-60.
13. Mohr, M., P. Krstrup, and J. Bangsbo, *Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue*. Journal of sports sciences, 2003. **21**: p. 519-528.
14. Rienzy, E., B. Drust, T. Reilly, J.E.L. Carter, and A. Martin, *Investigation of anthropometric and work-rate profiles of elite south american international soccer players*. J Sports Med Phys Fitness, 2000. **40**: p. 162-169.
15. Van Gool, D., D. Van Gerven, and J. Boutmans. *The Physiological Load Imposed on Soccer Players During Real Match Play*. in *Science and football : proceedings of the First World Congress of Science and Football*. 1987. Liverpool, England: E. & F.N. Spon London ;New York, pp: 51-59.1988.
16. Ali, A. and M. Farrally, *A computer-video aided time motion analysis technique for match analysis*. J Sports Med Phys Fitness, 1991. **31**: p. 82-88.
17. Lep, J., G. Gannon, C.C. Lewis, and D. Kriellaars. *Assessment of Total Body Kinematics Using the Global Positioning System*. in *Conference proceedings. CSEP*. School of medical Rehabilitation, Faculty of Medicine, University of Manitoba, Winnipeg.

18. Schutz, Y. and A. Chambaz, *Could a satellite-based navigation system (GPS) be used to assess the physical activity of individuals on earth?*. Eur. J of Clinical Nutrition., 1997. **51**: p. 338-339.
19. Larsson, P., L. Burlin, E. Jakobsson, and K. Henriksson-Larsen, *Analysis of performance in orienteering with treadmill tests and physiological field tests using a differential global positioning system*. Journal of sports science, 2002. **20**(7): p. 529-35.
20. Léger, L. and N. Bekraoui. *Validity of 1Hz 3D accelerometer and Global Positioning System to quantify physical activity*. in CESEP. 2003. Niagara Falls, Canada.
21. Léger, L., D. Mercier, C. Gadoury, and J. Lambert, *The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness*. Journal of sports sciences, 1988. **6**: p. 93-101.
22. Léger, L. and R. Boucher, *An indirect continuous running multistage field test: the Université de Montréal Track Test*. Canadian Journal of applied sports science, 1980. **6**(2): p. 77-84.
23. Reilly, T., J. Bangsbo, and A. Franks, *Anthropometric and physiological predispositions for elite soccer*. Journal of sports sciences, 2000. **18**: p. 669-683.
24. Yamanaka, K., S. Haga, M. Shindo, J. Narita, S. Koseki, Y. Matsuura, and M. Eda. *Time and Motion Analysis in Top Class soccer games*. in *Science and football : Proceedings of the First World Congress of Science and Football*. 13th-17th April 1987. Liverpool, England: E. & F.N. Spon London ;New York, pp: 334-340.1988.

