



**HAL**  
open science

**Analyse des performances physiques, des incidences physiologiques d'un match de football de haut niveau et des facteurs d'influence : mention spéciale au contexte d'enchaînement des matchs**

Léo Djaoui

► **To cite this version:**

Léo Djaoui. Analyse des performances physiques, des incidences physiologiques d'un match de football de haut niveau et des facteurs d'influence : mention spéciale au contexte d'enchaînement des matchs. Education. Université de Lyon, 2017. Français. NNT : 2017LYSE1266 . tel-01807779

**HAL Id: tel-01807779**

**<https://theses.hal.science/tel-01807779>**

Submitted on 5 Jun 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



N°d'ordre NNT : 2017LYSE1266

## **THESE de DOCTORAT DE L'UNIVERSITE DE LYON**

opérée au sein de  
**l'Université Claude Bernard Lyon 1**

**Ecole Doctorale N° 205**  
**(Ecole Doctorale Interdisciplinaire Science-Santé (EDISS))**

**Spécialité de doctorat** : Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives (STAPS)

**Discipline** : Physiologie de l'exercice

Soutenue publiquement le 18/12/2017, par :

**Léo Djaoui**

---

# **Analyse des performances physiques, des incidences physiologiques d'un match de football de haut niveau et des facteurs d'influence. Mention spéciale au contexte d'enchaînement des matches**

---

Devant le jury composé de :

Tourny, Caire	PU, Université de Rouen	<b>Présidente, Rapporteuse</b>
Filaire, Edith	PU, Université d'Orléans	<b>Rapporteuse</b>
Chamari, Karim	PU, ASPETAR, Doha, Qatar	<b>Examineur</b>
Rogowski, Isabelle	MCF-HDR, Université Lyon 1	<b>Examinatrice</b>
Zouhal, Hassane	PU, Université de Rennes	<b>Examineur</b>
Pialoux, Vincent	PU, Université Lyon 1	<b>Directeur de thèse</b>
Dellal, Alexandre	Dr-HDR, Université Lyon 1	<b>Co-directeur de thèse</b>

# Résumé

Le football moderne est caractérisé par des efforts intermittents de très haute intensité. Pendant un match, les joueurs réalisent des performances, qu'elles soient physiques ou techniques, en lien direct avec la spécificité de leur poste de jeu, leur rôle tactique et leur positionnement sur le terrain. Un match de football de haut niveau provoque chez les joueurs des variations de fréquence cardiaque, une baisse de réserves énergétiques, des dommages musculaires, du stress oxydatif et des altérations du statut immunitaire. Incidences physiologiques auxquelles se rajoutent des modifications de perception de la fatigue, des douleurs musculaires, du bien-être, de la qualité du sommeil, du stress psychologique et de l'humeur. Toutes ces incidences se mesurent, se quantifient et s'analysent en lien direct avec des facteurs contextuels comme le lieu du match, le moment de la journée, le système de jeu, l'adversaire et les périodes d'enchaînement de match (e.g. deux à trois matchs par semaine) qui peuvent avoir une influence significative. Ce dernier facteur a une importance grandissante dans le football moderne qui impose aux équipes et aux joueurs engagés dans plusieurs compétitions (e.g. championnat national, coupe, compétitions internationales, sélections nationales, ...) au plus haut niveau de pratique de jouer un nombre de matchs grandissant de saison en saison.

La présente thèse a pour objectif principal d'apporter une revue de littérature complète sur l'ensemble des indicateurs de la performance et de la fatigue du joueur de football de haut-niveau, ainsi que sur les différents facteurs d'influence. Dans un second temps, l'objectif de cette thèse consiste à étudier l'influence de l'enchaînement de matchs rapprochés sur les performances physiques à des vitesses de course proches des vitesses maximales chez des joueurs professionnels de *Ligue 1* engagés en Ligue des Champions (ETUDE 1). Après n'avoir constaté aucun impact sur ces courses à haute et très haute intensité, nous avons analysé l'impact de l'enchaînement des matchs rapprochés sur les profils d'accélération et de décélération de joueurs professionnels (ETUDE 2). Les résultats de cette deuxième étude ont permis de constater un impact réel de ces périodes sur l'activité des joueurs, notamment après des efforts maximaux. L'ETUDE 3 a testé les effets de l'enchaînement des matchs sur les cinétiques de fatigue mesurées grâce à différents marqueurs biochimiques sur des joueurs professionnels d'une équipe engagée en Ligue des Champions et meilleure équipe de *Primeira Liga* portugaise. Elle a permis de montrer l'impact sur les cinétiques de fatigue d'après-match, sur les dommages musculaires notamment. En conclusion, la connaissance des besoins des joueurs de football lors des périodes de matchs rapprochés est cruciale pour les entraîneurs afin qu'ils puissent adapter les stratégies adéquates : récupération, gestion des charges d'entraînement, rotation des effectifs, dans le but de maintenir leur équipe la plus performante possible tout en réduisant la fatigue et par là-même les risques de blessure.

# REMERCIEMENTS

## **A M. Alexandre DELLAL**

Alex, plus qu'un simple directeur de thèse tu es un véritable exemple de réussite professionnelle et scientifique à mes yeux. Tu as su renforcer mon exigence, mes capacités d'organisation et d'autonomie car elles sont incontournables à la réussite d'un projet. Merci pour ton investissement sans faille et ton omniprésence malgré la distance. Cette thèse n'aurait jamais existé sans toi.

## **A M. Vincent PIALOUX**

Vincent, tu as été plus qu'un co-directeur de thèse, tu as su m'accompagner par ton expérience sur des moments clés de ce doctorat et pour cela je t'en remercie. Merci d'avoir accepté de me parrainer sur ce projet. Tu as rendu cette thèse possible.

## **A M. Karim CHAMARI**

Karim, tu es la sagesse et l'expérience réunies en une personne formidable. Ta disponibilité, tes connaissances, ton sens critique et ta pertinence dans chacune de tes interventions auprès de moi m'ont fait franchir des étapes cruciales dans mon rapport aux sciences. Je suis à la fois honoré mais surtout très fier d'avoir pu collaborer avec toi. Te compter parmi mes examinateurs de thèse est la cerise sur le gâteau.

**A M. Edith FILAIRE et M. Claire TOURNY**, mes rapporteuses, et à **M. Isabelle ROGOWSKI et M. Hassane ZOUHAL**, mes examinateurs, pour avoir accepté de vous impliquer dans la lecture et l'évaluation de ce manuscrit. Votre expertise et vos connaissances scientifiques me permettront de me perfectionner pour mes futurs travaux.

## **A M. Adam OWEN**

Adam, tu es un exemple de travail acharné, de réussite et d'ambition. Je suis impatient à l'idée de continuer nos collaborations scientifiques qui mellent notre intérêt commun pour la science appliquée au terrain et à l'optimisation de la préparation à la performance.

**A M. Christophe HAUTIER**, pour avoir été le premier à m'encourager et à m'orienter pertinement dans la préparation de ce projet de thèse que j'avais en tête depuis 2012. Dès lors tu as su, par tes interventions en CST ou lors de discussions informelles, me guider et me permettre de prendre des décisions qui étaient, aujourd'hui j'en suis certain, des décisions cruciales.

### **A mes parents**

Je vous remercie de m'avoir toujours accompagné et encouragé avec autant d'enthousiasme et d'amour durant toute ma scolarité et sur tous mes projets quels qu'ils soient. Merci également pour avoir mis vos talents de littéraires à contribution dans la relecture de ce manuscrit.

### **A ma famille**

A mon frère, mes parents, ma famille Djaoui, ma famille Pola, ma belle famille et mes proches. Votre présence, votre soutien et votre amour m'ont été indispensable durant ces trois années.

### **A Vanessa**

Pour avoir été la femme parfaite dont n'importe quelle personne engagée dans un projet de thèse aurait eu besoin à ses côtés.

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION</b>	<b>10</b>
<b>CHAPITRE I. ANALYSE DE L'ACTIVITÉ MODERNE DU FOOTBALLEUR DE HAUT-NIVEAU</b>	<b>13</b>
<b>a) Les performances techniques et tactiques du footballeur</b>	<b>13</b>
<i>i) Les performances techniques</i>	14
<i>ii) La relation avec la tactique</i>	18
<b>b) Les performances athlétiques</b>	<b>20</b>
<i>i) Les différentes classifications d'intensité</i>	21
<i>ii) Courses et distances parcourues aux différentes intensités, selon les postes de jeu</i>	22
<i>iii) Les courses arrière, les déplacements latéraux et les changements de direction</i>	27
<i>iv) Les accélérations et décélérations</i>	28
<i>v) La puissance métabolique</i>	30
<i>vi) Le Body Load</i>	31
<i>vii) Variations au cours d'un match</i>	32
<i>viii) Test des performances athlétiques autour du match</i>	34
<b>CHAPITRE II. LA CHARGE SUBJECTIVE INDUITE PAR UN MATCH DE FOOTBALL</b>	<b>36</b>
<b>a) La perception de l'effort avec les RPE</b>	<b>36</b>
<b>b) Les indicateurs du bien-être : le questionnaire de Hooper</b>	<b>40</b>
<b>c) Les variations de l'humeur : le questionnaire POMS</b>	<b>41</b>
<b>d) La récupération en lien avec le niveau de stress : le questionnaire Rest-Q</b>	<b>42</b>
<b>e) Les contraintes liées au rythme de vie : le questionnaire DALDA</b>	<b>43</b>
<b>CHAPITRE III. LES INCIDENCES PHYSIOLOGIQUES D'UN MATCH DE FOOTBALL</b>	<b>45</b>
<b>a) Les filières énergétiques</b>	<b>45</b>
<i>i) Métabolisme aérobie</i>	45
<i>ii) Métabolisme anaérobie alactique</i>	46
<i>iii) Métabolisme anaérobie lactique</i>	47
<i>iv) Substrats énergétiques</i>	47
<b>b) Les marqueurs physiologiques</b>	<b>48</b>
<i>i) La FC et la VFC</i>	49
<i>ii) Les marqueurs sanguins</i>	57
<i>iii) Les marqueurs salivaires</i>	64
<i>iv) Les marqueurs urinaires</i>	65
<b>c) La fatigue et le surentraînement</b>	<b>67</b>
<b>CHAPITRE IV. LES FACTEURS D'INFLUENCE DE LA PERFORMANCE EN MATCH</b>	<b>69</b>
<b>a) L'influence des conditions météorologiques</b>	<b>69</b>
<i>i) Conditions chaudes et humides</i>	69

<i>ii) Conditions froides</i>	72
<b>b) L'heure / le moment de la journée</b>	<b>73</b>
<b>c) Le lieu du match</b>	<b>75</b>
<i>i) Domicile vs. extérieur</i>	75
<i>ii) Les effets de l'altitude</i>	77
<b>d) L'impact du niveau de jeu</b>	<b>78</b>
<b>e) L'influence de l'évolution du score</b>	<b>81</b>
<b>f) La notion d'importance d'un match</b>	<b>83</b>
<b>g) L'influence des orientations tactiques</b>	<b>84</b>
<i>i) Le système de jeu d'une équipe</i>	84
<i>ii) Le système de jeu de l'adversaire</i>	85
<i>iii) Les tactiques offensives et défensives</i>	86
<b>h) L'impact du nombre de matchs joués par semaine</b>	<b>87</b>
<b>CHAPITRE V. SYNTHÈSES, PROBLÉMATIQUES &amp; HYPOTHÈSES</b>	<b>90</b>
<b>CHAPITRE VI. ÉTUDE 1</b>	<b>94</b>
<b>CHAPITRE VII. ÉTUDE 2</b>	<b>106</b>
<b>CHAPITRE VIII. ÉTUDE 3</b>	<b>126</b>
<b>CHAPITRE X. DISCUSSION GÉNÉRALE</b>	<b>143</b>
<b>CHAPITRE XI. CONCLUSION GÉNÉRALE</b>	<b>145</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>147</b>
<b>ABRÉVIATIONS</b>	<b>179</b>
<b>TABLEAUX ET FIGURES</b>	<b>182</b>
<b>ANNEXES</b>	<b>185</b>

## LISTE DES PUBLICATIONS DE LA THÈSE

La présente thèse est soutenue avec les publications suivantes :

**Etude 1 : Djaoui L**, Wong Del.P, Pialoux V, Hautier C, Da Silva CD, Chamari K, Dellal A. *Physical activity during a prolonged congested period in a top-class European football team.* Asian J Sports Med, 2014 ; 5(1): 47-53.

**Etude 2 : Djaoui L**, Owen AL, Newton M, Dellal A, Chamari K. *The influence of congested periods of matches on acceleration and deceleration profiles in professional soccer players is position dependant.* Soumis dans J Strength Cond Res.

**Etude 3 :** Owen AL, **Djaoui L**, Dellal A, Gomes B. *Biological response comparisons of a competitive microcycle vs. congested fixture periods in elite level European Champions League soccer players.* En révision dans J Strength Cond Res.

# LISTE DES COMMUNICATIONS COMPLÉMENTAIRES

## PUBLICATIONS COMPLÉMENTAIRES DE LA THÈSE:

- **Djaoui L**, Pialoux V, Owen A, Vallance E, Dellal A. *Relationship between fluid loss variation and physical activity during official games in elite soccer players*. Rev Int Cienc Deporte, 2018 ; 51(14): 5-15.
- Haddad M, Stylianides G, **Djaoui L**, Dellal A, Chamari K. *Session-RPE method for training load monitoring : validity, ecological usefulness, and influencing factors*. Front Neurosci, 2017 ; 11: 612.
- **Djaoui L**, Haddad M, Chamari K, Dellal A. *Monitoring training load and fatigue with physiological markers in soccer players*. Physiol Behav, 2017 ; 181: 86-94.
- **Djaoui L**, Chamari K, Owen A, Dellal A. *Maximal sprinting speed of elite soccer players during training and matches*. J Strength Cond Res, 2017 ; 31(6): 1590-1597.
- Owen AL, **Djaoui L**, Newton M, Malone S, Mendes B. *A contemporary multi-modal mechanical approach to training monitoring in elite professional soccer*. Sci Med Football, 2017 ; 3(1): 216-221.
- **Djaoui L**, Diaz-Cidoncha Garcia J, Hautier C, Dellal A. *Kinetic of post-match fatigue in professional and youth soccer players during the competitive period*. Asian J Sports Med, 2016 ; 7(1): e28267.
- Dellal A, Chamari K, Payet F, **Djaoui L**, Wong DP. *Reproducibility of physical performance during small- and large-sided games in elite soccer in short period: practical applications and limits*. J Nov Physiother, 2016 ; 6(6): 1000315.
- Owen A, **Djaoui L**, Morgans R, Kavanagh R. *Salivary IgA and pre-training wellness status across an international soccer qualifying and finals campaign (Euro 2016)*. J Sci Med Sports ; en révision.
- Owen A, **Djaoui L**, Mendes B, Malone S, Ates O. *Positional differences in European professional soccer players' training load*. J Strength Cond Res ; en révision.

## PRÉSENTATIONS ORALES LORS DE CONGRÈS INTERNATIONAUX :

- Owen AL, **Djaoui L**, Dellal A, Mendes B. *Biological response comparisons of a competitive microcycle vs. congested fixture periods in elite level European Champions League soccer players*. XIV<sup>ème</sup> Conférence Mondiale de la Science et du Football (WCSS), Rennes, France, Juin 2017.
- **Djaoui L**, Pialoux V, Owen A, Vallance E, & Dellal A. *Relationship between fluid loss variation and physical activity during official games in elite soccer players*. Congrès International des Sciences et du Football (ICSF), Valenciennes, France, Mars 2016.
- **Djaoui L**, Wong DP, Pialoux V, Hautier CA, Da Silva CD, & Dellal, A. *Variation of physical activity during successive prolonged of congested period in top-class European football team*. XVII<sup>ème</sup> Congrès Européen des Sciences du Sport (ECSS), Bruges, Belgique, Juillet 2012.

## PRÉSENTATIONS DE POSTERS LORS DE CONGRÈS / RASSEMBLEMENTS SCIENTIFIQUES :

- **Djaoui L**, Diaz-Cidoncha Garcia J, Hautier C, & Dellal A. *Kinetic post-match fatigue in professional and youth soccer players during competitive period*. Journée scientifique de l'EDISS, Lyon, France, Octobre 2016.
- **Djaoui L**, Diaz-Cidoncha Garcia J, Hautier C, & Dellal A. *Kinetic post-match fatigue in professional and youth soccer players during competitive period*. XIII<sup>ème</sup> Congrès Mondial de la Science et du Football (WCSF), Copenhague, Danemark, Mai 2015.

## PUBLICATION D'OUVRAGE

- **Djaoui L**, Dellal A, Chamari K. *Monitoring fatigue and training load in football (soccer)*. Ed. Lambert Academic Publishing, November 2017.

# INTRODUCTION

Le football est l'un des sports les plus populaires de la planète. Dans certains pays, on le considère même comme une religion. Des sociologues ont rapporté que certains supporters pouvaient améliorer leur estime de soi et leur joie de vivre à travers leur passion et les succès de l'équipe qu'ils soutiennent (Vallerand et al., 2008). Joie, enthousiasme, fierté et confiance sont d'autres sentiments que peut engendrer le football (Vallerand et al., 2008). Certains des meilleurs joueurs sont d'ailleurs considérés comme des héros nationaux, voire comme des stars internationales (Turner, 2013). Face à un tel engouement, les intérêts liés au football sont multiples : économiques, financiers, socio-culturels, sans oublier les bénéfices pour la santé liés à sa pratique. Cependant, c'est bien la performance sportive des joueurs qui, parce qu'elle est déterminante pour la réussite de l'équipe, favorise un fort engouement populaire. L'approfondissement des connaissances permettant d'optimiser ou, au moins, d'améliorer la performance des joueurs en match est donc une démarche essentielle dans le contexte contemporain d'un football en perpétuelle évolution.

Les contenus d'entraînement sont conçus en fonction des performances réalisées en match. Entraîneurs et préparateurs physiques déterminent les quantités optimales d'entraînement nécessaires pour permettre des performances maximales (Foster et al., 1996). Selon Morton (1997), tout l'intérêt serait de trouver le juste stimulus d'entraînement permettant de maximaliser et d'optimiser la performance, tout en minimisant les risques liés à l'entraînement (fatigue, maladie, blessure, surentraînement). Certains auteurs ont parlé d'équilibre dans la gestion de la charge d'entraînement, entre le travail et la récupération (Impellizzeri et al., 2004 ; Greig & McNaughton, 2014 ; Gaudino et al., 2015). Or, pour obtenir ce point d'équilibre, il faut pouvoir quantifier les charges liées à l'entraînement et au match, à travers un processus qui est individualisé tant de manière objective (activité technique, physique, indicateurs physiologiques) que subjective (questionnaires) (Bartlett et al., 2017). Ces mesures de la charge d'entraînement et du match vont également permettre d'évaluer et de mieux comprendre la fatigue des joueurs (Halson, 2014).

La performance en football a plusieurs composantes.

Elle est psychologique : résistance au stress, capacité de concentration, gestion de l'échec...

Elle est tactique, à travers les comportements collectifs offensifs et défensifs.

Elle est aussi technique dans les gestes individuels, avec ou sans ballon.

Elle est enfin physique, du fait de la nature et de la répétition des efforts.

Dans le football, ces quatre aspects sont indispensables pour garantir la performance (Bangsbo, 1994). Ainsi, un joueur de haut niveau qui a la possession du ballon en moyenne ~40-58 fois dans un match, réalise ~2 touches de balle par possession, réussit ~70-80% de ses passes et parcourt en moyenne 10,5-11,5 km, dont ~250 m de sprint et ~300 m de courses à haute intensité (HI) (Dellal, 2008). La répétition des efforts spécifiques du footballeur a été

largement recensée comme ayant des répercussions physiologiques qui diffèrent en fonction du niveau des joueurs, de l'âge, du sexe et du poste de jeu (Stolen et al., 2005). Pendant et après un match de haut niveau, les différentes filières énergétiques sont mises à contribution, entraînant une élévation de la fréquence cardiaque (FC), du stress oxydatif, des processus inflammatoires, des dommages musculaires et une diminution des défenses immunitaires, des réserves énergétiques et de l'efficacité des processus neuromusculaires (Stolen et al., 2005 ; Bangsbo et al., 2007 ; Souglis et al., 2015). Bien comprendre les caractéristiques physiques d'un match de football, les différents facteurs d'influence et les incidences physiologiques associées est indispensable au processus de préparation à la performance de haut niveau.

L'analyse des facteurs d'influence joue un rôle particulier dans l'étude des performances du footballeur de haut niveau. Nombreux sont ceux qui impactent les processus physiologiques, l'activité physique et technique, et les évaluations subjectives de la fatigue ou de l'effort perçu. Parmi eux, les conditions météorologiques, le moment de la journée, le lieu, le niveau de jeu, l'évolution du score, l'importance du match, la tactique de l'équipe de référence ou encore de celle de l'adversaire, ont été précisément décrits par plusieurs chercheurs (Taylor et al., 2008 ; Lago, 2009 ; Lago et al., 2010 ; Carling et al., 2011 ; Lago-Peñas & Lago-Ballesteros, 2011 ; Lago-Peñas, 2012 ; Sarmiento et al., 2014). Mieux connaître ces facteurs d'influence pour tendre à mieux les maîtriser permettrait aux équipes d'en anticiper les effets, plutôt que de les subir. Plus particulièrement, l'enchaînement des matchs tous les trois-quatre jours (deux matchs par semaine) est un facteur qui a pris, d'année en année, de plus en plus d'importance dans les calendriers des équipes de haut niveau. En effet, elles sont souvent en lice dans plusieurs compétitions. Les meilleurs joueurs participent même à des matchs internationaux pendant les périodes de trêve, augmentant ainsi de manière significative le nombre de matchs disputés au cours de la saison. Connaître les effets de ces matchs rapprochés sur les profils d'activité physique, sur les marqueurs de la fatigue et de la récupération représente un enjeu déterminant dans la gestion d'une équipe de haut niveau engagée dans plusieurs compétitions.

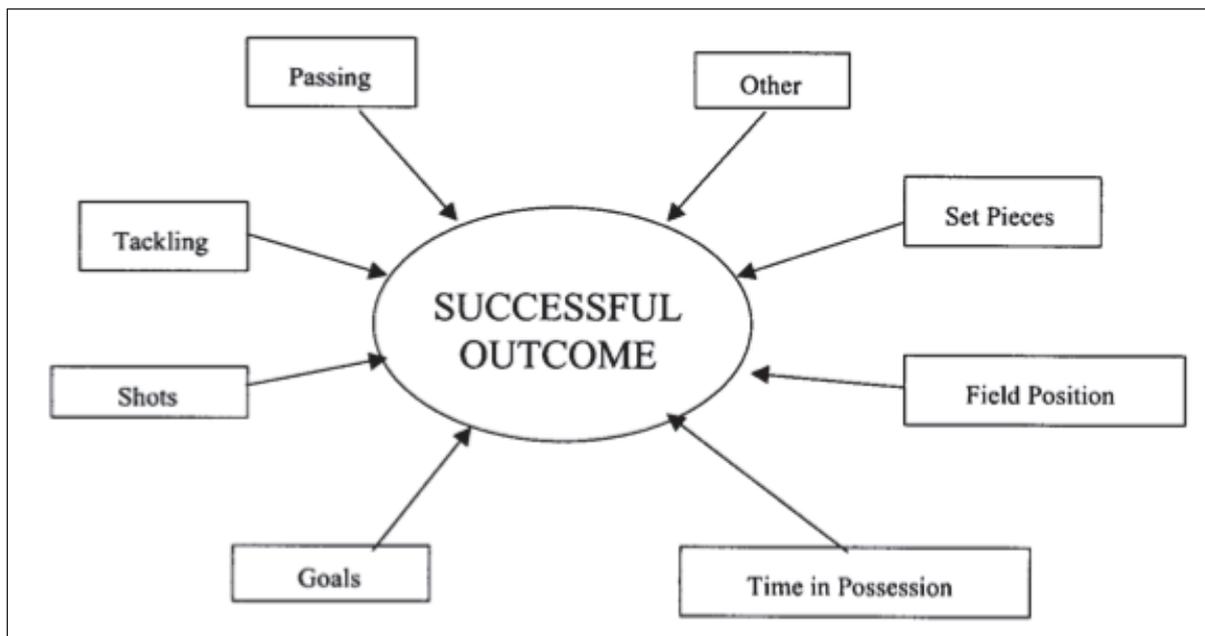
Ainsi, les objectifs de cette thèse sont les suivants : i) de décrire les différents indicateurs de la charge imposée par un match de football de haut niveau : les profils d'activité, les marqueurs subjectifs, les incidences physiologiques ; ii) de décrire les effets des différents facteurs susceptibles d'influencer les indicateurs de la charge ; et iii) d'analyser plus précisément les effets de périodes de matchs rapprochés sur l'activité physique et sur les incidences physiologiques d'après-match.

**REVUE ET  
ANALYSE DE  
LA LITTÉRATURE**

# CHAPITRE I. ANALYSE DE L'ACTIVITÉ MODERNE DU FOOTBALLEUR DE HAUT- NIVEAU

## a) Les performances techniques et tactiques du footballeur

Depuis une quarantaine d'années, l'intérêt envers l'analyse informatisée des performances de matchs est grandissant (Reilly & Thomas, 1976 ; Ekblom, 1986 ; Bangsbo et al., 1991 ; Bloomfield et al., 2007). Au fil des années, de nombreux auteurs ont observé une augmentation des demandes physiques, mais également tactiques et techniques d'un match de football (Carling et al., 2008 ; Barnes et al., 2014). De telles évolutions se sont révélées par une intensification des efforts en cours de matchs, une hausse de la vitesse gestuelle et de la vitesse de prise de décision, par exemple (Wallace & Nurton, 2014). Il a été établi que la performance en football était une conséquence des compétences tactiques et techniques des individualités d'une équipe (Bangsbo, 1994). Dans ce sens, Di Salvo et al. (2009) ont suggéré que la réussite d'une équipe, en match, était davantage liée à son efficacité technique et tactique plutôt qu'à son activité physique aux HI. La quête de réussite et de performance rendrait ainsi le suivi des indicateurs de l'activité technico-tactique tout à fait indispensable. Un bon nombre d'indicateurs peuvent être utilisés dans ce sens, et on va distinguer ces indicateurs entre ceux qui sont reliés à la maîtrise du ballon (passes, dribbles, tirs) et ceux en lien aux gestes défensifs sans ballon (tacles, duels). Dans l'analyse de ces différents indicateurs de l'activité technique, on va pouvoir prendre en compte la quantité, à travers le nombre de passes, de tirs, de dribbles réalisés, et la qualité des gestes effectués, à travers les % de passes réussies, de tirs cadrés, de tirs ayant amené un but. En lien avec ces indicateurs, les notions tactiques de style de jeu et la présentation des facteurs clés des phases offensives et des phases défensives viendront compléter l'analyse. Ce premier chapitre présente les différents marqueurs techniques et tactiques de l'activité de match, dont certains sont présentés sur la **figure 1**. Une mise en avant particulière de leur relation avec la réussite de l'équipe et l'apparition de la fatigue sera effectuée pour justifier, ou non, leur intérêt dans un suivi récurrent de l'activité de match pour les praticiens sur le terrain.



**Figure 1.** Quelques facteurs contribuant au succès et à l'amélioration de la performance en match (Hughes & Bartlett (2002)).

## **i) Les performances techniques**

### ***Les passes***

Les analyses d'activité technique ont montré qu'une équipe réalisait entre 200 et 350 passes par match soit une moyenne de 20 à 35 passes par joueur (Yamanaka et al., 1997 ; Helgerud et al., 2001 ; Andersson et al., 2008). En *Liga* espagnole, une moyenne de 35 à 52 passes par joueur a plutôt été observée, avec les milieux centraux (MC) des trois meilleures équipes qui pouvaient avoir des moyennes autour de 70 passes par match (Liu et al., 2016). Parmi elles, peuvent être distinguées les passes courtes (< 37m) et les passes longues ( $\geq$  37m), respectivement au nombre moyen de  $\sim$ 23 (19,1 à 27,7) et  $\sim$ 4 (3,7 à 4,4) chez des professionnels de *Serie A* italienne (Rampinini et al., 2009). Le nombre de passes vers l'avant est en moyenne de 6,52 à 20,3, le nombre de touches de balle autour de 1,74-2,26, pour les joueurs des grands championnats européens (Dellal et al., 2011) et la majorité des passes sont effectuées dans la zone du milieu de terrain (Andersson et al., 2008). Dans ce cas, le nombre de touches de balle indique que la passe est effectuée sans contrôle (1 touche), avec seulement un contrôle (2 touches) ou avec un contrôle suivi d'une touche de conduite ou de dribble (3 touches et au-delà). Le pourcentage de passes réussies a été observé autour de 70-82% en Ligue 1 française et en *Liga* (Dellal et al., 2010a ; Liu et al., 2016). Les défenseurs centraux (DC) avaient le moins de réussite, sans doute parce qu'au cours d'un match, ils réalisent plus de longues passes qui sont, elles, plus risquées et moins précises (Dellal et al., 2010a). En *Serie A*, le pourcentage de réussite de passes a été observé aux alentours de 92.5% et il ne variait pas en fonction du niveau (classement final) des équipes (Rampinini et al., 2009). La capacité à réaliser des passes courtes semble être un élément décisif en football (Ali, 1988) puisqu'elle aurait été à l'origine de 57% des buts de la coupe du monde de 1986 (Olsen, 1988) et 47% des buts de la coupe du monde de 2006 (Sajadi & Rahnema, 2007). Le nombre total de passes et de passes réussies distinguait les meilleures équipes des moins bien

classées en *Serie A* (Rampinini et al., 2009). Il a aussi été observé que le nombre de passes et le pourcentage de passes réussies sont certains des indicateurs les plus discriminants de la victoire finale en ligue des champions (Lago-Peñas et al., 2010, 2011). Le nombre de passes décisives (passes menant à un but) était d'ailleurs l'un des indicateurs les plus prédictifs de victoire lors du championnat d'Europe de 2012 (Sgro et al., 2016).

Certains auteurs ont observé une influence de la fatigue sur le nombre de passes courtes réussies, d'une mi-temps à l'autre (Rampinini et al., 2009) et sur la capacité à réaliser des passes courtes précises après une période de cinq minutes d'activité intense en match de jeunes (Rampinini et al., 2008). Cependant, d'autres n'ont observé aucune variation de performance technique liée aux variations d'activité physique en matchs de professionnels de Ligue 1 (Carling & Dupont, 2011). A l'origine de la diminution de l'efficacité technique des joueurs au cours d'un match, une baisse des fonctions cognitives, du contrôle moteur, des capacités de force, des capacités de perception, un état de déshydratation et une hausse de la fatigue neuromusculaire ont pu être rapportés (McGregor et al., 1999 ; McMorris & Rayment, 2007 ; Rampinini et al., 2009). De plus, une étude a montré que la diminution de la capacité à réaliser des passes, communément observée dans les 15 dernières minutes d'un exercice de 90 minutes, était atténuée lorsque les joueurs avaient ingéré des hydrates de carbone, avant l'exercice (Ali & Williams, 2009). Et c'est sans doute cet aspect qui est à l'origine des différences entre les études, puisqu'on peut imaginer que les joueurs professionnels de Ligue 1 testés par Carling & Dupont (2011), qui ne subissaient aucune variation de performances, étaient précisément suivis sur ces aspects de nutrition et d'hydratation, avant, pendant, et après leurs matchs. L'âge des joueurs analysés dans chacune des expérimentations pourrait également être un facteur important dans l'influence de la fatigue sur les réalisations techniques. Cependant aucune étude ne s'est penchée, aujourd'hui, sur l'influence de l'âge dans les diminutions de performance. Il existe également quelques différences d'un poste à l'autre, puisque les milieux de terrain ne subiraient aucune baisse significative de leur efficacité technique au cours d'un match de football (Carling & Dupont, 2011). A la différence des autres postes, il semblerait que leur meilleure forme physique (Stolen et al., 2005) et leur capacité à économiser leur énergie (Edwards & Noakes, 2009) leur permettraient de réduire les effets de la fatigue sur ces performances d'ordre techniques (Rampinini et al., 2009). D'ailleurs, la particularité des milieux rend leur performance bien différente de celle des défenseurs et des attaquants (ATT), puisque ces derniers dépendent davantage de la possession du ballon, quand les milieux sont impliqués dans toutes les phases de jeu, offensives et défensives. Ils sont d'ailleurs connus pour avoir la plus grande activité technique et la plus grosse implication physique sur un terrain de football lors d'un match (Dellal et al., 2010a). Les postes de jeu auraient donc pu influencer les résultats d'une étude à l'autre. Enfin, la multitude des facteurs contextuels et environnementaux, dont font partie le système de jeu (Bradley et al., 2011) et le lieu du match (Lago-Peñas & Lago-Ballesteros, 2011), qui seront détaillés dans le **chapitre IV**, sont également une possible explication des différences entre études, puisque ces facteurs induisent de grandes variabilités d'un match à l'autre.

### *Les dribbles*

La capacité à dribbler un adversaire, balle au pied, est une compétence qui a, de tout temps, démarqué les meilleurs joueurs. En *Liga* espagnole, une moyenne de 22,0-24,4 dribbles pour 14,2-15,9 dribbles réussis, soit ~65%, a été reportée (Lago-Peñas & Lago-Ballesteros, 2011). Les postes défensifs que sont les DC, les arrières latéraux (AL) et les milieux défensifs centraux (MDC) auraient un pourcentage de dribbles réussis supérieurs aux postes offensifs (50-55%) (Dellal et al., 2010a), ce qui pourrait sembler paradoxal en premier abord. En effet, les qualités techniques de dribbles des milieux latéraux (ML), milieux offensifs centraux (MOC) et des ATT sont censées être supérieures à celles des défenseurs, en lien direct avec leurs rôles tactiques dans le jeu, puisqu'ils doivent éliminer leurs adversaires directs pour les prendre de vitesse et déséquilibrer l'équipe adverse. Mais les pourcentages de réussites plus élevés aux postes défensifs s'expliquent principalement par le fait que les joueurs aux postes offensifs effectuent leurs dribbles dans des zones éloignées de leur propre but, et prennent ainsi plus de risques. La réussite dans ce cas est alors moins grande que pour les postes du secteur défensif qui sont, eux, dans l'obligation de réussir leur dribble sous peine de créer un grand danger de but contre leur propre équipe. Une diminution du glycogène musculaire n'a pas entraîné de diminution dans la capacité à dribbler de joueurs de football amateurs (Abt et al., 1998), cependant aucune étude ne s'est penchée sur son évolution au cours d'un match. D'autres perspectives d'études sont également ouvertes quant à l'analyse de l'évolution de la vitesse de dribble en match, qui, elle, s'est vu diminuer après un exercice intense de 45 minutes (Stone & Oliver, 2009).

### ***Les tirs, les tirs cadrés et le rapport tirs/but***

Pour gagner un match, une équipe doit marquer plus de buts que son adversaire. Ainsi, la capacité à marquer des buts est une des compétences élémentaires du football (Jinshen et al., 1991). Le nombre de tirs, de tirs cadrés et l'efficacité tirs/but ont été reportés comme étant des facteurs discriminants de la victoire en match de Ligue des Champions (Lago-Peñas et al., 2010, 2011). Un récent rapport de la coupe du monde de 2014 du Brésil a d'ailleurs reporté que le nombre de tirs cadrés était l'indicateur le plus relié à la victoire du match disputé (Liu et al., 2015), confirmant ce qui avait été observé sur le nombre de tirs et de tirs cadrés lors des coupes du monde en 2002 du Japon/Corée, en 2006 en Allemagne et en 2010 en Afrique du Sud (Castellano et al., 2012). Le nombre de tirs cadrés est un indicateur à la fois quantitatif et qualitatif puisqu'il représente les tirs qui, sans obstacle humain (e.g. joueurs et/ou gardien de but adverse), auraient amené un but. D'ailleurs, la qualité des tirs effectués par une équipe a été reportée comme étant plus importante que la quantité de tirs effectués, pour gagner un match en *Bundesliga* allemande (Yue et al., 2014). En *Liga* espagnole, 11,8-14,7 tirs, 4,38-5,60 tirs cadrés pour 1,24-1,66 buts marqués ont été recensés, soit 1 but tous les 10-11 tirs, en moyenne pour une équipe sur un match (Lago-Peñas & Lago-Ballesteros, 2011). Individuellement, les ATT auraient une moyenne de ~3 tirs par match, contre ~1 chez les MC et ~0.5 chez les DC et les AL, quel que soit le classement final de leur équipe, toujours en *Liga* (Liu et al., 2016). En revanche, les ML du haut de tableau réalisaient ~4 tirs par match contre ~2 pour les ML de bas de tableau (Liu et al., 2016), ce qui pourrait indiquer que l'implication tactique offensive des ML dans le dernier geste serait un facteur favorable dans ce championnat. La précision des tirs a été reportée comme étant impactée

négativement par un exercice intense de 45 minutes (Stone & Oliver, 2009), en revanche aucune étude ne s'est attardée sur son évolution au cours d'un match. L'impact de l'apparition de la fatigue en match, sur les indicateurs de tir, reste également à investiguer.

### ***Les duels***

Les duels sont toutes les actions où deux joueurs, adversaires, se disputent le ballon. Les duels sont omniprésents en football. En moyenne,  $229,5 \pm 34,5$  duels ont lieu en match de *Bundesliga* (Link & de Lorenzo, 2016), avec des moyennes individuelles comprises entre 10 et 45 lors de matchs professionnels de Ligue 1, répartis en 6,9-30,2 (~65%) de duels au sol et 3,3-18,5 (~35%) de duels aériens (Dellal et al., 2010a). D'un championnat à l'autre, le nombre de duels peut varier du simple au triple, notamment en comparant la *Liga* espagnole (~10 à 19 par joueur) et la *Premier League* anglaise (~35 à 47 par joueur) (Dellal et al., 2011). De telles observations indiquent que les styles de jeu et les influences d'un championnat ont des impacts significatifs sur les profils d'activité des joueurs en match. Les pourcentages de duels gagnés varient selon des moyennes de 35,0 à 62,9% en fonction des postes de jeu, avec les DC et les AL (50,1-62,9%) ayant les meilleurs taux et les ATT (35,0-51,2%) les moins bons (Dellal et al., 2010a, 2011). Ces différences sont très certainement dûes au fait que les défenseurs sont la plupart du temps en plus grand nombre numérique dans leur zone, en position face au jeu, bien placés pour anticiper les choix de l'adversaire, et avec comme mission principale de devoir récupérer le ballon dans un duel, contrairement aux ATT qui doivent prendre plus de risques pour tromper la vigilance des défenseurs. Le pourcentage de duels gagnés est une information qui a son importance pour mesurer la performance en football. En effet, ce gain a comme conséquence directe les reprises de possession du ballon, et/ou la création de déséquilibre pouvant mener à des situations de marquer des buts. Un rapport sur la coupe du monde de 2002 a montré que l'équipe qui gagnait le plus de duels dans les zones excentrées gagnait le match systématiquement (Jacquet et al., 2002), en lien direct avec l'élimination de l'adversaire direct dans un couloir pour aller centrer devant le but. Cependant, en 15 ans, le football a bien évolué (Wallace & Norton, 2014) et de nouvelles analyses seraient requises dans ce domaine pour observer les évolutions de l'importance des duels avec le temps.

### ***Les tacles et interceptions***

Le tacle est une action défensive qui sert à récupérer le ballon en le prenant directement à un adversaire, par action d'opposition. L'interception est une récupération du ballon le temps d'une passe, grâce à une anticipation du jeu et/ou sur un déplacement. Le nombre de tacles a été quantifié à 1,0-1,6 par joueur en match de *Serie A* (Rampinini et al., 2009) et 2,1 en *Liga* (Liu et al., 2016). Les AL et les MC sont ceux qui en réalisent le plus, avec des moyennes autour de 2,5-2,8, suivi des CD (~2), des ML (~1,3-1,7) et des ATT (0,6-0,9) (Liu et al., 2016). Plus une équipe réalisait de tacles, lors de la coupe du monde 2014, plus sa probabilité de gagner le match était grande (Liu et al., 2015), mais aucune différence n'était observée entre les trois meilleures et les trois équipes les moins bien classées de *Liga* (Liu et al., 2016). Le nombre moyen d'interceptions par joueur a été observé autour de 1,7 par match, avec les CD et les AL qui en réalisent le plus (~2,1-2,5), suivis des MC (~1,7-1,9) et

des ML et des ATT (~0,3-0,9) (Liu et al., 2016). Bien entendu, les postes défensifs sont plus à même de réaliser ces gestes de tacles et d'interception puisqu'ils sont davantage impliqués dans les phases de récupération du ballon que les postes à vocation offensive.

### ***Les fautes et les hors-jeu commis***

Une faute est une infraction commise par un joueur et celle-ci est pénalisée par l'arbitre. Un hors-jeu est comptabilisé lorsqu'un joueur en position de hors-jeu est pénalisé par un coup franc pour l'adversaire. Un total de fautes aux alentours de 16,7 a été observé en match de *Liga*, soit 1,3 fautes commises par joueur (Lago-Peñas & Lago-Ballesteros, 2011 ; Liu et al., 2016). Dans leur analyse des trois coupes du monde de 2002 à 2010, Castellano et al. (2012) ont reporté un nombre systématiquement inférieur de fautes commises par les équipes qui gagnaient. Ils ont également reporté une baisse de ce nombre de fautes d'année en année avec ~17 fautes commises par les vainqueurs de match en 2002 et 2006, contre ~14 en 2010 (Castellano et al., 2012). D'un poste à l'autre, les MC sont ceux qui en réalisent le plus avec en moyenne 1,6-1,7 contre 1,0-1,3 pour les autres postes de jeu (Liu et al., 2016). Sans doute parce qu'ils ont une implication défensive assez éloignée de leur propre but, qui rend les fautes qu'ils commettent moins dangereuses, contrairement à celles commises par les défenseurs, qui induiraient des coup-francs plus risqués, car plus proches de leur propre but. En moyenne, 2,52-2,78 hors-jeu seraient commis par équipe en match de *Liga*, soit 0,2-0,3 par joueur (Lago-Peñas & Lago-Ballesteros, 2011 ; Liu et al., 2016). Parmi eux, les attaquants ont la moyenne la plus élevée proche de ~1 hors-jeu par match (Liu et al., 2016). Les équipes qui gagnaient leur match de *Liga* avaient un plus grand nombre de hors-jeu commis que leur adversaire (Lago-Peñas et al., 2010), très certainement comme un marqueur de la présence dans la zone offensive et du nombre de tentatives de progression et/ou de déséquilibre de l'adversaire dans la zone offensive, au plus proche du but adverse.

## **ii) La relation avec la tactique**

### ***Les styles de jeu***

La stratégie et les tactiques sont des facteurs très importants qui influencent les données d'un match de football, ainsi que son résultat final (Yiannakos & Armatas, 2006). Une stratégie a été définie comme étant un plan conçu et adopté afin d'atteindre un objectif précis, et ce, en appliquant des tactiques spécifiques à l'activité (Carling et al., 2005). En football par exemple, les équipes adoptent une combinaison de styles de jeu offensifs et défensifs dans le but d'augmenter leur probabilité de gagner le match. Un style de jeu pourrait être considéré comme le comportement général de l'équipe lors des phases offensives (équipe en possession du ballon) et des phases défensives (quand l'équipe n'a pas la possession du ballon). Dans ce sens, Fernandez-Navarro et al. (2016) ont récemment observé les styles de jeu des équipes de *Premier League* et de *Liga* en distinguant les six facteurs suivants: des passes latérales et une grande possession de balle ou un grand nombre de passes du tiers défensif au tiers offensif ; un regain de la possession proche de la touche ou en zone centrale ; un grand pourcentage du temps de possession du ballon dans le tiers défensif ; une possession en largeur ou en longueur en phase offensive ; un pressing faible ou

important ; une capacité collective à progresser avec le ballon.

### ***Les phases offensives : la possession du ballon / la durée de possession du ballon***

Parmi tous ces facteurs, la possession du ballon a été mesurée à 64% pour le vainqueur du championnat de *Liga* en 2009, contre 53% pour le deuxième, et moins pour les suivants (Lago & Dellal, 2010), et a également été observée comme étant d'une durée plus élevée pour les vainqueurs de *Premier League* (Jones et al., 2004). Cependant elle reste un élément controversé quant à son influence sur la capacité à gagner, notamment parce qu'elle serait influencée par un grand nombre de facteurs contextuels comme le niveau de jeu, le type de compétition ou encore le fait de jouer à domicile ou à l'extérieur (Collet, 2013). En lien avec la possession, la durée de chaque possession est un autre indicateur tactique de l'activité. La longueur des séquences de passes aurait une influence sur le résultat final puisque les séquences courtes amèneraient un meilleur ratio tirs/buts, notamment parce qu'elles ont lieu lors de phases de jeu-direct, ou en contre-attaque, face à une équipe potentiellement en situation de déséquilibre, et donc plus fragile et à même d'encaisser des buts (Tenga et al., 2010a, 2010b). Dans un rapport datant de plusieurs dizaines d'années, les séquences de trois passes et moins précédaient 80% du nombre de buts total et à un ratio de tirs/buts à 1/10 (Reep et al., 1971). De telles observations étaient confirmées quelques années plus tard par l'analyse de différentes coupes du monde FIFA (Franks et al., 1990 ; Hughes et al., 1988 ; Partridge & Franks, 1989a, 1989b ; Grehaigne, 1999). Le rapport de la coupe du monde 2014 a montré que le nombre de tirs lors de contre-attaques était un facteur qui augmentait la probabilité de victoire en match (Liu et al., 2015), renforçant l'importante particularité des séquences de passes courtes.

Récemment, Winter & Pfeiffer (2016) ont analysé quatre facteurs tactiques comme étant les plus prédictifs de la victoire en match : (i) la capacité à changer de statut rapidement à la perte du ballon, afin de ne pas subir une situation de déséquilibre. Certains auteurs ont d'ailleurs reporté que la vitesse de récupération d'un ballon était plus grande chez les meilleures équipes de *Bundesliga* (Vogelbein et al., 2014) ; (ii) la capacité à changer de statut lors de la récupération du ballon, afin de profiter de la situation de désordre adverse et de possible déséquilibre favorable pour marquer (Tenga et al., 2010a, 2010b) ; (iii) la vitesse dans le jeu, mesurée grâce à la vitesse du ballon, le nombre de passes par minute ou le nombre de touches de balle, par exemple ; (iv) et l'efficacité dans le jeu ouvert, à savoir la capacité à profiter de l'espace libre pour créer une situation de but. Un récent rapport de la coupe du monde de 2006 complète ces facteurs tactiques en y ajoutant l'occupation de la zone du point de pénalty comme prédicteur d'une augmentation du nombre de buts marqués (Ruiz-Ruiz et al., 2013). Leurs recommandations sont doubles puisqu'au-delà de l'aspect offensif de l'intérêt d'avoir des joueurs dans cette zone du terrain, ils ont également suggéré, d'un point de vue défensif, d'empêcher les adversaires de faire de même dans leur surface de réparation (Ruiz-Ruiz et al., 2013). De telles informations sont extrêmement précieuses pour les entraîneurs vis-à-vis de la planification de leurs entraînements et de l'établissement des principes de jeu de leur équipe. La limite de tels indicateurs est qu'ils nécessitent un œil d'expert dans leur reconnaissance et leur quantification.

### ***Les phases défensives : la zone de récupération du ballon / le pressing / l'équilibre numérique / le changement de statut***

D'un point de vue défensif, trois aspects semblent importants dans l'analyse tactique d'une équipe : la zone de récupération du ballon, la notion de pressing et l'équilibre de la défense (MacKenzi & Cushion, 2013). La récupération du ballon, proche de son propre but, en zone médiale ou dans le troisième tiers du terrain, aurait son importance puisqu'elle influencerait grandement la victoire si elle est effectuée dans le dernier tiers du terrain (MacKenzi & Cushion, 2013). En lien direct avec la récupération du ballon, la notion de pressing, ou la capacité à mettre une pression spatiale et temporelle sur le porteur de balle adverse et ses coéquipiers, a également été étudiée. Szczepanski (2008) a proposé un modèle d'efficacité de différentes stratégies en football, en prenant en compte le joueur dans une situation où il était sous pression, ou non. Cependant, il n'a pas proposé de réelle définition de cette notion de « pressing » d'un point de vue spatial et temporel laissant place à plus d'ambiguïté que toute autre conclusion possible sur ce sujet (MacKenzi & Cushion, 2013). Enfin, la notion d'équilibre dans la défense, si le deuxième défenseur est à plus ou moins cinq mètres du premier, en situation défensive et si il y a, ou non, un troisième défenseur en couverture derrière le ou les deux premiers (Tenga et al., 2010a), est également un élément tactique discriminant dans l'analyse de la performance (MacKenzi & Cushion, 2013).

Il existe un certain nombre d'indicateurs de la performance tactico/technique en football, mais parmi eux, seule la notion de capacité à effectuer des passes a été reliée à l'apparition de fatigue sur des jeunes joueurs (Rampinini et al., 2009). La grande limite dans l'utilisation de ces indicateurs est le niveau de variabilité qu'il existe d'un match, d'une équipe et d'un championnat à l'autre (Yamanaka et al., 1997, 2002 ; Dellal et al., 2011). De plus, les composantes tactico/techniques de la performance sont grandement influencées par le style de jeu de l'équipe (Fernandez-Navarro et al., 2016) et l'influence de son championnat (Bosca et al., 2009). Ainsi, les informations récoltées sont à analyser dans un contexte particulier et la comparaison de résultats d'un contexte à un autre risque d'augmenter les biais d'interprétation. Si de tels marqueurs sont cruciaux pour le suivi de l'activité au plus proche de la pratique spécifique, leur utilisation dans un processus de suivi de la fatigue ou de la charge de travail ne s'avère pas pertinente à ce jour. Les grandes perspectives de recherche résident dans la modélisation et la quantification de la dépense énergétique en lien à chaque réalisation technique et, d'un point de vue plus large, à chaque style de jeu, afin que ces indicateurs soient également comptabilisés dans la charge globale, avec un indicateur (la dépense énergétique par exemple) qui permettrait de mettre en commun toutes les données recueillies.

## **b) Les performances athlétiques**

L'activité physique réalisée lors d'un exercice est influencée par des variables objectives simples comme la durée (des exercices, de la séance, des récupérations) et l'intensité (types d'exercice, intensité demandée par les entraîneurs, engagement, etc.) de la séance (Mujika & Padilla, 2003). Basée sur l'utilisation des systèmes de positionnement par satellite (de l'anglais *global positioning system*) (GPS) et les systèmes de capture du

mouvement, la quantification de la charge externe a d'abord été centrée sur les distances totales parcourues et/ou sur les temps passés aux différentes vitesses (Aughey, 2011; Hill-Haas et al., 2011). Basés sur les données récoltées, des profils d'activité ont été conçus dans le but de quantifier précisément l'activité de chaque joueur à travers les distances parcourues, les temps d'implication et les vitesses de déplacements de chaque joueur. Cependant, avec cette approche, la totalité de l'activité physique n'était pas évaluée puisque tous les mouvements, comme les sauts et les tacles par exemple, qui impliquent une forte puissance sans vitesse de course, n'étaient pas pris en compte. De plus, le coût énergétique lié aux accélérations, aux décélérations et aux changements de direction, et qui sont une composante importante des déplacements spécifiques du footballeur, était par là même sous-estimé (Bradley et al., 2009; Gaudino et al., 2013). Ainsi, des auteurs ont récemment inclus ces marqueurs d'accélération et de décélération dans les profils d'activité et ont ensuite étudié une mesure estimant la puissance métabolique, calculée à partir du coût énergétique et de la vitesse de déplacement (Osgnach et al., 2010). Dans cette partie, ces différents paramètres utilisés pour quantifier les performances physiques dans la pratique du football sont présentés avec une mise en avant de leur fiabilité, validité, limites et intérêts pour être intégrés dans un processus de suivi du joueur de football (Coutts & Duffield, 2010, Castellano et al., 2011a ; Hill-Haas et al., 2011 ; Kelly et al., 2014).



**Photo 1 :** Séances d'entraînement physique dissocié (à gauche) et intégré (à droite) avec GPS.

### **i) Les différentes classifications d'intensité**

Pour mesurer l'activité physique des joueurs de football, de nombreuses technologies ont été utilisées, comparées et validées scientifiquement : des systèmes semi-automatiques à multiples caméras, d'autres basés sur l'analyse vidéo des déplacements en fonction du temps, et les GPS (Carling et al., 2008; Randers et al., 2010; Coutts & Duffield, 2010; Castellano et al., 2011a; Kelly et al., 2014). Quel que soit le système utilisé, on retrouve dans la littérature des catégories de vitesses prédéfinies pour mesurer l'intensité de l'activité, en match et à l'entraînement, distinguant les distances parcourues en : piétinant ( $0-0,7 \text{ km.h}^{-1}$ ), marchant ( $0,2-2 \text{ m.s}^{-1} = 0,07-7,2 \text{ km.h}^{-1}$ ), trottinant ou courant à basse intensité ( $2-4 \text{ m.s}^{-1} = 7,2-14,4 \text{ km.h}^{-1}$ ), courant à intensité modérée ( $4-5,5 \text{ m.s}^{-1} = 14,4-19,8 \text{ km.h}^{-1}$ ), courant vite ou à HI ( $5,5-7 \text{ m.s}^{-1} = 19,8-25,2 \text{ km.h}^{-1}$ ) et en sprintant ( $>7 \text{ m.s}^{-1}$  ou  $>25,2 \text{ km.h}^{-1}$ ) (Rampinini et al., 2007a). D'une étude à l'autre, piétiner, marcher et trottiner pouvaient être regroupés en une seule catégorie d'activités dite à « basse intensité » ( $0-3 \text{ m.s}^{-1} = 0-11 \text{ km.h}^{-1}$ ) (Di Salvo et al.,

2007). Les classifications des HI et des sprints pouvaient avoir différentes limites (HI: 5,5-6,5 m.s<sup>-1</sup> = 19,8-23,4 km.h<sup>-1</sup>; sprint: >6,5 m.s<sup>-1</sup> ou >23,4 km.h<sup>-1</sup>) (Di Salvo et al., 2007), ou être considérés quelque peu différemment en séparant les hautes (>14,4 km.h<sup>-1</sup>) et très hautes intensités (THI) (>19,8 km.h<sup>-1</sup>) (Rampinini et al., 2007a, 2009). Les différentes catégories de vitesse rencontrées dans la littérature sont résumées dans le **tableau 1**. Il est intéressant de constater que les calibrations les plus élevées n'ont jamais dépassé 25,2 km.h<sup>-1</sup>, sauf dans l'étude de Mohr et al. (2003), et qu'il n'existe aucune étude s'étant attardée sur l'analyse de l'activité physique en match en décrivant des distances parcourues à des vitesses proches des vitesses maximales atteintes en match (observées entre 29 et 35 km.h<sup>-1</sup> lors de matchs professionnels, (Dellal, 2008 ; Djaoui et al., 2017).

**Tableau 1.** Différentes catégories de vitesses pour l'analyse de l'activité physique du joueur de football.

Auteurs	En piétinant (km.h <sup>-1</sup> )	En marchant (km.h <sup>-1</sup> )	En trottinant (km.h <sup>-1</sup> )	Basse intensité (km.h <sup>-1</sup> )	Intensité modérée (km.h <sup>-1</sup> )	Haute intensité (km.h <sup>-1</sup> )	Très haute intensité (km.h <sup>-1</sup> )	En sprintant (km.h <sup>-1</sup> )
Mohr et al. (2003)	0	6	8	12	15	18	/	30
Di Salvo et al. (2007)	0 à 11			11,1 à 14	14,1 à 19	19,1 à 23	/	> 23
Rampinini et al. (2007a)	/	/	/	/	/	> 14,4	> 19,8	> 25,2
Rampinini et al. (2007b)	0 à 0,7	0,7 à 7,2	7,2 à 14,4	/	/	“En courant” 14,4 à 19,8	“En courant vite” 19,8 à 25,2	> 25,2
Rampinini et al. (2009)	/	/	/	/	/	> 14	> 19	/
Bradley et al. (2009)	0 à 0,6	0,7 à 7,1	7,2 à 14,3	/	/	“En courant” 14,4 à 19,7	“En courant à haute-vitesse” 19,8 à 25,1	> 25,1
Di Salvo et al. (2009)	< 7,2		< 14,4	/	“En courant” < 19,8	> 19,8	/	> 25,2
Vigne et al. (2010)	/	< 5	5 à 13	“En dessous du seuil anaérobie” 13 à 16		“Au dessus du seuil anaérobie” 16 à 19		> 19
Castellano et al. (2011b)	0 à 11			11,1 à 14	14,1 à 17	17,1 à 21	21,1 à 24	> 24

## ii) Courses et distances parcourues aux différentes intensités, selon les postes de jeu

Ces catégorisations ont permis de quantifier l'activité physique d'un match de football, avec comme moyenne de référence ~10-12 km de distance totale parcourue (DTP) réparties en ~7 km de course à basse intensité, ~1,4-2,0 km de course modérée, ~1,8-3,0 km à HI et ~0,6-1,0 km à THI chez des joueurs professionnels (Di Salvo et al., 2007 ; Rampinini et

al., 2007a). On peut également utiliser ces catégorisations de vitesse pour obtenir des informations sur les temps passés aux différentes intensités, avec par exemple ~300 sec à piétiner, ~3100-3500 sec à marcher, ~1300-1700 sec à trotter, ~300-500 sec à courir, ~80-120 sec à courir vite et ~20-30 sec à sprinter pour des joueurs professionnels (Rampinini et al., 2007a). Pour revenir aux distances parcourues, elles peuvent également être exprimées en distance par minute avec l'équivalent de moyenne de DTP aux alentours de 123 m.min<sup>-1</sup>, réparties en ~47 m.min<sup>-1</sup> de marche, ~36 m.min<sup>-1</sup> de trot, ~17 m.min<sup>-1</sup> de course modérée, ~11 m.min<sup>-1</sup> de HI et ~12 m.min<sup>-1</sup> de THI chez des professionnels de *Serie A* italienne (Vigne et al., 2010). Si les distances parcourues informent sur la charge en terme de volume, la perspective relativisée en mètres par minute permet d'avoir un aperçu de la charge en terme d'intensité, puisqu'elle prend en compte les déplacements sans l'influence du temps de pratique (Casamichana & Castellano, 2014). Le nombre de sprints réalisés, mesuré entre 20 et 40 chez des joueurs de *Premier League* anglaise (Gregson et al., 2010), peut également être utilisé afin d'obtenir une information supplémentaire sur l'activité physique en terme de volume. Enfin, toutes ces distances parcourues à différentes vitesses peuvent également être exprimées en % des DTP, avec ~62% des distances effectuées à basse intensité, ~15,5% à trotter, ~10% à courir, ~8% à HI, ~2,5% à THI et ~2% à sprinter chez des joueurs de *Liga* espagnole (Castellano et al., 2011b). Les profils d'activité des différentes catégories rencontrées dans la littérature sont résumés dans le **tableau 2**.

**Tableau 2.** Performances athlétiques réalisées en match en fonction des différentes catégorisations de vitesse

Auteurs	Période analysée	DTP	En piétinant	En marchant	En trotinant	Basse intensité	Intensité modérée	Haute intensité	Très haute intensité	En sprintant
Mohr et al. (2003)	Match entier	10,86 ± 0,18 km	19,5 ± 0,7 %	41,8 ± 0,9 %	16,7 ± 0,9 %	9,5 ± 0,4 %	4,5 ± 0,3 %	2,8 ± 0,2 %	/	1,4 ± 0,1 %
Di Salvo et al. (2007)	1 <sup>ère</sup> MT	5709 ± 485 m	3496 ± 148 m			851 ± 188m	894 ± 251 m	304 ± 118 m	/	165 ± 959 m
	2 <sup>ème</sup> MT	5684 ± 663 m	3535 ± 302 m			803 ± 187m	865 ± 255 m	301 ± 110 m	/	172 ± 949 m
Rampinini et al. (2007a)	Match entier	[10712-12011] ± [669-747]* m	/	/	/	/	/	[2314-3192] ± [347-753]* m	[779-1014] ± [120-194]* m	[164-235] ± [45-76]* m
Rampinini et al. (2007b)	Match entier	NC	[238-310] ± [76-101]* s	[3103-3549] ± [207-213]* s	[1361-1726] ± [155-174]* s	/	/	[278-467] ± [59-76]* s	[76-123] ± [18-26]* s	[18-31] ± [10-12]* s
Rampinini et al. (2009)	Match entier	11828 m	/	/	/	/	/	3947 m	1224 m	/
Bradley et al. (2009)	1 <sup>ère</sup> MT	5422 ± 561 m	/	1889 ± 183 m	2172 ± 338 m	/	/	879 ± 237 m	326 ± 111 m	123 ± 59 m
	2 <sup>ème</sup> MT	5292 ± 508 m	/	1929 ± 145 m	2052 ± 315 m	/	/	827 ± 221 m	336 ± 114 m	132 ± 68 m
Di Salvo et al. (2009)	Match entier	NC	NC		NC	/	NC	[681-1049] ± [106-143]* m	/	[167-262] ± [46-63]* m
Castellano et al. (2011b)	MT moyenne	5667 ± 450 m	3495 ± 155 m			881 ± 168 m	584 ± 166 m	445 ± 139 m	145 ± 61 m	117 ± 76 m

\*rangs moyens; MT = mi-temps ; DTP = distance totale parcourue ; NC = non communiqué

Ces distances sont amenées à varier d'un joueur à l'autre selon son poste de jeu (Sarmiento et al., 2014). Au début des années 90, les chercheurs impliqués dans la recherche sur les performances en football ont d'abord différencié trois positionnements différents sur un terrain (sans compter le gardien de but) : les défenseurs, les milieux de terrain, les ATT (Bangsbo et al., 1991). Dans cette configuration, les milieux parcouraient 10% de DTP de plus que les deux autres, avec 11.4 km, sans qu'aucune différence ne soit observée dans les HI (Bangsbo et al., 1991). Une vingtaine d'années plus tard, il a été démontré que tous les défenseurs et que tous les milieux de terrain n'avaient pas la même activité sur un terrain de

football, qu'ils soient dans l'axe ou sur un côté, à vocation offensive ou défensive (Dellal et al., 2010a). Ainsi, jusqu'à six postes de jeu pouvaient être différenciés: les DC, les AL, les milieux défensifs centraux (MDC), les ML, les milieux offensifs centraux (MOC) et les ATT.

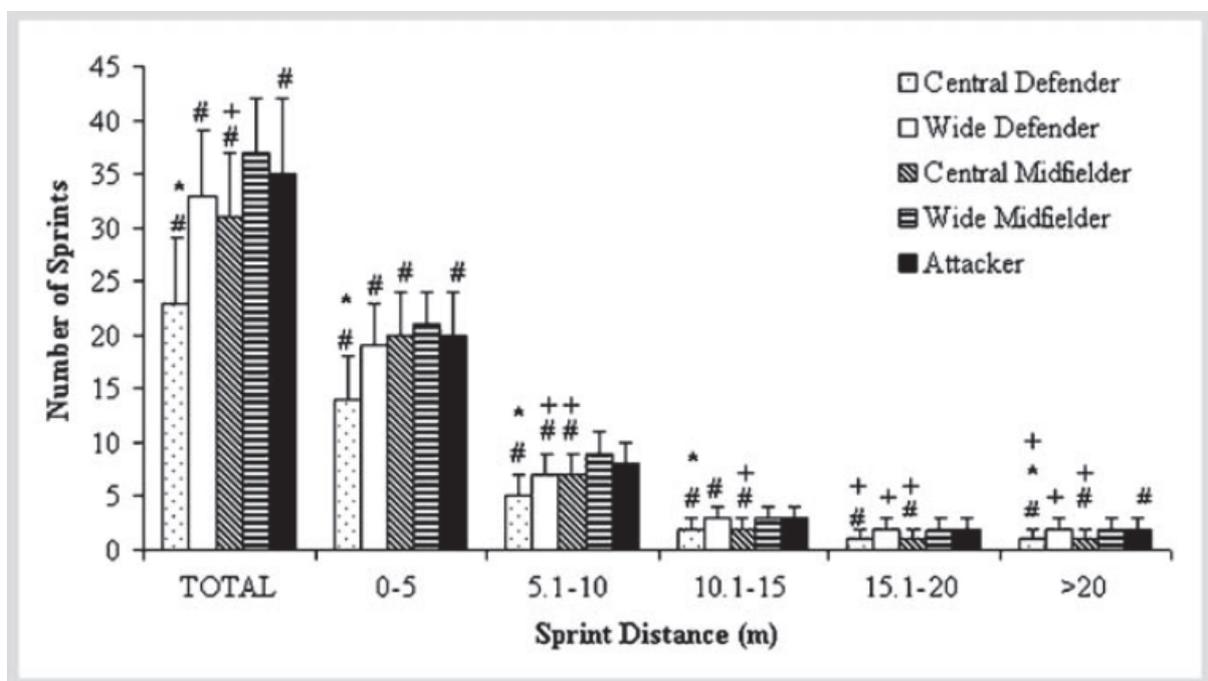
**Tableau 3.** Performances athlétiques en match de football en fonction du poste de jeu

Références	Performance	DC	AL	MC	ML	ATT	Observation principale
<i>Akenhead et al. (2016)</i>	Distances totales (m) « accélérées »	421	463	502	461	435	ML=MC > DC=AL=ATT
<i>Akenhead et al. (2016)</i>	Distances totales (m) « décélérées »	360	405	441	411	378	Pas de différences significatives
<i>Gregson et al. (2010)</i>	Nombre total de sprints	34,6 ± 10,6	29,5 ± 11,0	33,1 ± 11,2	24,9 ± 10,2	26,5 ± 12,6	MC=DC > AL > ML=ATT
<i>Di Salvo et al. (2009)</i>	Distances (m) parcourues >25,2km.h <sup>-1</sup>	167 ± 53	238 ± 55	217 ± 46	260 ± 47	262 ± 63	ML=ATT > AL > MC > DC
<i>Di Salvo et al. (2009)</i>	Distances (m) parcourues >19,8km.h <sup>-1</sup>	681 ± 128	911 ± 123	928 ± 124	1049 ± 106	968 ± 143	ML > A > AL=MC > DC
<i>Di Salvo et al. (2009)</i>	% sprints à accélération explosive	31,4 ± 3,9	30,1 ± 4,1	32,5 ± 4,2	29,9 ± 4,2	28,8 ± 4,6	ATT < DC = (MC > AL=ML=ATT)
<i>Di Salvo et al. (2009)</i>	% sprints à accélération progressive	68,6 ± 3,9	69,9 ± 4,1	67,5 ± 4,2	70,1 ± 4,2	71,2 ± 4,6	ATT > DC = (MC < AL=ML=ATT)
<i>Rampinini et al. (2007)</i>	Temps (s) passés à [14,4-19,8] km.h <sup>-1</sup>	278 ± 62	411 ± 72	467 ± 76	NC	321 ± 59	MC > AL > ATT=DC
<i>Rampinini et al. (2007)</i>	Temps (s) passés à [7,2-14,4] km.h <sup>-1</sup>	1458 ± 155	1601 ± 156	1726 ± 174	NC	1361 ± 160	MC > AL > DC=ATT
<i>Rampinini et al. (2007)</i>	Temps (s) passés à [0,7-7,2] km.h <sup>-1</sup>	3549 ± 213	3241 ± 209	3103 ± 207	NC	3534 ± 210	DC=ATT > AL > MC
<i>Di Salvo et al. (2007)</i>	Distances totales (m) parcourues	10627 ± 1016	11410 ± 708	12027 ± 625	11990 ± 776	11254 ± 804	MC=ML > AL=ATT > DC

Dans cette configuration, ce sont les distances parcourues à HI (21-24 km.h<sup>-1</sup>) et en sprintant (>24 km.h<sup>-1</sup>) qui se précisaient, avec les DC et AL couvrant le moins de distances à HI (respectivement ~230 et ~274 m), les ML et MOC le plus (~335 m), les DC sprintant le moins (~199 m) et les ATT sprintant le plus (~290 m), au sein d'une équipe de Ligue 1 (Dellal et al., 2010a). Au cumul, les DC couvraient la plus basse proportion de distance à plus de 21 km.h<sup>-1</sup>, avec 4,1%, et les ATT la plus grande avec 5,4% (Dellal et al., 2010a). Dans les intensités de marche et de jogging, de 0 à 11 km.h<sup>-1</sup>, pas de différences entre les postes

(~7000m), sur les courses à basses et moyennes intensités (11,1-19 km.h<sup>-1</sup>), les MC, poste combiné des MDC et MOC, parcouraient de plus grandes distances, suivi des ML, des AL et ATT, puis des DC, avec respectivement ~4100m, ~3700m, ~3200m et ~2700m, pour des joueurs de *Liga* espagnole (Di Salvo et al., 2007). Les différences entre postes sont résumées dans le **tableau 3**.

Une analyse complémentaire, celle de Di Salvo et al. (2009), qui ont quantifié les différentes activités de sprint en différenciant les sprints réalisés sur 0-5, 5,1-10, 10,1-15, 15,1-20 et >20m de joueurs de *Premier League* anglaise, a montré que les DC réalisaient le moins de sprints et que les ML en réalisaient le plus, à égalité avec les ATT, sur toutes les distances de sprint entre 5,1 et 20m (**figure 2**). Les postes offensifs et les excentrés sont donc les plus impliqués dans les déplacements aux plus hautes intensités, les milieux axiaux dans l'activité globale.



**Figure 2.** Influence des postes de jeu sur le nombre total de sprints et le nombre de sprints complétés sur différentes distances (Di Salvo et al., 2009).

\* Différent de tous les autres postes de jeu ( $p < 0,05$ ). # Différent des ML ( $p < 0,05$ ). + Différent des ATT ( $p < 0,05$ ).

Au-delà de l'activité de match, des charges d'entraînement au quotidien ont également été analysées et quantifiées avec ces mesures des distances parcourues. Ainsi, des DTP de 3500 à 7000m ont été observées lors de séances d'entraînement de joueurs professionnels (Gaudino et al., 2013; Scott et al., 2013a; Malone et al., 2015; Owen et al., 2016). Dans une récente étude, l'activité de match a été comparée à l'activité d'entraînement de joueurs de football professionnels du championnat australien durant trois saisons consécutives (Scott et al., 2014). Afin que la comparaison soit pertinente, ils ont choisi comme indicateurs les pourcentages de distances parcourues et de temps passés aux différentes catégories de vitesse. Les joueurs avaient ainsi de plus grands % de temps passés en piétinant et de plus grands pourcentages de distances parcourues en marchant et en piétinant pendant les entraînements,

alors que de plus grands pourcentages de temps à marcher et de plus grands pourcentages de temps et de distances à trotter, courir, courir vite, sprinter, avec un plus grand nombre d'efforts par heure à HI, THI et à sprinter étaient observés pendant les matchs (Scott et al., 2014). De telles informations sont cruciales dans le processus de suivi de la charge de travail du joueur au quotidien, car les matchs et les entraînements ne sont pas équilibrés de la même façon. Les différents types d'entraînement et les différentes intensités visées d'une séance à l'autre expliquent les différences observées dans l'activité physique à l'entraînement de l'expérimentation de Scott et al. (2014). En effet, les joueurs ne s'entraînent pas tous les jours avec des intensités proches de celles du match, ils passent beaucoup de temps à récupérer pour être en forme le jour de match, et également certainement pour réduire les risques de blessures (Owen et al., 2015). Un ratio effort/repos, défini par le rapport entre les distances parcourues  $\geq 4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  (effort) et les distances parcourues  $< 4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  (repos ou récupération) peut être utilisé comme un indicateur pour quantifier l'activité physique. Ce ratio a été mesuré aux alentours de 3,5 pendant des entraînements en jeux réduits et de 2,4 pendant des matchs de football de différents niveaux (Barbero et al., 2007; Casamichana et al., 2012). De telles mesures montrent que certains types d'entraînements, comme les jeux réduits, peuvent avoir des intensités plus élevées que la moyenne des entraînements, et même plus élevées que la moyenne des matchs. La maîtrise et la connaissance des charges induites par chaque type d'exercice permettent une meilleure efficacité et une planification optimale des séances de préparation. Les entraîneurs trouveront ainsi un réel équilibre entre ces différents exercices et les différentes séances au sein d'une semaine compétitive, en faisant varier les intensités ciblées sur des volumes précis et variés, dans la perspective du (des) match(s) de la période.

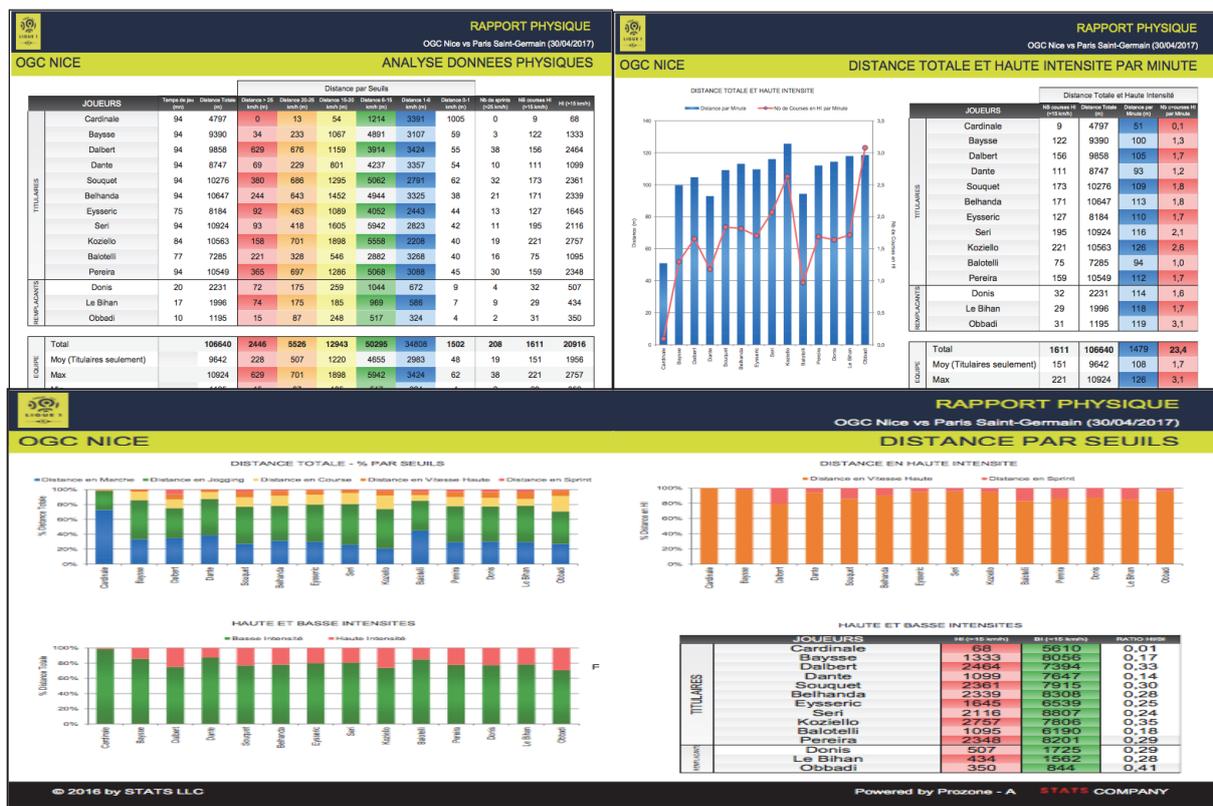


Photo 2: Exemple de rapport athlétique d'un match de Ligue 1.

### **iii) Les courses arrière, les déplacements latéraux et les changements de direction**

Au cours d'un match de football, les courses classiques vers l'avant ne sont pas les seules composantes des profils de l'activité courue des joueurs. Afin de se déplacer tout en restant face au jeu, le regard posé sur le ballon, ou en position optimale pour avoir dans son champ de vision les différentes composantes du jeu (e.g. coéquipiers, adversaires, terrain, ballon), des déplacements en arrière ou sur les côtés sont réalisés tout au long du match. Dans ce sens, il a été observé que les défenseurs couvraient de plus grandes distances en course arrière ( $276 \pm 155$  m) que les ATT ( $68 \pm 25$  m) (Rienzi et al., 2000). La position reculée des défenseurs sur le terrain leur permet d'avoir une vision du jeu plus globale et les courses arrière qu'ils effectuent leur permettant de gagner du temps et de se positionner au mieux afin de maîtriser l'espace qui les entoure, tout en gardant un œil sur le jeu. Les défenseurs réaliseraient également plus de courses arrière à HI que les ATT (Rienzi et al., 2000). Ces dernières représentent une dépense en énergie 20 à 40% plus importante que des courses vers l'avant aux mêmes vitesses (Reilly, 2003; Williford et al., 1998). Ainsi, les défenseurs, notamment les DC, qui réalisent moins de DTP aux différentes intensités compensent leur activité par ces déplacements en arrière, qui leur coûtent plus d'énergie et qui leur permet de maintenir l'équilibre espace/temps face aux ATT. Il a également été constaté qu'ils effectuent plus de déplacements latéraux et de sauts vers l'arrière (Bloomfield et al., 2007), ce qui confirme l'intérêt tactique de tels déplacements.

Au cours d'un match de football, entre 1000 et 1500 changements de direction (CDD) seraient effectués par une équipe (Reilly, 2003). Bloomfield et al. (2007) en ont observé davantage, avec 700 CDD effectués par les défenseurs, 500 par les milieux et 600 par les ATT, avec la majorité de ces changements effectués entre  $0^\circ$  et  $90^\circ$ . Entre  $90^\circ$  et  $180^\circ$ , on ne relève pas de différences entre les postes de jeu, qui en effectuent une centaine chacun. En revanche, entre  $270^\circ$  et  $360^\circ$ , ce sont les milieux et les ATT qui en réalisaient le plus (Bloomfield et al., 2007). Les situations offensives où ces joueurs doivent passer d'une position où ils font face à leur propre but (e.g. possession de balle en zone basse, sortie de but), à une position face au but adverse quand le ballon passe au-dessus de leur tête par exemple, ou tout simplement sur une prise de balle en se retournant, ou encore dans la réalisation d'appels de balle dans la profondeur, pourraient expliquer que les milieux et les ATT en réalisent davantage. Dans le même sens, les ATT et les milieux de terrain effectueraient plus de courses en arc de cercle que les défenseurs, sans doute dans leur volonté de créer de l'espace pour se démarquer d'un adversaire, recevoir une passe dans les pieds ou dans la profondeur (Bloomfield et al., 2007). Ce grand nombre de CDD, quel que soit le poste de jeu, induit une grande implication musculaire qui doit être considérée dans l'analyse de la charge. Des perspectives d'études existent quant à la quantification de ces CDD, courses arrière et latérales au cours de différents types d'entraînements spécifiques au football comme les jeux réduits, afin de déterminer quels formats se rapprochent le plus des valeurs relatives de match.

#### iv) Les accélérations et décélérations

Les distances parcourues ou les temps passés aux différentes vitesses donnent une information globale sur l'activité physique des joueurs. Cependant, cette approche ne permet pas de prendre en compte la demande énergétique liée aux déplacements d'accélération (Accel) et de décélération (Decel), qui impliquent des contractions respectivement concentriques et excentriques plus ou moins fortes. Ces données ont une grande importance, d'autant plus à partir des basses intensités de courses puisqu'elles impliquent de plus grandes Accel pour atteindre des vitesses élevées (Osgnach et al., 2010; Varley & Aughey, 2013), mais également sur les CDD, qui sont connus pour augmenter le stress physiologique et la contribution anaérobie (Dellal et al., 2010b; Buchheit et al., 2010; Akubat & Abt, 2011; Chaouachi et al., 2012; Hatamoto et al., 2013). Bien que les Accel et les Decel aient été associées aux courses à HI ( $r=0,44$  à  $0,55$ ) lors de matchs de football de haut niveau (Castagna et al., 2016), il a été recommandé que le suivi de l'activité physique du joueur de football devait se faire en combinant l'activité avec les catégories de vitesse et les marqueurs d'Accel et de Decel (Dalen et al., 2016), grâce à l'utilisation de GPS fiables et valides pour mesurer de telles données (Varley et al., 2012 ; Portas et al., 2010). Quatre catégories peuvent être considérées pour différencier les Accel et les Decel à intensité basse (respectivement  $0$  à  $< 1$  et  $0$  à  $> -1$   $m.s^{-2}$ ), modérée ( $1$  à  $< 2$  et  $-1$  à  $> -2$   $m.s^{-2}$ ), élevée ( $2$  à  $< 3$  et  $-2$  à  $> -3$   $m.s^{-2}$ ) et maximale ( $\geq 3$  et  $\leq -3$   $m.s^{-2}$ ) (Osgnach et al., 2010; Hodgson et al., 2014). Sur un match, 7 à 10% et 5 à 7% de la charge totale seraient reliés aux efforts respectifs d'Accel et de Decel (Dalen et al., 2016). Pendant un match de haut niveau, un nombre total de  $\sim 610-800$  Accel et Dec, soit  $\sim 7-9$  par minute, a été quantifié, ce qui représente une distance totale de  $\sim 3500-3800m$  ou un temps total de  $\sim 2100-2300$  sec à accélérer et décélérer (Osgnach et al., 2010 ; Akenhead et al., 2013 ; Russell et al., 2016). Au sein de cette activité générale, 2 à 3% était à intensité maximale, 4 à 7% à intensité élevée, 16 à 21% modérée et 67 à 77% à basse intensité (Osgnach et al., 2010). En moyenne, les distances parcourues et les temps passés aux différentes intensités d'Accel et de Decel relevés dans l'étude d'Osgnach et al. (2010) sont présentés dans le **tableau 4**.

**Tableau 4.** Temps passés et distances parcourues en accélérant et en décélérant au cours d'un match de football (Osgnach et al., 2010).

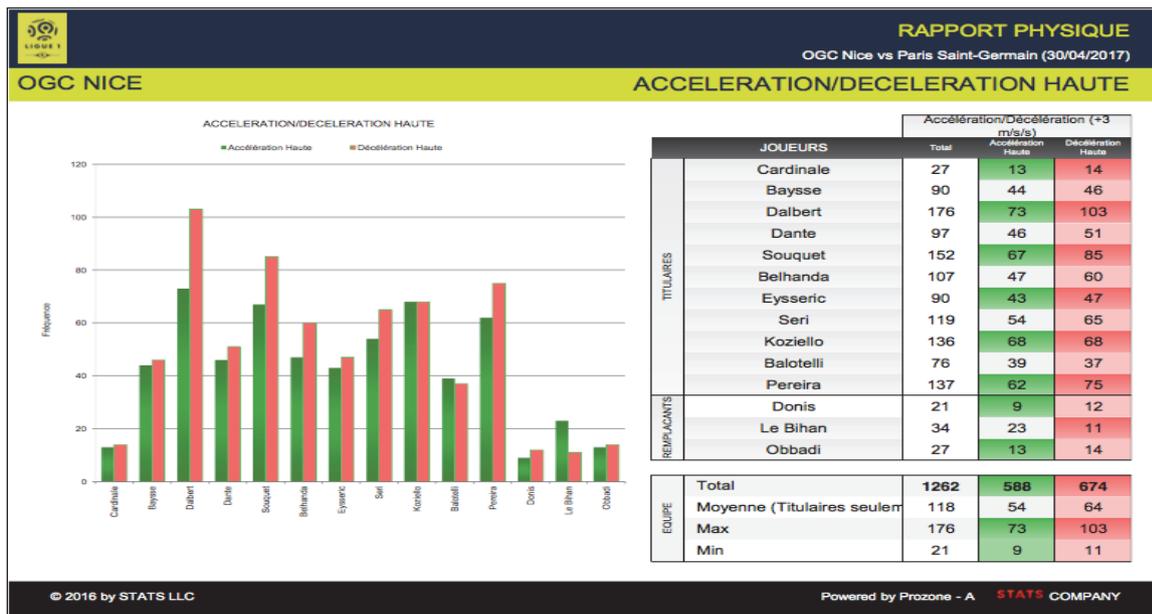
<b>Acceleration Category</b>	<b>T (s)</b>	<b>D (m)</b>
<b>MD (<math>&lt; -3</math> <math>m.s^{-2}</math>)</b>	<b>50 ± 16</b>	<b>188 ± 65</b>
<b>HD (from <math>-3</math> to <math>-2</math> <math>m.s^{-2}</math>)</b>	<b>128 ± 29</b>	<b>411 ± 98</b>
<b>ID (from <math>-2</math> to <math>-1</math> <math>m.s^{-2}</math>)</b>	<b>448 ± 68</b>	<b>1176 ± 206</b>
<b>LD (from <math>-1</math> to <math>0</math> <math>m.s^{-2}</math>)</b>	<b>2282 ± 120</b>	<b>3821 ± 335</b>
<b>LA (from <math>0</math> to <math>1</math> <math>m.s^{-2}</math>)</b>	<b>2152 ± 102</b>	<b>3587 ± 328</b>
<b>IA (from <math>1</math> to <math>2</math> <math>m.s^{-2}</math>)</b>	<b>461 ± 59</b>	<b>1176 ± 184</b>
<b>HA (from <math>2</math> to <math>3</math> <math>m.s^{-2}</math>)</b>	<b>133 ± 29</b>	<b>411 ± 95</b>
<b>MA (<math>&gt; 3</math> <math>m.s^{-2}</math>)</b>	<b>51 ± 18</b>	<b>180 ± 67</b>

M=maximale, H=élevée, I=intermédiaire, L=basse, D=décélération, A=accélération.

En observant les données d'Accel et de Decel d'entraînements de professionnels de *Premier League*, quelques différences entre les postes de jeu ont pu être mises en avant,

notamment les MC qui parcouraient de plus grandes distances en Accel que les DC (Akenhead et al., 2016). Di Salvo et al. (2009) ont proposé de différencier les types de sprints, entre ceux réalisés sur une accélération explosive et ceux réalisés sur une accélération progressive. Le sprint explosif serait caractérisé par un passage d'une position sur-place, ou de tous les déplacements (marche, jogging, course) inférieurs à 19,8 km.h<sup>-1</sup>, à une vitesse de course supérieure à 25,2 km.h<sup>-1</sup> en ayant passé moins de 0,5 sec entre 19,8 et 25,2 km.h<sup>-1</sup>. Les ATT sont ceux qui en réalisent le moins et les MC le plus. Quant aux sprints progressifs, ils sont caractérisés par un passage d'une position sur-place, marchée ou courue, à une vitesse de plus de 25,2 km.h<sup>-1</sup> en ayant passé plus de 0,5 sec entre 19,8 et 25,2 km.h<sup>-1</sup>. Dans ce cas, les rôles s'inversent et les ATT en réalisent le plus et les MC le moins (Di Salvo et al., 2009) (**tableau 3**). Toutes ces observations sont, bien entendu, à mettre en relation avec les rôles tactiques de chaque poste, puisque si les joueurs excentrés sont amenés à exécuter plus de courses aux plus hautes intensités, c'est parce qu'ils doivent déborder leurs adversaires directs pour exécuter des centres en phase offensive, et sprinter pour ne pas être débordés en phase défensive. Les ATT sont également très présents dans les actions intenses pour faire la différence sur les défenseurs et se créer un maximum d'opportunités de marquer. C'est pour cette raison notamment qu'ils sont amenés à réaliser plus de sprints progressifs puisqu'ils ont le temps de préparer leurs courses en demandant souvent le ballon dans la profondeur pour faire la différence, ou en effectuant des courses en courbe. L'activité permanente des MC est due à leur rôle multifonctionnel. Celui-ci les oblige à défendre et à accompagner constamment les phases offensives sur toute la largeur du terrain. Ils sont les joueurs les plus sollicités car plus souvent impliqués dans le jeu. D'ailleurs ils réalisent plus de sprints explosifs parce qu'ils sont énormément sollicités par les changements de statut offensif/défensif qui imposent une réaction rapide et immédiate. Les DC eux, sont surtout impliqués dans la relance, les déplacements du bloc de l'équipe et dans la défense directe face aux ATT adverses. La possibilité pour les DC d'anticiper les courses, en lisant les trajectoires de balle et en prenant du recul sur le terrain leur permet d'avoir moins de sprints à réaliser, contrairement aux ATT qui doivent multiplier les tentatives de débordement, via des appels de balle notamment, pour créer des déséquilibres.

En lien direct avec le suivi de la fatigue à travers la quantification de la charge, l'utilisation des Accel par minute et des Decel par minute s'est montrée intéressante lors d'un tournoi de jeunes où les matchs s'enchaînaient (cinq matchs en trois jours) puisque ce sont les deux seuls marqueurs de l'activité physique (avec le « body load », voir plus bas) à avoir été affectés, en diminuant entre le premier, le deuxième et le cinquième match (Arruda et al., 2015). Dans le même sens, il a été observé qu'une amplification de la fréquence et de l'intensité des Accel intensifiait le stress physiologique et la fatigue perçue (*Rate of Perceived Exertion* (RPE)) chez des joueurs bien entraînés (Akenhead et al., 2015). Tous ces résultats combinés montrent que ces données liées aux accélérations sont essentielles dans le processus de suivi de la charge des joueurs de football, en plus du suivi des distances parcourues aux différentes vitesses. Attention cependant l'interprétation et la comparaison des mesures sont délicates, car des unités GPS différentes peuvent induire de larges variabilités d'une part, et d'autre part, passer d'une unité à une autre réduit les niveaux de fiabilité des mesures (Buchheit et al., 2014).



**Photo 3:** Exemple de rapport d'accélération (en vert) /décélération (en rouge) à haute intensité lors d'un match de Ligue 1.

## v) La puissance métabolique

En lien direct avec les Acc, les Dec, la charge de travail et l'estimation de la dépense énergétique, la puissance métabolique (MP) a été un sujet d'intérêt croissant sans le football ces dernières années. La MP est obtenue à partir du produit des vitesses de course et une estimation du coût énergétique (CE) lors des accélérations/décélérations sur le terrain (di Prampero et al., 2005). La MP a d'abord été utilisée dans le but d'avoir un outil qui estimait mieux la charge physiologique et la dépense énergétique que les catégorisations de vitesse. Ces dernières ont montré leur limite quand il s'agit d'actions qui nécessitent une grande puissance musculaire sans déplacement significatif sur le terrain (Carling et al., 2008). Osgnach et al. (2010) ont utilisé une estimation approximative du développement de la puissance sur vitesse constante transformée en Watt par kg ( $14,4 \text{ km.h}^{-1} = 20 \text{ W.kg}^{-1}$ , par exemple) afin de mesurer le CE de joueurs de football, à partir de la méthode de di Prampero et al. (2005). Ils ont reporté que la quantification avec les vitesses de courses sous-estimait le CE de 8% pendant un match, ce qui confirmait qu'en utilisant MP, la demande anaérobie était supérieure à celle évaluée à partir des catégories de vitesse (Osgnach et al., 2010). Ils ont également proposé une classification d'intensité, avec les puissances basses ( $0-10 \text{ W.kg}^{-1}$ ), intermédiaires ( $>10-20 \text{ W.kg}^{-1}$ ), hautes ( $>20-35 \text{ W.kg}^{-1}$ ), élevées ( $>35-55 \text{ W.kg}^{-1}$ ) et maximales ( $> 55 \text{ W.kg}^{-1}$ ). Pendant l'entraînement, le CE moyen était de  $\sim 25 \text{ kJ.kg}^{-1}$  (de 5 à  $67 \text{ kJ.kg}^{-1}$ ) et la MP moyenne de  $\sim 7.5 \text{ W.kg}^{-1}$  ( $4,6$  à  $12,8 \text{ W.kg}^{-1}$ ) chez des joueurs de *Premier League*, avec 19% de la puissance totale  $>20 \text{ W.kg}^{-1}$  et 13% des DTP  $>14,4 \text{ km.h}^{-1}$ , ce qui confirmait à nouveau les différences (ici une différence de 6%) entre ces deux méthodes de mesure (Gaudino et al., 2013).

La MP a été reportée comme étant fortement associée aux distances parcourues à HI (Castagna et al., 2016), à  $\text{VO}_{2\text{max}}$  et à la vitesse maximale aérobie (Manzi et al., 2014) de joueurs de football de différents niveaux. Cependant, malgré toutes ces informations qui

indiquent qu'un tel outil aurait un certain niveau de pertinence dans la fourniture d'un profil d'activité précis, de nombreux biais ont été reportés dans la mesure de MP par des GPS. En effet, une très basse fiabilité et une importante sous-estimation de la demande énergétique (comparée à un traditionnel calorimètre mesurée à partir de VO<sub>2</sub>) ont été reportées sur des mesures effectuées lors d'exercices spécifiques de football (Buchheit et al., 2015). Des mesures directes (via la consommation d'oxygène) comparées aux estimations du CE ont également questionné la validité interne de l'approche de la MP (Stevens et al., 2015). Ces constatations nous incitent à penser que l'approche de la MP est, pour l'instant, méthodologiquement et scientifiquement trop limitée pour être utilisée comme un outil pertinent dans le suivi du joueur de football.

## vi) Le *Body Load*

L'indicateur communément appelé « *body load* » ou « charge corporelle » en français, est mesuré à partir d'un accéléromètre triaxial couplé à un boîtier GPS. Il est déterminé en utilisant la somme des mesures d'Accel et Decel sur des déplacements latéraux (axe x), avant/arrière (axe y) et verticaux (axe z) à l'aide de l'équation suivante (en unité arbitraire, U.A):

$$\text{Body load} = \sqrt{(\text{acx}_{t=i+1} - \text{acx}_{t=i})^2 + (\text{acy}_{t=i+1} - \text{acy}_{t=i})^2 + (\text{acz}_{t=i+1} - \text{acz}_{t=i})^2} / 100$$

où *acx*, *acy* et *acz* sont les valeurs d'Acc/Decel capturées dans les trois différents plans du système orthogonal (Montgomery et al., 2010 ; Casamichana et al., 2012). Cet indicateur a été reporté comme étant associé avec la FC, le niveau de lactatémie sanguine, les DTP et les RPE (Montgomery et al., 2010; Gomez-Piriz et al., 2011; Casamichana et al., 2013; Sparks et al., 2016). Il peut être utilisé en valeur absolue appelée « *total body load* » et/ou en valeur relative par minute. Environ 13 U.A.min<sup>-1</sup> ont été reportés pendant un match amical et 16 U.A.min<sup>-1</sup> pendant des jeux réduits chez des semi-professionnels (Casamichana et al., 2012). Plus précisément, les milieux de terrain (~365 U.A total, ~15 U.A.min<sup>-1</sup>) ont montré des valeurs plus élevées que les ATT (~299 U.A; ~12 U.A.min<sup>-1</sup>) lors d'un jeu à 11 contre 11 chez des jeunes joueurs de haut niveau (Gonçalves et al., 2014). Enfin, le *body load* semblerait être influencé par le nombre de coéquipiers et le nombre d'adversaires lors de jeux réduits, puisque jouer en petite infériorité (4 vs. 5) ou petite supériorité (4 vs. 3) numérique avait le même impact sur les valeurs de *body load* et l'implication physiologique, et était plus important qu'en situation de grande supériorité (7 vs. 4) (Torres-Ronda et al., 2015). Il est important de noter que l'utilisation du *body load* comme seul indicateur de la charge peut amener à une sous-estimation de la charge totale puisque les actions techniques (tirs, passes, dribbles, etc.) ne sont pas détectées et ne sont donc pas prises en considération (Sparks et al., 2016). Tous réunis, ces résultats promettaient néanmoins d'intéressantes et très larges perspectives d'utilisation par les praticiens pour le *body load*. Cependant, davantage d'expérimentations sont nécessaires afin de vérifier sa validité, sa fiabilité et sa sensibilité sur différents types d'exercices de football, en utilisant différents appareils GPS (Casamichana et al., 2013), bien que certaines marques de GPS aient déjà montré des résultats de validité et de fiabilité scientifiquement intéressants sur d'autres sports d'équipe que le football (Boyd et al., 2011 ; Varley et al., 2012).

## vii) Variations au cours d'un match

		RAPPORT PHYSIQUE											
		OGC Nice vs Paris Saint-Germain (30/04/2017)											
OGC NICE		ANALYSE DONNEES PHYSIQUES - COMPARATIF MI-TEMPS											
		1ère Mi-Temps					2ème Mi-Temps						
		Haute Intensité		Basse Intensité			Haute Intensité		Basse Intensité				
JOUEURS	Distance MT1	Distance > 25 km/h (m)	Distance 20-25 km/h (m)	Distance 15-20 km/h (m)	Distance 6-15 km/h (m)	Distance 1-6 km/h (m)	Distance MT2	Distance > 25 km/h (m)	Distance 20-25 km/h (m)	Distance 15-20 km/h (m)	Distance 6-15 km/h (m)	Distance 1-6 km/h (m)	
TITULAIRES	Cardinale	2138	0	7	24	467	1575	2660	0	7	31	747	1816
	Baysse	4766	7	115	629	2598	1392	4623	27	117	438	2293	1715
	Dalbert	4857	347	377	558	1954	1594	5000	282	299	601	1960	1830
	Dante	4496	40	129	521	2196	1587	4250	29	100	280	2040	1770
	Souquet	5203	220	431	771	2459	1293	5073	160	255	523	2603	1498
	Belhanda	5366	72	336	816	2632	1497	5280	172	307	637	2312	1828
	Eysseric	5235	65	283	777	2574	1518	2949	27	180	312	1479	926
	Seri	5580	60	205	913	3091	1295	5344	33	214	692	2851	1529
	Koziello	5872	60	424	1186	3017	1164	4691	98	277	712	2541	1044
	Balotelli	4376	161	216	343	1752	1879	2908	59	112	203	1131	1389
REPLACANT	Pereira	5238	222	397	704	2382	1512	5311	143	300	582	2686	1576
	Donis	0	0	0	0	0	0	2231	72	175	259	1044	672
	Le Bihan	0	0	0	0	0	0	1996	74	175	185	969	586
Obbadi	0	0	0	0	0	0	1195	15	87	248	517	324	
EQUIPE	Total	53128	1254	2920	7242	25122	16305	53512	1193	2606	5701	25173	18502
	Moy (Titulaires seulement)	5099	125	291	722	2465	1473	4543	92	200	436	1879	1284
	Max	5872	347	431	1186	3091	1879	5344	282	307	712	2851	1830
	Min	4376	7	115	343	1752	1164	1194,54	15	87	185	517	324

Photo 4: Exemple de comparatif athlétique entre les deux mi-temps d'un match de Ligue 1.

Au cours d'un match de football, l'activité physique n'est pas la même du début à la fin. De nombreuses études ont montré que la faculté à exécuter des efforts à HI était réduite en fin de match, et ce à tous les niveaux de pratique (Reilly & Thomas, 1979; Mohr et al., 2003; Krstrup et al., 2006; Mohr et al., 2005). Il a également été observé que les DTP, les distances parcourues à HI et celles parcourues en sprintant étaient réduites en deuxième mi-temps (Reilly & Thomas, 1979; Bangsbo et al., 1991, 1994; Mohr et al., 2003; Barros et al., 2007; Di Salvo et al., 2007, 2009; Rampinini et al., 2007b; Carling et al., 2008; Bradley et al., 2011) (**tableau 5**). Plus précisément il semblerait que les activités à HI étaient réduites lors des 15 dernières minutes d'un match de très haut niveau (Mohr et al., 2003). Des recherches menées une quinzaine d'années en arrière ont montré que la fatigue pouvait également apparaître au cours du match (Mohr et al., 2003). En effet, dans les cinq minutes qui suivaient la période la plus intense du match, l'activité physique à HI était réduite à des niveaux bien inférieurs aux moyennes de match. Ces résultats avaient permis de suggérer qu'il existait une réduction des performances en plein match, juste après une période d'activité très intense. Une autre interprétation aurait été que ces changements dans l'activité étaient une incidence des variations naturelles d'intensité dans un match de football, davantage liées à des raisons tactiques ou psychologiques. Cependant dans une autre étude, des joueurs exécutaient un test de répétition de sprint immédiatement après une activité intense en match, et également à la fin de chaque mi-temps : leur performance était bien réduite après l'activité intense, mais pas en fin de mi-temps, ce qui montrait qu'ils avaient récupéré leur capacité à répéter des sprints, avant la fin du match (Krstrup et al., 2006). Ces

résultats combinés permettent de suggérer que le joueur est soumis à une fatigue temporaire tout au long d'un match de football qui peut potentiellement impacter ses performances physiques.

**Tableau 5.** Comparaison des distances parcourues entre les deux mi-temps de matchs de football de différentes ligues (Abdullah et al., 2012).

League	Distance	Significant decrements in performance?
Swedish	3% greater distance in the first half	Yes
Brazilian	8% greater distance in the first half	Yes
Danish	5% greater distance in the first half	Yes
Italian	3% greater distance in the first half	Yes
Euro cup	1% greater distance in the first half	Yes
English	2% greater distance in the first half	Yes
South American + English	4% greater distance in the first half	Yes

Tous les marqueurs physiques présentés sont influencés par des facteurs tactiques (les postes de jeu, les systèmes de jeu, la possession du ballon, etc.) et de nombreux facteurs environnementaux (Castellano et al., 2011b; Lago-Peñas, 2012; Carling, 2013; Sarmiento et al., 2014). Il est donc crucial de rester prudent dans l'interprétation des variations de ces marqueurs, surtout en cas de présomption d'apparition de fatigue. Dans une récente revue de la littérature, l'auteur a remis en question la pertinence d'interpréter systématiquement une baisse de DTP sur un match comme le signe d'une performance moindre ou d'une fatigue élevée (Carling, 2013). De même, en analysant des variations d'activité sur des périodes de 15 minutes pendant le match, le lien entre la diminution d'activité d'une période à l'autre et l'apparition de fatigue a également été remis en cause (Carling, 2013). En effet, des facteurs environnementaux et des facteurs individuels intrinsèques sont connus pour influencer les données (Carling et al., 2008 ; Carling, 2013) et la variabilité d'un match à l'autre, en lien avec l'activité physique, est connue pour être assez élevée (de 15 à 30%) en football de haut niveau (Gregson et al., 2010).

Dans de récentes études, des données GPS ont été reliées à la fatigue et aux risques de blessure. Une augmentation d'environ 400m dans les courses à HI à l'entraînement a été associée à une augmentation d'une unité de fatigue subjective (Thorpe et al., 2015). Egalement, les HI, les HI par minute, le nombre de sprints et le nombre de sprint par minute observés pendant un match ont été associés ( $r=0,36$  à  $0,43$ ) avec des variations de créatine kinase (CK), marqueur sanguin des dommages musculaires, mesurées 24h après un match de joueurs professionnels de moins de 21 ans (Russell et al., 2016). Dans le même sens, une augmentation d'environ 7-9% de la moyenne des DTP par min a été observée dans la dernière semaine et les quatre dernières semaines qui précédaient une blessure chez des joueurs de football professionnels australiens (Erhmann et al., 2016). Ces résultats montrent l'importance de telles mesures dans l'évaluation de la charge d'entraînement du joueur de football et mettent en avant les perspectives de recherches dans lesquelles les variations des données seraient associées ou non à la fatigue et/ou l'apparition de blessures.

### viii) Test des performances athlétiques autour du match

Les tests physiques sont, comme leur nom l'indique, un bon moyen pour mesurer le niveau de forme physique à instant donné et dans un contexte précis (Svensson & Drust, 2005). Des centaines de tests peuvent être mis en place afin d'évaluer différentes qualités physiques, cependant ce n'est pas le sujet de la présente thèse que de les citer tous. Ici, les tests physiques sont présentés et détaillés comme des potentiels outils du suivi de la fatigue utilisés dans la littérature. Ainsi, des altérations de performance sur des répétitions de sprint (5 x 30m séparés par 25 sec de récupération) et sur un 2 x 20m sprintés ont été observées pendant et immédiatement après des matchs de football (Krustrup et al., 2006 ; Rampinini et al., 2009). Ou encore, des hauteurs *squat jump* (SJ) étaient diminuées en mi-temps d'un match simulé et dans les 96h qui suivaient chez des sportifs amateurs (Tofari et al., 2017). Après un calendrier de six semaines d'enchaînement de matchs, les performances sur un test aérobie, sur un *countermovement jump* (CMJ) et sur sprint de 10 et 20m étaient également réduites (Rollo et al., 2014). Ces variations de performances sur des tests physiques étaient, dans ces cas-là, interprétées comme des indicateurs de développement d'une fatigue passagère et/ou accumulée sur ces contextes d'analyse pendant et/ou juste après un match, ou après une longue période d'enchaînement de matchs (Krustrup et al., 2006; Rampinini et al., 2009; Rollo et al., 2014). Il n'existerait cependant pas de référence dans la littérature sur l'utilisation de tests physiques comme indicateurs de la récupération et de la fatigue pendant les jours qui suivent un match officiel de football. Une telle étude serait pourtant d'un intérêt majeur pour déterminer les temps nécessaires de récupération totale de chaque qualité physique, après un match,

Les performances sur de nombreux tests physiques ont été associées avec des marqueurs de la charge à la fois internes et externes. Ainsi, les performances réalisées sur des tests aérobies, comme le test sur piste de l'université de Montréal et le test YoYo intermittent de niveau 1, étaient significativement corrélées avec la RPE, les activités à HI et les mesures de FC chez des joueurs de différents âges et de différents niveaux (Manzi et al., 2013; Rebelo et al., 2014; Gil-Rey et al., 2015). Dans le même sens, des performances sur 15m ( $r = -0,21$ ) et sur CMJ ( $r = -0,17$ ) étaient corrélées aux RPE chez des jeunes joueurs de football (Gil-Rey et al., 2015) et des performances sur CMJ étaient également corrélées avec les activités à HI ( $r = 0,23$ ) chez des joueurs professionnels de *Premier League* (Thorpe et al., 2015). Tous ces résultats indiquent que les tests physiques peuvent être utilisés de manière intéressante pour informer sur l'état de forme des joueurs à un instant donné, et ainsi potentiellement informer sur leur état de fatigue en comparant les résultats aux performances de base. Cependant, à un haut niveau de pratique, les joueurs et les entraîneurs sont souvent réticents à l'idée d'exécuter des efforts maximaux en plus des charges induites par le match, ou les séances d'entraînements intenses en période compétitive. Une telle réticence rend l'application d'un test aérobie comme le test YoYo intermittent, ou d'un test de résistance comme sur une répétition de sprints, assez limitée. Dans ce sens, des tests sur des sprints courts ou des CMJ n'ont pas non plus été recommandés dans la littérature (Thorpe et al., 2015) puisque tous ces tests maximaux ne sont pas sans risques musculaires et ont un CE supplémentaire. Cependant, la réalisation de tests de sauts comme le CMJ ou le SJ ne devrait pas augmenter significativement la charge totale d'un match ou d'une séance d'entraînement et pourrait être

un moyen rapide et tout à fait pertinent pour mesurer la fatigue musculaire/neuromusculaire d'un joueur. Il a d'ailleurs été montré que les performances sur SJ étaient diminuées à la mi-temps de matchs et simulations de matchs. Quoiqu'il en soit, l'utilisation de tels outils doit être maîtrisée et planifiée à l'avance afin que les résultats des tests soient inclus dans la quantification de la charge de travail dans une logique post-exercice, et ne pas être réintroduits, par exemple, plusieurs dizaines de minutes après la fin d'une séance, ou après les étirements et/ou les massages.

## CHAPITRE II. LA CHARGE SUBJECTIVE INDUITE PAR UN MATCH DE FOOTBALL

Les marqueurs externes de la charge en lien avec l'activité physique (les accélérations, les distances parcourues et les temps passés à différentes catégories de vitesses) sont extrêmement utiles, corrélés aux marqueurs physiologiques et donnent des informations claires et précises sur la charge objective de chaque joueur. Cependant, d'un joueur à l'autre, de telles informations ne donneraient aucune indication sur la charge relative subie par le joueur. En effet, si deux joueurs ont des aptitudes physiques semblables, ce n'est pas pour autant qu'ils supportent une même charge physique avec la même intensité relative. Dans ce sens, les marqueurs du stress physiologique décrits précédemment sont des outils valides et fiables. Néanmoins, les évaluations subjectives du niveau de l'effort peuvent également apporter des indications pertinentes, d'autant plus qu'elles sont effectuées sans intervention invasive ni mesures financièrement coûteuses. De nombreux outils ont été utilisés dans la littérature pour quantifier la fatigue perçue individuelle, le niveau de récupération perçue, la fatigue mentale, les douleurs musculaires, la qualité du sommeil, le plaisir, le niveau de stress, l'humeur et les exigences du quotidien. Sachant que les facteurs psychologiques jouent un rôle crucial dans la performance (Armstrong & Vanheest, 2002 ; Haddad et al., 2013a ; Thorpe et al., 2015), de nombreux questionnaires ont été élaborés. Il s'agissait de détecter les signes précurseurs de surentraînement et de fatigue à partir de l'état de bien-être, lors des séances d'entraînement, en mesurant la pénibilité de l'effort, le stress et la récupération pendant des programmes d'entraînement de joueurs de haut-niveau (Armstrong & Vanheest, 2002 ; Angeli et al., 2004 ; Coutts & Reaburn, 2008 ; Hooper & Mackinnon, 1995). L'utilisation de questionnaires a été validée et reconnue comme un moyen pratique de contrôler les athlètes d'un point de vue physiologique et psychologique (Coutts & Reaburn, 2008 ; Hooper & Mackinnon, 1995). Par conséquent, les sessions de RPE (sRPE), les questionnaires du Hooper, du POMS, du Rest-Q et du DALDA, et leurs indicateurs de la charge de travail associés, sont exposés de manière critique dans cette partie, avec la présentation de leurs intérêts et de leurs limites. On y proposera aussi des perspectives de recherche sur les marqueurs, ainsi que sur le processus de contrôle et de suivi des joueurs de football de haut niveau.

### **a) La perception de l'effort avec les RPE**

Les mesures RPE viennent de l'échelle de Borg (de 6 à 20) pour quantifier la charge d'entraînement (Borg et al., 1987), elle-même modifiée par Foster et al. (2001) pour la simplifier (de 0 à 10). Pour mesurer la RPE, on demande aux joueurs d'évaluer la difficulté perçue de l'effort effectué sur l'échelle RPE choisie, avec la plus basse valeur (6 ou 0) comme étant relative à du repos, et la plus haute (20 ou 10), relative à l'effort le plus difficile possible, sur les échelles respectives de Borg et de Foster. En règle générale, l'échelle RPE est utilisée dans sa version originale en anglais (Foster et al., 2001), et la seule étude à ce jour

qui a travaillé sur la validité de sa traduction est celle d'Haddad et al. (2013b) (qui par ailleurs l'ont traduite en français). Récemment, une échelle de 0 à 100 a également été validée scientifiquement pour mesurer les RPE dans des sports collectifs (Scott et al., 2013b).

D'un point de vue purement pratique, les RPE ont besoin d'être mesurés au moins 30 minutes après la fin de l'exercice afin que les évaluations du joueur ne prennent pas en compte uniquement la dernière intensité ressentie mais bien tout l'entraînement/le match dans son ensemble (Foster, 1998; Foster et al., 2001; Impellizzeri et al., 2004). Les scores des RPE sont multipliés par la durée de l'effort dans le but d'obtenir une mesure globale de la charge ressentie qui peut être appelée sRPE ou RPE-TL (de « training load », charge d'entraînement, en anglais) (Foster et al., 1995; Foster, 1998). sRPE a été validé scientifiquement, rapporté comme un outil pratique et une méthode efficace à coût réduit dans la quantification de la charge interne du joueur de football (Impellizzeri et al., 2004, Haddad et al. 2014) et est l'un des marqueurs les plus utilisés dans la littérature pour relier la charge de travail, en sport, à l'apparition des blessures et des maladies (Drew & Finch, 2016).

**Tableau 6.** Différentes variables corrélées aux RPE dans la pratique du football.

Variables	Niveau de corrélation (r) avec les RPE	Contexte de pratique	Types de joueurs	Références
FC à l'exercice	0,71	7 semaines compétitives	Jeunes U18	<i>Impellizzeri et al., 2004</i>
% FC maximale	0,60	Une saison entière d'entraînements	Adultes amateurs	<i>Coutts et al., 2009</i>
Méthode d'Edward	0,57	4 mois d'entraînement	Adultes semi-professionnels	<i>Casamichana et al., 2013</i>
	0,50-0,80	Une saison entière d'entraînement	Professionnels de 2 <sup>ème</sup> division de Liga	<i>Campos-Vazquez et al., 2015</i>
Méthode TRIMP	0,35-0,78	Une saison entière d'entraînement	Professionnels de 2 <sup>ème</sup> division de Liga	<i>Campos-Vazquez et al., 2015</i>
Lactatémie sanguine	0,63	Une saison entière d'entraînements	Adultes amateurs	<i>Coutts et al., 2009</i>
Test sur Vitesse de course à 3mmol.L <sup>-1</sup>	-(0,30-0,45)	Gains physiques entre la pré-saison et 2 mois plus tard	Jeunes professionnels	<i>Arcos et al., 2015</i>
Test CMJ	-(0,20-0,44)			
Test de sprint sur 15m	-(0,15-0,49)			
DTP	0,74	4 mois d'entraînements	Adultes semi professionnels	<i>Casamichana et al., 2013</i>
Courses à HI	0,61	38 semaines d'entraînement	Professionnels de Premier League	<i>Gaudino et al., 2015</i>
Accélération maximales	0,63			

En football, les RPE ont été corrélés avec différents indicateurs physiologiques, avec des variations de performances physiques et avec l'activité physique en match et à l'entraînement (**tableau 6**). Certains auteurs ont proposé de séparer les RPE d'ordre musculaire et les RPE d'ordre respiratoire. Ils ont montré que le temps de jeu en match influençait ces deux variables, entre les joueurs qui avaient joué moins de 45min qui reportaient des hautes valeurs de RPE respiratoires, et ceux qui avaient joué plus de 45min, des hautes RPE musculaires (Los Arcos et al., 2016). Ils ont également montré que des hautes RPE musculaires étaient associées à des hautes charges d'entraînement, plus que les RPE respiratoires (Arcos et al., 2015). En établissant les moyennes de sRPE, des sessions d'entraînement étaient, par exemple, de  $321 \pm 23$  unités arbitraires (U.A) chez des joueurs professionnels coréens (Jeong et al., 2011),  $462 \pm 238$  U.A chez des semi-professionnels espagnols (Casamichana et al., 2013) et  $447 \pm 209$  U.A chez des professionnels anglais (Malone et al., 2015). En établissant les moyennes des entraînements et des matchs, ces auteurs ont montré que des joueurs professionnels italiens montaient jusqu'à  $644 \pm 224$  U.A leur sRPE (Manzi et al., 2013). Car l'effort perçu par le joueur de football pendant le match est évalué bien plus haut que lors des entraînements (Wrigley et al., 2012 ; Thorpe et al., 2016). En effet, certaines sessions d'entraînement sont dédiées à la récupération active ou au travail technique à basse intensité, alors que le match est toujours à intensité très élevée. Les sRPE hebdomadaires ont été reportés aux alentours de 2500 A.U en période compétitive dans plusieurs équipes de football (Bangsbo et al., 2006 ; Kelly & Coutts, 2007) alors que Coutts et al. (2008) ont suggéré que la charge hebdomadaire devrait se trouver entre 1900 et 2100 U.A pour envisager de répéter des performances dans la durée en football. Des disparités existeront systématiquement entre différentes équipes de football sur ce genre de quantification globale de la charge de l'effort perçu puisque le style de jeu, les philosophies d'entraînement et donc, les contenus d'entraînement diffèrent énormément d'un continent, d'un pays et d'un club à l'autre à travers le monde (Coutts et al., 2008). De plus, les sRPE présenteraient de hauts niveaux de variabilités durant toute une saison et seraient affectés par des facteurs contextuels comme le niveau de l'adversaire ou le lieu du match (Brito et al., 2016), ce qui renforcerait encore davantage les éventuelles disparités évoquées d'une équipe à l'autre.

En lien avec les blessures, une augmentation de sRPE a été observée la semaine qui précède l'apparition d'une blessure chez des jeunes joueurs de haut niveau (Brink et al., 2010). Une étude plus récente a reporté qu'un ratio de la charge aigüe/chronique, qui est le ratio de la charge entre l'actuelle semaine d'entraînement (aigüe) et la moyenne des trois dernières semaines (chronique), entre 1 et 1,25 prévenait des risques de blessures bas chez des joueurs professionnels (Malone et al., 2017). De plus, quand aucun marqueur objectif n'était influencé par un calendrier d'enchaînement de matchs (2 ou 3 matchs / semaine vs. 1) (Carling et al., 2015), seuls des RPE plus élevés, des niveaux de récupération perçue plus bas (Gjaka et al., 2016) et de plus haut taux de blessure (Dellal et al., 2015a ; Carling et al., 2016) étaient reportés en football de haut niveau. Les résultats combinés des différents rapports de la littérature mettent en avant des liens étroits entre les RPE et l'apparition des blessures en football de haut niveau, ce qui rend une telle méthode de suivi indéniablement pertinente.



**Photo 5.** Joueur qui remplit son questionnaire RPE quotidien sur tablette.

Bien qu'il ait été reporté que les RPE ne soient utilisés que par 68% des clubs de football professionnels (Akenhead & Nassis, 2016), toutes les observations combinées donnent un aperçu convergent de la pertinence à utiliser les RPE dans le processus de suivi du joueur de football. Les RPE sont valides et fiables scientifiquement, quand ils sont reliés à la fois à des indicateurs de charge interne et externe et à l'apparition des blessures (Haddad et al., 2014). Peu de marqueurs peuvent prétendre avoir de telles associations aussi complètes. Il est important de noter que les évaluations de RPE utilisées dans la littérature sont celles de l'intensité de l'effort perçu par les joueurs, qui est assez différente de celle que pourraient percevoir les entraîneurs, qui la sous-estiment légèrement (Brink et al., 2014). Notons toutefois une limite importante à l'utilisation de l'outil RPE, car il s'agit d'une évaluation subjective. En effet, il est indispensable que tous les acteurs de son utilisation (joueurs et staff) soient impliqués à 100% dans ce dispositif avec des relations de confiance solides. Car certains joueurs pourraient tenter d'utiliser des fausses évaluations pour essayer de masquer ou au contraire simuler la fatigue par exemple, et en tirer un quelconque intérêt. Pour utiliser les sRPE avec de nouveaux joueurs, il est essentiel aux membres d'un staff de prendre le temps de briefed et communiquer auprès de ces joueurs sur les intérêts et les objectifs de chacun à utiliser un tel outil d'évaluation subjective au jour le jour.

**Tableau 7.** Echelles de bien-être (Hooper et al., 1995) et de RPE (Foster et al., 1996).

SENSATIONS : QUALITE DE SOMMEIL, DE DOULEURS MUSCULAIRES, DE STRESS, DE FATIGUE GENERALE :		COMMENT AVEZ-VOUS PERÇU L'EFFORT EFFECTUE DURANT LA SEANCE ?																									
<b>SOMMEIL</b> 1 EXCELLENT 2 TRES BON 3 BON 4 MOYEN 5 MAUVAIS 6 TRES MAUVAIS SANS INSOMMIE 7 TRES MAUVAIS AVEC INSOMMIE		<hr/> <table border="0"> <thead> <tr> <th>Cotation</th> <th>Description verbale</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>REPOS</td></tr> <tr><td>1</td><td>TRES LEGER</td></tr> <tr><td>2</td><td>LEGER</td></tr> <tr><td>3</td><td>MODERE</td></tr> <tr><td>4</td><td>LEGEREMENT DUR</td></tr> <tr><td>5</td><td>DUR</td></tr> <tr><td>6</td><td></td></tr> <tr><td>7</td><td>TRES DUR</td></tr> <tr><td>8</td><td></td></tr> <tr><td>9</td><td>TRES TRES DUR</td></tr> <tr><td>10</td><td>SIMILAIRE A MA COMPETITION LA PLUS PENIBLE</td></tr> </tbody> </table> <hr/>		Cotation	Description verbale	0	REPOS	1	TRES LEGER	2	LEGER	3	MODERE	4	LEGEREMENT DUR	5	DUR	6		7	TRES DUR	8		9	TRES TRES DUR	10	SIMILAIRE A MA COMPETITION LA PLUS PENIBLE
Cotation	Description verbale																										
0	REPOS																										
1	TRES LEGER																										
2	LEGER																										
3	MODERE																										
4	LEGEREMENT DUR																										
5	DUR																										
6																											
7	TRES DUR																										
8																											
9	TRES TRES DUR																										
10	SIMILAIRE A MA COMPETITION LA PLUS PENIBLE																										
<b>DOULEURS MUSCULAIRES</b> 1 AUCUNE DOULEUR 2 TRES LEGERE LASSITUDE MUSCULAIRE 3 LEGERE LASSITUDE MUSCULAIRE 4 LASSITUDE MUSCULAIRE 5 LEGERES DOULEURS MUSCULAIRES 6 DOULEURS MUSCULAIRES MOYENNES 7 IMPORTANTES DOULEURS MUSCULAIRES		<b>ECHELLE DE PERCEPTION DE L'EFFORT DE BORG</b> MODIFIEE PAR FOSTER <i>et al.</i> , 1996																									
<b>STRESS</b> 1 AUCUN STRESS 2 TRES LEGER STRESS 3 LEGER STRESS 4 STRESS MOYEN 5 STRESS IMPORTANT 6 STRESS TRES IMPORTANT 7 EXTREMEMENT STRESSE																											
<b>FATIGUE GENERALE</b> 1 AUCUNE FATIGUE 2 TRES LEGERE FATIGUE 3 LEGERE FATIGUE 4 FATIGUE MOYENNE 5 FATIGUE IMPORTANTE 6 FATIGUE TRES IMPORTANTE 7 EXTREMEMENT FATIGUE																											
ECHELLE DE 1-7 DE HOOPER <i>et al.</i> , 1995																											

## b) Les indicateurs du bien-être : le questionnaire de Hooper

Les différentes caractéristiques du bien-être peuvent être mesurées à l'aide d'un questionnaire de perception appelé le Hooper, du nom de l'auteur qui en est à l'origine (Hooper & Mackinnon, 1995). Ce questionnaire peut être utilisé à l'aide d'une échelle à 5 niveaux pour évaluer la fatigue perçue, la qualité du sommeil, l'humeur générale, le stress et les douleurs musculaires, avec 1 comme évaluation la plus basse et 5 comme évaluation la plus haute (Buchheit et al., 2013a, 2013b, 2016). Il peut également être utilisé sur une échelle à 7 niveaux en lien avec le stress, la fatigue, la qualité du sommeil et les douleurs musculaires, avec 1 comme évaluation la plus basse à nouveau et 7 comme évaluation la plus élevée sur les quatre items (Haddad et al., 2013a) (**tableau 7**). Le bien-être général, aussi nommé l'index Hooper, est la somme des différentes évaluations. Traquer le bien-être à l'aide du questionnaire de Hooper est considéré comme la méthode la plus pratique et la moins onéreuse pour détecter les signes précurseurs du surentraînement (Angeli et al., 2004). Le bien-être a été associé aux niveaux de charges d'entraînement, quantifiés grâce aux RPE, chez des joueurs professionnels (Haddad et al., 2013a ; Buchheit et al., 2013a; Thorpe et al., 2015; Moalla et al., 2016). Ainsi des niveaux plus élevés de charges d'entraînement affecteraient même les mesures de bien-être du lendemain chez des joueurs professionnels et les charges élevées de la période de pré-saison seraient associées à de plus grands niveaux de stress, de fatigue, de douleurs musculaires et une moins bonne qualité de sommeil (Fessi et al., 2016). Les mesures des différentes caractéristiques du bien-être, en plus de la simple évaluation de la fatigue, donnent également des informations sur les variations des niveaux de

récupération (Buchheit et al., 2013a). Aucune relation n'a été trouvée entre la charge d'entraînement et l'index de Hooper lors d'entraînement en endurance de jeunes joueurs (Haddad et al., 2013a). Par conséquent, il pourrait être suggéré que, bien que le bien-être soit relié à la charge d'entraînement, la qualité du sommeil, le stress, la fatigue et les douleurs musculaires ne soient pas des contributeurs majeurs à la fatigue perçue lors des sessions d'entraînement d'endurance (Haddad et al., 2013a). Quoi qu'il en soit, dans une récente revue de la littérature, la relation entre la charge d'entraînement et le bien-être a été décrite comme controversée et devant nécessairement être approfondie (Saw et al., 2016).

Il est intéressant de constater que différents niveaux de corrélation ont été reportés entre la charge d'entraînement et les différentes caractéristiques du bien-être. Ainsi la fatigue ( $r = 0,48$ ) et les douleurs musculaires (0,48) ont reporté de plus fortes corrélations avec la charge d'entraînement qu'avec le stress (0,30) et la qualité de sommeil (0,23) chez des joueurs professionnels du championnat qatari *Star League* (Moalla et al., 2016). En lien avec les courses à THI, la fatigue (0,51) a également montré de plus fortes corrélations que la qualité du sommeil (0,04) et les douleurs musculaires (0,10) chez des joueurs de *Premier League* (Thorpe et al., 2015). Les évaluations du sommeil ont suggéré que cet indicateur était intéressant pour contrôler le niveau de la récupération, plus que de la charge d'entraînement ou de la fatigue générale. En effet, un mauvais sommeil serait relié à une mauvaise récupération, principalement due à l'inhibition de la resynthèse du glycogène, à l'augmentation des dommages musculaires, à l'altération de la réparation musculaire et des fonctions cognitives et à l'augmentation de la fatigue mentale (Nédélec et al., 2015a). Il est important de noter que le fait de s'entraîner le soir (vs. aucun entraînement) n'a montré aucune influence sur la qualité du sommeil, à la fois perçue et mesurée sur actographe (Robey et al., 2014). La qualité du sommeil, combinée au facteur de nutrition, ont tous deux été recommandés comme étant des stratégies de récupération essentielles (Nédélec et al., 2015b).

En ce qui concerne les douleurs musculaires et la fatigue perçue, elles seraient toutes deux davantage associées à la fatigue en lien direct avec la charge d'entraînement. Le sommeil et le stress seraient davantage affectés par la fatigue dite accumulée, les douleurs musculaires, la monotonie (qui se mesure selon la variabilité des entraînements au quotidien) et la pénibilité de l'effort en réponse à l'entraînement et à d'autres facteurs liés au contexte de la pratique (Armstrong & Vanheest, 2002; Nédélec et al., 2015a; Saw et al., 2016). Cependant, dans le football de haut niveau, la fréquence élevée des matchs officiels pendant la période compétitive a pour conséquence que les entraînements sont davantage orientés vers le maintien de la forme physique et vers la récupération plutôt que vers d'importantes variations de charge d'entraînement, ce qui pourrait avoir comme autre conséquence de réduire les variations des scores de bien-être au cours d'une semaine d'entraînement classique (Thorpe et al., 2015 ; Saw et al., 2016).

### **c) Les variations de l'humeur : le questionnaire POMS**

Le questionnaire POMS (de l'anglais « *Profile of Mood States* » = profil des états d'humeur) comporte 65 items répartis pour mesurer six caractéristiques : la tension, la dépression, la colère, la vigueur, la fatigue et la confusion (McNair et al.,

1971) (**Annexe 1**). Pour collecter les émotions d'un joueur à travers les 65 items du questionnaire, une question simple est posée : « Comment te sens-tu cette semaine, aujourd'hui inclus ? ». Un haut niveau de vigueur associé à de bas niveaux de tension, dépression, colère, fatigue et de confusion sont régulièrement observés sur des sportifs de haut niveau et interprétés comme étant un « profil en iceberg » (Morgan, 1980). Des études expérimentales sur des sportifs ont montré que l'activité physique pouvait modifier, en améliorant et/ou en diminuant, les mesures du POMS (O'Connor & Puetz, 2005). En football, de hautes valeurs de tension, de dépression, de colère et de vigueur ont été observées en plein milieu de la saison à la différence de la période de pré-saison et le début de la période compétitive (Filaire et al., 2001). Egalement, des hautes valeurs de tension, dépression, colère, fatigue, associées à des basses valeurs de vigueur ont été observées à la fin d'une saison de professionnels (Filaire et al., 2003). Après un programme d'entraînement intense, seule la vigueur était altérée significativement chez des joueurs professionnels, et il a été reporté que l'augmentation du volume et de l'intensité de l'entraînement diminuait ces valeurs de vigueur (Silva et al., 2008). Des profils en iceberg coïncideraient quasi systématiquement avec le succès d'une équipe de football (Filaire et al., 2001, 2003) alors que des diminutions de vigueur étaient associées aux pires performances de l'équipe (Silva et al., 2008). La principale limite de ce questionnaire n'est pas seulement le nombre d'items, qui allongent les temps de mesures, ce qui est inapproprié dans un processus de suivi quotidien voire hebdomadaire, mais aussi la façon d'interpréter les changements des caractéristiques d'humeur, en lien avec la performance. En effet, les variations d'humeur sont-elles la cause, ou la conséquence des variations de performance ? La question est aujourd'hui sans réponse (Filaire et al., 2001, 2003 ; Silva et al., 2008).

#### **d) La récupération en lien avec le niveau de stress : le questionnaire Rest-Q**

Le questionnaire de la récupération et du stress (de l'anglais « *recovery and stress* ») (Rest-Q) est composé de 76 items relatifs à 12 thèmes généraux (le stress global, le stress émotionnel, le stress social, les conflits/la pression, la fatigue, le manque d'énergie, les douleurs musculaires, la réussite, la reconnaissance sociale, la récupération physique, le bien-être général et la qualité de sommeil) et 7 thèmes spécifiques au sport (« *disturbed breaks* », épuisement émotionnel, forme physique/blessure, être en forme, accomplissement personnel, auto efficacité, auto régulation), tous comprenant quatre différentes questions (Kellmann & Kalus, 2001) (**Annexe 2**). Tout au long des 76 questions, il est demandé aux participants d'évaluer de 0 à 6 à quelle fréquence ils ont participé à des activités génératrices de stress ou de récupération durant les quatre dernières semaines, 0 étant l'équivalent de « jamais » et 6 de « toujours » en réponse à chaque question. Ce questionnaire permettrait de détecter des signes précurseurs de surentraînement chez des jeunes joueurs de football testés mensuellement (Brink et al., 2012) à travers soit une augmentation de scores de stress ou une diminution des scores de récupération. Il a été observé une augmentation de scores de stress avant le début d'une période d'enchaînement de matchs de six semaines chez des joueurs de football de haut niveau (Rollo et al., 2014), montrant ainsi qu'un état de stress était notable en anticipation à

une longue période éprouvante. Ce dernier résultat permet de mettre en évidence un intérêt supplémentaire à l'utilisation de ce questionnaire, car le suivi de l'état psychologique, en plus de l'état de la fatigue physique, donne des informations sur des possibles facteurs perturbant la préparation des joueurs. Cependant, aucune relation évidente n'a été établie entre des composants propres au stress et à la récupération et l'apparition des blessures alors que de nombreux items reliés au stress et à la récupération pourraient jouer un rôle dans l'apparition de maladies (Brink et al., 2010). En football, très peu d'études ont utilisé le Rest-Q lors d'un processus de suivi des joueurs. Bien que certains auteurs aient proposé de simplifier le questionnaire avec 33 (Andrade et al., 2008) ou 52 items (Kellman, 2010), le nombre élevé de questions reste une limite importante à l'utilisation de cet outil dans un processus de suivi récurrent d'un sport d'équipe comme le football, tout particulièrement à haut niveau.

### **e) Les contraintes liées au rythme de vie : le questionnaire DALDA**

Le questionnaire DALDA (de l'anglais « Daily Analysis of Life Demands for Athletes » (= analyse journalière des contraintes du quotidien chez les sportifs) a été créé pour détecter les sources et les symptômes du stress (Rushall, 1990). Il est constitué de deux parties : partie A, pour les sources stressantes de la vie (9 items) et partie B, pour les symptômes du stress (25 items) (**Annexe 3**). Les réponses possibles à chaque item sont « mieux que la normale », « normal » ou « pire que la normale » (PQN). Quand un joueur rapporte une augmentation de réponses « PQN » pendant trois jours consécutifs, particulièrement dans la partie B, il pourrait être conclu que le joueur est en état de stress (Halson et al., 2004 ; Coutts et al., 2007). Le questionnaire DALDA a également été suggéré comme étant utile pour contrôler et suivre le stress psycho-physiologique en réponse à la charge d'entraînement (Coutts & Reaburn, 2008 ; Moreira et al., 2011) même si aucune influence de l'intensité et du type d'entraînement n'a été reporté chez des joueurs de football (Gomes et al., 2016). A ce jour, il semblerait n'exister qu'une seule autre étude supplémentaire ayant exploré l'intérêt du questionnaire DALDA chez des joueurs de football, et ayant reporté la pertinence de l'outil, s'il est associé à des marqueurs physiologiques salivaires et des indicateurs subjectifs, dans le suivi de jeunes joueurs (Freitas et al., 2014). Les résultats en provenance d'autres sports d'équipe ont montré de fortes corrélations entre le nombre de réponses « PQN », la charge d'entraînement et la pénibilité chez des joueuses de futsal ( $r^2 = 0,64$  to  $0,81$ ; Milanez et al., 2014) avec des symptômes d'URTI et des concentrations salivaires de C chez des joueurs de basketball ( $r = 0,65$  à  $0,79$ ; Moreira et al., 2011). De plus, une augmentation du nombre de réponses « PQN » a été observée lors de déplacements (McGuckin et al., 2014) et lors des jours d'entraînement en comparaison aux jours de repos et aux jours de match chez des joueurs de rugby à 15 (Nicholls et al., 2009). La littérature sur le questionnaire DALDA chez le joueur de football est assez pauvre, cependant les résultats des études en provenance d'autres sports donnent des associations intéressantes avec des marqueurs de la charge d'entraînement et de la fatigue, ce qui donne des perspectives d'études dans le football pour valider son utilité et sa pertinence dans un processus de suivi « psychosocial ».

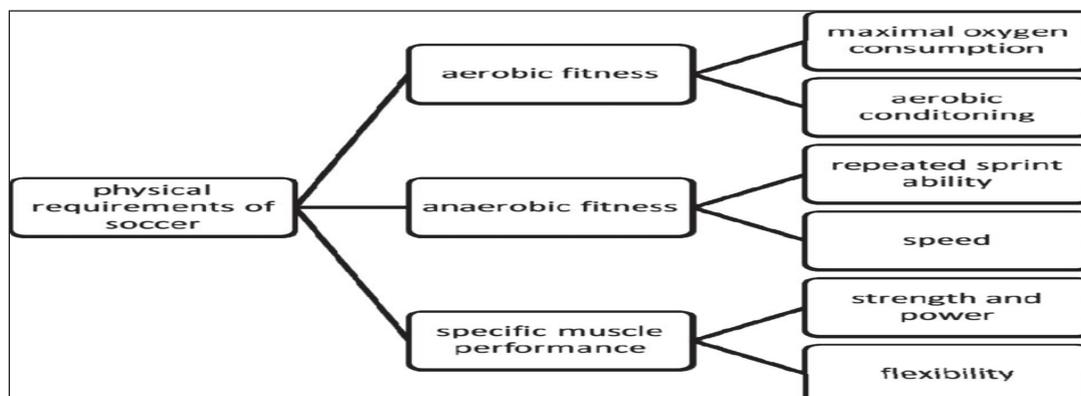
Les différents questionnaires et indicateurs de la charge, de l'état de fatigue et des différents composants psychologiques qu'ils mesurent ont l'avantage de permettre un suivi subjectif et individualisé des joueurs. Parmi les questionnaires évoqués ci-dessus, les s-RPE et le Hooper semblent présenter un atout pratique : leur simplicité d'utilisation (et notamment le nombre d'items), qui permettrait davantage de les employer au quotidien, en comparaison aux POMS, Rest-Q et DALDA. Néanmoins, l'évaluation du stress, de la fatigue, de la qualité du sommeil et des douleurs musculaires se doit d'être suivie par un questionnaire plus informel qui permettra de comprendre et d'identifier les raisons d'éventuelles variations de scores. Car le test n'est pas une fin en soi. Il doit servir de repère pour adapter les discussions, les charges d'entraînement, les types d'entraînement, les soins et la récupération, toujours dans le but d'optimiser la préparation de chaque joueur à la performance, tout en réduisant les risques de blessures. De plus, ces tests subjectifs nécessitent une parfaite relation de confiance entre celui ou ceux qui font remplir les évaluations et les joueurs qui confient leurs ressentis, afin que les mesures ne soient pas biaisées.

Il a récemment été suggéré que ces indicateurs subjectifs, malgré leur pertinence à être utilisés seuls, devaient tout de même être associés à des marqueurs objectifs afin d'avoir un aperçu complet des performances et des charges individuelles imposées par un match de football de haut niveau (Saw et al., 2016). Parmi les indicateurs objectifs, outre l'activité physique, des indicateurs physiologiques comme la FC ou certains marqueurs sanguins peuvent être utilisés pour identifier les incidences d'un match de football de haut niveau. Ils nécessitent néanmoins une compréhension précise des processus biologiques dans lesquels ils sont impliqués, tant dans la fourniture d'énergie pendant l'effort que dans la régénération des tissus endommagés, après l'effort. Le chapitre suivant est consacré à ces aspects physiologiques en lien avec le football de haut niveau.

# CHAPITRE III. LES INCIDENCES PHYSIOLOGIQUES D'UN MATCH DE FOOTBALL

## a) Les filières énergétiques

Les voies et filières énergétiques à l'exercice induisent différentes réactions physiologiques. Ces filières peuvent être associées à différentes qualités physiques qui caractérisent le joueur de football (**Figure 3**). Chamari & Padulo (2015) ont récemment souligné que l'utilisation des courantes terminologies « aérobie », « anaérobie alactique » et « anaérobie lactique » pouvait être remise en cause car il s'agit de mettre en avant la filière utilisée principalement lors d'un effort plus ou moins intense et plus ou moins long. En effet, lors d'un effort court et intense, caractéristique de la voie anaérobie, l'oxygène n'intervient pas principalement dans la fourniture d'énergie, mais il est tout de même présent. Les autres filières sont impliquées simultanément, mais de façon bien moins significative (Chamari & Padulo, 2015). Ce rappel effectué, cette partie détaillera les incidences physiologiques d'un match de football de haut niveau en suivant les différentes voies de fournitures d'énergie. Suivra une précision sur les substrats énergétiques principaux, pour finir par un exposé sur les cinétiques d'après-match.



**Figure 3.** Déterminants de la performance en football en référence aux mécanismes physiologiques (Drust et al., 2012).

## i) Métabolisme aérobie

Le football est un sport intermittent dans lequel la filière énergétique aérobie est grandement impliquée, avec des valeurs de FC moyenne et maximale ( $FC_{max}$ ) respectivement observées autour de 85 et 98% (Ali & Farally, 1991 ; Bangsbo, 1994 ; Ekblom, 1986 ; Krstrup et al, 2005 ; Reilly & Thomas, 1979). Une relation linéaire existe entre la FC et la consommation d'oxygène ( $VO_2$ ) (Bangsbo, 1994 ; Castagna et al., 2005 ; Esposito et al., 2004 ; Krstrup & Bangsbo, 2001) qui permettrait d'estimer une moyenne de  $VO_2$  à partir des

FC mesurées lors d'un exercice de course standardisé. Cependant, Bangsbo et al. (2006) rappellent qu'il est important de noter que les phénomènes qui élèvent la FC au cours d'un match de football, tels que la déshydratation, l'hyperthermie et le stress (psychologique) doivent être pris en compte pour ne pas surestimer la  $VO_2$ , qui elle n'est pas affectée par ces facteurs. Une intensité moyenne de 85% de  $FC_{max}$  serait équivalente à 75% de  $VO_{2max}$ . Ainsi, comme suggéré par Stolen et al. (2005), cela correspondrait à des moyennes de 45,0, 48,8 et 52,5  $mL.kg^{-1}.min^{-1}$  pour un joueur avec une  $VO_{2max}$  respectivement aux alentours de 60, 65 et 70  $mL.kg^{-1}.min^{-1}$ . Ils sont allés au bout de l'exemple pour montrer que pour un joueur de 75kg, la dépense énergétique correspondrait à (respectivement) 1519, 1645 et 1772 kcal pendant un match de football (en considérant que 1L d'oxygène/min correspond à 5kcal dépensés). Des valeurs de températures corporelles mesurées aux alentours de 39-40°C en plein match ont permis de confirmer ces estimations d'une moyenne de 70-75% de  $VO_{2max}$ , puisque la température corporelle, mesurée par voie rectale, est connue pour être corrélée à l'intensité d'un effort physique (Ekblom, 1986 ; Mohr et al., 2004 ; Smolaka, 1978). En revanche, une variable semblerait être plus importante que la  $VO_2$ , dans ses liens avec la performance : la capacité d'augmentation de cette  $VO_2$  pendant les actions intenses. Pendant un match de football, la FC des joueurs est rarement en dessous de 65% de  $FC_{max}$  (Eniseler, 2005). Un tel niveau de FC nous permettrait de suggérer que le flux sanguin dans les muscles des membres inférieurs impliqués serait plus important qu'au repos, et ce, de manière continue. Ainsi, la délivrance en oxygène pendant un match de football serait également plus importante qu'au repos. Cependant, les cinétiques d'oxygène observées lors des transitions d'actions à basse intensité aux actions à haute intensité en plein match ont montré que les variations de  $VO_2$  dépendaient, entre autre, de la capacité d'oxydation des muscles (Bangsbo et al., 2002 ; Krstrup et al., 2004a).

## **ii) Métabolisme anaérobie alactique**

Les joueurs de football de haut-niveau peuvent réaliser entre 150 et 250 actions brèves et intenses pendant un match (Mohr et al., 2003 ; Stolen et al., 2005). Cette information montre que le niveau d'utilisation de la filière énergétique anaérobie est également élevé à certains moments du match. D'ailleurs, il a été montré que les actions décisives pour gagner un match étaient liées aux actions à très haute intensité (Mohr et al., 2003 ; Faude et al., 2012). Même lors d'un exercice maximal, la concentration musculaire d'adénosine triphosphate (ATP) diminue brièvement (Fitts, 1994). Noakes et al. (2004) rappellent que pendant la contraction musculaire, l'augmentation de la concentration en ADP provoque une augmentation du taux de phosphorylation oxydative, résultant de la resynthèse d'ATP, indispensable pour éviter une dangereuse diminution de la concentration en ATP dans le muscle. Lorsque le rendement en production d'ATP ne suffit plus pour répondre aux demandes de l'effort en cours, la production par voie oxydative de l'ATP est complétée par la voie « anaérobie » de production d'ATP.

Les hautes intensités d'un match de football provoquent un grand nombre de lésions de créatine phosphate (CP), qui, pour la plupart, sont ensuite re-synthétisés pendant la phase à basse intensité qui suit (Bangsbo, 1994). Les taux de CP peuvent baisser jusqu'à 30% en dessous des valeurs de repos pendant certaines phases du match, notamment si un nombre

important d'actions intenses est réalisé avec de faibles temps de récupération (Bangsbo, 1994). Les analyses de CP lors de biopsies musculaires effectuées pendant un match, plus exactement : juste après des périodes intenses, ont montré des valeurs autour de 70% de celles mesurées au repos. Il est à noter que cette valeur peut être liée au délai entre la fin de l'action dans le jeu et la réalisation de la biopsie sur le terrain (soit 15-30 secondes dans cette étude ; Krstrup et al., 2006).

### **iii) Métabolisme anaérobie lactique**

Des concentrations moyennes en lactate sanguin entre 2 et 10 mmol.l<sup>-1</sup> ont été observées en match, avec des valeurs individuelles qui dépassaient 15 mmol.l<sup>-1</sup> (Stolen et al., 2005). Ces données montrent à quel point le niveau de production de lactate musculaire peut être élevé pendant un match de football. Cependant, une étude a montré qu'il n'y avait aucune corrélation entre la lactatémie sanguine et la lactatémie musculaire en match (Krstrup et al., 2006), alors qu'une faible corrélation avait été observée lors d'exercices répétés à haute intensité (Krstrup et al., 2003). Ces observations contrastent avec ce qui se passe lors d'un exercice continu, où la lactatémie sanguine est plus basse mais reflète très bien les concentrations de lactatémie musculaire. Ces différences entre les exercices intermittents et continus seraient dues aux changements de taux d'utilisation du lactate durant ces deux types d'effort, avec un niveau d'élimination du lactate qui est plus élevé dans le muscle que dans le sang (Bangsbo et al., 1993). Bangsbo et al. (2006) ont suggéré que toutes ces informations réunies signifiaient que lors des efforts intermittents caractéristiques du football, la lactatémie sanguine pouvait être élevée même si la lactatémie musculaire était relativement basse. Sans oublier la limite protocolaire de l'influence de l'activité qui a immédiatement précédé le prélèvement sanguin sur la relation entre les lactatémies musculaires et sanguines (Bangsbo et al., 1991 ; Krstrup & Bangsbo, 2001). Cependant, les hauts niveaux de lactatémie sanguine observés en football (Bangsbo, 1994 ; Ekblom, 1986 ; Krstrup et al., 2006) ne résultent pas de l'unique dernière action réalisée mais plutôt de la réponse à l'accumulation de nombreuses actions intenses. Pendant un match, le niveau de glycolyse est donc assez important, ponctuellement, et pendant de courts instants.

### **iv) Substrats énergétiques**

Le glycogène musculaire est un substrat très important pour le joueur de football. Satlin (1973) a observé une déplétion quasi-totale des stocks en glycogène musculaire à la mi-temps lorsque les valeurs d'avant-match étaient basse (~200 mmol.l<sup>-1</sup>.kg de poids sec<sup>-1</sup>). Dans cette étude, certains joueurs ont également commencé le match avec des valeurs normales de concentrations en glycogène musculaire (~400 mmol.l<sup>-1</sup>.kg de poids sec<sup>-1</sup>), et leurs valeurs sont restées élevées à la mi-temps mais en dessous de 50 mmol.l<sup>-1</sup>.kg de poids sec<sup>-1</sup> à la fin du match. D'autres auteurs ont montré des concentrations de ~200 mmol.l<sup>-1</sup>.kg de poids sec<sup>-1</sup> en fin de match (Jacobs et al., 1982 ; Krstrup et al., 2006 ; Smaros, 1980), ce qui indique que les stocks en glycogène ne sont pas systématiquement vidés lors d'un match de football. En revanche, l'analyse de fibres musculaires après un match a révélé qu'un nombre significatif de fibres étaient vidées ou partiellement vidées à la fin d'un match (Krstrup., 2006), de l'ordre de 40 à 90% (Bangsbo et al., 2007).

Il a été observé que les concentrations sanguines en acides gras libres augmentaient progressivement pendant un match, particulièrement au cours de la deuxième mi-temps (Krustrup et al., 2006). L'augmentation de l'oxydation des lipides comblerait le manque en glycogène musculaire dans la fourniture d'énergie au fil du match (Bangsbo et al., 2006 ; 2007). Les fréquentes périodes de repos et d'activité à basse intensité pendant un match permettent un flux sanguin important au niveau des tissus adipeux, ce qui favorise la libération d'acides gras libres. Une concentration élevée en glycérol induit le fait qu'un haut niveau de lipolyse se produit pendant un match ; et bien que l'augmentation soit moins importante que lors d'un exercice continu, cela indiquerait probablement un renouvellement important de glycérol (Bangsbo, 1994). Les changements hormonaux joueraient sans doute un rôle majeur dans l'augmentation progressive des concentrations en acides gras libres. Les concentrations d'insuline diminuent au cours d'un match et les concentrations en catécholamine s'élèvent progressivement (Bangsbo, 1994), ce qui a pour effet de stimuler un haut niveau de lipolyse et donc la libération d'acides gras libres dans le sang (Galbo, 1983). L'effet est renforcé par de plus basses concentrations de lactate sanguin vers la fin du match, ce qui amène à rétablir la mobilisation des acides gras libres par le tissu adipeux (Bangsbo, 1994 ; Bülow & Madsen, 1981 ; Galbo, 1983 ; Krustrup et al., 2006). Les changements en acides gras libres pendant le match peuvent avoir pour effet une plus grande consommation et oxydation de ces acides par les muscles, surtout pendant les périodes de récupération en plein match (Turcotte et al., 1991). De plus, une plus grande utilisation des triglycérides musculaires pourrait se produire pendant la deuxième mi-temps en réponse à l'augmentation des concentrations en catécholamine (Galbo, 1992). Ces deux procédés seraient très certainement des phénomènes qui viendraient compenser la diminution progressive du glycogène musculaire, et sont tous deux bénéfiques au maintien d'une concentration élevée de glucose dans le sang (Bangsbo et al., 2006 ; Rampinini et al., 2007c).

## **b) Les marqueurs physiologiques**

Dans un processus d'entraînement, la définition des programmes et des contenus d'entraînement semble être la première étape cruciale. Mesurer et suivre l'impact des séances sur les joueurs serait alors la deuxième étape importante pour réussir une préparation compétitive. Comme vu précédemment, les entraînements et les matchs induisent tous deux des variations physiologiques qui doivent être contrôlées. En effet, suivre et mesurer ces variations pourrait donner aux entraîneurs une indication sur la charge individuelle interne subie par chaque joueur. Ces précieuses informations permettraient aux entraîneurs d'ajuster les programmes d'entraînement (Borresen & Lambert, 2008 ; Kiely, 2012), d'éviter que des joueurs soient en surentraînement, optimiser la préparation à la performance (Borresen & Lambert, 2008), et réduire la contraction de maladie ou l'apparition de blessures (Drew & Finch, 2016 ; Gabbett, 2016). Des stratégies de rotation d'effectif pourraient également être entreprises le cas échéant. Dans cette partie de la thèse, différents marqueurs physiologiques vont être présentés : (i) des mesures de FC à différents moments avant, pendant et après l'effort / les entraînements ; (ii) différents marqueurs biochimiques sanguins, salivaire et

urinaires. Tous seront décrits avec leurs intérêts et leurs limites d'utilisation dans un processus de suivi du joueur de football.

### i) La FC et la VFC

**Tableau 8.** Déterminants, fiabilité et sensibilité des différentes mesures de fréquence cardiaque (Buchheit, 2014).

	Determinants	Monitoring variable(s)	Typical error, expressed as coefficient of variation	Signal-to-noise ratio*	Smallest worthwhile change*
Resting HR	Cardiac morphology, plasma volume, ANS and baroreflex	Wellness, fitness, readiness to perform	~10%	0.7	~ -2%
Resting vagal-related HRV indices	Genetics, plasma volume, ANS and baroreflex	Wellness, fitness, readiness to perform	Index-dependent, e.g., ~12 (Ln rMSSD) to ~80 (LF/HF)%	0.8	~ +3%
Exercise HR	Fitness, plasma volume	Aerobic fitness	~3%	1.6	~ -1%
Exercise HRV	Intensity-dependent: ANS <VT1, respiration >VT2	In theory, aerobic fitness	Index-dependent, e.g., ~60 (Ln rMSSD) to ~150 (LF/HF)%	N/A	N/A
Post-exercise HRR	Theoretically ANS and genetics but essentially metaboreflex	In theory, wellness, fitness and readiness to perform In practice, more fitness because of its link with relative exercise intensity	Index-dependent, e.g., ~25 (HRR <sub>60s</sub> ) to ~35 (HRR <sub>t</sub> )%	1.3	~ +7%
Post-exercise vagal-related HRV indices	ANS and baroreflex, but the metaboreflex has the greater effect	In theory, wellness, fitness and readiness to perform In practice, more fitness because of its link with relative exercise intensity	Index-dependent, e.g., ~16 (Ln rMSSD) to ~65 (LF/HF)%	1.1	~ +4%

*HR, heart rate; HRR<sub>60s</sub>, HR recovery within 60s following exercise; HRR<sub>t</sub>, time constant of HR recovery derived from monoexponential modeling; HRV, HR variability; N/A, non-available. Typical error: see Acknowledging the Uncertainty of the Measures text for related references. Signal to noise ratio: refers to the magnitude of the change observed in Buchheit et al. (2010a) divided by the typical error reported in Al Haddad et al. (2011). See section Determining the Smallest Worthwhile Change text for the methods used to calculate the smallest worthwhile change. \*, for positive training adaptations.*

La FC peut être utilisée pour quantifier et suivre les incidences physiologiques: (i) pendant l'effort/exercice, avec la FC<sub>ex</sub>, le %FC<sub>max</sub> et le pourcentage de la FC de réserve (%FC<sub>res</sub>), (ii) juste après l'exercice, avec la FC de récupération (FC<sub>R</sub>), et (iii) pour suivre les niveaux de fatigue et de récupération au repos, avec la variabilité de la FC (VFC) et la FC de repos (FC<sub>r</sub>) (Seliger, 1968; Laukkanen & Virtanen, 1998 ; Achten & Jeukendrup, 2003 ; Dellal et al., 2012) (**tableau 8**). La FC est le paramètre physiologique le plus utilisé en football puisqu'il a été validé comme étant un indicateur précis de la charge de travail durant différents types d'entraînement et différents types d'exercices de football (Akslerod et al., 1981 ; Esposito et al., 2004 ; Castagna et al., 2011). De manière générale, pour un même joueur, plus sa FC est basse, plus sa forme physique est élevée (Borresen & Lambert, 2008 ; Mann et al., 2013). En effet, cela signifierait que pendant l'exercice, ou au repos, un cœur qui bat plus lentement est plus efficace sur certains mécanismes de la pompe cardiaque, grâce à une amélioration du volume d'éjection systolique, une hypertrophie du muscle cardiaque, ou encore l'amélioration des mécanismes de transport de l'oxygène (Meerson & Chashchina, 1978; Chacon-Mikahil et al., 1998; Azevedo et al., 2014). Dans le même sens, après l'exercice, cela signifierait que le joueur récupère plus rapidement d'une même intensité d'exercice. Parmi les mesures de FC, les variations de la VFC ont également été examinées et

résumées par de nombreux auteurs qui ont établi que la VFC était un indicateur pertinent et pratique pour suivre la charge et l'état de fatigue chez le sportif (Buchheit et al., 2011; Plews et al., 2013; Stanley et al., 2013; Buchheit, 2014). La VFC peut être mesurée à partir des variations des intervalles R-R sur un électrocardiogramme. Par exemple, la VFC se mesure en millisecondes d'un point de vue temporel, et peut se mesurer aussi avec la fréquence à laquelle la longueur de l'intervalle R-R change, d'un point de vue fréquentiel (Achten & Jeukendrup, 2003, Buchheit, 2014). De ce point de vue fréquentiel, la contribution de l'activité parasympathique prévaut durant les pics de puissance des hautes fréquences (HF : 0,15-0,40 Hz) (Akselrod et al., 1981). Les activités à la fois sympathique et parasympathique produisent les pics de basses fréquences (BF : 0,04-0,15 Hz) (Bernardi et al., 1994). Le ratio BF:HF est un autre indicateur pour mesurer la VFC et ainsi refléter la réactivité du système nerveux autonome (SNA). Des hautes valeurs de ce ratio reflètent la prédominance de l'activité sympathique (Pagani et al., 1986). La racine carrée de la moyenne de la somme des carrés des différences entre l'intervalle R-R adjacent (rMSSD) est l'index habituel relié à l'activité cardiaque parasympathique dont la corrélation a été validée et mesurée à  $r = 0,98$  (Pentilla et al., 2001). Un autre index habituellement utilisé comme un index relié à l'activité vagale de la VFC est l'écart type (SD) des différences entre les intervalles R-R adjacentes (Tulppo et al., 1996), qui peut être mesuré à partir des parcelles de Poincaré (SD1 ; Huikuri et al., 1996).

Les staffs médicaux, les staffs techniques et les physiologistes utilisent la FC pour traquer l'état de fatigue et la charge individuelle avant, pendant et après l'effort. Cependant, il est recommandé de le faire tous les jours, y compris durant les jours de repos. La partie suivante fournit des informations sur les intérêts et les limites de l'utilisation de la FC et de la VFC, ainsi que de tous les indicateurs reliés à ces deux marqueurs dans un processus de suivi du footballeur de haut-niveau.

### ***i.1) FC avant l'effort***

#### ***i.1.1 - FC de repos ( $FC_r$ )***

$FC_r$  est définie ici comme la plus petite mesure de FC mesurée après 10min en position passive allongée, ou immédiatement au réveil (Dellal et al., 2012), alors que la FC de nuit, qui peut être encore plus basse, serait la mesure la plus basse observée pendant une nuit entière de sommeil (Achten & Jeukendrup, 2003). Une diminution de  $FC_r$ , mesurée assis ou allongé, a été associée de manière hypothétique à une diminution de la prédominance du contrôle parasympathique (Smith et al., 1989). Il est bien connu qu'une diminution de  $FC_r$  est une réponse courante liée à un cycle d'entraînement en endurance, cependant étant donné que des variations de  $FC_r$  peuvent également être influencées par des facteurs environnementaux, son utilisation comme marqueur de la charge de travail d'endurance ou comme marqueur d'adaptation physiologique liée à l'entraînement est limitée (Borresen & Lambert, 2008).  $FC_r$  est reconnu comme un outil valide pour détecter la fatigue à court terme (Bosquet et al., 2008), même en football (Rave & Fortrat, 2016), mais reste discuté quant à sa pertinence dans la détection d'état de surentraînement. En effet, de nombreuses études ont reporté des mesures similaires de  $FC_r$  entre des individus surentraînés et des individus « normaux », alors que d'autres ont reporté une augmentation de  $FC_r$  en état de surentraînement (Achten &

Jeukendrup, 2003).  $FC_r$  est probablement le marqueur physiologique le plus facile à collecter puisqu'il ne nécessite ni capteur ultra sophistiqué, ni analyse approfondie des mesures. Cependant son utilisation serait limitée à une estimation d'un état de fatigue général sans que les variations au jour-le-jour, en réponse aux variations des charges de travail, ne puissent être reportées.

### ***i.1.2 - VFC au repos***

La VFC de repos est généralement mesurée en position assise pendant cinq minutes, immédiatement après s'être réveillé le matin, dans le but de réduire les facteurs externes de confusion (bruit, lumière, température). L'utilisation d'un seul indicateur comme  $\ln rMSSD$ , qui est le plus fiable de tous, est également recommandé (Al Haddad et al., 2011 ; Stanley et al., 2013). Une valeur élevée de  $\ln rMSSD$  a été associée à une fatigue perçue élevée et un état de forme diminué chez des athlètes de haut niveau, dont des joueuses de football (Schmitt et al., 2015 ; Flatt et al., 2015, 2016), et corrélée à l'activité physique de joueurs professionnels de *Premier League* (Thorpe et al., 2015). Tout au long d'une saison, des valeurs basses ont été observées en pré-saison chez des joueurs de haut-niveau de futsal (Oliveira et al., 2013) et en pré-saison et en fin de saison chez des professionnels d'une équipe de Liga espagnole (Naranjo et al., 2015). Pré-saison et fin de saison sont les périodes où l'on estime que la fatigue est la plus élevée. Plus récemment, il a été observé que des mesures de BF de VFC étaient significativement altérées à la fin d'une pré-saison d'une équipe professionnelle de Ligue 1, suite à des mesures en position debout (Rave & Fortrat, 2016). La VFC de repos pourrait donc être utilisée pour mesurer des adaptations liées à l'entraînement.

Cependant, dans un processus de suivi au quotidien, la VFC de repos montre certaines limites puisque si elle peut aider à identifier un état de fatigue général, elle ne permet pas de mesurer différents niveaux de fatigue (Schmitt et al., 2015). D'intéressants résultats sur des nageurs ont pointé l'influence du stress précompétitif sur des indicateurs comme  $rMMSD$ ,  $SD1$  et  $HF$ , dont les valeurs étaient significativement plus basses en comparaison aux valeurs d'avant-entraînement (Cervantes Blasquez et al., 2009). L'activité cognitive et l'état émotionnel seraient deux facteurs qui influenceraient donc la VFC. De plus, une étude récente n'a reporté aucun changement de VFC de repos sur des joueurs professionnels de *Premier League* tout au long d'une semaine de compétition (Thorpe et al., 2016), confirmant la limite d'utilisation de cet outil, à l'heure actuelle, pour les praticiens de terrain.

### ***i.2) FC pendant l'effort***

#### ***i.2.1 - FC pendant l'exercice ( $FC_{ex}$ , $\%FC_{max}$ , $\%FC_{res}$ )***

La FC a d'ores et déjà été étudiée et passée en revue comme étant un indicateur relié à la  $VO_2$  et aux seuils métaboliques en football (Achten & Jeukendrup, 2003, Dellal et al., 2012 ; Buchheit, 2014). Pendant l'effort, la FC peut être mesurée durant la pratique d'exercices à HI (HIT) ou lors de jeux réduits (SSG) (Dellal et al., 2012). Pour mesurer la FC pendant l'effort, plusieurs marqueurs peuvent être utilisés :

- $FC_{ex}$ , exprimée en battements par minute, est le marqueur de l'implication cardiaque sur un temps donné (**figure 4**);

- $FC_{max}$ , qui est la mesure observée de FC la plus élevée chez un joueur ;
- $FC_r$ , qui est la mesure la plus basse observée chez un joueur éveillé;
- $FC_{res}$ , qui est calculée avec la formule :  $FC_{res} = FC_{max} - FC_r$  (Karvonen et al., 1957), i.e., la différence entre la  $FC_{max}$  et la  $FC_r$ .

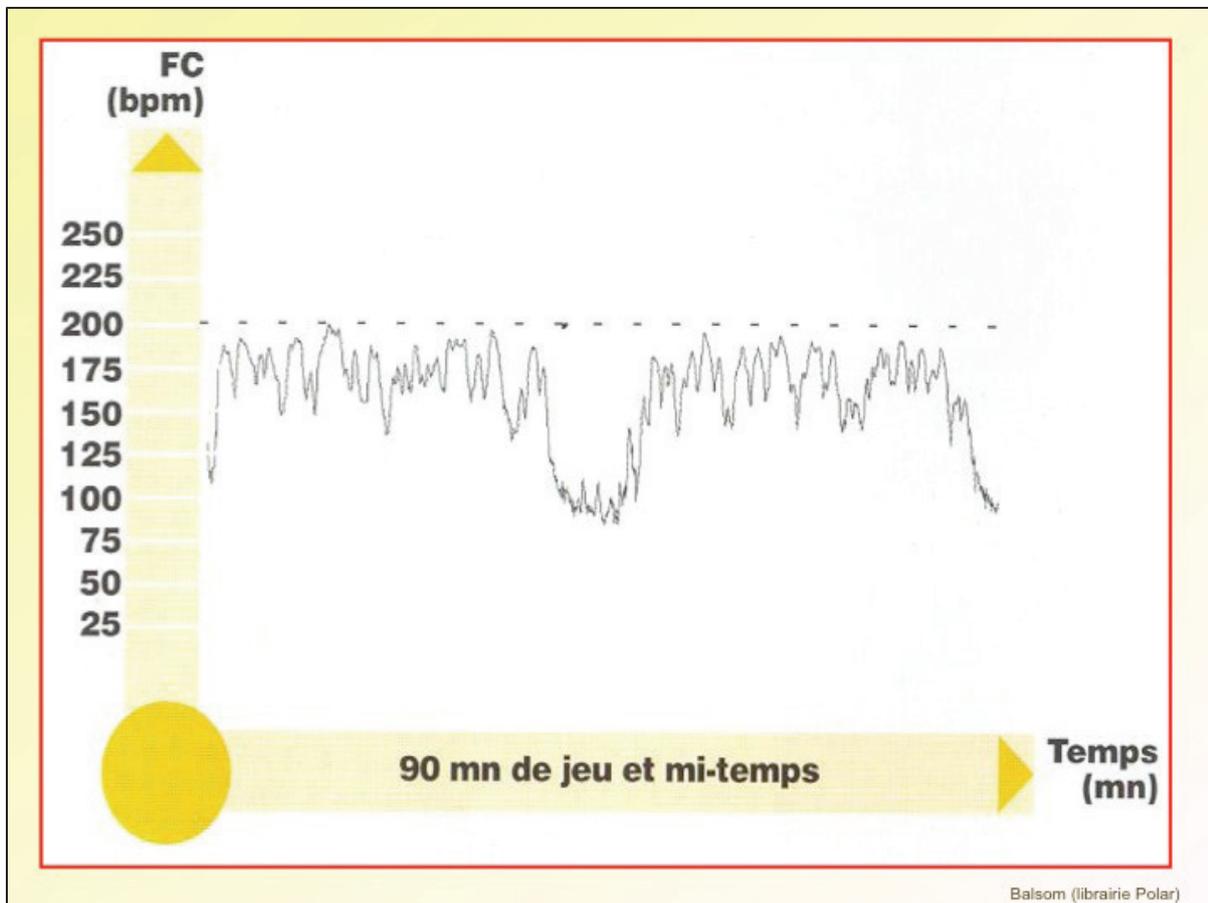


Figure 4. Rapport de FC d'un match de football.

$FC_{ex}$  peut être exprimée en  $\%FC_{max}$  avec la formule :  $(FC_{ex} / FC_{max}) \times 100$ , dans le but de mesurer l'implication cardiaque relative individuelle.  $FC_{ex}$  peut également être exprimée en  $\%FC_{res}$ , avec la formule:  $[(FC_{ex} \text{ moyenne} - FC_r) / (FC_{max} - FC_r)] \times 100$ . En calculant  $FC_{res}$ , les variations biorythmiques sont prises en compte, ce qui permettrait de faire des comparaisons interindividuelles dans un groupe de joueurs de football quel que soit le type d'exercice exécuté (Dellal et al., 2012).

La  $FC_{ex}$ , exprimé en  $\%FC_{max}$  ou en  $\%FC_{res}$ , est un excellent marqueur individuel tenant compte de l'intensité de l'exercice. Durant un exercice standardisé sous-maximal, plus les valeurs de  $FC_{ex}$  sont basses, meilleure est la forme physique du joueur testé (Mann et al., 2013). Cependant, l'augmentation de FC pendant l'exercice ne doit pas être systématiquement interprétée comme une diminution de la forme physique ou un indicateur de fatigue (Buchheit et al., 2012). Pendant un HIT, les réponses de FC sont influencées par la durée des courses, la présence ou non de changements de direction, l'intensité visée, les

encouragements des entraîneurs, et également par la durée et la nature de la récupération (active vs. passive) (Dellal et al., 2008, 2010b). En effet, une récupération active maintiendrait une FC élevée alors qu'une récupération passive la ferait diminuer, si sa durée est assez longue. De plus, les changements de direction augmenteraient considérablement la FC en conséquence de l'impact des accélérations et des décélérations répétées. Enfin, un temps court de courses intermittentes permettrait d'atteindre des  $\%FC_{\max}$  élevés : un 15-15 secondes (15 secondes de courses et 15 secondes de récupération) à 120% de la vitesse maximale aérobie permettrait d'atteindre 91-92% de  $FC_{\max}$ , et des  $\% FC_{\text{res}}$  élevés : un 5-20, un 15-15 et un 30-30 secondes permettraient d'atteindre de 77 à 86% de  $FC_{\text{res}}$  (Dellal et al., 2008, 2010b). Pendant des SSG, les réponses de FC ont été observées comme similaires, voire supérieures à celles observées en HIT (Reilly & White, 2004 ; Dellal et al., 2008) sans doute grâce à la présence des contraintes techniques, la répétition des changements de direction et les facteurs motivationnels liés à l'implication du ballon et des consignes des entraîneurs (Rampinini et al., 2007c). De nombreuses variables peuvent influencer l'intensité des SSG, donc des réponses de FC. Elles sont donc à prendre en compte dans l'analyse des mesures et la préparation des séances. Le nombre de joueurs impliqués, la taille du terrain, la présence ou non de gardiens de buts, la taille des buts, la règle pour marquer (buts vs. stop-balle), le nombre et la durée des périodes de jeu, la durée et la nature de la récupération, la fourniture des ballons pendant le jeu, l'équilibre/le déséquilibre dans l'opposition et les encouragements des entraîneurs ont un impact sur l'activité physique des joueurs et les réponses/adaptations physiologiques associées. (Dellal et al., 2012 ; Halouani et al., 2014 ; Koklu et al., 2015).

$FC_{\text{ex}}$  est un outil pratique pour mesurer l'intensité individuelle de l'effort aérobie ainsi que les capacités d'adaptation des joueurs à l'entraînement. Des auteurs ont d'ailleurs trouvé une relation entre une augmentation  $>4\%$  de  $FC_{\text{ex}}$  en réponse à une augmentation de la charge d'entraînement de la veille, et l'augmentation des probabilités d'apparition de maladie le jour qui suit (Buchheit et al., 2013c). Des méthodes basées sur des mesures de FC comme la méthode *training impulse* de Bannister (Bannister, 1991) et la méthode d'Edwards (Edwards, 1993) ont également été validées scientifiquement et associées à des indicateurs de la forme physique (Akubat et al., 2012, 2014) et des scores de RPE (Alexiou & Coutts, 2008). De nombreux paramètres influencent les réponses de FC et ils doivent être pris en considération pour que les analyses soient correctes et pertinentes. La période de la saison, le moment de la journée, l'âge, le planning, la charge de travail, les enchaînements de séances d'entraînement et leur interaction, l'état émotionnel, et d'autres paramètres peuvent affecter la FC pendant l'effort. Il est ainsi essentiel de faire preuve d'une grande prudence en interprétant les réponses de FC dans une équipe de football. Dans ce contexte, la FC est présentée comme un outil très fiable pour détecter l'apparition de la fatigue et avoir un aperçu global de la forme du joueur de football (Buchheit, 2014).



**Photo 6.** Mise en place d'une ceinture cardio-fréquence-mètre sur un joueur avant une séance d'entraînement.

### ***i.2.2 - VFC pendant l'exercice***

De nombreux auteurs ont déjà décrit et passé en revue l'utilisation de la VFC pendant l'effort comme étant très limitée puisque dépendante de nombreux facteurs comme l'intensité et l'environnement, de plus, elle ne serait pas exclusivement liée au SNA (Aubert et al., 2003 ; Buchheit, 2014). En effet, la VFC est déterminée par les fluctuations respiratoires à partir du point de compensation respiratoire, et, en dessous du premier seuil ventilatoire, la VFC est influencée de manière prédominante par l'activité vagale (Blain et al., 2005). Dans ce cas, la calibration d'une intensité individualisée serait nécessaire afin de ne pas faire excéder le premier seuil ventilatoire aux joueurs lors d'un exercice où l'on veut mesurer la VFC. Cela impliquerait que, même dans un sport collectif comme le football, tous les joueurs courent à une vitesse calibrée de manière individuelle (Buchheit, 2014). De plus, d'un point de vue technique, l'enregistrement de la VFC pendant l'exercice présenterait certaines limites en lien direct avec les signaux non-stationnaires (Aubert et al., 2003) et le « bruit » (défaut de mesure) présent dans les enregistrements causés par les mouvements de la ceinture (Buchheit, 2014).

Pendant l'effort, l'utilisation de la VFC présenterait bien trop de limites pour être considérée comme un outil pertinent pour les praticiens sur le terrain. Davantage d'études sont nécessaires dans ce domaine précis avant que la VFC ne soit utilisable comme un moyen fiable pour mesurer la charge de travail et la fatigue pendant l'exercice, même si son utilisation au repos reste tout à fait intéressante.

### ***i.3) FC après l'effort***

#### ***i.3.1 - FC de récupération (FC<sub>R</sub>)***

$FC_R$  pourrait être définie comme la phase de déclin de FC durant les quelques minutes qui suivent la fin de l'exercice (Shetler et al., 2001). Dans le SNA, une augmentation de l'activité sympathique combinée à une diminution de l'activité parasympathique cause une augmentation de la FC. Néanmoins,  $FC_R$  serait davantage régulée par une diminution sympathique et une réactivation parasympathique (Savin et al., 1982 ; Daanen et al., 2012) et pourrait fournir une mesure de la perturbation du contrôle autonome en réponse à un entraînement en endurance (Borresen & Lambert, 2008).  $FC_R$  peut être calculée durant différentes plages de temps, en général comprises entre 30 sec et 3 minutes après l'exercice, en soustrayant à la  $FC_{ex}$  finale atteinte, la FC obtenue une fois la plage de temps choisie écoulée (Dellal et al., 2015b). Bien qu'aucune différence n'ait été observée dans la fiabilité des mesures après 1 ou 2 minutes (Bosquet et al., 2008), le coefficient de variation des mesures de  $FC_R$  après 2 minutes a été reporté comme supérieur à celui des mesures après 1 minute (Lambert et al., 2004). Récemment, Dananen et al. (2012) ont conduit une revue de la littérature complète sur la  $FC_R$  et ont suggéré qu'elle soit mesurée après 1 minute afin de mieux détecter les différences significatives à travers le temps. Ils ont également suggéré qu'il était important de trouver un moyen d'exprimer  $FC_R$  en trouvant une valeur relative, et non absolue en battement par minute (Daanen et al., 2012). Cependant, ils ont conclu que les dernières études sur le sujet suggéraient toutes que  $FC_R$  était un outil intéressant pour quantifier la charge de travail, mais également pour suivre l'accumulation de fatigue chez le sportif (Daanen et al., 2012). De telles conclusions ont été confirmées par Dellal et al. (2015b) qui ont établi que  $FC_R$  était un indicateur pertinent à utiliser après des exercices spécifiques de football comme les SSG, les exercices à répétition de sprints et des HIT. A contrario, certains autres auteurs n'ont trouvé aucune corrélation entre  $FC_R$  et des variations de performance physique chez des joueurs de football de haut-niveau (Buchheit et al., 2012b ; Thorpe et al., 2015).

Il est important de noter que  $FC_R$  est influencée par de nombreux facteurs comme l'intensité, le type et la durée de l'effort, les règles et les instructions liés à l'exercice, et des facteurs environnementaux. En effet, une intensité élevée induirait une FC élevée à la fin de l'effort, et par conséquent, induirait probablement une plus grande réduction de FC (Seiler et al., 2007). Ensuite, les efforts intermittents permettraient, à long terme, d'induire des adaptations physiologiques qui amélioreraient les capacités de récupération et donc augmenteraient  $FC_R$ , en comparaison à des adaptations après des efforts de type continu (Seiler et al., 2007). De plus, il a été observé que la FC était plus élevée lors d'effort intermittent avec des changements de direction, ou lors de SSG avec gardiens de buts par exemple (Dellal et al., 2015b). Enfin, il a été observé que l'effort sous une forte chaleur augmentait la vasodilatation et par conséquent, faisait augmenter les mesures de FC. En d'autres termes,  $FC_R$  a été mesurée comme plus basse dans des conditions extérieures avec des températures élevées que sous des conditions modérées (Kilgour et al., 1993). Comme tous ces éléments doivent être pris en compte dans l'analyse de  $FC_R$  pour éviter toute mauvaise interprétation, on comprend que le processus d'analyse des données deviendrait alors coûteux en temps, et c'est ce point qui rendrait l'utilisation de  $FC_R$  limitée et limitant durant une saison entière de football.

### *i.3.2 - VFC après l'exercice*

La VFC post-exercice est la conséquence d'une réactivation parasympathique et d'une diminution sympathique. Elle est donc influencée par les niveaux d'épinéphrine plasmatique, de concentration en lactate sanguin et d'acidité du sang, tous causés par l'oxygénation artérielle, l'accumulation de métabolites dans le sang et dans les muscles squelettiques (Stanley et al., 2013). L'activité baroreflex-artérielle, la régulation de la pression sanguine, la vasodilatation des vaisseaux sanguins et la stimulation du metaboreflex, qui optimise le transport de l'oxygène aux muscles (Stanley et al., 2013 ; Buchheit, 2014), sont tous déterminants quant au niveau de réactivation parasympathique, et donc sur la valeur de VFC post-exercice. De plus, l'activité cardiaque parasympathique est connue pour être influencée par la durée et l'intensité de l'exercice, mais également l'âge, le genre, la forme physique, le niveau d'entraînement, l'état psychologique, le niveau de fatigue et l'ingestion de boisson (Stanley et al., 2013). En football, Ln rMSSD post-exercice et la vitesse maximale aérobie étaient corrélés, chez des jeunes joueurs très entraînés, avec quelques variations, tout au long d'une saison, de variables cardiorespiratoires et neuromusculaires en lien avec la performance (Buchheit et al., 2010 , 2012b). Des corrélations ont également été trouvées entre Log SD1 et des variations de volume plasmatique, mais sans aucune relation avec des variations de RPE ou de CK, toujours chez des joueurs très entraînés (Buchheit et al., 2011). De plus, différents indicateurs temporels de VFC comme les intervalles RR et pNN50, qui est la proportion de différences d'intervalles N-N successifs plus long que 50 ms, étaient altérés significativement par la compétition, en comparaison au jour de repos, chez des jeunes joueurs de football (Bricout et al., 2010). Mais comme la VFC post-exercice est influencée par l'intensité de l'effort et fortement reliée à l'intensité quand l'intensité est trop élevée, sa mesure devient redondante à celle de FC<sub>ex</sub> (Buchheit, 2014). De plus, les mesures de Ln rMSSD et Ln BF sont toutes deux influencées par l'heure de la journée et le chronotype (i.e. les régulations individuelles) des joueurs (Bonato et al., 2017). En conclusion, VFC post-exercice n'apporterait pas d'informations supplémentaires à FC<sub>ex</sub> et est influencée par trop de paramètres pour s'avérer pertinente, efficace et intéressante en tant qu'outil de suivi du joueur de football.

### *i.4) FC et VFC en jour de repos*

Pendant les jours de repos (jours sans entraînement ni compétition), le suivi des joueurs pourrait tout de même présenter quelque intérêt. En effet, même si les joueurs ne font aucun effort physique, le SNA cardiaque et les complexes neuromusculaires sont tout de même stimulés par les processus de récupération, et particulièrement les phénomènes de surcompensation (Bompa & Haff, 2009). Après un exercice, à court terme (0-90min), la stimulation metaboreflex prédomine alors qu'à long terme (1-48h), la stimulation baroreflex serait prédominante dans la réactivation parasympathique (Stanley et al., 2013). Selon le rapport de Stanley et al. (2013), ces deux réflexes se chevauchent durant environ 30 minutes. Il a été observé chez des hommes en bonne santé que l'ajustement de la charge d'entraînement au jour-le-jour, en fonction des variations quotidiennes individuelles de VFC, avait pour incidence une plus grande progression de VO<sub>2max</sub> et de vitesse maximale de course, en comparaison à un programme d'entraînement standard planifié de longue date (Kiviniemi

et al., 2007, 2010). Davantage d'études sont nécessaires sur la VFC en tant que marqueur du SNA cardiaque (Task Force, 1996) sur des joueurs de football, tout particulièrement à un haut niveau de pratique. Par exemple, elle pourrait indiquer l'impact de l'entraînement sur chaque joueur et, par conséquent, aider les entraîneurs à ajuster et optimiser les charges d'entraînement de manière personnalisée, en réponse à ces variations individuelles, comme cela a été très bien passé en revue et conseillé par Kiely (2012).

D'un autre côté, aucune association entre la VFC et la récupération musculaire (mesurée à l'aide d'un questionnaire de perception de fatigue et des concentrations sanguines en CK) n'a été relevée ni chez des joueurs de football (Buchheit et al., 2011) ni chez des haltérophiles (Chen et al., 2011). Ces observations ont précisément confirmé que la VFC ne faisait que refléter le SNA cardiaque. Dans une récente étude, il a été observé une augmentation significatives de  $FC_r$  le lendemain de matchs professionnels, alors qu'aucune variation n'était observée chez des jeunes joueurs de haut niveau (Djaoui et al., 2016). De telles informations confirment l'intérêt de suivre le processus de récupération les jours de repos. De plus, la FC qui augmente en état de surentraînement (Achten & Jeukendrup, 2003), pourrait présenter, pendant le sommeil, des informations encore plus fiables puisque moins influencées par des variables qui apporteraient de la confusion (Achten & Jeukendrup, 2003). Davantage de recherches sur des joueurs de football sont nécessaires dans ce sens pour confirmer l'intérêt du suivi quotidien de la VFC.

## ii) Les marqueurs sanguins

Tout au long d'une saison, une équipe de football s'entraîne différemment en fonction des différentes périodes de l'année. Pendant la pré-saison, les joueurs s'entraînent très dur avec des charges de travail très élevées ; pendant les périodes compétitives, la charge d'entraînement est réduite ; et pendant les périodes de repos, en cours de saison ou entre deux, ils sont principalement en repos relatif. Dans ce contexte, de nombreux auteurs ont analysé des prélèvements sanguins de joueurs de football au cours de saisons sportives, dans le but d'analyser les évolutions de nombreux paramètres physiologiques. La partie qui suit détaille les principaux paramètres sanguins, leurs intérêts et leurs limites dans le processus de suivi des incidences physiologiques du joueur au quotidien.



Photo 7: Prise de sang et processus d'analyse dans un club de football de Ligue 1.

### ii.1) Concentration en lactatémie sanguine

La concentration en lactatémie sanguine est un outil très utile pour évaluer les évolutions de la forme physique en terme d'endurance (Weltman, 1995), puisque la détermination du seuil lactique est un bon indicateur de la performance de type aérobie

(Farrell et al., 1979 ; Edwards et al., 2003). Etant donné que le seuil lactique s'améliore avec  $VO_{2max}$  (Helgerud et al., 2001), il pourrait être supposé que meilleur est le seuil lactique d'un joueur, plus grande sera l'intensité moyenne qu'il pourra maintenir pendant un match sans accumuler de lactate. Il a été reporté que le pic de lactatémie sanguine post-exercice apparaissait trois minutes après la fin de l'exercice, lorsqu'aucune récupération active n'était effectuée (Taouatou et al., 1996 ; Gharbi et al., 2008). La lactatémie sanguine peut être collectée soit via une prise de sang intraveineuse, avec analyse en laboratoire, soit avec un système de collecte en capillaire via le bout du doigt relié à un analyseur portable, qui donnera une mesure valide directement sur le terrain (Pyne et al., 2000).

La concentration en lactatémie sanguine d'un footballeur varie entre 1,0 et 15,5  $mmol.l^{-1}$  au cours d'un match de football (Stolen et al., 2005). Tout au long d'une saison, le niveau de lactatémie, déterminé sur un test de course standardisé, augmentait du début à la fin de la pré-saison, et restait stable des premiers mois de compétition jusqu'au dernier (McMillan et al., 2005). Dans le même sens, aucune variation du seuil lactique et de la vitesse de course à 4  $mmol.l^{-1}$  n'était observée pendant toute la saison de ces joueurs de football. Des différences étaient uniquement observées entre les données de pré-saison et celles de la période compétitive ; ce qui s'expliquait par le fait que les joueurs étaient en situation de désentraînement relatif en début de pré-saison (McMillan et al., 2005). La lactatémie sanguine est fortement corrélée avec d'autres marqueurs de l'intensité de l'exercice comme les RPE et les mesures de FC (Coutts et al., 2007). Elle est facile à prélever à partir du bout du doigt, et les outils de mesures sont relativement peu onéreux et assez fiables (Pfitzinger & Freedson, 1998). La concentration en lactatémie sanguine serait un outil intéressant pour suivre et quantifier la charge d'entraînement et la fatigue. Cependant, il a été reporté que sa concentration dépendait fortement de l'activité effectuée dans les cinq minutes qui précèdent la collecte (Bangsbo, 1994). De plus, à la différence des mesures de FC et de RPE, étant donné le caractère invasif du prélèvement sanguin, son utilisation au quotidien pourrait se révéler inconvenable puisque que seuls des professionnels de santé qualifiés sont légalement autorisés à les réaliser. Ainsi, la collecte de la lactatémie sanguine présente certaines limites d'ordre pratique qui rendent son utilisation moins fréquente que les RPE et la FC, particulièrement sur des footballeurs de très haut-niveau.

## ***ii.2) Indicateurs des dommages musculaires***

La CK est une enzyme présente dans le cerveau et les muscles et libérée lorsque les tissus sont endommagés (Mougios, 2007). C'est l'un des marqueurs des dommages musculaires les plus utilisés dans la recherche en sciences du sport (Brancaccio et al., 2010). Son lien étroit avec la pratique du football pourrait s'expliquer par la répétition des actions intenses, accélérations et décélérations qui imposent aux muscles des membres inférieurs de fortes contractions tant concentriques qu'excentriques. La répétition de ces concentrations musculaires peut provoquer des microlésions qui induisent une augmentation des concentrations en CK sanguins (Newham et al., 1986) mais pas seulement. Avant un match de football, des niveaux de CK mesurés à  $228 \pm 185 U.L^{-1}$ , augmentaient à  $1411 \pm 1364 U.L^{-1}$  24h après le match et redescendaient à  $729 \pm 1224 U.L^{-1}$  dans les 48h, chez des joueurs professionnels de Ligue 1 (Djaoui et al., 2016). Plus généralement, une augmentation de CK

jusqu'à 72 voir 120h (Ascensao et al., 2008 ; Ispirlidis et al., 2008 ; Souglis et al., 2015) peut être observée.

Le lactate déshydrogénase (LDH), qui est également une enzyme, est aussi un marqueur utilisé pour évaluer les niveaux de dommages musculaires. Le LDH augmente jusqu'à 96h après un match de football passant de 150 U.L<sup>-1</sup> à 350 U.L<sup>-1</sup> en 48h (Ispirlidis et al., 2008 ; Souglis et al., 2015).

La myoglobine (Mb) plasmatique, qui est la protéine de transport de l'oxygène dans le sang, peut également servir de marqueur de lésions du muscle cardiaque. La Mb a montré des élévations significatives de 50 µg.mL<sup>-1</sup>, avant le match, à 350 µg.mL<sup>-1</sup> 30min après la fin d'un match de football (Ascensao et al., 2008).

De telles variations indiquent qu'un match de football de haut niveau peut provoquer un grand nombre de dommages musculaires. De plus, les écarts types indiquent également que la CK propose de larges variations interindividuelles. Une récente étude a montré que les joueurs avec une meilleure condition physique présentaient des valeurs de CK réduites après un match de football professionnel (Owen et al., 2015). Les capacités de récupération, après un match de football, sont donc significativement différentes d'un joueur à l'autre, même chez les professionnels.

Les valeurs de CK pourraient être amenées à varier à travers une saison professionnelle. Des auteurs ont montré des différences significatives entre les mesures du premier jour d'entraînement en Juillet (~180 U.L<sup>-1</sup>) et celles de Février/Mars (~330 U.L<sup>-1</sup>) (Meyer & Meister, 2011). Ces observations ont été confirmées chez des joueurs professionnels d'une équipe portugaise (Silva et al., 2014). Une autre étude récente a montré quelques informations additionnelles : la CK augmenterait principalement pendant la période de préparation en pré-saison en raison des hautes charges d'entraînement (Heisterberg et al., 2013). Les valeurs des joueurs de l'équipe testée dans cette dernière étude ont augmenté de ~300 U.L<sup>-1</sup> à ~500 U.L<sup>-1</sup> pendant la pré-saison et sont retombées à ~300 U.L<sup>-1</sup> tout au long de la période compétitive (Heisterberg et al., 2013). Lazarim et al. (2009) ont reporté qu'au-delà de 950 U.L<sup>-1</sup>, les risques de blessures étaient très élevés si les joueurs étaient amenés à pratiquer un effort intense. Cependant, il est important de préciser qu'en plus de présenter de grandes variations d'un joueur à l'autre, les valeurs de CK sont fortement influencées par l'activité pratiquée les jours qui précèdent la prise de sang. Ainsi, les mesures de CK se doivent d'être analysées en considérant les charges d'entraînement individuelles en parallèle, pour une meilleure interprétation. De plus, l'interprétation devrait prendre en compte le fait que les joueurs de football professionnels auraient quasi-systématiquement des valeurs de dommages musculaires élevées, en réponse à leur pratique quasi-quotidienne du football (Heisterberg et al., 2014).

### *ii.3) L'urée sanguine*

L'urée, en tant que marqueur de la glycogénèse, est normalement élevée après un effort physique prolongé ou une augmentation des charges d'entraînement (Urhausen & Kindermann, 1992). Ce marqueur augmenterait ainsi pendant la période de préparation, en comparaison avec la fin des périodes de repos, et resterait stable tout au long des périodes compétitives (Meyer & Meister, 2011; Heisterberg et al., 2013). Les valeurs d'urée sanguine augmentent de 300 à 400 pmol.l<sup>-1</sup> entre le début de la pré-saison et les périodes compétitives

(Heisterberg et al., 2013). Certains auteurs ont observé que l'urée sanguine augmentait déjà pendant la période de pré-saison, et encore davantage pendant la saison, et ce, quel que soit l'âge du joueur (Manna et al., 2010). Ils ont suggéré que ce niveau d'urée sanguine pouvait servir d'indice pour identifier un joueur prêt à performer, comme en réponse à un programme d'entraînement intense, grâce aux phénomènes de surcompensation à plus long terme (Manna et al., 2010). Sachant que l'urée sanguine ne varie pas pendant la saison, même en réaction ponctuelle à un match de football (Colombini et al., 2014), utiliser ce marqueur au quotidien ne présenterait pas un grand intérêt, si ce n'est dans un cadre médical lié à des maladies des reins, ou encore à des problèmes de déshydratation récurrente (Meyer & Meister, 2010). Cependant, l'urée sanguine fournit quelques indications sur l'état de forme général et le niveau de préparation à la performance qui pourrait rendre son analyse intéressante lors d'un suivi plus large et moins fréquent.

#### ***i.4) La créatinine***

La créatinine est un marqueur de la dégradation de la créatine dans les métabolismes énergétiques et également dans le catabolisme des protéines. Plus grande est la masse musculaire du joueur testé, plus importante sera sa concentration sanguine en créatinine (Forbes & Bruining, 1976). L'ingestion de créatine aurait également une grande influence sur les mesures (Jackson et al., 2010), sans par ailleurs avoir de répercussion sur la santé (Cancela et al., 2008). Les concentrations sont amenées à augmenter après un match de football (Colombini et al., 2014 ; Mohr et al., 2016). Cependant aucun changement significatif dans les concentrations sanguines en créatinine n'a été observé à travers une saison de football chez des joueurs professionnels (de 96 à 99  $\mu\text{mol.l}^{-1}$  ; Heisterberg et al., 2013), ou alors des variations infimes qui ne méritaient pas d'analyse approfondies (Meyer & Meister, 2011). Le suivi de ce marqueur en incidence d'un match de football de haut niveau pourrait être intéressant, mais présenterait quelques limites dans un processus au quotidien.

#### ***i.5) L'hématocrite***

L'hématocrite, ou le volume de globules rouges dans le sang, est connu pour augmenter avec les améliorations de la forme physique (Brun et al., 1998 ; Meyer & Meister, 2011). Il est souvent utilisé comme référence pour calculer les variations plasmatiques liées à l'exercice (Dill & Costill, 1974). Après un match de football, les valeurs d'hématocrite sont d'ailleurs plus élevées que celles d'avant-match, en résultat d'une baisse du volume plasmatique (Colombini et al., 2014). Il a été reporté que l'hématocrite était significativement corrélé au développement général de  $\text{VO}_{2\text{max}}$  et au degré de maturation des jeunes joueurs de football (Hansen & Klausen, 2004). Au cours d'une saison, il resterait stable (45%) et augmenterait légèrement (47%) en fin de saison (Heisterberg et al., 2013). Cette augmentation finale, accompagnée par une diminution des valeurs d'hémoglobine (Heisterberg et al., 2013; Filaire et al., 2003), pourrait permettre de détecter des signes précoces de grosse fatigue ou de surentraînement. Bien que l'hématocrite apparaisse intéressant à utiliser, parallèlement aux niveaux d'hémoglobine pour suivre d'éventuel état précoce de surentraînement ou de sur-fatigue, des recherches plus approfondies sont nécessaires pour établir son réel intérêt dans un processus de suivi au quotidien.

### *i.6) Le statut immunitaire*

Etant donné que l'activité physique affecte le statut immunitaire, son suivi pourrait être utilisé pour détecter un éventuel état de surentraînement (Mackinnon, 2000). Une augmentation des lymphocytes, des leucocytes et des neutrophiles sanguins a été observée dans les 30min qui suivaient la fin d'un match de football (Ascensao et al., 2008), accompagnée d'une augmentation des protéines C-réactives jusqu'à 24h après le match (Ispirlidis et al., 2008 ; Souglis et al., 2015), protéines reconnues comme étant un marqueur de l'inflammation impliqué dans l'activation des monocytes et des molécules de synthèse des leucocytes (Torzewski et al., 2000). Des cytokines, protéines de liaison entre cellules, comme les IL-1b, n'augmentent pas après un match alors que les IL-6, qui interviennent également dans la réparation des tissus musculaires, augmentent juste après (Ispirlidis et al., 2008). Probablement en réponse aux augmentations d'IL-6, les concentrations en cortisol (C) augmentent également juste après le match (Ispirlidis et al., 2008), C va ensuite être impliqué dans la production des immunoglobulines de type M (Ig-M) et dans la capacité de fixation des leucocytes (Malm et al., 2004). Aucune variation de testostérone (T) libre dans le sang n'a été observée, sans doute afin de ne pas faire obstacle aux mécanismes du catabolisme post-exercice (Ispirlidis et al., 2008). L'acide urique (AU) augmente 30min après le match jusqu'à 96h dans certains cas (Ascensao et al., 2008 ; Ispirlidis et al., 2008 ; Fatouros et al., 2010) en réaction à l'élimination des cellules mortes de l'organisme ; le statut antioxydant total et la capacité antioxydant totale plasmatique augmentent également respectivement dans les 30min et jusqu'à 48h après la fin du match, influencés par les augmentations d'UA (Ascensao et al., 2008 ; Fatouros et al., 2010). Les protéines carbonyles, marqueurs de l'oxydation des protéines, augmentaient jusqu'à 96h (Ispirlidis et al., 2008 ; Fatouros et al., 2010).

Au cours d'une saison de football, les lymphocytes diminueraient tout au long de la saison (Bury et al., 1998 ; Heisterberg et al., 2013) ; les leucocytes diminueraient pendant la période de préparation et en fin de saison (Rebelo et al., 1998; Heisterberg et al., 2013) ; tandis que les globules blancs et les protéines C-réactive ne varieraient pas au cours de la saison (Meyer & Meister, 2011). Pendant la période de préparation, les immunoglobulines IgA, IgG et IgM se comportent différemment d'une étude à l'autre : ils diminueraient chez des joueurs professionnels de Ligue 1 (Filaire et al., 2003) et augmenteraient chez des joueurs professionnels d'une équipe danoise (Heisterberg et al., 2013). La différence entre ces deux études pourrait s'expliquer par des facteurs externes qui peuvent influencer les mesures, comme la diététique des joueurs, l'intensité des entraînements, leur type et les caractéristiques de l'environnement comme les conditions climatiques. D'ailleurs, il a été reporté que la période de repos entre deux saisons n'était pas assez longue pour permettre aux joueurs de récupérer totalement, selon ces indicateurs du statut immunitaire (Reinke et al., 2009). Les défenses immunitaires seraient donc sensibles à un état de fatigue sur le long terme, résultant d'une fatigue dite accumulée, qui peut mener à un état de surentraînement. Suivre régulièrement le statut immunitaire des joueurs pourrait tout de même se révéler pertinent puisqu'il est influencé par les charges d'entraînement et les différentes périodes d'entraînement. Néanmoins, les récoltes de données devront se faire par une approche via des prélèvements soit sanguins (invasifs) soit salivaires.

### *i.7) Le profil lipidique*

Dans un premier temps, il est important de noter que le métabolisme des lipoprotéines comme les triglycérides, les lipoprotéines à basse- (LDL) et haute-densité (HDL), est relié au niveau d'activité physique (Durstine et al., 2001 ; Lippi et al., 2006 ; Kelley & Kelley, 2009). Néanmoins il n'existe aucune preuve indiquant que le niveau de ces trois marqueurs est en lien direct ou indirect avec la performance physique. Les substances réactives de l'acide thiobarbiturique sont des indicateurs souvent utilisés comme marqueur de la peroxydation des lipides. Ils augmentent directement après un match de football et restent élevés jusqu'aux 48h d'après-match, certainement en réponse à la peroxydation des LDL et à la lésion des membranes de cellules musculaires par l'intermédiaire de l'oxygène (Ispirlidis et al., 2008). Les concentrations en malondialdéhyde, qui viennent de la dégradation des lipides polyinsaturés (ou peroxydation) (Del Rio et al., 2005), peuvent augmenter jusqu'à 72h après le match (Ispirlidis et al., 2008 ; Fatouros et al., 2010). Après un match de football, les concentrations en HDL et en cholestérol étaient inchangées alors que les concentrations en LDL avaient augmenté, et celles en triglycérides avaient diminué (Rahnama et al., 2009). L'augmentation des concentrations en LDL a été associée au transport du cholestérol dans l'organisme, pendant le match, et également à son implication dans les réactions oxydatives liées au métabolisme des lipoprotéines (Sanchez-Quesada et al., 1995). Il semblerait en revanche que l'effort imposé par un match de football ne suffise pas à induire des variations sur les concentrations en HDL qui sont connues pour être impliquées lors d'efforts d'endurance prolongés (Rahnama et al., 2009).

Le profil lipidique de joueurs professionnels de football ne présentait aucune différence entre des mesures effectuées après trois semaines de repos, et des mesures prises un mois plus tard, après une période d'entraînement intense en pré-saison (Tater et al., 1987). Tout au long d'une saison de football, la plupart des valeurs du profil lipidique restent stables à l'exception du total cholestérol (TC) et des LDL qui diminuaient significativement en fin de saison (Heisterberg et al., 2013). Ces diminutions reflétaient probablement une accumulation après une période prolongée d'exposition à des matchs et des entraînements qui auraient induit une amélioration du métabolisme lipidique (Heisterberg et al., 2013). Quelques observations contradictoires ont été faites dans d'autres études dans lesquelles les triglycérides et les LDL diminuaient, et les HDL augmentaient entre les valeurs de base et la période compétitive (Manna et al., 2010). Des variations semblables ont été observées sur des joueurs de football de loisir (Bangsbo et al., 2015), ou juste après un match officiel de football à haut niveau (Apostolidis et al., 2013). De plus, il a été reporté qu'en ajoutant des entraînement de type HIT aux programmes d'entraînement classiques de football, sur une période de 12 semaines, le profil lipidique était légèrement, mais non significativement, amélioré avec une réduction du TC et des LDL et une augmentation des HDL (Ouerghi et al., 2014). Toutes ces observations combinées indiqueraient que les charges d'entraînement influenceraient le TC, les triglycérides, les LDL et les HDL, mais que les variations de ces marqueurs s'avéreraient significatives uniquement lorsque les variations de charge d'entraînement seraient très importantes. Ainsi, suivre les marqueurs lipidiques pendant les premières phases de la saison, quand les joueurs sont soumis à des variations importantes de charge d'entraînement, pourrait se révéler pertinent. En revanche, l'utilisation d'un profil

lipidique pour suivre les charges d'entraînement pendant une saison entière semblerait d'un moindre intérêt. Quoiqu'il en soit, un suivi régulier des lipides et des lipoprotéines pourrait être recommandé pour traquer d'éventuels problèmes de santé (Heisterberg et al., 2013) ou pour optimiser la santé (d'un point de vue général) des joueurs, ce qui pourrait avoir un effet indirect sur leur performance (Manna et al., 2010).

### ***i.8) Le statut ferrique***

Une déficience en fer peut affecter la performance générale (Davies et al., 1973 ; Viteri & Torun, 1974 ; Finch et al., 1979 ; Perkkio et al., 1989). D'après Fallon (2004), la performance physique pourrait être détériorée si les niveaux de sérum de ferritine étaient en dessous de 20  $\mu\text{g.l}^{-1}$ . De plus, il est bien connu qu'une déficience en fer est assez fréquente chez les joueuses de football de haut-niveau (Resina et al., 1991 ; Landahl et al., 2005 ; Ostojic & Ahmetovic, 2009) principalement en raison des pertes de sang causées par les périodes de menstruations et des niveaux de pratique physique qui resteraient inchangés. Il a été reporté que les marqueurs du statut ferrique n'étaient affectés que de manière éphémère après un match de football (Jamurtas et al., 2015). Des mesures relevées pendant différentes saisons n'ont montré aucune variation significative en ferritine, en sérum de fer et en saturation de transferrine chez des joueurs de football (Ostojic & Ahmetovic, 2009; Meyer & Meister, 2011). Malgré tout, les joueurs « hommes » pourraient également présenter de petites réductions en ferritine à travers la période compétitive (Heisterberg et al., 2013). Certains auteurs ont montré que quelques joueurs étaient en déficience de fer à la fin d'une saison professionnelle de football et que la période de repos entre deux saisons n'était pas assez longue pour retrouver les valeurs de base de ferritine (Reinke et al., 2012). Cependant, avec des valeurs au-dessus de 20  $\mu\text{g.l}^{-1}$  et sans aucun lien avec d'autres signes d'anémie, ces réductions de ferritine ne peuvent être considérées comme problématiques tant pour leur performance que pour leur santé. Ainsi, le pistage des marqueurs du statut ferrique pourrait se révéler pertinent, mais davantage pour des raisons de santé que pour des raisons liées à la performance ou à la fatigue.

En ce qui concerne la procédure de récolte des échantillons sanguins, des recommandations ont dernièrement été reportées par différents auteurs (Hackney & Viru, 2008 ; Lima-Oliveira et al., 2017). Ainsi, la posture des joueurs (allongés, assis ou debout), le type de prise de sang (intraveineuse vs. capillaire), le stockage (à température entre  $-20^{\circ}\text{C}$  et  $-80^{\circ}\text{C}$  jusqu'à analyses) et les méthodes d'analyses sont à standardiser pour s'assurer que la récolte des données soient valides et fiables (Hackney & Viru, 2008 ; Lima-Oliveira et al., 2017).

Bien que tous ces paramètres sanguins puissent être expliqués et détaillés un par un, il y a toujours un certain manque dans la littérature actuelle sur des études qui relierait directement tel ou tel marqueur sanguin à la performance, à l'apparition de blessure ou à un diagnostic précis de surentraînement. Parmi toutes les réactions inflammatoires étudiées, Ispirlidis et al. (2008) n'ont observé aucune différence entre les postes de jeu, bien qu'il ait été évoqué précédemment que les performances athlétiques variaient d'un poste à l'autre. Développer l'étude de ces différents marqueurs dans des contextes particuliers, comme les semaines à plusieurs matchs, pourraient révéler quelques différences entre les postes de jeu.

En effet, l'enchaînement des efforts physiques liés aux demandes de leur poste pourrait engendrer des niveaux de fatigue différents d'un joueur à l'autre. Néanmoins, la collecte de données sanguines est un processus invasif, qui peut provoquer un certain stress, qui nécessite un personnel qualifié et un certain investissement financier. Ainsi, les prélèvements sanguins fréquents ne seraient pas assez dignes d'intérêt et rentables actuellement. L'utilisation de profils intra-individuels avec des valeurs de base individuelles serait quoiqu'il en soit plus que recommandée (Heisterberg et al., 2014 ; Meister et al., 2014).

### iii) Les marqueurs salivaires

La procédure de récolte salivaire a de nombreux avantages, comparée aux autres fluides biologiques. Elle est simple, peut être effectuée sur tout type de terrain ou de lieu, non-invasive et n'impose aucun stress (Gatti & De Palo, 2011). Il est bien connu qu'un stress physique a des conséquences hormonales, biochimiques et immunitaires sur les marqueurs salivaires, comme l'ont très bien détaillé plusieurs auteurs (Okhuwa et al., 1995 ; Kimura et al., 2008).



**Photo 8:** Exemple de collecte salivaire.

L'immunoglobuline A salivaire (sIgA) est l'un des marqueurs de l'implication immunitaire les plus étudiés dans le champ des sciences du sport, puisqu'elle serait très fortement liée aux risques d'infections respiratoires, de l'anglais « *Upper Respiratory Tract Infection* » (URTI) (Bishop & Gleeson, 2009 ; Mortatti et al., 2012). Ces infections sont connues pour affecter négativement la performance (Gleeson et al., 1995 ; Pyne et al., 2001). Différents auteurs ont observé une corrélation entre la réduction des charges d'entraînement et la réduction de sIgA et des symptômes d'URTI (Fredericks et al., 2012 ; Mortatti et al., 2013), alors que d'autres ont démontré que sIgA tendait à décroître trois jours avant l'apparition de symptômes d'URTI (Nakamura et al., 2006), ou encore qu'une baisse d'environ 28% de sIgA apparaîtrait pendant les trois semaines précédant la contraction d'URTI (Neville et al., 2008). Récemment, il a été observé que sIgA réduisait significativement juste après des entraînements de football à haute intensité, et que sIgA était totalement dépendant du volume et de l'intensité des entraînements réalisés juste avant la récolte salivaire (Owen et al., 2016). Toutes ces observations rendent très intéressante

l'utilisation de ce marqueur, particulièrement dans une routine de suivi des charges d'entraînement individuelles et dans le but de prévenir l'apparition d'URTI.

T et C sont aussi très fréquemment utilisés pour observer les variations de l'anabolisme et du catabolisme des protéines. Le ratio T/C peut être utilisé afin d'évaluer le niveau de bien-être et de fatigue, et ainsi prévenir du développement du syndrome de surentraînement (Maso et al., 2004 ; Papacosta et al., 2011). Une diminution du ratio T/C peut également être associée à une réduction de performance sur des tests physiques tout au long d'une saison de football (Kraemer et al., 2004), mais sans pour autant être automatiquement reliée à une baisse de l'activité physique en match officiel (Filaire et al., 2001). Silva et al. (2014) ont observé une augmentation significative du ratio T/C à la fin d'une saison de football, révélant un état de fatigue plus élevé à cette période, mais sans aucune corrélation avec la performance. Dans d'autres sports, des relations à la fois positives et négatives ont été trouvées entre l'évolution de ces hormones salivaires et la performance respectivement sur bicyclette et sur rameur (Hoogeven & Zonderland, 1996 ; Vervoorn et al., 1991). De plus, malgré des résultats similaires, l'analyse des observations peut différer d'une étude à l'autre avec certains auteurs suggérant qu'une baisse de T/C reflétait un état de fatigue (Passerlegue & Lac, 1999), quand d'autres concluaient que cela représentait un état de forme optimal avant une période de forte fatigue (Filaire et al., 2001). La partie d'analyse des variations de ces hormones représenterait la grande limite dans l'usage de tels marqueurs salivaires dans le suivi du footballeur. En effet, une attention particulière est nécessaire dans l'interprétation des résultats et l'adaptation des analyses au contexte et à l'environnement puisque, par exemple, C est connu pour varier avec le niveau d'anxiété d'avant-match (Alix-Sy et al., 2008). De plus, en relevant T et C à partir de la salive, une attention fondamentale est également requise sur les procédures de récolte (Schwartz et al., 2004 ; Hackney & Veru, 2008 ; Wang et al., 2015 ; Powell et al., 2015) et sur la prise en compte des rythmes circadiens (Fiet et al., 1981 ; Hayes et al., 2010), y compris pour des joueurs qui ont des niveaux de C réduits du matin jusqu'au soir (Filaire et al., 2001). La collecte de salive doit être réalisée à partir de salive « non-stimulée » après que le joueur se soit rincé la bouche à l'eau plate pour nettoyer les cavités orales. Les mesures de bios marqueurs salivaires nécessitent une correction du débit comme détaillé par Lindsay & Costello (2017). Concernant les différents indicateurs qui pourraient être recueillis à partir de la salive comme du sang, il a été reporté que leurs niveaux de concentrations étaient fortement corrélés (de  $r = 0,7$  à  $0,8$ ), bien que les indicateurs récoltables par la salive se limitent aux hormones stéroïdiennes (Hackney & Viru, 2008).

Tous ces marqueurs salivaires, comme marqueurs du système immunitaire présentent néanmoins un grand intérêt au quotidien car ils relèvent des changements d'état significatifs à long terme. Ces changements seront moins significatifs, relevés ponctuellement lors d'une séance d'entraînement ou lors d'un match de football.

#### **iv) Les marqueurs urinaires**

Les relevés urinaires sont souvent reliés aux contrôles anti-dopage dans le sport (Baume et al., 2015), cependant ils peuvent également être utiles pour le suivi des athlètes. De nos jours, il ne semblerait exister aucune étude ayant analysé de manière approfondie

l'utilité des relevés urinaires sur des joueurs de football. Cependant les observations en provenance d'autres sports vont pouvoir apporter quelques informations intéressantes et quelques pistes d'études et de réflexion quant à leur intérêt et leurs limites d'utilisation. En effet, de nombreux auteurs ont observé des relations significatives entre l'augmentation de la fatigue et des variations d'hormones et de catécholamines urinaires. Ainsi, Liederbach et al. (1992) ont observé une augmentation de norépinephrine (ou noradrénaline, NA) urinaire, d'épinephrine (ou adrénaline, A) urinaire et des valeurs de RPE chez des danseurs de ballet professionnels, entre le début et la fin de leur saison. Atlaoui et al. (2004, 2006) ont observé une augmentation de cortisone (Cn) urinaire et une diminution du ratio C/Cn après une période d'entraînement intense chez des nageurs de haut niveau. Ils ont également observé d'intéressantes corrélations entre la performance mesurée dans des compétitions officielles et les ratios C/Cn ( $r = 0,52$ ,  $p < 0.01$ ) et A/NA ( $r = 0,59$ ,  $p < 0.01$ ). En tennis, Rouveix et al. (2006) ont confirmé ces résultats en observant une augmentation du ratio C/Cn urinaire et une diminution du ratio A/NA urinaire, en lien avec des altérations de l'humeur et de la performance. Effectuer un suivi à l'aide de données urinaires pourrait offrir également d'intéressantes informations en lien avec le niveau d'hydratation des joueurs. En effet, l'évaluation de la couleur, de la gravité spécifique ou encore de l'osmolarité des urines permettrait d'identifier le niveau d'hydratation des athlètes (Maughan & Shirreffs, 2010b). Ainsi, une osmolarité urinaire  $> 900 \text{ mOsm.kg}^{-1}$  serait un signe de déficit hydrique de plus de 2% de la masse corporelle (Maughan & Shirreffs, 2008, 2010b), déficit qui a été corrélé avec une réduction de performance physique en match de football (Mohr et al., 2010). Une osmolarité urinaire  $\leq 700 \text{ mOsm.kg}^{-1}$  ou une gravité spécifique  $< 1020 \text{ g.ml}^{-1}$  pourraient être utilisées pour diagnostiquer un état de déshydratation, aussi appelé hypohydratation (Sawka et al., 2007 ; Maughan & Shirreffs, 2010b). L'état d'hypohydratation a été reporté comme néfaste pour la performance physique (Barr, 1999). Enfin, la couleur des urines, qui se doivent d'être récoltées le matin au réveil ou juste avant l'effort (Maughan & Shirreffs, 2010b), semblerait être positivement reliée à l'osmolarité et à la gravité spécifique (Armstrong et al., 1998). Elle pourrait être mesurée pour estimer le niveau d'hydratation à l'aide d'une échelle de huit couleurs développée par Armstrong (2000). Néanmoins, si ce dernier marqueur est moins précis que les deux précédemment cités, son utilisation reste intéressante lorsqu'aucun autre outil davantage sophistiqué n'est disponible.



**Photo 9:** Test urinaire pour calculer l'osmolarité.

Les marqueurs urinaires offrent des informations en lien avec la fatigue générale, caractérisée par des changements d'humeur, une baisse des performances, une augmentation des volumes, des intensités d'entraînement, et de la fatigue perçue, mais également des

informations sur le niveau d'hydratation (Maughan & Shirreffs, 2010a). De plus, leur récolte est non-invasive, totalement indolore, et les sportifs de haut-niveau sont habitués aux procédures protocolaires en lien avec les contrôles anti-dopage et les « check-up » médicaux. En revanche, comme suggéré par Hackney & Viru (2008), les analyses urinaires sont elles aussi limitées aux hormones stéroïdiennes et leur collecte sur des périodes de 24h sont quelque peu pénibles et exigeantes. De plus, l'urine peut rester stockée plusieurs heures dans la vessie avant d'être récoltée, ce qui induirait des analyses hormonales qui ne reflètent pas systématiquement l'état en temps réel (Hackney & Viru, 2008). Enfin, il faut savoir que l'urine demande une correction de son volume pour une analyse fiable (Lindsay & Costello, 2017).

Malgré ces quelques limites, l'urine et la salive sont considérées comme « le futur » des outils du suivi objectif en médecine du sport et en science de l'exercice (Lindsay & Costello, 2017). De larges perspectives sont ouvertes, notamment en football, quant aux liens qui pourraient exister entre le niveau d'hydratation, les variations de marqueurs biologiques et les performances physiques en match.

### **c) La fatigue et le surentraînement**

Les processus inflammatoires observés à travers les différents marqueurs physiologiques liés aux dommages musculaires, au statut immunitaire et au stress oxydatif permettent de mettre en avant un état de fatigue plus ou moins important. Cet état de fatigue peut avoir différentes répercussions à plus ou moins long terme. Dans les processus d'entraînement à la performance, un certain degré de fatigue est nécessaire, lorsqu'il est compensé par de la récupération : c'est la fatigue aigue ou passagère, en l'anglais « *functional overreaching* ». Dans cet état de fatigue aigue, une diminution des performances à court terme est observée. Dans ce cas précis, des stratégies de récupération sont à prescrire afin de permettre au joueur de subir les phénomènes de surcompensation qui l'amèneront à progresser en quelques jours. Si la récupération n'est pas effectuée de manière systématique, contrôlée et individualisée, le stress causé par l'enchaînement des entraînements devient alors excessif et peut entraîner une chute de la condition physique du joueur et un état de sous-récupération (« *underrecovery* ») ou de fatigue plus longue (« *nonfunctional overreaching* ») (Kellmann et al., 2018). Ces deux états diffèrent en certains points. Alors que la sous-récupération pourrait se caractériser par un manque général de récupération, lié également à des facteurs de stress psychologiques et extra-sportifs (e.g. les médias, la famille), la fatigue plus longue résulte d'une altération négative des marqueurs psychologiques et hormonaux, à laquelle s'ajoute une diminution des performances (Meeusen et al., 2013). Ces deux états additionnés et prolongés dans la durée sont précurseurs du syndrome de surentraînement. Le syndrome de surentraînement est caractérisé par des symptômes physiques comme des courbatures récurrentes, des sensations de jambes lourdes, une tendance à la mauvaise humeur ou à la dépression, un statut immunitaire affaibli entraînant des maladies, ou des URTI par exemple, et des perturbations endocriniennes (Budgett et al., 2000). Si la sous-récupération et le surentraînement non-fonctionnel peuvent

être compensés par la mise en place de stratégies de récupération et de repos en lien avec le rythme de vie (liées au sommeil, à des régimes alimentaires, des activités sociales), il n'en est pas de même pour le syndrome de surentraînement. Celui-ci nécessite un repos prolongé et une récupération accrue de plusieurs semaines, voire plusieurs mois, et il implique systématiquement une diminution nette de la condition physique due au repos prolongé qu'il impose.

L'un des marqueurs du surentraînement les plus utilisés dans le sport est le ratio TC (Banfi et al., 1993) notamment car il met en avant le déséquilibre entre les phases métaboliques anaboliques et cataboliques (Banfi & Dolci, 2006). Ce ratio a également été récemment observé dans le football en lien avec les taux de vitamines D chez des professionnels italiens (Lombardi et al., 2017). D'autres hormones telles que la corticotrophine (hormone de croissance), l'insuline ou le cortisol augmentent également dans un état de surentraînement, lié aux hypothèses d'altération des régulations hypothalamiques (Urhausen et al., 1995). Néanmoins, aucun marqueur isolé n'a été validé comme étant le révélateur d'un état de surentraînement. C'est en combinant le suivi des joueurs sur les différents aspects que sont la charge d'entraînement, la performance en compétition et les états psychologiques (questionnaires subjectifs), eux-mêmes comprenant des marqueurs anthropométriques, physiologiques, physiques et subjectifs qu'un état de surentraînement peut éventuellement être diagnostiqué (Plowman and Smith, 2003). C'est cet aspect multifactoriel du diagnostic et de l'analyse du surentraînement qui fait de cet état une thématique à la fois complexe et passionnante, comme décrite dans de nombreux travaux de thèses (Bosquet, 2000 ; Brun, 2003 ; Dupuy, 2012 ; Renaud, 2012).

## **CHAPITRE IV. LES FACTEURS D'INFLUENCE DE LA PERFORMANCE EN MATCH**

L'activité physique et les incidences physiologiques d'un match de football de haut-niveau ont été le sujet de larges investigations depuis plusieurs dizaines d'années. Si nous sommes capables aujourd'hui de quantifier l'implication physique de chaque joueur, leur activité technique et de mesurer la charge induite par un match de haut-niveau à l'aide de différents indicateurs objectifs et subjectifs, de nombreux rapports ont fait état de l'importance des conditions environnementales dans l'influence de ces indicateurs (Lago-Peñas, 2012 ; Bradley et al., 2014 ; Sarmento, 2014 ; Paul et al., 2015 ; Bush et al., 2015). Les principaux facteurs d'influence que sont: les conditions météorologiques, le moment de la journée, le lieu (domicile vs. extérieur, altitude, ...), le niveau de jeu, l'évolution du score, l'importance du match, la tactique et le système de jeu et le nombre de matchs par semaine, sont présentés et détaillés dans ce chapitre. Bien entendu, l'activité physique et la plupart des marqueurs technico-tactiques dépendent également fortement de la philosophie de jeu de l'entraîneur, du club, des caractéristiques des joueurs, du budget du club et des traditions locales (Lago, 2009) ce qui allonge la liste des facteurs d'influence et rend l'analyse de l'activité encore plus complexe (James et al., 2002). Les facteurs d'influence détaillés représentent des éléments supplémentaires et indispensables à prendre en compte dans l'analyse des performances, ou contre-performances, et dans la préparation d'une équipe de football de haut niveau.

### **a) L'influence des conditions météorologiques**

#### **i) Conditions chaudes et humides**

Les capacités à réaliser un effort dans des conditions chaudes sont réduites en comparaison à un effort sous des conditions plus modérées (Galloway & Maughan, 1997). Les mécanismes responsables de cette réduction incluent une variété de changements homéostatiques qui se produisent en parallèle à l'augmentation de la température corporelle. Selon Nybo (2010), ces facteurs pourraient se diviser en (1) des changements dans le système nerveux central qui entraîneraient une fatigue dite « centrale » et (2) une détérioration de la fonction cardiovasculaire qui réduirait la délivrance en oxygène et donc la fourniture en énergie (liée aux mécanismes aérobie) dans le muscle pendant l'effort, provoquant une fatigue dite « périphérique ». De plus, les températures musculaires extrêmes qui ont été observées dans le football (Mohr et al., 2010) pourraient également altérer les fonctions contractile (Van der Poel & Stephenson, 2002) et nerveuse (Racinais et al., 2008) des muscles. Dans des conditions météorologiques normales, la chaleur produite, induite par l'exercice, est évacuée par la peau grâce au principe de convection ; cependant quand les températures extérieures augmentent, le mécanisme d'évaporation devient majoritaire, en devenant même parfois le seul moyen qu'a le corps de dissiper la chaleur (Armstrong &

Maresh, 1998). En football, des températures du muscle du quadriceps ont été observées jusqu'à 40°C pour certains joueurs (Mohr et al., 2010), alors que même dans des environnements tempérés, les températures corporelles initiales pourraient atteindre 39-39,5°C, avec des individualités au-delà de 40°C (Ekblom, 1986 ; Mohr et al., 2004). La combinaison des effets de ces augmentations de température, en plus de la fatigue, induirait une diminution des DTP et des courses à HI en deuxième mi-temps de matchs de football et une réduction dans la capacité à répéter des sprints (Mohr et al., 2003). Ce problème s'aggraverait dans des conditions extérieures où le vent serait réduit et/ou le taux d'humidité importante, imposant au corps l'activation d'autres mécanismes physiologiques (plus fatiguant) pour réussir à évacuer la chaleur, la transpiration devenant compromise (Brewer & Warren, 2014). Il est important de noter que les risques d'hyperthermie existerait au-dessus de 22°C, mais pas en dessous (Grantham et al., 2010). Dans ce sens, Carling et al. (2011) ont observé une diminution des DTP par les milieux de terrain, en match, quand les températures excédaient 21°C. Ils ont également observé une diminution des courses à HI dans le dernier quart d'heure de la première mi-temps (>21°C vs. <5°C). Plus généralement, Konefal et al. (2014) ont observé que de très hautes températures extérieures (>28°C) réduisaient l'activité à MI (11-14 km.h<sup>-1</sup>) et HI (>14 km.h<sup>-1</sup>), quand des hauts niveaux d'humidité supérieurs à 60% réduisaient l'activité à MI, et que la combinaison des deux réduisait le nombre total de sprints. D'ailleurs, en dessous de 60% d'humidité, il n'y aurait aucun effet sur le confort « thermique » (Hensen, 1990). Des diminutions de l'activité physique à HI, sous des hautes températures semblables (>30°C), ont également été observées dans d'autres études, en deuxième mi-temps et en lien avec des pertes hydriques >2% de la masse corporelle d'avant-match (Mohr et al., 2010 ; Ozgunen et al., 2010). Les courses à MI et/ou BI réduites en match seraient sans doute une stratégie (volontaire ou non) des joueurs pour se préserver et réserver leur énergie pour les courses à THI sous des conditions extrêmes (Aughey et al., 2014). La fatigue d'après-match serait donc plus élevée après un match sous des conditions chaudes (vs. conditions normales) (Mohr et al., 2010), mais les adaptations physiologiques induites pourraient varier d'un individu à un autre (Ozgunen et al., 2010).



**Photo 10** : Joueur en conditions chaudes cherchant à se rafraîchir.

Si des conditions extérieures extrêmes augmentent la température corporelle et la sudation, d'autres mécanismes physiologiques d'adaptation permettraient au corps de réduire la chaleur, de réduire le stress thermique et de réduire ainsi la fatigue induite par ces mécanismes (Nybo, 2008). En effet, une période d'acclimatation à des conditions extrêmes permettrait d'atténuer l'effort physiologique (Racinais et al., 2015). Le fait de s'entraîner sous une chaleur sèche ou humide permettrait d'ailleurs d'améliorer son activité physique dans ces deux conditions. Néanmoins, l'acclimatation à une chaleur humide aurait pour conséquence d'augmenter la température de la peau et d'altérer certaines adaptations circulatoires, en comparaison aux conditions plus sèches. Ces différences seraient sans doute liées à l'augmentation du niveau maximal d'humidité de la peau et donc de son niveau maximal d'évaporation de la chaleur (Racinais et al., 2015). L'importance de l'acclimatation a également permis d'observer un net avantage aux locaux de pays du Golfe en accueillant des joueurs qui n'étaient pas de la région (Brocherie et al., 2015). Les marqueurs impactés par l'acclimatation de joueurs de football à la chaleur sont nombreux, et leur suivi permettrait d'individualiser et de gérer les différences interindividuelles. Ainsi, la FC, la quantité de sueur, le taux de sodium sudoral, la température corporelle et le volume plasmatique varieraient différemment d'un joueur à un autre (Racinais et al., 2015). Le rôle du volume plasmatique reste encore débattu dans la littérature mais il a été observé que les variations d'hématocrite lors d'un test sous la chaleur, après une courte période d'acclimatation, sont corrélées avec la performance physique individuelle réalisée (Racinais et al. 2012). Le volume plasmatique serait donc un indicateur pertinent, même si ses variations ne sont pas liées directement aux mécanismes qui améliorent les performances physiques par temps chaud (Racinais et al., 2015). D'un point de vue des performances d'ordres cognitives, une étude a montré que des liens existaient avec le glucose plasmatique et la température corporelle. En effet, une corrélation de 50% a été observée entre ces deux marqueurs lors d'un exercice (tests cognitifs sur ordinateur) sous la chaleur (Bandelow et al., 2010). Le glucose plasmatique permettrait une augmentation de la vitesse de la réponse, et une diminution de sa précision, quand la température aurait des conséquences inverses. Ainsi, les effets combinés du glucose plasmatique et de la température corporelle auraient eu comme conséquence d'au moins maintenir les performances cognitives en condition de chaleur (Bandelow et al., 2010). Cependant, il serait intéressant d'observer les effets d'un exercice prolongé, à l'image d'un match de football entier, sur de tels marqueurs et ainsi observer jusqu'à quel point la performance cognitive reste inchangée. D'autres facteurs tels que la déshydratation et l'hyperthermie seraient également susceptibles de contribuer au développement de la fatigue pendant un match de football (Magal et al., 2003 ; Reilly, 1997). Il a été reporté que des joueurs de football perdaient jusqu'à 3 litres de liquides pendant un match dans des conditions tempérées, et pas loin de 4-5 litres dans des conditions chaudes et humides (Bangsbo, 1994 ; Reilly, 1997), et il a été observé que les performances sur 5m et 10m sprintés sont diminuées en état de sous-hydratation équivalent à la perte de 2.7% du poids du corps (Magal et al., 2003). Cependant, dans l'étude de Krustrup et al. (2006), une réduction significative de la performance sur sprint était observée bien que les joueurs n'aient seulement perdu que 1% de leur poids du corps. Aucun effet n'était observé sur la température corporelle ou musculaire dans une autre étude qui observait les mêmes pertes hydriques (Mohr et al., 2004). Ainsi, les pertes hydriques ne seraient pas systématiquement

un facteur important de la réduction de la performance observée en fin de match (Bangsbo et al., 2006). Cependant, aucune étude n'a encore montré de lien entre les pertes hydriques lors d'un match de football, et l'éventuelle baisse de performance, d'activité physique ou l'apparition prématurée de la fatigue pendant un match de football.

## **ii) Conditions froides**

La chaleur et l'humidité ont une incidence sur la fatigue et la performance, mais aucun impact n'a été observé sur l'activité physique en match sous des températures plus basses (Carling et al., 2011 ; Link & Weber, 2017). D'ailleurs, comme décrit plus haut, c'est plutôt l'inverse qui a été observé puisque des plus grandes distances à HI dans le dernier quart d'heure de la première mi-temps d'un match étaient observées en condition  $<5^{\circ}\text{C}$  (vs.  $>21^{\circ}\text{C}$ ) sur trois saisons de Ligue 1 (Carling et al., 2011), et de plus grande DTP observées sous  $13^{\circ}\text{C}$  à  $-4^{\circ}\text{C}$  (vs.  $>14^{\circ}\text{C}$ ) durant deux saisons de Bundesliga (Link & Weber, 2017). Il existe un consensus dans la littérature scientifique sur le sujet. En effet, il a été montré qu'une baisse de la température musculaire pouvait affecter la capacité à produire des contractions explosives et dynamiques (Nimmo, 2004) et une baisse dans la capacité à répéter les sprints (Mohr et al., 2004). Cependant, Maughan et al. (2010) ont montré que les températures extérieures idéales pour réaliser une performance optimale en vitesse et en endurance étaient situées entre  $4$  et  $10^{\circ}\text{C}$ . La limite des études de Carling et al. (2011) et de Link & Weber (2017) réside dans le contrôle des moyens utilisés pour augmenter la chaleur corporelle des joueurs. En effet, les échauffements d'avant-match, sont souvent plus longs quand les températures sont plus basses et peuvent comporter des exercices différents. La prise en compte également des couches de vêtements supplémentaires (sous-pulls, maillots à manches longues, gants), l'utilisation de crèmes chauffantes ou encore la mise en place de stratégies nutritives différentes, avec notamment l'ingestion de boissons chaudes. Tous ces moyens auraient sans doute permis aux joueurs de se réchauffer et de ne pas subir les éventuels méfaits des basses températures.

Des conditions météorologiques extrêmes (chaleur, humidité) ont un impact négatif sur la performance et sur la fatigue de joueurs de football. De larges recommandations ont été publiées afin que ces impacts sur la performance ne se transforment pas en impact vital (Racinais et al., 2015). Dvorak & Racinais (2010) ont décrit l'exemple des jeux olympiques de Pékin, en 2008, quand la finale de football était programmée, en plein été, à midi donc sous la chaleur, l'humidité, et sans un brin d'air. Les équipes médicales des deux équipes ont obtenu, de la part des instances du football, des accords afin de protéger un maximum les joueurs, qui encourraient des risques à jouer un match d'une telle importance sous de telles conditions. Pour rafraîchir au maximum les joueurs, toute une organisation avait été mise en place dans les vestiaires avant le match, pendant les deux mi-temps avec une pause au bout de 30 minutes de jeu, à la mi-temps et également après le match. Un bel exemple où les dirigeants d'un sport se sont mis aux services des connaissances scientifiques, pour le bien des acteurs, principalement. Ces conditions météorologiques sont donc à prendre en compte dans l'analyse de la performance, concernant la fatigue de joueurs de football, mais également pour prévenir d'éventuels problèmes liés à leur santé.

## b) L'heure / le moment de la journée

Presque toutes les variables physiologiques et biochimiques suivent un rythme circadien (Reilly et al., 1997). Ces rythmes sont représentés par des variations, pendant les 24h d'une journée, de facteurs à la fois endogènes et exogènes. Les composants endogènes sont attribués à l'activité cérébrale de l'hypothalamus (« l'horloge biologique ») et les composants exogènes sont liés directement à l'environnement naturel, la lumière, la température, entre autre (Waterhouse et al., 2002). La température corporelle (dont les variations sont présentées sur la **figure 5**) est souvent utilisée comme un marqueur de l'horloge biologique en raison de sa forte composante endogène. De nombreuses mesures physiques peuvent d'ailleurs s'expliquer par les rythmes circadiens et les variations de température corporelle (Drust et al., 2005). Des mesures de force musculaire (Reilly & Bambaiechi, 2003), de performance en sauts (Reilly & Down, 1992), et de souplesse (Gifford, 1987) ont suivi ce modèle. Sur des performances mentales comme des temps de réaction ou des états d'humeur, une dépendance aux rythmes circadiens a également été observée (McNair et al., 1971) montrant ainsi l'existence d'une certaine périodicité du système nerveux établie sur 24h (Reilly et al., 2007). En revanche, les rythmes d'aucune de ces tâches mentales ne coïncidaient avec les variations de température corporelle. Ainsi, les pics de performance physique pourraient apparaître bien plus tard dans la journée que les pics de performance mentale. Drust et al. (2005) ont d'ailleurs suggéré que les performances complexes de types décisionnelles, en lien notamment avec les stratégies, la tactique et leur communication, seraient mieux maîtrisées en matinée, quand les tâches physiques le seraient mieux le soir. En football, les matchs peuvent avoir lieu le matin comme l'après-midi, jusqu'au soir. En revanche, plus le niveau est élevé et plus les matchs ont tendance à se dérouler dans l'après-midi ou le soir, néanmoins les entraînements des groupes professionnels ont souvent lieu en matinée. L'intensité d'un match étant corrélée avec la puissance aérobie maximale (Reilly & Thomas, 1976), la performance en sprint étant influencée par la puissance anaérobie, et ces deux mesures étant elles-mêmes affectées par les variations diurnes en lien avec les variations de température corporelle (Reilly & Down, 1992), il semble inévitable que certains composants de la performance physique en football soient affectés par l'heure de la pratique, en lien avec les rythmes circadiens (Reilly et al., 2007). De nombreuses études ont d'ailleurs montré que les performances physiques de footballeurs en répétition de sprints, en saut, en test Wingate et en test « Yoyo » aérobie étaient meilleures le soir que le matin (Hammouda et al., 2011, 2012, 2013 ; Chtourou & Souissi, 2012 ; Chtourou et al., 2012a). Et la même tendance a été observée sur des tests d'habileté motrice (Reilly et al., 2007). Dans la plupart de ces études, la température corporelle était également plus élevée aux heures du soir. L'augmentation de la température corporelle le soir aurait probablement comme effet d'augmenter la vitesse de conduction des potentiels d'action. Ainsi, il en résulterait une meilleure coordination motrice, et une plus grande puissance musculaire (Martin et al., 1999). Une autre hypothèse fait état du bénéfice de l'augmentation de la température corporelle comme d'un échauffement passif permettant l'amélioration des propriétés contractiles des muscles le soir, assurant indirectement une augmentation de la puissance musculaire (Racinais et al., 2005). Mais la température corporelle ne serait pas la seule cause de ces améliorations de performance en fin de journée (Reilly et al., 2007).

L'étude de marqueurs biologiques à différents moments de la journée a permis de comprendre certains mécanismes liés à ces variations de performances dans la journée. Au repos, le nombre des globules blancs est plus élevé en fin de journée (Hammouda et al., 2011) avec un pic atteint entre 18h et 00h (Haus et al., 1983; Kanabrocki et al., 1990). Les niveaux plasmatiques de CK, de LDH, d'alanine, d'aspartate aminotransférase, d'alkaline phosphatase, d'  $\gamma$ -glutamyltransférase, qui sont tous des indicateurs des dommages musculaires, sont également plus élevés le soir (Hammouda et al., 2011), en lien avec l'élévation de la température corporelle (Haus et al., 1983 ; Rivera-Coll et al., 1993). Et c'est également le cas pour les niveaux de glucose, de créatinine et d'homocystéine (Hammouda et al., 2011). En revanche, les valeurs du statut antioxydant et d'AU sont plus élevées le matin (Hammouda et al., 2011). Ainsi, il semblerait que les marqueurs de dommages musculaires et de stress oxydatif soient plus élevés le soir, et que le statut antioxydant soit plus efficace le matin. Après l'exercice, la lactatémie serait plus élevée le soir, comparé au matin, après un même test de répétition de sprints (Hammouda et al., 2011), ou un test YoYo (Hammouda et al., 2013), sans doute en lien avec la température corporelle (Dalton et al., 1997). Les concentrations en catécholamines (Deschenes et al., 1998), la créatinine, le glucose et l'homocystéine seraient également plus élevées le soir (Hammouda et al., 2011). Les performances seraient meilleures et le métabolisme serait mieux sollicité le soir, comparé au matin. L'augmentation de l'homocystéine et des marqueurs liés aux dommages musculaires le soir indiquerait que le stress oxydatif est plus prononcé le soir (Kanabrocki et al., 2002). En revanche, Hammouda et al. (2011) n'ont trouvé aucune influence de l'heure de l'exercice sur l'évolution du statut oxydant. De plus, aucun impact n'aurait non plus été observé sur des valeurs de RPE et de  $FC_{max}$  (Hammouda et al., 2013). Ainsi, le système antioxydant ne serait pas influencé par des variations diurnes. Les meilleures performances observées le soir pourraient être en partie dues à un niveau plus important d'homocystéine et de marqueurs biologiques de dommages musculaires, ainsi qu'à des valeurs de repos du statut oxydant relativement basses (Hammouda et al., 2011).

La pratique à une certaine heure de la journée pourrait être également influencée par les habitudes d'entraînement. En effet, la performance serait améliorée quand elle a lieu aux mêmes heures que les entraînements (Chtourou & Soissi, 2012 ; Chtourou et al., 2012b). De plus, il a été montré que s'entraîner l'après-midi augmentait l'amplitude de variations des performances neuromusculaires pendant toute la journée, quand s'entraîner le matin réduisait cette amplitude (Chtourou & Souissi, 2012). Les variations liées aux rythmes circadiens de la testostérone et du cortisol pourraient influencer ces différences, mais les recherches actuelles n'ont pas été suffisamment concluantes pour permettre d'établir de réels liens de causes à effet (Chtourou & Souissi, 2012). Ainsi, dans l'analyse des marqueurs de performances, qu'ils soient physiques, techniques ou liés à des concepts mentaux, le moment de la journée, l'heure de la pratique et les habitudes d'entraînement sont à prendre en compte parmi les autres facteurs d'influence. La recherche scientifique spécifiquement liée au football sur ce sujet est assez pauvre. Les perspectives d'études sur l'effet de l'heure sur des facteurs de performances comme la vitesse maximale et l'activité physique aux hautes intensités dans des situations réelles de match ou d'entraînements spécifiques (jeux réduits) sont nombreuses.

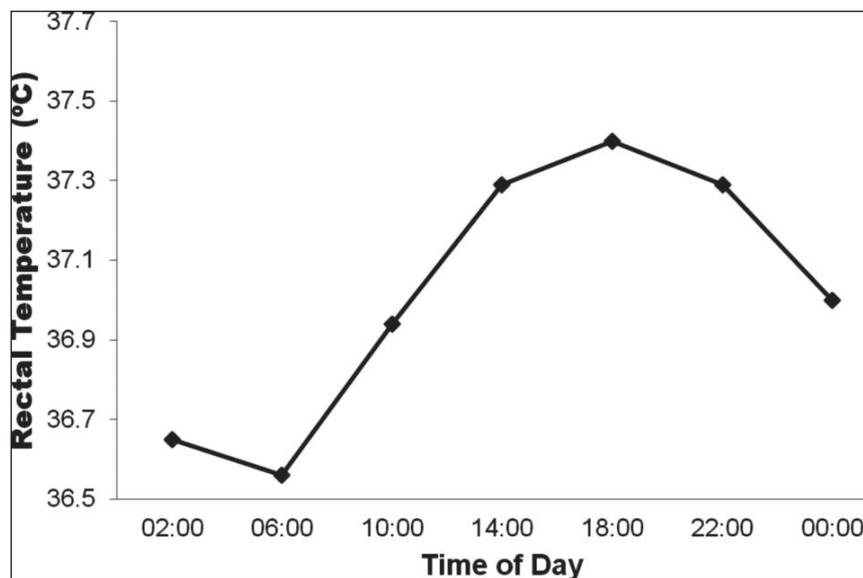


Figure 5. Rythme circadien de la température rectale (Reilly et al., 1997).

## c) Le lieu du match

### i) Domicile vs. extérieur

Il a été montré depuis une trentaine d'année qu'il existe un avantage statistique à jouer à domicile (Pollard, 1986), dans le football mais également dans de nombreux autres sports collectifs (Gomez et al., 2011). Même si cet avantage aurait diminué depuis la mise en place de la victoire à trois points lors de la saison 1995-96 (Sanchez et al., 2009), les moyennes de points gagnés à domicile semblent assez constantes: 64% en championnat d'Angleterre (Pollard, 1986), 61% en Turquie (Seckin & Pollard, 2008), 62% en Espagne (Lago-Peñas & Lago-Ballesteros, 2011) et 67% en Allemagne (Staufenbiel et al., 2015). Garcia et al. (2013) ont d'ailleurs reporté que le fait de jouer à domicile était un réel avantage dans 32 des 52 pays gérés par l'Association du Football en Union Européenne (UEFA). Même si cet avantage tendrait effectivement à diminuer entre 2000 et 2010. Même dans les pays du Golfe, la probabilité de gagner serait plus importante à domicile (Brocherie et al., 2015). A noter que dans le football féminin, les joueuses seraient moins avantagées par le fait de jouer à domicile avec 54% des points gagnés (vs. ~62% pour les hommes) (Pollard & Gomez, 2014). Ce bénéfice du match à domicile n'a pas encore été tout à fait élucidé, cependant quelques hypothèses ont été avancées comme celles associées à la foule et aux supporters, ainsi que celles liées à la motivation de défendre son territoire. En effet, plusieurs auteurs ont trouvé que des liens significatifs existaient entre la moyenne de fréquentation des stades et le nombre d'expulsions et de pénaltys sifflés contre les visiteurs en Grande Bretagne (Nevill et al., 1996). La fréquence des comportements agressifs et des cartons jaunes reçus par les visiteurs (vs. locaux) serait d'ailleurs plus élevée en Angleterre (Thomas et al., 2006) ; et la moyenne de cartons jaunes distribués seraient également plus élevée pour les visiteurs dans les deux grandes compétitions européennes que sont la ligue des Champions et la ligue Europa (Goumas, 2014). Ces tendances ont été expliquées par la pression de la foule sur les joueurs visiteurs, qui ferait monter leur agressivité, et sur les arbitres, qui influencerait leurs décisions. Goumas (2014) a d'ailleurs trouvé un lien étroit entre la densité de la foule dans les tribunes et les décisions arbitrales contre les visiteurs.

Mais ce ne sont pas les seules explications puisqu'il semblerait que le fait de jouer à domicile ait un impact particulier sur les joueurs de l'équipe qui reçoit. En effet, même s'il a été montré que le niveau d'anxiété était le même avant un match à domicile qu'avant un match à l'extérieur (Duffy & Hinwood, 1997), les concentrations de T salivaire seraient plus élevées avant un match à domicile (Neave & Wolfson, 2003). Le côté archaïque de la défense du territoire pourrait donc bénéficier aux joueurs locaux. Cependant, tous les joueurs ne réagiraient pas de la même façon. En effet, il semblerait que les joueurs étrangers d'une équipe marqueraient plus de buts à domicile que les joueurs réellement « locaux » (Poulter, 2009). Cette différence pourrait être liée à la réelle pression locale qui serait moindre pour un joueur « adopté » par un club, qui ne s'identifierait pas autant qu'un joueur natif de la ville ou du pays. D'ailleurs, il a été montré dans différents pays que l'avantage à domicile était réduit dans les capitales (en comparaison aux villes de province) puisqu'elles sont des lieux cosmopolites avec plusieurs ethnies distinctes et un sens d'appartenance au « territoire à défendre » réduit. C'est le cas pour les clubs de football de Londres, Paris, Lisbonne, Rome, Madrid ou encore Athènes (Clarke & Norman, 1995 ; Pollard & Gomez, 2009 ; Armatas & Pollard, 2014). Pour en revenir aux différences homme/femme, la défense du territoire étant un aspect moins présent, et la perception de la pression des spectateurs assez différente pour les femmes, le moindre avantage du match à domicile serait ainsi justifié (Pollard & Gomez, 2014).

Au-delà des marqueurs liés à l'agressivité, des marqueurs technico-tactiques ont également été observés afin de mesurer l'avantage pour l'équipe à domicile. Ainsi, de plus grandes actions offensives avec de plus grandes moyennes de buts, de tirs, de tirs cadrés, d'actions franches, de corners, d'hors-jeu commis, de passes décisives, de passes réussies, de passes effectuées, de dribbles effectués, de dribbles réussis, de possession de balle et de gain de possession du ballon ont été observées en faveur des locaux, quand les visiteurs avaient des moyennes plus importantes de cartons jaunes et de perte de la possession de balle (Carmichael & Thomas, 2005; Poulter, 2009 ; Lago-Peñas & Lago-Ballesteros, 2011 ; Bradley et al., 2014). Plus précisément, il a été établi que la plus grande différence entre les locaux et les visiteurs résidait dans le nombre de tirs effectués dans la surface de réparation (Armatas & Pollard, 2014). D'autre part, Staufenbiel et al. (2015) ont relevé un phénomène intéressant lié à l'attente des entraîneurs, qui exigeraient davantage de victoire, de buts et de jeu tactiquement offensif en étant à domicile. Enfin, on pourrait évoquer l'importance de l'attente des dirigeants de clubs, qui souhaiteraient du spectacle, des buts et des victoires à domicile afin d'attirer, de satisfaire et de fidéliser les spectateurs et les médias, qui représentent des intérêts financiers non-négligeables pour les clubs. D'autres facteurs jouent un rôle en interaction avec le lieu du match, comme la qualité de l'équipe adverse (Lago-Peñas & Lago-Ballesteros, 2011 ; Castellano et al., 2011). Face à un adversaire plus fort, l'avantage à domicile serait relativement réduit (Lago-Peñas & Lago-Ballesteros, 2011), même dans des conditions météorologiques favorables pour les locaux (Brocherie et al., 2015). Des marqueurs physiques ont également été observés dans de nombreuses études qui ont montré que les équipes à domicile parcouraient de plus grandes distances, sur des basses intensités, que les équipes visiteuses (Zubillaga et al., 2007 ; Lago et al., 2010).

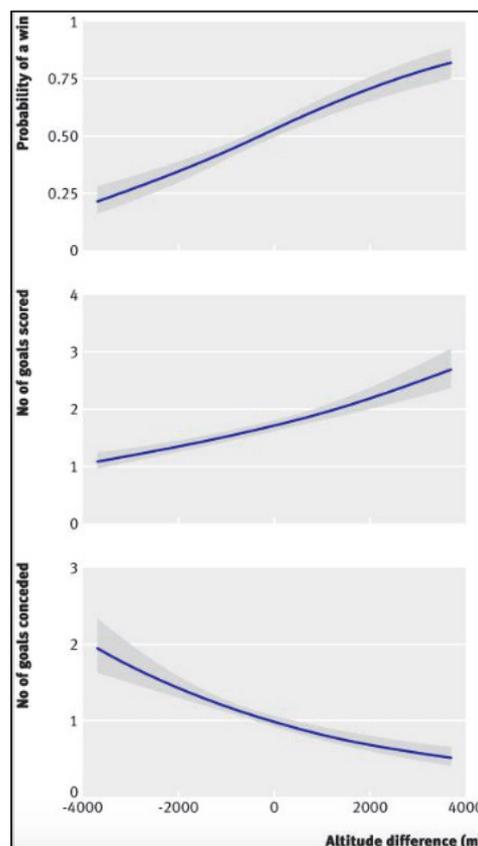
D'autres points de détail pourraient être évoqués vis-à-vis des influences du jeu à domicile. Par exemple, le fait d'avoir un stade avec une piste d'athlétisme entre le terrain et les tribunes réduirait l'avantage à domicile, la proximité avec les spectateurs étant moindre (Armatas & Pollard, 2014). Ou encore le fait d'être familiarisé avec les installations, et ainsi avoir des repères sensoriels mieux établis (Lago-Peñas & Lago-Ballesteros, 2011). Autre exemple, le fait de ne pas avoir à voyager pour le match, même si aucun réel impact n'a été observé sur des joueurs professionnels (Armatas & Pollard, 2014 ; Fowler et al., 2015) si ce n'est, dans le cas des joueurs d'une équipe accueillie, une diminution de la qualité du sommeil ainsi qu'une diminution des sensations de bien-être, liées à un long voyage de plusieurs jours, entre l'Australie et le Brésil par exemple, et au décalage horaire (Fowler et al., 2017).

## ii) Les effets de l'altitude

Un autre aspect, et non des moindres dans l'influence du lieu d'un match de football sur la performance des joueurs, est l'altitude à laquelle se joue le match. En effet, l'altitude est bien connue pour affecter les performances de type « aérobie » (Gore et al., 2008), notamment en retardant la récupération phosphatique entre les intervalles d'un effort intermittent (Reilly, 2007). Mais l'influence de l'altitude dépend avant tout des conditions dans lesquelles s'entraînent les joueurs. Une évaluation a montré que des joueurs issus du niveau de la mer (0-500m) étaient soumis à de plus grands stress (plus grande déplétion de  $VO_{2max}$ , plus de lactate sanguin et une plus basse saturation en  $O_2$ ) en jouant à La Paz en Bolivie à 3600m, en comparaison à des joueurs qui résidaient sur-place (Brutsaert et al., 2000). Plus concrètement, en altitude, des joueurs issus du niveau de la mer parcouraient relativement moins de DTP et de distances à HI ( $>14 \text{ km.h}^{-1}$ ) en match (Aughey et al., 2013 ; Buchheit et al., 2013a). Suite à des analyses de matchs sur une centaine d'années, McSharry (2007) a modélisé la probabilité pour les équipes de gagner en fonction de la différence d'altitude entre le lieu du match et le lieu de résidence (**figure 6**). Ainsi, pour deux équipes issues de la même altitude (différence d'altitude égale à zéro), la probabilité pour l'équipe à domicile de gagner serait de 0,50, mais elle augmenterait à 0,57 pour l'équipe à domicile si le match se jouait chez eux à ~3600m contre une équipe issue du niveau de la mer. Cependant, la probabilité augmenterait encore plus, à 0,73, pour une équipe issue du niveau de la mer (l'équipe du Brésil par exemple) qui recevrait une équipe de résidents à ~3600m d'altitude (comme la Bolivie). L'analyse de McSharry a aussi démontré que pour une équipe du niveau de la mer qui se déplace à 1000-2000m la capacité à gagner n'était pas compromise. En fait, si elle se déplace chez une équipe à 1000m d'altitude, la probabilité diminue marginalement à 0,49 pour l'équipe à domicile. Ainsi, une équipe à 2000m d'altitude qui reçoit une équipe issue du niveau de la mer verrait ses chances de gagner se réduire. L'analyse de McSharry révèle que les équipes issues d'une altitude modérée (2000-3000m) et d'une haute altitude (3000-5500m) sont beaucoup moins susceptibles de gagner à l'extérieur qu'à domicile. Donc voyager au niveau de la mer pour des équipes issues d'une altitude « modérée à haute » réduirait leur probabilité de gagner. L'explication physiologique est que les résidents d'une haute altitude augmenteraient relativement moins leur  $VO_{2max}$  au niveau de la mer (Hochachka et al., 1991 ; Favier et al., 1995). Par exemple, un résident du niveau de la mer

qui aurait passé plusieurs jours à 3500m augmenterait sa  $VO_{2max}$  de ~25% une fois de retour au niveau de la mer (Clark et al., 2007), alors qu'un résident à 3500m emmené au niveau de la mer n'augmenterait sa  $VO_{2max}$  que d'environ deux tiers de ces 25% (Hochachka et al., 1991 ; Favier et al., 1995). Le meilleur moyen de minimiser l'impact de l'altitude sur les joueurs est de se préparer, au moins une dizaine de jours, jusqu'à plusieurs semaines, en s'entraînant en condition d'hypoxie, en altitude ou dans des conditions simulées (Gore et al., 2008) juste avant le match ou la compétition.

Les effets du lieu du match, qu'ils dépendent du domicile ou de l'extérieur, des caractéristiques du stade ou encore de l'altitude ont largement été étudiés en lien avec les probabilités de victoire/défaite et de réalisations techniques. Ces facteurs sont à prendre en compte dans l'analyse des performances du joueur de football en match. Cependant de larges perspectives de recherche existent encore sur l'impact du lieu de pratique sur l'analyse poussée de l'activité physique, en match comme à l'entraînement, sur les composantes d'accélération, de vitesse maximale et de répétitions de sprints notamment.



**Figure 6.** Probabilité de gagner, nombre de buts marqués et encaissés selon la différence entre l'altitude du match et l'altitude de résidence d'une équipe (McSharry, 2007).

## d) L'impact du niveau de jeu

Plusieurs classifications ont été proposées pour définir le « niveau » d'une équipe par rapport à une autre. Lors des tournois, il y aurait les équipes qui « réussissent » et celles qui « échouent » ; et dans les championnats, les équipes seraient différenciées par leur classement de fin de saison selon celles qui sont dites « (plus) fortes » et celles qui sont dites « (plus)

faibles » (Taylor et al., 2008). Lago et al. (2010) ont, eux, défini la qualité de l'opposition comme la différence dans le classement final entre l'équipe de référence et son adversaire. Le niveau de l'adversaire va ainsi influencer plusieurs marqueurs de performance d'une équipe en plein match. De nombreux auteurs ont montré que le fait de jouer face à un adversaire plus fort augmentait les DTP et les distances à basse intensité, courues ou marchées ( $<14 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) (Mohr et al., 2003 ; Rampinini et al., 2007b, 2009 ; Lago et al., 2010 ; Castellano et al., 2011 ; Hewitt et al., 2014). Concernant les HI ( $14\text{-}17 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) et THI ( $17\text{-}21 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ), des auteurs ont montré qu'elles augmentaient également avec la qualité de l'adversaire (Rampinini et al., 2007b ; Castellano et al., 2011 ; Folgado et al., 2014). Lors d'une compétition internationale comme la coupe du monde de football, la tendance se confirmerait avec des vitesses moyennes de courses marginalement plus élevées face à des équipes avec un meilleur classement FIFA (Casamichana & Castellano, 2014). En revanche il existe un consensus dans la littérature puisque d'autres auteurs ont observé des courses à HI réduites face à des adversaires plus forts chez des internationales féminines (Hewitt et al., 2014) et aucune variation en fonction de l'adversaire sur les courses à HI et THI lors de matchs de championnat de *Liga* espagnole (Lago et al., 2010). Les différences pourraient sans doute s'expliquer par la nature des matchs et du contexte compétitif de chaque investigation. Hewitt et al. (2014) ont observé des matchs internationaux amicaux, Lago et al. (2010) des matchs de championnats espagnols et Casamichana & Castellano (2014) des matchs de coupes du monde FIFA. Aucune étude à ce jour n'a étudié l'influence des différents types de compétition sur toutes ces variables. De plus, les variables situationnelles (conditions climatiques, lieu, contexte, etc.) qui jouent en interaction les unes avec les autres, font du football un sport extrêmement complexe influencé par de multiples facteurs (James et al., 2002) et qui demande une analyse extrêmement précise et limitée par ces interactions permanentes.

Des variations de l'activité physique en match peuvent être dues : soit à une adaptation tactique, qui indiquerait que les joueurs sont capables de s'adapter à l'opposition de l'équipe adverse et au contexte du match ; soit à une apparition de fatigue. Lago-Peñas (2012) a suggéré que l'augmentation des courses à basses intensités reflétait une hausse de fatigue qui se traduisait par une augmentation du besoin de récupérer. Dans le même temps, il pourrait être suggéré que l'augmentation de l'activité physique générale face à un adversaire plus fort serait une adaptation sur le terrain visant à équilibrer les débats, voir à inverser la tendance. Car le fait de jouer face à un adversaire plus fort ne se découvre pas sur le terrain pendant le match, mais relève bien de la préparation en amont, que ce soit d'un point de vue tactique, physique, voire même psychologique. Il a été montré que le niveau de T d'avant-match serait influencé par le degré de rivalité de l'équipe adverse (Neave & Wolfson, 2003). Ainsi, face une équipe « extrêmement » rivale, les joueurs auraient des niveaux de T salivaire bien plus élevés que face à des équipes dites « modérément » rivales (Neave & Wolfson, 2003). Ces différences hormonales pourraient être la conséquence d'une préparation psychologique et d'un conditionnement d'avant-match qui, dans le cas du niveau de rivalité, dépend fortement de l'adversaire. Dans cette même étude, les auteurs ont également observé les effets combinés du lieu (domicile vs. extérieur) et de la rivalité (extrême vs. modérée) et ont montré que l'interaction du match à domicile face à des rivaux extrêmes augmentait

encore davantage les niveaux de T (Neave & Wolfson, 2003). De nombreuses études ont montré des différences significatives en fonction du niveau des équipes dans les performances sur sprint (Urhausen et al., 1998 ; Cometti et al., 2001), sur sauts (Arnason et al., 2004) et sur des relevés de lactatémie plus élevés en match (Stolen et al., 2005) notamment, indiquant qu'un meilleur niveau de jeu impliquerait une meilleure condition physique.

L'activité physique n'est pas la seule à être influencée par le niveau de jeu d'une équipe et son adversaire. Certains aspects technico-tactiques sont également impactés. Rampinini et al. (2009) ont observé un plus grand nombre de passes courtes, de passes courtes réussies, de tacles, de dribbles, de tirs et de tirs cadrés pour les meilleures équipes. Lors d'un Euro, les meilleures équipes auraient tendance à effectuer davantage d'attaques en possession (vs. en jeu direct) avec des indicateurs de nombre de passes et de corners plus élevés (Sgro et al., 2016). Ces données ont également été observées en matchs de ligue des Champions (Liu et al., 2015). Il a également été montré qu'en jouant face à un adversaire d'un niveau inférieur, la possession de balle serait meilleure (Lago & Martin, 2007 ; Bradley et al., 2014), et, de façon similaire, serait moins importante face à un adversaire d'un niveau supérieur (Lago, 2009). Cet impact sur la possession de balle varie en interaction avec le lieu du match puisque jouer à l'extérieur contre une équipe plus faible augmenterait la possession de balle par rapport à un match à domicile face au même adversaire (Lago, 2009). Taylor et al. (2008) ont montré que face à un adversaire plus fort, le nombre de passes avait tendance à augmenter et le nombre de dribble à baisser. De telles observations montrent que les stratégies de conservation du ballon changent en fonction de l'adversaire (Jones et al., 2004 ; Lago & Martin, 2007 ; Taylor et al., 2008). Almeida et al. (2014) ont montré que la qualité de l'opposition, en ligue des Champions, influençait également la façon dont l'équipe récupérait le ballon. Ainsi en jouant face à une équipe de même niveau, l'efficacité pour récupérer le ballon en taclant serait meilleure que face à une équipe d'un niveau supérieur. Dans le même temps, leurs analyses ont montré que les stratégies défensives adoptées face à des équipes plus faibles ou de même niveau résidaient dans la capacité à forcer l'adversaire à jouer sans intention de garder la possession, en le poussant à commettre des erreurs (Almeida et al., 2014). Une récente étude n'a pas montré de différence dans les performances techniques d'une équipe durant deux saisons après une montée en division supérieure (Morgans et al., 2015). Les perspectives de nouvelles études dans ce sens sont nombreuses. En effet, dans l'étude en question, une seule équipe réalisait les mêmes performances techniques dans deux divisions différentes, sans que pour autant ce ne soit le cas pour toutes les équipes engagées dans ces deux divisions. D'autant que les joueurs avec un plus haut niveau d'expertise ont une plus grande habileté à prendre la bonne décision technique en lien avec la situation tactique (Diaz del Campo et al., 2011). En interaction avec le score du match, l'équipe la plus faible qui mènerait au score se contenterait de stratégies défensives « passives », en attendant l'erreur de l'adversaire, alors que les meilleures équipes, même en menant ou en cas de nul (i.e. d'égalité), auraient une attitude défensive plus « active » en tentant des gestes défensifs (tacles et interceptions) pour récupérer le ballon (Pratas et al., 2012 ; Ruiz-Ruiz et al., 2013 ; Almeida et al., 2014). En interaction avec le lieu du match, les équipes les plus fortes, à domicile, seraient encore plus efficaces défensivement, en récupérant autant de ballons au

total, mais moins sur des interventions du gardien de but (Almeida et al., 2014). En revanche, l'avantage du match à domicile lié aux conditions météorologiques chaudes et humides, auxquelles les locaux seraient habitués, serait légèrement réduit lors de l'accueil d'une équipe plus forte (Brocherie et al., 2015). Le niveau de jeu et la qualité de l'adversaire sont donc des facteurs à prendre en compte dans l'analyse des données, tant physiques que techniques. Dans un sport où l'interaction est directe avec l'adversaire, la mise en place de certaines habitudes pourrait même servir à anticiper des comportements à éviter. La préparation psychologique d'avant-match aurait ici un rôle important à jouer.

## **e) L'influence de l'évolution du score**

Le football est un sport collectif où deux équipes s'affrontent, en interaction directe et dynamique, avec pour but de prendre l'avantage sur l'adversaire (McGarry et al., 2002). L'analyse de la performance en football doit prendre en compte l'analyse des aspects tactiques, ces derniers étant reliés aux adaptations individuelles et collectives aux changements de statut pendant un match (Grehaigne, 1999). A savoir si l'équipe est en train de gagner, de perdre ou si le score est « nul » (= à égalité). Ces adaptations peuvent se traduire par des changements dans l'activité physique des joueurs pendant un match, mais également par des changements dans les attitudes tactiques de possession du ballon et d'occupation du terrain. En effet, en étant menée au score, l'équipe verrait ses DTP, ses courses à MI, HI et THI augmenter (O'Donoghue & Tenga, 2001 ; Castellano et al., 2011). Alors que l'équipe qui mène au score verrait ses courses à THI ( $>19 \text{ kmh}^{-1}$  dans cette étude) diminuer de 50% (Lago et al., 2010). Ces observations indiquent bien que les joueurs de football n'utilisent pas le maximum de leurs capacités pendant la totalité d'un match. Ces observations rendent également concrète l'expression « courir après le score », puisqu'en étant menée, l'équipe va augmenter son activité physique pour tenter de déséquilibrer l'adversaire et d'inverser la tendance (Lago et al., 2010). Dans ce sens, il a même été observé que l'équipe menée au score voyait son taux de blessure augmenter (Ryvanen et al., 2013) en lien hypothétique avec l'augmentation de la prise de risque et de l'agressivité. En revanche, Casamichana & Castellano (2014) n'ont récemment observé aucune variation des vitesses moyennes de course en match de phases finales de coupe du monde, en rapport avec l'évolution du score, alors que de plus grandes vitesses étaient observées chez l'équipe gagnante et chez l'équipe perdante (vs. cas de match nul) lors des phases de qualification (Casamichana & Castellano, 2014). Le contexte compétitif pourrait sans doute expliquer ces variations dans l'attitude des équipes. Donc que ce soit en match de championnat, de qualification pour une grande compétition, ou lors d'un tournoi internationale, les intentions et l'impact du score pourraient différer.

Il a été observé qu'en étant menées au score, les équipes avaient tendance à déplacer leur bloc collectif, le rendant plus « haut » sur le terrain (Lago, 2009 ; Almeida et al., 2014). De plus, la possession de balle serait également plus importante lorsqu'une équipe est menée au score (Lago & Martin, 2007 ; Lago, 2009 ; Lago-Peñas & Dellal, 2010 ; Bradley et al., 2014). Selon Lago (2009), la variable la plus importante pour expliquer la possession du ballon et les zones de jeu serait l'évolution du score. Dans le même sens, Paixão et al. (2015)

ont montré que les équipes menant au score raccourcissaient leurs séquences (nombres) de passes avant un tir, alors que les équipes menées allongeaient leur nombre de passes réalisées avant un tir. En effet, en menant au score, les équipes se contenteraient de contre-attaquer et/ou favoriseraient le jeu direct, alors qu'en étant menées, elles essaieraient de reprendre le contrôle du match en tentant de maintenir le jeu le plus proche du but adverse (James et al., 2002 ; Lago-Peñas & Dellal, 2010 ; Taylor et al., 2010 ; Ruiz-Ruiz et al., 2013). Il a également été observé que certaines des meilleures sélections nationales, en menant au score, avaient tendance à augmenter la prédominance des actions individuelles, par des dribbles ou par de la conduite de balle (Machado et al., 2014). Ainsi, ces équipes maintiendraient leur potentiel offensif, et par la même occasion, seraient amenées à tirer plus de fois au but que les équipes en situation de nul ou menées au score (Machado et al., 2014). De semblables observations ont été réalisées sur des matchs de *Liga* espagnole (Lago et al., 2010). Taylor et al. (2008) ont montré que les tirs d'une équipe menée au score, ou à égalité, étaient bien moins précis que ceux de l'équipe qui mène. De telles observations indiqueraient qu'en « courant après » le score, les tirs seraient tentés depuis des positions moins adéquates et plus difficiles (e.g. de plus loin et d'angles plus fermés) (Taylor et al., 2008).

Donc l'équipe menée au score aurait tendance à garder la possession du ballon en étant davantage dans le terrain de l'adversaire ; et l'équipe menant au score se contenterait de jouer en contre-attaque en attendant l'erreur adverse, et en basant principalement son jeu sur des actions individuelles. Ce constat ne fonctionne pas pour la totalité des cas et des équipes car, à l'image des résultats de la littérature sur le sujet, un consensus existe sur l'influence du score sur ces marqueurs de la performance. Le contexte de la compétition jouée pourrait être une première explication, avec différentes façons d'envisager les matchs : matchs de championnat durant toute une saison, matchs de qualification pour une grande compétition pendant des périodes entrecoupées au cours d'une saison, et grand tournoi international durant quelques semaines, par exemple. Il peut être supposé que les motivations et la pression du résultat ne sont pas les mêmes dans ces différents cas de figure. (cf **IV.f « La notion d'importance d'un match »**). La gestion du match par les joueurs et entraîneurs et les enjeux qui en découlent, pourrait donc influencer ce qui se passe sur le terrain. Ensuite, comme évoqué précédemment, ces éléments tactiques (comme la position du bloc-équipe et la possession du ballon) dépendent de nombreux facteurs et sont aussi très fortement influencés par les plans et la philosophie de jeu de l'entraîneur, les caractéristiques des joueurs et les traditions du club/de l'équipe (Lago, 2009). Comme exemple concret, l'équipe nationale d'Espagne n'a montré aucun changement dans ses positionnements tactiques et sa possession du ballon en fonction du score, lors des matchs qu'elle a disputé en coupe du monde 2010 (Machado et al., 2014). L'Espagne est connue pour sa philosophie de jeu liée à la possession du ballon, à l'image également du FC Barcelone, et cet exemple indique bien que cette équipe ne change pas sa façon de jouer qu'elle soit menée au score, devant ou à égalité. Enfin, dans certains cas, le match nul est l'objectif visé par une équipe. En ce cas l'attitude des joueurs est la même en cas de victoire. Ces observations montrent à quel point les facteurs d'influence de la performance et d'influence de la fatigue ont des effets qui diffèrent d'une équipe à une autre, d'un joueur à un autre, expliquant certaines contradictions dans la littérature. Pour les professionnels chargés de l'analyse de ces données sur le terrain,

il est important de connaître le contexte particulier d'un match et des réactions individuelles des membres de l'équipe.

## **f) La notion d'importance d'un match**

La notion d'importance d'un match de football a été très peu étudiée dans la littérature, à ce jour. Basé sur des études qui ont défini la notion d'importance d'un match dans différents sports comme le tennis (Morris, 1977), le football australien (Bedford & Schembri, 2006) et un modèle mathématique appliqué au sport (Schilling, 1994), Link & de Lorenzo (2016) ont récemment proposé de classer des matchs de championnat de *Bundesliga* allemande durant deux saisons consécutives, en fonction de leur probabilité d'affecter ou non le classement de fin de saison. C'est ainsi qu'ils ont défini la notion d'« importance » de chaque match. Néanmoins avec cette méthode, seuls les derniers matchs de la saison étaient considérés comme importants, puisqu'ayant une réelle influence directe sur le classement final. Ainsi, aucun impact n'a été relevé sur les DTP ou sur le nombre d'occasions de buts. Cependant ils ont tout de même observé que les courses sprintées étaient réduites dans les matchs de moindre importance, comme si les joueurs se permettaient de moins faire les efforts de remplacement, ou les courses de démarcation pour créer les déséquilibres sur l'adversaire (Link & de Lorenzo, 2016). Ils ont également observé une baisse d'activité en fin de saison lors de matchs de moindre importance, au motif d'une éventuelle stratégie. Celle-ci viserait à se préserver pour les matchs les plus importants ou les finales de coupes, tout en réduisant les risques de blessures et d'expulsions (Link & de Lorenzo, 2016). Quelques années plus tôt, Bradley & Noakes (2013) ont également étudié l'influence de l'importance du match sur l'activité physique. Ils ont considéré des matchs de championnat de *Premier League* anglaise, pendant deux saisons consécutives, comme « importants » si leur issue avait un impact direct sur les places européennes ou les places de relégations, en prenant également en compte les matchs opposant les derby locaux ; tous les autres matchs étaient considérés comme de moindre importance. Leur analyse n'a permis de trouver aucun impact sur l'activité physique des joueurs (Bradley & Noakes, 2013). Sans doute l'analyse précise des changements de rythme imposés pour affirmer sa supériorité lors des matchs importants, permettrait d'observer un éventuel impact sur l'activité physique (Bradley & Noakes, 2013). D'autres points de vue pourraient permettre d'évaluer l'importance d'un match. Par exemple, on pourrait considérer qu'affronter un adversaire ayant un classement et un objectif de saison semblable, serait un match d'importance élevée puisqu'il y aurait « l'obligation » de gagner pour mettre les adversaires à distance dans la conquête de l'objectif. Ou encore en affrontant un adversaire bien mieux classé, le match serait moins important, puisque l'équipe en question aurait une plus grande probabilité de perdre (Link & de Lorenzo, 2016). Cependant, il pourrait aussi être argumenté que les joueurs professionnels sont motivés pour gagner tous les matchs, tant pour l'honneur ou pour les bonus et les primes de match (Link & de Lorenzo, 2016).

D'autres classifications pourraient être envisagées en suivant l'exemple d'une étude qui a observé les différences de comportements tactiques collectifs et individuels entre des matchs de championnat et des matchs européens (James et al., 2002). Ainsi, James et al.

(2002) ont considéré que l'importance d'un match pourrait être différente en fonction de la compétition jouée. Un championnat se joue sur une quarantaine de match, durant toute une saison ; une qualification pour une grande compétition sur une dizaine de matchs, pendant une période de plusieurs mois éloignés les uns des autres, et ce durant une à deux saisons ; et un grand tournoi international se joue pendant trois à quatre semaines, les deux-trois premières rencontres établissent un classement de poule pour passer en phase finale, puis les matchs suivants sont à élimination directe. Il pourrait être supposé que ces matchs sont influencés par les différents niveaux d'importance qui les caractérisent, et donc que les marqueurs de performance et de fatigue à observer pourraient varier en fonction de ces contextes compétitifs. Les perspectives d'études sur le sujet sont ainsi toutes trouvées et elles pourraient même décliner les différents impacts ressentis de l'importance du match selon les postes de jeu.

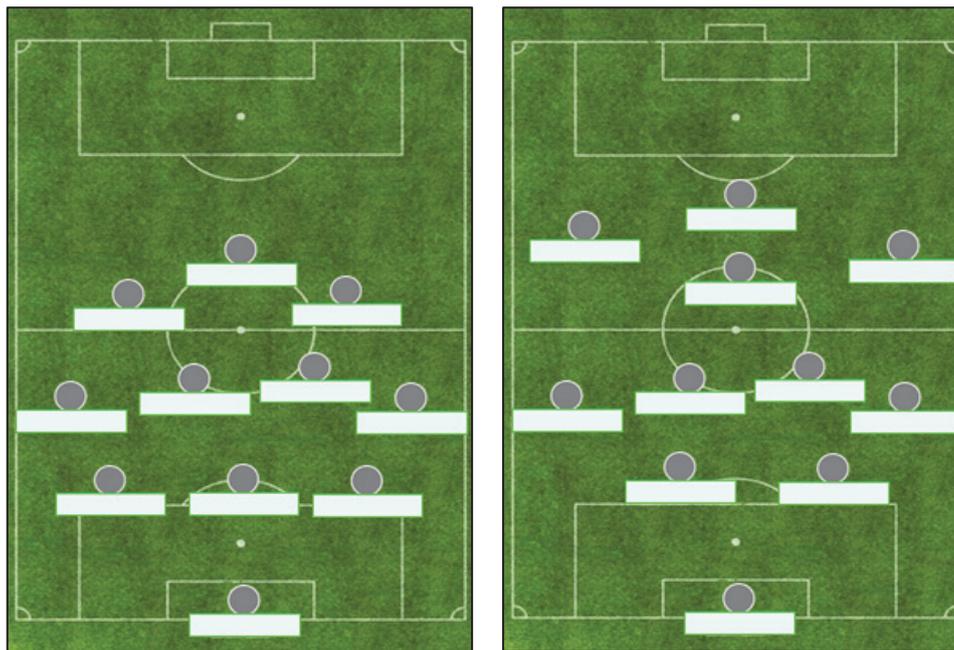
### **g) L'influence des orientations tactiques**

Depuis le début du 21<sup>e</sup> siècle, il existe des spéculations sur l'éventuel impact du système (ou formation) de jeu appliqué par une équipe sur l'activité des joueurs sur le terrain (Carling et al., 2005 ; Drust et al., 2007 ; Carling et al., 2008). L'objectif de tout système de jeu est d'assurer une organisation d'équipe optimale, tant dans l'exploitation des capacités physiques des joueurs que dans la réduction des efforts nécessaires à la récupération et l'utilisation du ballon (Doucet, 2007). Ce système de jeu est systématiquement exprimé en chiffre, pour représenter la répartition du nombre de joueurs par lignes, sur trois (défense, milieu, attaque) ou quatre (défense, milieu défensif, milieu offensif, attaque) lignes distinctes (**photo 11**). Ainsi, il existe le fameux 4-4-2 (e.g. 4 défenseurs, 4 milieux, 2 attaquants), le 4-3-3, le 4-5-1, ou encore le 4-2-3-1 parmi tant d'autres. Nous ne détaillerons pas les différentes possibilités d'organisation sur le terrain pour un même système, faute de références scientifiques sur le sujet. Car par exemple, un 4-4-2 peut être « à plat » : où les milieux sont sur la même ligne sur le terrain, ou en « losange » : où les milieux sont positionnés en losange sur le terrain, un milieu devant les défenseurs, un derrière les attaquants, et les deux autres sur les côtés. A noter qu'une équipe ne conserve pas forcément le même système de jeu au cours d'un match. Par exemple, il se peut qu'en phase offensive (équipe qui a le ballon) elle s'organise en 4-3-3 pour avoir suffisamment de points d'appuis en attaque, et s'organise en 4-5-1 en phase défensive (l'équipe n'a pas le ballon), afin de densifier le milieu de terrain, pour soutenir la défense. Les études qui ont analysé l'influence des systèmes de jeu sur l'activité des joueurs ont toutes été assez cohérentes sur la prise en compte de ces changements en cours de match.

#### **i) Le système de jeu d'une équipe**

La demande physique générale serait plus importante en 4-4-2 et en 4-3-3 plutôt qu'en 4-5-1 (Bradley et al., 2011). Les différences observées n'étaient statistiquement pas significatives, néanmoins elles peuvent s'expliquer par l'augmentation de la densité des joueurs en zone défensive, avec le 4-5-1, qui réduit l'espace à couvrir par chaque joueur. Cette explication se confirme avec l'augmentation des courses à THI en 4-4-2 et 4-3-3 (vs. 4-5-1) lorsque l'équipe a le ballon, et l'augmentation des courses à THI en 4-5-1 (vs. les deux

autres) quand l'équipe n'a pas le ballon (Bradley et al., 2011). Ces trois formations se distinguent bien par leurs caractéristiques offensives et défensives. En effet, le 4-5-1 est bien plus défensif que les deux autres, avec le renfort du milieu de terrain et l'isolation de l'attaquant (Bauer, 1993 ; Bangsbo & Pietersen, 2000). Ainsi en 4-5-1, les joueurs effectueraient moins de courses à THI en attaquant, et plus en défendant (Bradley et al., 2011). En précisant les spécificités des postes de jeu, il semblerait que le 4-3-3 (vs. 4-4-2 et 4-5-1) fasse davantage courir les attaquants, sur les DTP, les THI, et jusqu'à 30% de plus sur les HI ; et le 4-4-2 (vs. 4-4-3 et 4-5-1) ferait davantage courir les défenseurs (Bradley et al., 2011). Le déclin dans l'activité physique communément observé en 2<sup>e</sup> mi-temps d'un match de football (Mohr et al., 2005) ne serait pas influencé par le système de jeu de l'équipe. Néanmoins, en observant les différents postes de jeu, les attaquants semblent être tout de même influencés vis-à-vis de leurs courses à HI et THI, qu'ils diminuent significativement avec le 4-5-1 (Bradley et al., 2011). Ce système de jeu les isole, les oblige à marquer et presser deux défenseurs (Bauer, 1993 ; Bangsbo & Peitersen, 2000), et donc les fatiguerait davantage. Enfin, de manière générale, le 4-4-2 et le 4-3-3 permettraient à tous les joueurs de faire plus de passes, et le 4-4-2 d'en réussir davantage. Plus spécifiquement, les défenseurs auraient une plus grande implication, tant physique que technique, en 4-4-2 (Bradley et al., 2009, 2011).



**Photo 11.** Exemple de système de jeu d'une équipe (en 3-4-3 à gauche, en 4-2-3-1 à droite)

## **ii) Le système de jeu de l'adversaire**

Une étude s'est intéressée à l'influence du système de jeu de l'adversaire, concluant qu'il n'influencerait pas l'activité physique générale lors du match (Carling, 2011). En revanche, quand l'équipe était en possession du ballon, les courses à HI étaient plus importantes face à un 4-4-2 que face à un 4-2-3-1 ; et sans la possession du ballon, c'est face à un 4-3-3 et un 4-5-1 qu'elles étaient plus importantes, comparées aux courses effectuées face au 4-4-2 (Carling, 2011). D'ailleurs, face à un 4-4-2, les défenseurs et les milieux de terrain avaient réalisé plus de passes et de touches de balle (vs. 4-2-3-1). L'équipe référence

observée dans cette étude avait tendance à dominer la possession en jouant face à un 4-4-2, et réalisait plus de passes en 1 touche de balle face à un 4-2-3-1 (Carling, 2011), alors qu'elle-même jouait en 4-3-3 offensif/4-5-1 défensif. Ces résultats sont extrêmement intéressants et donnent une tendance statistique qui peut aider les entraîneurs à planifier des matchs amicaux de préparation en fonction du système de jeu adverse et de l'impact recherché (Carling, 2011). En revanche, comme ils sont issus de l'analyse d'une seule équipe, dans une seule compétition, ils sont difficilement généralisables et davantage de données sur ce thème d'analyse sont nécessaires.

### **iii) Les tactiques offensives et défensives**

D'autres études se sont intéressées à l'impact des « tactiques » (offensives et défensives) adoptées, au sens plus large du terme que les simples systèmes de jeu. Il a été ainsi observé qu'en terme de tactique offensive, les contre-attaques étaient bien plus efficaces que les attaques « placées » (dans le sens « élaborées, construites, préparées ») face à une défense dite « déséquilibrée » (e.g. qui n'impose pas de pressing sur le porteur de balle, et qui n'a pas de défenseur en soutien, ni en couverture du défenseur le plus proche du ballon) (Tenga et al., 2010a, 2010b). La contre-attaque serait d'ailleurs trois fois plus efficace que l'attaque placée pour créer des opportunités de tirs, surtout en partant de la moitié de terrain adverse (Lago-Ballesteros et al., 2012). Ainsi, une plus grande proportion de tirs réussis est attendue si le ballon est récupéré dans le terrain adverse et que l'équipe est organisée avec un bloc défensif « bas » (Seabra & Dantas, 2006). De même, on obtiendra un plus grand nombre d'opportunités de tirs et de buts, en réalisant des contre-attaques sur une défense déséquilibrée (vs. équilibrée) (Olsen & Larsen, 1997). Autre constat, il semblerait que les longues possessions de balle (cinq passes et plus) seraient plus efficaces que les courtes possessions (deux passes et moins) pour créer des opportunités de tirs (Hughes & Churchill, 2005 ; Hughes & Franks, 2005 ; Hughes & Snook, 2006 ; Tenga et al 2010a, 2010b ; Lago-Ballesteros et al., 2012), et pourtant certains auteurs ont observé que plus nombreux étaient les tirs effectués après de courtes possessions (Reep & Benjamin, 1968 ; Hughes & Franks, 2005). En revanche, tous étaient d'accord pour affirmer que les possessions qui partent du dernier tiers du terrain (zone offensive) sont les plus efficaces pour se créer des opportunités de tirs (Bate, 1998, Hughes & Snook, 2006 ; Tenga 2010a, 2010b ; Lago-Ballesteros et al., 2012). D'un point de vue technique, les longues passes seraient plus efficaces que les passes courtes face à une défense déséquilibrée. Il en serait de même avec les passes qui « cassent » (franchissent) les lignes les plus efficaces face à tout type de défense (Tenga et al., 2010a, 2010b). Toutes ces observations relèvent davantage d'une analyse sur les choix tactiques en football, plutôt que d'une analyse des facteurs de performance et de fatigue d'un match de haut niveau. Toutefois, elles permettent d'orienter les entraînements. Elles permettent aussi d'aborder l'analyse des statistiques de match, comme résultant d'une performance qui ne dépend pas que de l'état de forme de l'équipe qui est analysée, mais également de l'adversaire, de sa qualité, de son organisation et de ses comportements tactiques. Concernant l'analyse de l'influence des systèmes de jeu, davantage d'études sur différentes compétitions et sur des équipes nationales sont nécessaires pour approfondir les connaissances sur le sujet (Lago-Ballesteros et al., 2012).

## **h) L'impact du nombre de matchs joués par semaine**

Dans le football professionnel moderne, les joueurs doivent être capables de participer, en moyenne, à une cinquantaine de matchs par saison en participant à des périodes d'enchaînement de matchs tous les trois-quatre jours à plusieurs reprises dans l'année (Strudwick, 2012). Les périodes d'enchaînement de matchs se produisent particulièrement au très haut niveau, où les équipes participent aux compétitions internationales (ligue des Champions) en milieu de semaine, en plus des matchs de championnat national les week-ends (**tableau 9**). Les premières études de l'effet de ces enchaînements sur la performance en match datent d'un peu plus d'une dizaine d'années avec l'étude de l'impact de ce rythme de matchs sur le bien-être des joueurs, le taux de blessures, et la préparation à une grande compétition internationale comme un Euro (Ekstrand et al., 2004). Dès lors, toutes les études menées ont montré qu'aucun changement dans l'activité physique à HI ne se produisait malgré l'enchaînement des matchs, durant deux voire plusieurs matchs d'affilée (Rey et al., 2010 ; Dupont et al., 2010 ; Lago-Peñas et al., 2011 ; Carling et al., 2011 ; Folgado et al., 2015 ; Dellal et al., 2015a). L'activité technique en match ne serait pas non plus affectée par ces enchaînements de matchs (Dellal et al., 2015a), même sur trois matchs en sept jours chez des milieux de terrain professionnels (Carling & Dupont, 2011). En revanche, d'un point de vue tactique, une baisse des niveaux de synchronisation sur les déplacements entre coéquipiers a été observée lors d'un enchaînement de plusieurs matchs rapprochés (Folgado et al., 2015). Si aucune variation des performances physiques n'a été observée pendant les matchs, une étude s'est penchée sur l'après match en testant les facultés de sprint, de saut et de répétitions d'exercices intenses, sans non plus trouver de variations significatives en fonction du nombre de matchs joués par semaine (Rollo et al., 2014). D'un point de vue plus global, le nombre de blessures pendant les périodes observées ne semblerait pas non plus affecté (Carling et al., 2011). De telles observations ont été justifiées par l'utilisation des moyens de récupération d'après-match (e.g. massages, bains froids, nutrition/hydratation adaptée, etc.), la possibilité des équipes de faire tourner l'effectif sur le terrain et l'adaptation des charges de travail aux entraînements (Carling et al., 2015). Mais si aucun impact n'a été observé pendant les matchs, et pendant les périodes observées, il n'en est pas de même pour les périodes qui suivaient ces enchaînements. En effet, Ekstrand et al. (2004) ont observé que les joueurs ayant effectué le plus de matchs pendant une saison, étaient ceux qui étaient le moins performant et ceux qui se blessaient le plus pendant le grand championnat international qui suivait la saison (un Euro dans leur étude). Le taux de blessures a également été observé comme étant croissant dans les périodes qui suivaient les enchaînements de matchs observés par Dellal et al. (2015a) en Ligue 1. Ainsi, il semblerait qu'une certaine forme de fatigue accumulée apparaisse, avec un impact important notamment sur le taux de blessure. Une seule étude s'est récemment penchée sur les incidences physiologiques de trois matchs joués en sept jours. Les niveaux de CK étaient significativement plus élevés après le deuxième match, joué trois jours après le premier, qu'après le troisième match, qui lui était joué quatre jours plus tard (Mohr et al., 2016). De telles observations ont ouvert des perspectives assez larges dans l'étude des influences de tels contextes de matchs rapprochés sur les incidences physiologiques d'après-match, y compris pendant les jours qui suivent.

**Tableau 9.** Exemple d'une période d'enchaînement de matchs rapprochés avec 10 matchs joués par l'OGC Nice entre le 20/11/2016 et le 21/12/2016.

NOVEMBRE 2016					
	Phase de groupes	03/11/2016 - 21:05	OGC Nice	0 - 2	FC Red Bull Salzburg
	12ème journée	06/11/2016 - 15:00	SM Caen	1 - 0	OGC Nice 1er
	13ème journée	20/11/2016 - 20:45	AS Saint-Etienne	0 - 1	OGC Nice 1er
	Phase de groupes	24/11/2016 - 19:00	FC Schalke 04	2 - 0	OGC Nice
	14ème journée	27/11/2016 - 17:00	OGC Nice	1 - 1	SC Bastia 1er
	15ème journée	30/11/2016 - 19:00	EA Guingamp	0 - 1	OGC Nice 1er
DÉCEMBRE 2016					
	16ème journée	04/12/2016 - 20:45	OGC Nice	3 - 0	Toulouse FC 1er
	Phase de groupes	08/12/2016 - 21:05	OGC Nice	2 - 1	FK Krasnodar
	17ème journée	11/12/2016 - 20:45	Paris Saint-Germain	2 - 2	OGC Nice 1er
	1/8 de finale	14/12/2016 - 18:45	Girondins de Bordeaux	3 - 2	OGC Nice
	18ème journée	18/12/2016 - 15:00	OGC Nice	2 - 1	Dijon FCO 1er
	19ème journée	21/12/2016 - 20:50	Girondins de Bordeaux	0 - 0	OGC Nice 1er

Des cas particuliers d'enchaînements de matchs ont également été analysés lors de tournois pour jeunes joueurs. Arruda et al. (2015) ont observé que les distances parcourues à différentes intensités n'étaient pas influencées par l'enchaînement de cinq matchs de 2 x 25 min, en trois jours, mais que la capacité d'Accel (en nombre par minute) était significativement meilleure lors du premier match. Dans le même sens, Moreira et al. (2016) n'ont observé aucune variation de l'activité physique et de l'activité technique de jeunes joueurs lors de sept matchs (matchs de 2 x 20 min) joués en sept jours et répartis en quatre matchs joués les deux premiers et trois matchs joués les deux derniers jours. En revanche, les gestes défensifs comme les tacles et les interceptions ont vu leur nombre diminuer lors des trois derniers matchs, tant pour l'équipe de référence observée dans l'étude, que pour ses adversaires respectifs (Moreira et al., 2016). Dans cette même étude, des taux de T salivaire assez bas ont été observés à la fin du deuxième jour, comme marqueur d'une certaine fatigue accumulée, malgré des évaluations de RPE inchangées (Moreira et al., 2016). Enfin, des niveaux de sIgA étaient également plus élevés en fin de deuxième et septième jours, suggérant que l'intensité et la difficulté des matchs, l'anxiété de la compétition et la pression de bien-faire pendant des matchs qui s'enchaînaient, induisaient des altérations du système immunitaire chez ces jeunes joueurs (Moreira et al., 2016). L'étude de marqueurs biologiques

reste une perspective encore ouverte de recherche sur les enchaînements de matchs dans le football de haut-niveau. La combinaison de marqueurs subjectifs de perception de l'effort et de la fatigue semble également réunir des points à prendre en compte dans de futures études sur le sujet (Carling et al., 2015).

Les différents facteurs d'influence sont déterminants dans la pratique et l'analyse des performances et des incidences physiologiques propres à un match de football, qu'ils soient liés aux conditions extérieures (température, humidité, altitude), au contexte de la compétition (heure, domicile vs. extérieur, type de stade, adversaire, importance du match, stratégies et tactiques adoptées, évolution du score, calendrier de matchs enchaînés) ou que ces différents facteurs d'influence soient directement liés aux joueurs (chronobiologie). Il est important de rappeler qu'ils peuvent cependant avoir des effets différents sur les joueurs et les équipes en fonction des styles de jeu adoptés (Barnett & Hilditch, 1993; Bloomfield, et al., 2005; Clarke & Norman, 1995; Lago, 2009). L'étude de ces facteurs d'influence offre de nombreuses perspectives d'approfondissement des connaissances de leurs niveaux d'impact et de la manière dont ils agissent en interaction. Bien connaître les différents aspects de chacun de ces facteurs d'influence permettrait aux personnes impliquées dans les staffs techniques et les staffs médicaux une préparation à la performance (e.g. entraînement, récupération, soins, analyses) optimisée.

## CHAPITRE V. SYNTHÈSES, PROBLÉMATIQUES & HYPOTHÈSES

La durée d'un match (e.g. 90 minutes), les variations d'intensités (e.g. ~3500m en marchant/trotinant, ~900m en courant à basse intensité, ~600m en courant à intensité modérée, ~450m à haute intensité, ~150m à très haute intensité et ~120m aux intensités maximales de sprint (Castellano et al., 2011b)), la répétition des efforts à très haute intensité (e.g. ~35 sprints (Di Salvo et al., 2009)), la caractéristique des déplacements (e.g. accélérations, décélérations, changements de direction, courses en avant, en arrière, courses latérales) et tous les facteurs contextuels et environnementaux (e.g. la température, le taux d'humidité, l'heure de la journée, le lieu, l'altitude, les choix tactiques, l'importance du match, l'adversaire, l'évolution du score, le niveau de jeu) ont une incidence sur les réactions physiologiques des joueurs de haut niveau. Ces incidences physiologiques concernent principalement les processus inflammatoires de l'organisme liés à l'effort : les dommages musculaires (CK, LDH), le stress oxydatif (AU, protéines carbonyles, statut antioxydant) et les réactions immunitaires (IgA, IgC, IgM, leucocytes, cytokines, cortisol, testostérone) mais également tous les mécanismes liés à la fourniture d'énergie. De plus, il a été démontré à plusieurs reprises que les composants de la performance en football variaient significativement en fonction des postes de jeu, en lien direct avec leurs différents rôles tactiques au sein de l'équipe (Dellal, 2008).

Le football moderne impose aux équipes de haut niveau de réaliser un grand nombre de matchs officiels chaque saison, en raison de leur participation à différentes compétitions de manière simultanée (e.g. championnat national, coupes nationales, compétitions internationale comme la Ligue des Champions). Les joueurs au plus haut-niveau peuvent également être amenés à participer aux matchs de leur équipe nationale pendant les trêves prévues à cet effet. Ainsi, afin que les équipes puissent réaliser la totalité des matchs d'un calendrier sportif, il leur est régulièrement imposé des périodes où la fréquence des matchs augmente jusqu'à s'enchaîner durant certaines périodes tous les trois à quatre jours. L'étude de l'influence de ces matchs rapprochés sur les composants de la performance, de la charge induite et sur les incidences physiologiques des joueurs de football de haut niveau apporterait de nouvelles connaissances primordiales aux professionnels impliqués dans la préparation et l'entraînement d'une équipe au quotidien.

L'étude des efforts aux plus hautes intensités ainsi que l'étude des profils d'accélération dans la performance en football présentent un intérêt majeur. Cependant, aucune recherche n'a étudié l'effet de ces enchaînements de matchs sur l'activité physique calibrée précisément aux intensités proches des vitesses maximales atteintes pendant le match, ainsi que sur les différentes catégories d'accélération/décélération. De plus, aucune étude ne s'est non plus penchée sur l'effet des calendriers de matchs rapprochés sur les réactions physiologiques et leurs cinétiques d'après-match en lien direct avec les capacités de récupération. L'objectif de la présente thèse est donc de déterminer l'impact physique et

physiologique de matchs enchaînés tous les trois à quatre jours sur des joueurs de football de haut niveau.

**Étude 1:** Djaoui L, Wong Del.P, Pialoux V, Hautier C, Da Silva CD, Chamari K, Dellal A. *Physical activity during a prolonged congested period in a top-class European football team* – L'activité physique de joueurs de football professionnels d'une équipe de football au meilleur niveau européen, au cours d'une période prolongée d'enchaînement de match.

Dans cette première étude, nous avons émis l'hypothèse que l'enchaînement des matchs pendant une période prolongée avait une incidence sur l'activité physique de joueurs professionnels de football. Il a également été spéculé que les classifications de vitesses de course, en étant calibrées plus précisément et plus proches des très hautes intensités, pouvaient permettre la mise en avant des effets de l'enchaînement des matchs sur l'activité physique des joueurs. Cette étude aurait pu bénéficier de marqueurs internes de la charge individuelle de matchs, tels que les RPE ou des marqueurs physiologiques, afin d'établir un lien éventuel avec les marqueurs objectifs de l'activité physique enregistrés. La principale limite de cette étude est l'absence de contrôle des stratégies individuelles de récupération (nutrition, hydratation, immersions en eau froide/chaude, massages) mis à la disposition des joueurs et des charges d'entraînement qui séparaient chaque match, qui ont pu avoir une influence sur les résultats.

**Étude 2:** Djaoui L, Owen AL, Newton M, Dellal A, Chamari K. *The influence of congested matches periods on acceleration and deceleration profiles in professional soccer players is position specific* – L'influence des périodes de matchs rapprochés sur les profils d'accélération et de décélération de joueurs de football professionnels dépend du poste de jeu.

L'objectif de cette deuxième étude était d'analyser l'activité physique de joueurs professionnels de football lors de matchs joués tous les trois à quatre jours, en observant tout particulièrement les différentes catégorisations d'accélération et de décélération. Malgré l'importance des accélérations/décélération dans la performance en football, seuls quelques auteurs avaient observé leurs variations lors de tournois de jeunes, mais aucune référence n'existait quant à leurs variations durant des matchs d'adultes à 11 contre 11 de deux périodes de 45min. Nous avons émis l'hypothèse que l'activité liée aux accélérations et décélération était diminuée avec l'enchaînement des matchs, comparés à l'activité observée lors de matchs joués après plus de quatre jours de récupération. Dans cette étude, même si les résultats sont observés sur des joueurs professionnels, on considère que les conclusions en sont applicables à des joueurs d'un niveau inférieur. En effet, il s'agit de la capacité physique à répéter les efforts de match en match. Les résultats présentés ont remis en cause les conclusions de la littérature qui avaient établi que les enchaînements de matchs n'influençaient pas l'activité physique des joueurs sur les hautes intensités de course.

**Étude 3 :** Owen AL, Djaoui L, Dellal A, Gomes B. *Biochemical response comparisons of a competitive microcycle vs. congested fixture periods in elite level European Champions League soccer players* – Comparaisons des réponses biochimiques de matchs enchaînés tous les trois à quatre jours et de matchs non-enchaînés, chez des joueurs de football évoluant en ligue des Champions.

Seules quelques études publiées très récemment se sont penchées sur l'analyse des incidences physiologiques de matchs rapprochés chez des adultes (Morgans et al., 2014 ; Mohr et al., 2016). La présente troisième étude s'est penchée sur la différenciation des cinétiques des incidences physiologiques durant les deux jours qui suivaient les matchs, entre les matchs enchaînés tous les trois à quatre jours et ceux qui étaient séparés de cinq jours et plus. La principale hypothèse posée lors de cette étude était que les indicateurs des dommages musculaires et du statut immunitaire seraient davantage impactés par les matchs enchaînés, et marqueraient une certaine fatigue accumulée. Les charges d'entraînement étaient également mesurées. Il aurait cependant été intéressant de pouvoir mesurer l'effort des joueurs pendant les matchs, via l'activité physique ou par des questionnaires subjectifs, afin d'observer d'éventuels liens avec les variations physiologiques observées. La différenciation des postes de jeu auraient également permis de préciser les observations.

# **ETUDES EXPERIMENTALES**

## CHAPITRE VI. ÉTUDE 1

### Titre:

L'activité physique de joueurs de football professionnels d'une équipe au meilleur niveau européen, au cours d'une période prolongée d'enchaînement de matchs.

## RESUME

L'objectif de cette étude était d'examiner les variations d'activité physique de joueurs de football de haut-niveau pendant une période d'enchaînement de matchs de cinq mois de compétition lors de la saison 2011-2012. Seize joueurs internationaux, répartis en six postes de jeu (défenseurs centraux : CD ; arrières latéraux : AL ; milieux défensifs centraux : MDC ; milieux latéraux : ML ; milieux offensifs centraux : MOC ; attaquants : ATT) ont été observés au cours de matchs de Ligue 1, de coupe de France et de Ligue des Champions. Les distances parcourues à basse intensité ( $<12 \text{ km.h}^{-1}$ ), intensité soutenue ( $18-21 \text{ km.h}^{-1}$ ), haute ( $>21-23 \text{ km.h}^{-1}$ ), très haute ( $>23-25 \text{ km.h}^{-1}$ ), sous-maximale ( $>25-27 \text{ km.h}^{-1}$ ) et maximale ( $>27 \text{ km.h}^{-1}$ ) ont été enregistrées et analysées à l'aide d'un système d'analyse semi-automatique (Amisco Pro<sup>TM</sup>). Aucune différence n'a été observée entre les périodes d'enchaînement de matchs (deux matchs par semaine) et les périodes sans enchaînement (un match par semaine) sur les distances parcourues à toutes les intensités supérieures à  $18 \text{ km.h}^{-1}$ , sans qu'aucune variation de la forme physique ne soit non plus observée pendant les cinq mois d'analyse. D'un poste à l'autre, les DC et les MDC ont parcouru de plus petites distances à basse intensité en période sans enchaînement ( $p < 0,05$ ). Sans tenir compte des différentes périodes, les AL et les ATT ont parcouru plus de distances au-delà de  $21 \text{ km.h}^{-1}$  que les MDC ; et les AL, ML et ATT ont parcouru des distances semblables sur toutes les intensités de courses observées. La présente étude a révélé qu'une période d'enchaînement de matchs prolongée pendant cinq mois n'affectait pas l'activité physique à haute intensité de joueurs de football de haut niveau en matchs officiels.

## MOTS CLES

Entraînement physique, courses à haute intensité, analyse du mouvement, charge de travail, matchs rapprochés.

## INTRODUCTION

La performance en football a été décrite comme étant l'interaction de nombreux facteurs techniques, tactiques, physiques et mentaux (1). Des analyses de variations de ces paramètres ponctuellement après des matchs de football, ou tout au long d'une saison, ont déjà été largement publiées avec des données prenant en compte des différences entre les joueurs en fonction de leur positionnement sur le terrain (2-8). Cependant, mieux comprendre ces variations permettrait d'améliorer la préparation physique des joueurs en fonction de leur poste de jeu.

Depuis plusieurs années, les méthodes d'analyse par estimation visuelle en football ont été remplacées par des systèmes d'analyse vidéo (6,8-10). De tels systèmes permettent la récolte de bien plus d'informations, en moins de temps, que les méthodes d'évaluation par estimation visuelle puisqu'ils collectent simultanément des données de l'activité physique et de l'activité technique. Plus précisément, ces systèmes permettent le suivi de tous les joueurs sur le terrain pendant un match, en enregistrant leurs distances parcourues à différentes intensités tout en enregistrant également chacune de leurs réalisations techniques (11).

De manière générale, les défenseurs centraux (DC) couvrent les plus petites distances totales alors que les arrières latéraux (AL) et les attaquants (ATT) réalisent le plus grand nombre de sprints (12). Il a également été reporté que les distances totales parcourues, celles parcourues aux hautes intensités et celles parcourues en sprintant ( $>25 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) diminuaient pendant la deuxième mi-temps d'un match, et ce de manière plus prononcée pour les milieux latéraux (ML) et les ATT, comparés aux autres postes de jeu (6,7).

Cependant, un calendrier avec des matchs qui s'enchaînent (e.g. deux matchs par semaine) pourrait également influencer l'activité physique des joueurs en match et ainsi modifier leur profil d'activité en fonction des postes de jeu. Dans ce contexte, Dellal et al. (13) et Dupont et al. (14) n'ont pourtant trouvé aucune différence dans l'activité physique en match, durant des semaines à un ou deux matchs, mais ont reporté une augmentation du taux de blessures de joueurs professionnels de France et d'Ecosse. En revanche, Carling et al. (15), en analysant des données de matchs professionnels de Ligue 1, ont reporté des diminutions dans les distances parcourues à basse intensité ( $<14 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) lors d'une courte période d'enchaînement de matchs (i.e. un mois), avec un nombre de matchs analysés relativement faible. Ce manque d'effets significatifs des périodes d'enchaînement de matchs sur les distances parcourues aux hautes intensités de course pourrait s'expliquer par la courte durée d'observation, et donc le faible nombre de matchs analysés, faible nombre qui a pu diminuer la puissance de l'analyse statistique. De plus, dans ces études, les intensités de course analysées ne dépassaient pas  $25 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  (6), bien que la vitesse maximale de course observée en match de football ait été observée entre 29 et  $35 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  (1). Enfin, ce manque d'effets significatifs observés en période d'enchaînement de matchs pourrait également s'expliquer par les faibles divisions des postes de jeu appliquées dans les études précitées. On pourrait ainsi émettre l'hypothèse qu'une classification plus précise des postes de jeu pourrait révéler un effet des enchaînements de matchs sur les joueurs de football, par les distances parcourues (2).

De ce fait, l'objectif de la présente étude était de déterminer les variations d'activité physique de joueurs de football de niveau international en fonction de leur poste de jeu précis et du nombre de matchs joués lors d'une période prolongée d'enchaînement de matchs (deux matchs par semaine). De telles observations pourraient permettre une individualisation plus précise de l'entraînement physique de joueurs professionnels de football en fonction de leur poste de jeu, et également de mieux planifier les calendriers d'entraînement, tout particulièrement lors de périodes où les matchs s'enchaînent.

## METHODES

### *Sujets*

Seize joueurs de football internationaux (âge :  $24,3 \pm 3,2$  ans; taille :  $178,1 \pm 4,2$  cm; masse corporelle :  $76,9 \pm 4,3$  kg) d'une même équipe de Ligue 1 française ont pris part à cette étude et ont été répartis en six postes de jeu distincts : les DC (n=3), les AL (n=2), les milieux défensifs centraux (MDC, n=3), les milieux latéraux (ML, n=3), les milieux offensifs centraux (MOC, n=2) et les ATT (n=3). Seules les activités des joueurs ayant participé à la totalité du match observé étaient retenues dans l'analyse, et un total de 132 activités de joueurs ont finalement été analysées. L'étude a été conduite en suivant les principes de la déclaration d'Helsinki et le comité éthique de l'université locale a approuvé le protocole de l'étude avant le début des mesures.

### *Protocole*

Des matchs de football professionnels de niveau européen ont été analysés pendant quatre périodes successives d'enchaînement de matchs (deux matchs par semaine) séparés par des périodes de trêve internationale ou de semaine normale à un match par semaine, soit cinq périodes, au cours de la saison 2011-2012. La première période d'enchaînement de match s'est déroulée au mois d'Août, où six matchs se sont joués en 21 jours (P1), la seconde période en Septembre-Octobre, où sept matchs se sont joués en 21 jours (P2), la troisième en Octobre-Novembre, où sept matchs se sont joués en 22 jours (P3) et la quatrième en Novembre-Décembre où six matchs se sont joués en 24 jours (P4). Parmi ces 26 matchs, seulement 15 ont été retenus pour l'analyse puisque tous les stades n'étaient pas équipés de l'outil de capture et d'analyse. Les performances physiques des joueurs ont été analysées lors de 11 matchs de Ligue 1, un match de coupe de France et trois matchs de ligue des champions, à l'aide d'un système semi-automatique de traçage vidéo (Amisco ©). Les périodes d'enchaînement et de non-enchaînement de matchs étaient identifiées pendant les quatre périodes. Seuls les joueurs ayant joué au moins deux matchs d'affilée étaient inclus dans l'analyse des périodes d'enchaînement. Tous les joueurs réalisaient sept séances d'entraînement lors des semaines à un match, et cinq séances d'entraînement lors des semaines à deux matchs, séances d'entraînement qui comprenaient la mise en place de stratégies de récupération comme les massages, l'hydratation, la prise de complément alimentaire et de l'immersion alternée chaud/froid des membres inférieurs.

### *Performance physique*

Les mesures étaient enregistrées à l'aide du système Amisco Pro® (Nice, France) utilisé et validé par de nombreux auteurs (11,16). Ce système de traçage enregistre les déplacements des vingt joueurs de champs pendant la totalité du match à l'aide de huit caméras fixes installées sur le toit des stades et synchronisées entre elles avec une fréquence de 25 Hz. Les signaux et angles obtenus par l'encodeur étaient convertis séquentiellement en données numériques et enregistrées dans des ordinateurs pour l'analyse d'après-match.

Les performances physiques de chaque joueur étaient enregistrées et classées en précisant : les distances totales parcourues, les distances parcourues aux intensités basses (<12 km.h<sup>-1</sup>), soutenues (18-21 km.h<sup>-1</sup>), hautes (>21-23 km.h<sup>-1</sup>), très hautes (>23-25 km.h<sup>-1</sup>), sous-maximales (>25-27 km.h<sup>-1</sup>) et maximales (>27 km.h<sup>-1</sup>).

### *Analyses statistiques*

Toutes les valeurs étaient exprimées en moyenne ± écart type. Des tests de Kruskal-Wallis ont été utilisés pour analyser les différences entre matchs et entre périodes en fonction des différentes intensités de course. Ensuite, des tests de Mann-Whitney ont été utilisés pour analyser les différences entre les postes de jeu en fonction : (i) des intensités de course et (ii) du type de période (un vs. deux matchs par semaine) sur chaque intensité. La correction de Bonferroni a été appliquée sur les 15 analyses deux-à-deux des postes de jeu (p<0.003). Sur les autres analyses, le niveau de significativité était fixé à p<0.05.

## RESULTATS

Aucune différence entre les périodes à un et à deux matchs par semaine n'a été trouvée sur les distances parcourues à des intensités supérieures à 18 km.h<sup>-1</sup>. Cependant, les DC et MDC ont parcouru de moins grandes distances à basse intensité que les autres postes de jeu, pendant les périodes à un match par semaine, mais pas pendant les périodes à deux matchs par semaine (Tableau 1).

Au cours des quatre périodes d'enchaînement de matchs analysées, les AL parcouraient de plus grandes distances que les DC, MDC et MOC, alors que les ML et ATT parcouraient de plus grandes distances que les MDC aux intensités maximales (>27 km.h<sup>-1</sup>) (p<0.003). Aux intensités sous-maximales (>25-27 km.h<sup>-1</sup>), les AL parcouraient de plus grandes distances que les DC et MDC, et les ML et MOC de plus grandes distances que les MDC (p<0.003). Aux très hautes intensités (>23-25 km.h<sup>-1</sup>), les AL, ML et ATT parcouraient de plus grandes distances que les DC et MDC (p<0.003). A haute intensité (>21-23 km.h<sup>-1</sup>), les AL, ML, MOC et ATT parcouraient de plus de distances que les DC et MDC (p<0.003). A intensité soutenue (>18-21 km.h<sup>-1</sup>), les MOC parcouraient de plus grandes distances, et les DC de plus petites, que tous les autres (p<0.003). Enfin à basse intensité, (<12 km.h<sup>-1</sup>), les DC et MDC parcouraient de plus grandes distances que les AL, ML et ATT (p<0.003) (Tableau 2).

**Tableau 1.** Distances moyennes parcourues par des footballeurs professionnels en fonction du nombre de match par semaine, de leurs postes de jeu et des catégories de vitesse.

Postes de jeu	Périodes	n =	Distances parcourues (en m)						
			Total	>27 km.h <sup>-1</sup>	27-25 km.h <sup>-1</sup>	25-27 km.h <sup>-1</sup>	23-21 km.h <sup>-1</sup>	21-18 km.h <sup>-1</sup>	<12 km.h <sup>-1</sup>
Défenseurs centraux	1 match / semaine	70	10212,1 ± 451,7	82,4 ± 49,9	83,1 ± 28,3	80,4 ± 40,1	152,5 ± 53,5	371,6 ± 151,1	7282,1 * ± 314,3
	2 matchs / semaine	134	10384,8 ± 614,1	71,4 ± 66,4	64,9 ± 41,6	98,0 ± 35,0	138,2 ± 40,9	397,2 ± 122	7842,3 ± 290,9
Arrières latéraux	1 match / semaine	70	10581,2 ± 718,8	170,5 ± 69,3	118 ± 59,7	190,3 ± 81,1	294,9 ± 105,1	604,5 ± 153,6	6970,7 ± 234,7
	2 matchs / semaine	112	10813,5 ± 677	187,6 ± 77,8	121,8 ± 51,6	189,6 ± 62	241,9 ± 73,4	640,5 ± 140	7239,4 ± 371,3
Milieux défensifs centraux	1 match / semaine	54	11373,9 ± 753,3	36,3 ± 12,8	64 ± 35,5	87,3 ± 57,1	166,7 ± 78,6	463,3 ± 136,7	7414,3 * ± 456,3
	2 matchs / semaine	120	11820 ± 651,7	38,1 ± 18,3	54,6 ± 30,7	90,1 ± 58,3	140,7 ± 66,4	561,7 ± 155,4	7854,7 ± 367,7
Milieux latéraux	1 match / semaine	47	10838,3 ± 778,2	100,4 ± 86,2	86,2 ± 44,2	169,6 ± 68,3	269,1 ± 82,4	679,9 ± 131,4	6676,1 ± 811,6
	2 matchs / semaine	99	10733,5 ± 772,9	170,9 ± 101,2	124,8 ± 65,6	177,6 ± 50,3	210,9 ± 33,2	621,7 ± 107,8	6973,0 ± 449,9
Milieux offensifs centraux	1 match / semaine	6	12784,0	0,0	89,0	147,0	376,0	952,0	7265,0
	2 matchs / semaine	36	12193,7 ± 822,9	41,6 ± 18,2	126,2 ± 40,1	136,6 ± 27,8	309,5 ± 62,7	804,0 ± 74,9	7323,0 ± 418,9
Attaquants	1 match / semaine	47	10476,7 ± 646,2	82,3 ± 52,4	89,4 ± 19,6	158,7 ± 46,4	243,7 ± 60,1	646,7 ± 92,9	6856,3 ± 658
	2 matchs / semaine	88	10513,4 ± 759,3	120,5 ± 72,9	86,2 ± 49	171,8 ± 69,4	231,3 ± 66,3	590,6 ± 131,4	7051,9 ± 656
Tous joueurs confondus	1 match / semaine	294	10736,3 ± 824,2	100,7 ± 72,8	90,9 ± 43,3	135 ± 73,8	225,9 ± 97,4	548,8 ± 185,4	7135,7 ± 583,9
	2 matchs / semaine	589	10974,7 ± 915,4	111,3 ± 90,1	91,0 ± 55,0	141,4 ± 67,2	194,6 ± 78,1	569,1 ± 167,3	7436,8 ± 559,3

\* Différence significative pour le même poste entre 1 et 2 matchs /semaine (p<0,05)

**Tableau 2.** Moyennes des distances parcourues par des footballeurs professionnels en fonction de leurs postes de jeu et des catégories d'allure.

Postes de jeu	n=	Distances parcourues (en m)						
		Total	>27 km.h <sup>-1</sup>	27-25 km.h <sup>-1</sup>	25-23 km.h <sup>-1</sup>	23-21 km.h <sup>-1</sup>	21-18 km.h <sup>-1</sup>	<12km.h <sup>-1</sup>
Défenseurs centraux	204	10327,2 ± 563,3	75,2 ± 60,5	71,2 ± 38	91,9 ± 37,1	143,1 <sup>sss</sup> ± 45,2	388,3 <sup>sss</sup> ± 130,6	7752,6 ± 319,4
Arrières latéraux	182	10724,2 ± 688,7	181,0 ± 73,7	120,3 ± 53,7	84,6 ± 56,7	262,3 <sup>***</sup> ± 88,9	626,7 ± 143,5	7136,1 ± 346,9
Milieux défensifs centraux	175	11711,6 <sup>***</sup> ± 687,2	37,6 ± 16,7	57,1 ± 31,5	189,8 ± 68,4	139,9 <sup>sss</sup> ± 70,2	519,3 ± 154,2	7779,2 ± 439,6
Milieux latéraux	146	10796,2 ± 754,6	148,5 ± 100,4	114,6 ± 62	175,0 ± 55,3	229,4 <sup>***</sup> ± 58,7	640,0 ± 116	6874,0 ± 591,4
Milieux offensifs centraux	43	12278 <sup>***</sup> ± 783,6	41,6 ± 18,2	120,0 ± 38,9	138,3 ± 25,2	319,0 <sup>***</sup> ± 62,5	840,3 <sup>***</sup> ± 84,5	7313,3 ± 375,4
Attaquants	137	10499,9 ± 701,3	105,5 ± 67,3	87,1 ± 42,3	167,3 ± 61,4	238,1 <sup>***</sup> ± 61,3	610,3 ± 119,9	6983,5 ± 646,3
Tous joueurs confondus	887	10894,6 ± 889,8	107,8 ± 84,7	90,7 ± 51,2	139,2 ± 69,3	205,9 ± 85,8	562,2 ± 173,2	7335,7 ± 583,2

\*\*\* Plus grand significativement que les autres postes de jeu (p<0,003).

sss Plus petit significativement que les autres postes de jeu (p<0,003).

## DISCUSSION

L'objectif de cette étude était de déterminer si l'activité physique, lors de matchs de football de niveau européen enchaînés sur plusieurs périodes successives, variait en fonction des postes de jeu, en comparaison à des périodes classiques à un match par semaine. Le principal résultat était qu'il n'y avait aucune différence significative sur l'activité physique aux intensités supérieures à 18 km.h<sup>-1</sup>, quel que soit le poste de jeu des joueurs, entre les périodes à enchaînement et celles sans enchaînement de matchs (Tableau 1).

Ces résultats sont en adéquation avec ceux de Dellal et al. (13) et Dupont et al. (14) qui ne trouvaient aucun effet de l'enchaînement des matchs sur les intensités de courses supérieures à 19 km.h<sup>-1</sup>, bien que l'étude de Dupont et al (14) présentait un nombre réduit de matchs analysés. De tels résultats ont leur importance car les distances parcourues à haute intensité ont été présentées comme étant l'indicateur le plus important de l'activité physique. En effet, elles correspondent aux actions brèves et intenses qui caractérisent l'effort en football (15). De plus, puisque les distances totales parcourues et celles parcourues aux hautes intensités n'ont pas varié au cours de la période prolongée d'enchaînement de matchs, il peut être suggéré que l'équipe et les joueurs analysés ont maintenu leur niveau de performance physique malgré les temps réduits de récupération entre les matchs. La mise en oeuvre de séances à faible charge d'entraînement, entre les matchs, a sans doute permis un tel maintien des performances. Dans ce contexte, il est important de préciser que l'équipe étudiée a su adapter des séances à basse intensité, à vocation technique, et des séances d'entraînement athlétique avec comme principaux objectifs de développement la prévention des blessures (entraînement de proprioception et d'étirements), l'agilité et les sprints courts entre les matchs rapprochés. La gestion des entraînements d'entre-match (essentiellement tactiques et sur des jeux réduits) ainsi que la mise en place de stratégies de rotation des joueurs pourraient donc expliquer les résultats observés. De plus, tous les joueurs ont systématiquement bénéficié de stratégies de récupérations d'après-match (alternance d'immersion des membres inférieurs en chaud/froid, massages, compléments alimentaires et stratégies d'hydratation), ce qui a probablement contribué au maintien de l'activité physique pendant les périodes d'analyse (16-18).

L'absence de différences significatives, à travers les périodes d'enchaînement de matchs dans les catégories de course aux hautes intensités, confirme ce qui a été publié sur le sujet, indiquant ainsi que les profils d'activité physique ne sont très certainement pas affectés par un calendrier de matchs rapprochés (13,14,19-22). Dans les autres études publiées sur le sujet, il doit être noté que l'activité physique des joueurs en matchs rapprochés était analysée durant de courtes périodes allant de deux à 8 matchs. Cependant, la présente étude était la première à analyser les variations d'activité physique pendant une période prolongée en prenant en compte 26 matchs joués (dont 15 analysés), pendant quatre périodes distinctes, en cinq mois. De plus, les intensités de course n'ont jamais été analysées auparavant sur des seuils dépassant 25,1 km.h<sup>-1</sup> (6) alors qu'un joueur de football de haut niveau peut atteindre des pics de vitesse aux alentours de 29 à 35 km.h<sup>-1</sup> (1). L'absence d'activité de match proche de ces vitesses maximales de course pourrait représenter une limite à l'analyse poussée des études en question.

A la différence des hautes intensités de course, des différences significatives ont été trouvées sur les distances parcourues à basse intensité pour les DC : ~7200 vs. ~7800m et les MDC : ~7400 vs. ~7800m (respectivement pour les matchs rapprochés vs. non rapprochés) (Tableau 1). Ces résultats contredisent ceux trouvés par Lago et al. (23) qui n'ont reporté aucune différence entre les postes de jeu aux différentes intensités de course, alors qu'ils sont en accord avec ceux de Carling et al. (19) qui ont observé une variation dans les basses intensités de course (<11 km.h<sup>-1</sup> pour eux) sur huit matchs enchaînés en 26 jours. Globalement, les résultats de la présente étude montraient que les joueurs de Ligue 1 française analysés étaient capables de maintenir les efforts qui ont leur importance en football (i.e. courses aux hautes intensités et sprints), même lors des périodes où ils enchaînaient les matchs officiels, et ce, tout en réduisant les courses à basse intensité, pour quelques postes de jeu. En effet, Stolen et al. (15) ont reporté que les joueurs de football de haut niveau géraient la fatigue naissante de deuxième mi-temps en réduisant les distances marchées et les distances courues doucement, et ce, tout en maintenant les distances courues à haute intensité aux mêmes niveaux que durant la première mi-temps. Cette stratégie permettrait aux joueurs de couvrir de plus petites distances totales, tout en réalisant les efforts les plus importants, et ce dans le but de maintenir un niveau de performance. En revanche, il nous est impossible d'affirmer, à ce jour, si les joueurs réalisent de telles adaptations de manière naturelle et inconsciente, ou au contraire, tout à fait volontairement, comme un choix délibéré.

Les résultats de la présente étude n'ont montré aucune variation significative des distances parcourues en comparant les périodes entre elles et les matchs entre eux, à la différence de ce qu'avaient observé Carling et al. (19). Le nombre de matchs analysés et la logique statistique, qui réduit le niveau de significativité des comparaisons deux à deux en augmentant l'échantillon, étaient sans doute à l'origine des différences entre les études. De nombreuses raisons pourraient expliquer l'absence de variations significatives dans l'activité physique des joueurs, de période en période et de match en match. La mise en place de stratégie de rotation des joueurs, pour des raisons tactiques et/ou des cas de suspension ou de blessure, aurait également permis de maintenir une forme physique générale pour l'équipe dans sa totalité. En effet, il a été suggéré que les entraîneurs, les scientifiques et les équipes médicales devraient prendre en compte une telle stratégie pour aider à maintenir les niveaux de performance et réduire les risques de blessure pendant des périodes d'enchaînement de matchs (14). Dans la présente étude, seize joueurs différents ont participé aux 15 matchs analysés et aucun d'entre eux n'a joué la totalité des matchs, puisque par exemple, les trois joueurs les plus utilisés ont joué 13 matchs. Ainsi, la stratégie de rotation des joueurs a certainement contribué à maintenir les performances physiques de match en match et de période en période. De plus, la majorité des joueurs analysés et inclus dans la présente étude ont participé à des matchs internationaux entre les quatre périodes, ce qui a dû contribuer à augmenter leur niveau de fatigue. Malgré cela, les résultats ont montré qu'ils ont réussi à maintenir une intensité élevée pendant les matchs.

L'ajustement des charges d'entraînement pourrait également avoir contribué à obtenir de tels résultats. En effet, pendant les semaines à matchs rapprochés, les entraîneurs ont adapté la charge en fonction des niveaux de fatigue et ont donné la priorité à la récupération sur le reste, alors que lors des semaines à un seul match, certaines séances d'entraînement ont

pu être plus fatigantes. Ainsi, les charges d'entraînement ont été réduites pendant les calendriers où les matchs s'enchaînaient.

La présente étude est la première à avoir reporté des intensités maximales au-delà de 27 km.h<sup>-1</sup>. La calibration des catégories de vitesse était également innovatrice puisqu'il a été proposé d'analyser les variations de performance physique tous les deux ou trois km.h<sup>-1</sup>. Les variations d'intensités maximales analysées ont montré que les AL ont parcouru de plus grandes distances que les DC et MDC ( $p < 0.003$ ) à toutes les intensités de 21 à plus de 27 km.h<sup>-1</sup>. Ces observations ajoutaient de nouvelles informations aux données reportées par Dellal et al. (3) et Lago et al. (23) par exemple, qui ont trouvé que les DC parcouraient moins de distances que les autres postes de jeu à ces hautes intensités. Aucune différence n'a été trouvée entre les AL, ML et ATT à toutes les intensités de course (Tableau 3). Les différences entre les postes de jeu sont, la plupart du temps, en lien direct avec leur rôle tactique dans le système de jeu de leur équipe (24). Ces observations sont en contraste avec celles de Dellal et al. (2) et Carling et al. (11) qui ont trouvé que seuls les ATT et AL parcouraient les plus grandes distances aux hautes intensités en *Premier League* anglaise, en *Liga* espagnole et en Ligue 1 française. La nouvelle calibration des catégories de vitesse de la présente étude, avec des seuils plus précis (deux-trois km.h<sup>-1</sup> d'écart) et plus détaillés dans les vitesses élevées, a permis de spécifier quelques différences entre les postes de jeu, par rapport à la littérature. Plus précisément, les MDC ont parcouru de plus courtes distances que les DC de >18 à 21 km.h<sup>-1</sup> alors qu'ils ont parcouru les mêmes distances de >21 à 23 km.h<sup>-1</sup>, alors que Lago et al. (23) n'ont trouvé aucune différence entre ces deux postes de 19 à 23 km.h<sup>-1</sup>. Nous avons également observé que les AL, ML et MOC parcouraient de plus grandes distances que les MDC de >25 à 27 km.h<sup>-1</sup>, et que les AL, ML et ATT parcouraient de plus grandes distances au-delà de 27 km.h<sup>-1</sup> que les MDC. Les différences entre études pourraient s'expliquer par le nombre totale d'analyses (5938 analyses de joueurs pour Dellal et al. (2) vs. 132 dans la présente étude) et/ou l'influence d'autres variables comme les conditions environnementales, les aspects tactiques, la qualité de l'adversaire et/ou l'importance du match. Néanmoins, il serait intéressant d'approfondir l'analyse des effets de ces variables d'influence sur les distances parcourues aux intensités sous-maximales (>25-27 km.h<sup>-1</sup>) et maximales (>27 km.h<sup>-1</sup>) afin de comparer leur effets avec les données de la littérature sur ce sujet.

Bien que la présente étude fournisse de nouvelles informations sur l'activité physique, détaillée à des hautes intensités de courses en fonction des postes de jeu, Osgnach et al. (25) ont souligné l'importance de la prise en compte des accélérations et des décélérations dans l'estimation de la dépense d'énergie et de la puissance métabolique. Leurs analyses ont montré que la distance parcourue à des puissances élevées représentait 26% des distances totales, soit 42% de l'énergie dépensée pendant un match. Par leur analyse, ils ont ainsi montré que les « hautes intensités » exprimées en puissances étaient deux à trois fois plus importantes que celles basées uniquement sur les vitesses de course. Malgré cela, la présente étude a comparé des déplacements de match basés sur les vitesses de course, comme cela a été fait dans la majorité des études de littérature, afin de pouvoir comparer les observations, même si l'analyse a pu être biaisée par le fait que les accélérations et les décélérations n'aient pas été prises en compte.

## CONCLUSION

Cette étude a montré que l'enchaînement de matchs rapprochés sur une période prolongée de cinq mois, divisée en quatre périodes, n'a pas eu d'influence sur l'activité physique de joueurs de football professionnels de niveau européen, indépendamment de leur poste de jeu.

Cette étude a également présenté de nouveaux profils d'intensité de course mesurée jusqu'à 27 km.h<sup>-1</sup> et plus, en montrant tout particulièrement que les arrières latéraux parcouraient de plus grandes distances aux très hautes intensités. De nos jours, dans le football moderne, les distances parcourues aux intensités sous-maximales et maximales sont essentielles car elles varient en fonction des systèmes de jeu, de l'entraîneur, du championnat et de nombreuses autres variables. Un nouveau champ de recherche a été lancé sur des catégories de vitesse proches des vitesses maximales atteintes en match officiel, et étudier l'effet de différents facteurs contextuels comme les conditions climatiques, le système de jeu, la qualité de l'adversaire, par exemple, sur les distances parcourues à ces intensités maximales est une perspective de grand intérêt. Avec de telles informations, les professionnels de l'entraînement en football peuvent encore davantage individualiser les programmes d'entraînement en fonction des besoins des joueurs et de leur poste de jeu au cours de plusieurs périodes successives de matchs rapprochés.

## REMERCIEMENTS

Nous remercions tous les joueurs impliqués dans l'étude pour leur collaboration. Les auteurs n'ont pas de conflits d'intérêts en lien direct avec le contenu de cet article.

## REFERENCES

- (1) Dellal, A. Analysis of the soccer player's physical activity and of its consequences in the training: Special reference to the high intensity intermittent exercises and the small sided-games. Thesis of Physiology of Exercise, Strasbourg University, France. 2008.
- (2) Dellal A, Chamari K, Wong DP, et al. Comparison of physical and technical performance in European match-play: FA Premier League and La Liga. *Eur J Sport Sci* 2011;11:51-9.
- (3) Dellal A, Wong DP, Moalla W, Chamari K. Physical and technical activity of soccer players in the Frenche First League – with special reference to their playing position. *Int J Sports Med* 2010;11:278-90.
- (4) Di Salvo V, Baron R, González-Haro C, et al. Sprinting analysis of elite soccer players during European Champions League and UEFA cup matchs. *J Sports Sci* 2010;28:1489-94.
- (5) Vigne G, Gaudino C, Rogowski I, et al. Activity profile in elite Italian soccer team. *Int Journal Sports Med* 2010;31:304-10.

- (6) Di Salvo V, Gregson W, Atkinson G, et al. Analysis of high intensity activity in Premier League soccer. *Int J Sports Med* 2009;30:205-12.
- (7) Di Salvo V, Baron R, Tschan H, et al. Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *Int J Sports Med* 2007;28:222–227.
- (8) Barros RML, Misuta MS, Menezes RP, et al. Analysis of the distances covered by first division Brazilian soccer players obtained with an automatic tracking method. *J Sport Sci Med* 2007;6:233-42.
- (9) Bangsbo J, Norregaard L, Thorsoe F. Activity profile of competition soccer. *Can J Sport Sci* 1991;16:110-6.
- (10) Bradley PS, Sheldon W, Wooster B, et al. High-intensity running in English FA Premier League soccer matches. *J Sports Sci* 2009;27:159-68.
- (11) Carling C, Bloomfield J, Nelsen L, Reilly T. The role of motion analysis in elite soccer: Contemporary performance measurement techniques and work rate data. *Sports Med* 2008;38:839-62.
- (12) Özgünen KT, Kurdak SS, Maughan RJ, et al. Effect of hot environmental conditions on physical activity patterns and temperature response of football elite players. *Scand J Med Sci Sports* 2010;20:140-7.
- (13) Dellal A, Lago-Peñas C, Rey E, et al. The effects of a congested fixture period on physical performance, technical activity and injury rate during matches in a professional soccer team. *Br J Sports Med* 2013;0:1-5.
- (14) Dupont G, Nédélec M, Mc Call A, et al. Effect of 2 soccer matches in a week on physical performance and injury rate. *Am J Sports Med* 2010;38:1752-8.
- (15) Stolen T, Chamari K, Castagna, C. Physiology of soccer: an update. *Sports Med* 2005;35:501-36.
- (16) Ascensao A, Leite M, Rebelo AN, et al. Effects of cold water immersion on the recovery of physical performance and muscle damage following a one-off soccer match. *J Sports Sci* 2011;29:217-25.
- (17) Buchheit M, Horobeanu C, Mendez-Villanueva A, et al. Effects of age and spa treatment on match running performance over two consecutive games in highly trained young soccer players. *J Sports Sci* 2011;29:591-8.
- (18) Leede J, Gissane C, Van Someren K, et al. Cold water immersion and recovery from strenuous exercise: a meta-analysis. *Br J Sports Med* 2012;46:233-40.
- (19) Carling C, Le Gall F, Dupont G. Are physical performance and injury risk in a professional soccer team in match-play affected over a prolonged period of fixture congestion? *Int J Sports Med* 2011;33:36-42.
- (20) Zubillaga A, Gorospe G. Match analysis of 2005-06 champions league final with Amisco system. *J Sports Sci Med* 2007;6(Suppl): 10.

- (21) Rey E, Lago-Peñas C, Lago-Ballesteros J, et al. The effects of a congested fixture period on the activity of elite soccer players. *Biol Sport* 2010;27,181-5.
- (22) Odetoyinbo K, Wooster B, Lane A. The effect of a succession of matches on the activity profiles of professional soccer players. *J Sports Sci Med* 2007;10:s16-7.
- (23) Lago C, Rey E, Lago-Ballesteros J, et al. The influence of a congested calendar on physical performance in elite soccer. *J Strength Cond Res* 2011;25:2111-7.
- (24) Mohr M, Krstrup P, Bangsbo J. Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J Sports Sci* 2003;21:519-28.
- (25) Osgnach C, Poser S, Bernardini R, et al. Energy cost and metabolic power in elite soccer: a new match analysis approach. *Med Sci Sports Exerc* 2010;42:170-8.

## CHAPITRE VII. ÉTUDE 2

### Titre:

L'influence des périodes de matchs rapprochés sur les profils d'accélération et de décélération de joueurs de football professionnels dépend du poste de jeu.

## RESUME

L'objectif de la présente étude était d'analyser l'influence de périodes de matchs rapprochés sur les profils d'accélération (Acc) et de décélération (Dec) de joueurs de football professionnels. Vingt-trois joueurs d'une même équipe professionnelle ont participé à 31 matchs officiels joués pendant deux types de périodes : (i) périodes de matchs rapprochés, avec trois-quatre jours entre les matchs, et (ii) pendant des périodes de matchs non-rapprochés, avec cinq jours ou plus entre les matchs. L'activité physique était enregistrée au cours de chaque match et analysée en fonction des différentes périodes. Les Acc maximales, les Acc intenses, les Dec maximales et les distances totales en décélérant étaient significativement réduites pendant les périodes de matchs rapprochés ( $p < 0,05$  ; taille d'effet : 0,31-0,70). Les défenseurs centraux, défenseurs latéraux et les milieux centraux ont montré des diminutions significatives de leur activité à la différence des milieux latéraux et des attaquants. Les capacités d'Acc et de Dec étaient donc affectées par les périodes d'enchaînement de matchs, plus précisément pour les postes défensifs. On pourrait suggérer que la diminution de l'activité physique observée était due à la fatigue accumulée lors de ce type de période. L'impact de cette réduction d'activité physique a été plus importante auprès des postes défensifs qu'auprès des postes offensifs, ceci étant certainement en lien avec leurs déplacements spécifiques sur le terrain. En conclusion, on pourrait conseiller aux équipes de football professionnelles d'enregistrer et de suivre les mesures d'accélération et de décélération des joueurs tout au long de périodes de matchs rapprochés comme étant un moyen d'analyser l'activité physique des joueurs et d'anticiper leur éventuelle fatigue.

## MOTS CLES

GPS, Fatigue, Performance, Changements de direction, Activité physique

## INTRODUCTION

Le football au plus haut niveau de pratique impose aux joueurs une très haute implication physique, avec la réalisation répétée de changements de direction (CDD) et d'un grand nombre d'actions à haute intensité (Stolen et al., 2005). Le suivi et l'enregistrement de l'activité des joueurs à l'entraînement et en match ont reçu une attention particulière ces derniers temps. Les systèmes de positionnement par satellite (GPS) sont aujourd'hui l'approche la plus commune pour quantifier l'activité physique des joueurs. Les distances totales parcourues (DTP) et les temps passés à différentes intensités sont deux des mesures les plus souvent enregistrées par l'intermédiaire des GPS (Aughey, 2011 ; Hill-Haas et al., 2011). Cependant, en limitant les analyses de l'activité par l'observation des intensités en lien avec des vitesses, des mouvements-clés, qui impliquent de grandes demandes musculaires (en puissance) mais avec des vitesses de déplacement réduites, ne sont pas pris en considération.

De plus, il est suggéré que le coût énergétique des distances courues à haute intensité (HI) est sous-estimé, car certains déplacements spécifiques au football ne sont pas pris en compte dans cette mesure : les accélérations (Acc), les décélérations (Dec) et les CDD, pourtant constamment exécutés tout au long des séances d'entraînement et des matchs (Bradley et al., 2009 ; Gaudino et al., 2013). En effet, pendant les Acc, les Dec et les CDD, les contractions musculaires concentriques et excentriques ont été associées à une augmentation des dommages causés aux muscles (Raastad et al., 2010 ; Young et al., 2012 ; Silva et al., 2014 ; Owen et al., 2015) et une élévation probable de la contribution anaérobie et du stress physiologique (Dellal et al., 2010a ; Buchheit et al., 2010 ; Chaouachi et al., 2012). Il est également suggéré que la répétition des mouvements d'Acc et de Dec est impliquée dans le renforcement des muscles des membres inférieurs (Owen et al., 2015). Il a récemment été observé que l'augmentation du temps passé à accélérer et l'augmentation du nombre d'Acc induisaient une élévation de la fréquence cardiaque, des concentrations en lactate sanguin et de l'effort perçu (Akenhead et al., 2015). Il a également été reporté que les Acc et Dec étaient corrélées avec les courses à haute intensité (HI) ( $r = 0,44$  à  $0,55$ ) pendant des matchs de football de haut niveau (Castagna et al., 2016). Dans ce contexte, la littérature recommande de suivre et de quantifier l'activité physique des joueurs de football avec, à la fois, les indicateurs de vitesse et les indicateurs d'Acc/Dec (Dalen et al., 2016).

La demande physique de performance physique exigée par le très haut niveau de pratique augmente d'année en année, due à l'obligation de jouer un nombre grandissant de matchs avec les calendriers nationaux, européens et internationaux. De tels calendriers chargés imposent un temps de récupération qui diminue entre les matchs. Il a été suggéré que les joueurs de haut niveau, lors de périodes de matchs rapprochés, compensaient leur manque de récupération en augmentant les distances parcourues à basse intensité pendant les matchs (Carling et al., 2012 ; Djaoui et al., 2014), mais sans modifier significativement les courses aux intensités moyennes, hautes et maximales (Carling et al., 2015). Récemment, il a été observé que l'enchaînement de matchs rapprochés accentuait le stress physiologique, en augmentant plus particulièrement des concentrations sanguines en protéines C-réactives, globules blancs et créatine kinase (CK) (Mohr et al., 2016). CK, en tant que marqueur des

dommages musculaires, était le seul indicateur de l'étude à être affecté significativement par une récupération diminuée entre les matchs (Mohr et al., 2016). De plus, l'augmentation de CK communément observée dans les 24 à 48h après un match a été associée à une diminution sur des tests neuromusculaires de CDD (Silva et al., 2013). Un autre rapport sur le sujet a mis en avant le fait que les calendriers compétitifs chargés, par l'accumulation de matchs de championnat et de matchs de compétition continentale, pouvait induire une hémolyse accumulée en fin de saison (Owen et al., en presse). Owen et al. (en presse) ont montré que des relations existaient entre un plus bas volume moyen de cellules, la moyenne de cellules d'hémoglobine, le nombre de globules rouges et les valeurs d'hématocrite, indiquant de ce fait les effets accumulés des entraînements d'une saison entière et des matchs enchaînés.

En se basant sur la littérature, il pourrait être hypothéqué que l'augmentation des dommages musculaires observée pendant des périodes de matchs enchaînés serait la conséquence de la répétition d'Acc et de Dec tout au long des matchs, et d'un manque de récupération entre les matchs. Dans ce contexte, Arruda et al. (2015) ont observé, chez des jeunes joueurs de football, que le nombre d'Acc par minute était significativement impacté par un calendrier d'enchaînement de matchs très chargé. Plus précisément, le nombre d'Acc par minute diminuait pendant les deuxième et cinquième matchs d'un tournoi d'une durée de trois jours (Arruda et al., 2015). Cependant, à ce jour, et à la connaissance des auteurs, aucune étude n'a examiné les effets d'un calendrier de matchs rapprochés sur les Acc et les Dec au cours de matchs officiels chez des joueurs de football professionnels. Ceci étant établi, il faudrait prendre en compte, si possible, que les joueurs ont une activité différente liée aux Acc et aux Dec en fonction de leur poste de jeu (Akenhead et al., 2016). Ainsi, l'objectif de la présente étude était d'examiner l'activité physique de joueurs professionnels de football pendant des matchs en périodes de matchs rapprochés et en période de matchs non-rapprochés, avec une attention particulière aux profils d'accélération et de décélération. L'hypothèse posée a été que les Acc et les Dec seraient impactées négativement par les calendriers de matchs rapprochés et que cet impact varierait en fonction des postes de jeu.

## MATERIELS ET METHODES

### *Protocole*

Pour analyser l'effet des matchs rapprochés sur les profils d'Acc et Dec, 32 matchs officiels ont été analysés au cours de deux saisons, entre Mars et Mai 2016 (n = 13 matchs) et entre Juillet et Décembre 2016 (n = 19 matchs). Pendant les périodes d'analyse, sept matchs étaient joués lors de périodes de matchs rapprochés et vingt-cinq matchs étaient joués lors de périodes de matchs non-rapprochés. Trois à quatre jours séparaient les matchs rapprochés et au moins cinq jours séparaient les matchs non-rapprochés. Les matchs officiels étaient constitués de 30 matchs du championnat professionnel du pays européen concerné et de deux matchs de la coupe nationale.

### *Participants*

Vingt-quatre joueurs professionnels de football (âge :  $23 \pm 4,5$  ans; taille :  $178 \pm 6,1$  cm; masse corporelle :  $73 \pm 8,2$  kg) d'une même équipe ont participé à l'étude. Treize des joueurs faisaient partie de leur équipe nationale. L'équipe en question était l'une des meilleures équipes de la première division de leur championnat national. Les joueurs ont été répartis en cinq postes de jeu : les défenseurs centraux (DC,  $n=5$ ), les arrières latéraux (AL,  $n=5$ ), les milieux centraux (MC,  $n=6$ ), les milieux latéraux (ML,  $n=4$ ) et les attaquants (A,  $n=4$ ). Tous les joueurs inclus dans l'analyse étaient ceux qui avaient participé à au moins 70min de chaque match. D'un nombre total de 406 analyses individuelles de match ( $n=67$  DC,  $n=77$  AL,  $n=120$  MC,  $n=75$  ML and  $n=67$  A) enregistrées, seulement 270 concordait avec les critères d'inclusion pour être inclus dans l'analyse ( $n=58$  DC,  $n=65$  AL,  $n=72$  MC,  $n=36$  ML and  $n=39$  A). Pendant les périodes de matchs rapprochés, seuls les joueurs ayant joué le match précédent, trois ou quatre jours plus tôt, étaient inclus dans l'analyse. Aucun des joueurs n'a participé à la totalité des 32 matchs analysés. Les deux joueurs ayant le plus joués ont respectivement participé à 29 et 28 matchs. Tout au long de la procédure, les joueurs ont été guidés pour maintenir les protocoles de récupération habituellement utilisés dans l'équipe et les mêmes stratégies alimentaires. Ils ont tous donné un accord écrit avant le début des enregistrements. La présente étude a été approuvée par le département des sciences du sport du club de football engagé et par le comité d'éthique de l'université impliquée avant le début des mesures. La présente étude suit les recommandations éthiques de la recherche, conformément à la Déclaration d'Helsinki.

### *Méthodologie*

Pendant tous les matchs, l'activité physique des joueurs était enregistrée à l'aide d'un GPS avec une fréquence de 10 Hz (Viper, Statsport, Ireland), système qui a précédemment été considéré comme valide et fiable dans l'enregistrement des déplacements spécifiques des sports d'équipe et des accélérations (Varley et al., 2012 ; Kelly et al., 2014). Les distances totales parcourues (DTP) et les DTP relatives par minute (RDTP) étaient mesurées. Les distances parcourues et les temps passés à différents seuils de vitesse étaient également mesurés et exprimés en valeurs absolues et en valeurs relatives par minute : à basse intensité (BI, 0 à  $10,8 \text{ km.h}^{-1}$ ), RBI, intensité intermédiaire (II,  $>10,8$  à  $19,8 \text{ km.h}^{-1}$ ), RII, haute intensité (HI,  $>19,8$  à  $25,2 \text{ km.h}^{-1}$ ), RHI, en sprint ( $>25,2 \text{ km.h}^{-1}$ ) et en RSprint, comme cela a déjà été réalisé dans certaines études (Rampinini et al., 2007 ; Di Salvo et al., 2009).

Les profils d'accélérations/décélérations étaient déterminés en utilisant les huit catégories suivantes, inspirées d'Osgnach et al. (2010) : décélérations maximales (MDec,  $<-3 \text{ m.s}^{-2}$ ), hautes (HDec, de  $-3$  à  $<-2 \text{ m.s}^{-2}$ ), intermédiaires (IDec, de  $-2$  à  $<-1 \text{ m.s}^{-2}$ ) et basses (BDec, de  $-1$  à  $<0 \text{ m.s}^{-2}$ ) ; accélérations basses (BAcc, de  $>0$  à  $1 \text{ m.s}^{-2}$ ), intermédiaires (IAcc, de  $>1$  à  $2 \text{ m.s}^{-2}$ ), hautes (HAcc, de  $>2$  à  $3 \text{ m.s}^{-2}$ ) et maximales (MAcc,  $>3 \text{ m.s}^{-2}$ ). Les distances totales en accélérant et en décélérant (respectivement TAcc et TDec) ont également été mesurées. Pour les huit catégories, les distances et les temps ont été mesurés.

### *Analyses statistiques*

La normalité a d'abord été vérifiée en utilisant le test de Shapiro-Wilk. Lorsqu'une variable suivait une distribution normale, une analyse des variances (ANOVA) à un facteur était utilisée pour tester la différence entre les périodes de matchs et entre les postes de jeu. Lorsqu'une variable ne suivait pas la loi normale, le test non-paramétrique de Kruskal-Wallis était alors utilisé. Une différence était considérée comme significative si  $p < 0,05$ . Dans ce cas précis, des t-tests ou des tests de Wilcoxon étaient utilisés pour préciser les différences en utilisant la correction de Bonferroni. Ainsi, les différences entre postes de jeu étaient considérées comme significatives lorsque  $p < 0,005$ . Une ANOVA à deux facteurs a été utilisée pour analyser l'interaction entre les postes de jeu et les périodes. La validité et la fiabilité des mesures ont été calculées à l'aide d'un alpha de Cronbach et des coefficients de variation (CV). Ces derniers étaient calculés en faisant le ratio entre l'écart type / moyenne. Les tailles d'effet (ES) ont été calculées pour chaque différence significative et interprétées comme petites :  $< 0,50$ , modérées :  $0,50$  à  $0,80$  ou grandes :  $> 0,80$ , comme Cohen (1988) l'a suggéré. La totalité des données est présentée en tant que moyenne  $\pm$  écart type.

## RESULTATS

Durant les périodes analysées, les joueurs ont parcouru plus de distances à RII ( $37,9 \pm 7,67$  m, CV: 20% vs.  $35,5 \pm 7,7$  m, CV: 22%, ES: 0,31,  $p < 0,05$ ) pendant les périodes de matchs non-rapprochés que pendant les périodes de matchs rapprochés. Aucune différence n'a été observée entre les périodes sur les mesures absolues et relatives à BI (CV : 7-12%), HI (27-34%), en sprint (48-57%) et sur les DTP (10-13%). Les périodes d'enchaînement ont affecté négativement les DC dans leurs distances parcourues et leurs temps passés à II, et les ML dans les distances parcourues à BI ( $p < 0,05$ ) (Tableau 1).

Des différences significatives ont été observées concernant la totalité des joueurs qui ont parcouru de plus grandes distances à MAcc (ES: 0,60), HAcc (0,56), RMAcc (0,33), RHAcc (0,57), RMDec (0,34) and RIDec (0,29) pendant les périodes sans matchs rapprochés ( $p < 0,05$ ) (Tableau 2). La totalité des joueurs a également passé plus de temps à MAcc (0,70), HAcc (0,61), MDec (0,36), RMAcc (0,68), RHAcc (0,64), RTDec (0,31) and RMDec (0,42) (Tableau 3) au cours des périodes sans matchs rapprochés ( $p < 0,05$ ). Enfin, pendant les périodes à matchs rapprochés, les joueurs ont passé plus de temps à TAcc, RTAcc (0,49-0,50) et LAcc (0,53) avec quelques différences entre les postes de jeu (Figure 1). Les CV obtenus sur les mesures d'Acc et Dec allaient de 8 à 32% et l'alpha de Cronbach était mesuré à 0,95. Des différences ont été observées entre les postes de jeu puisque les ML et les A ne présentaient aucune variation des mesures entre les périodes (Tableaux 2 et 3).

Pour toutes les variables analysées, les différences observées entre les postes de jeu sont présentées dans le tableau 4.



**Tableau 2.** Distances parcourues en accélérant et en décélérant lors de matchs de football professionnels, en périodes de matchs rapprochés et non-rapprochés

(m)	DC		AL		MC		ML		A		Tous les joueurs	
	Rapprochés	Non-rapprochés	Rapprochés	Non-rapprochés								
TAcc	4645 ±334	4797 ±394	5133 ±381	5113 ±356	4870 ±1039	4989 ±511	5237 ±374	4923 ±791	4576 ±671	4679 ±646	4883 ±690	4922 ±546
MAcc	61,3 ±15,5	73,5* ±13,8	74,0 ±19,5	82,5 ±15,3	72,7 ±21,8	91,2* ±16,4	86,0 ±11,6	83,0 ±18,1	82,9 ±23,3	96,4 ±22,9	73,2 ±20,3	84,9* ±18,5
HAcc	218 ±33,1	241* ±30,4	255 ±32,5	268 ±32,8	239 ±68,8	277* ±35,9	279 ±21,4	278 ±47,5	253 ±51,1	274 ±30,2	244 ±49,5	267* ±37,8
Iacc	822 ±84,5	853 ±85,7	993 ±112,6	983 ±102	910 ±228	958 ±117	951 ±115	973 ±181	873 ±181	880 ±139	911 ±167	932 ±133
BAcc	3544 ±280	3630 ±316	3811 ±324	3779 ±280	3647 ±769	3662 ±411	3922 ±296	3589 ±582	3367 ±500	3429 ±526	3653 ±519	3638 ±423
RTAcc	49,9 ±3,14	50,8 ±3,70	54,0 ±4,01	54,4 ±3,20	53,2 ±9,61	54,7 ±4,93	56,1 ±5,40	56,6 ±7,63	52,7 ±5,40	52,7 ±6,58	52,9 ±6,35	53,8 ±5,42
RMAcc	0,66 ±0,15	0,78* ±0,14	0,78 ±0,21	0,88 ±0,16	0,79 ±0,22	1,00* ±0,17	0,92 ±0,11	0,96 ±0,20	0,97 ±0,31	1,08 ±0,21	0,80 ±0,23	0,93* ±0,20
RHAcc	2,34 ±0,30	2,55* ±0,30	2,68 ±0,34	2,85 ±0,35	2,61 ±0,70	3,04* ±0,37	2,98 ±0,21	3,21 ±0,55	2,93 ±0,58	3,09 ±0,39	2,65 ±0,52	2,92* ±0,45
RIAcc	8,84 ±0,88	9,03 ±0,83	10,5 ±1,18	10,5 ±1,04	9,94 ±2,20	10,5 ±1,18	10,2 ±1,56	11,2 ±1,90	10,0 ±1,66	10,0 ±1,76	9,88 ±1,64	10,2 ±1,48
RBAcc	38,1 ±2,80	38,4 ±3,04	40,1 ±3,41	40,2 ±2,47	39,9 ±7,07	40,1 ±4,01	42,0 ±4,06	41,2 ±5,43	38,7 ±3,83	38,6 ±5,07	39,6 ±4,73	39,7 ±4,03
TDec	5058 ±382	5279 ±424	5344 ±362	5388 ±368	5100 ±1000	5322 ±507	5431 ±288	5236 ±777	4720 ±678	4832 ±610	5132 ±668	5245 ±552
MDec	98,9 ±21,9	109 ±22,4	155 ±40,7	165 ±31,5	136 ±47,6	154 ±33,1	161 ±24,3	157 ±36,4	165 ±45,7	184 ±32,4	139 ±44,8	152 ±39,3
HDec	229 ±32,6	241 ±34,9	306 ±31,8	300 ±38,9	274 ±75,2	295 ±36,6	308 ±27,6	285 ±58,0	315 ±56,1	321 ±42,5	281 ±59,1	287 ±48,6
IDec	867 ±111	917 ±88,8	987 ±110	997 ±101	926 ±221	992 ±112	979 ±61,3	957 ±153	869 ±167	876 ±140	92,6 ±15,9	95,5 ±12,4
BDec	3864 ±310	4012 ±357	3896 ±289	3927 ±296	3764 ±700	3882 ±420	3983 ±220	3837 ±559	3371 ±503	3451 ±485	3784 ±493	3851 ±448
RTDec	54,4 ±3,08	55,9 ±3,88	56,3 ±3,81	57,3 ±3,44	55,8 ±9,37	58,3 ±5,11	58,1 ±4,12	60,3 ±7,73	54,3 ±5,73	54,5 ±6,10	55,6 ±6,01	57,3 ±5,43
RMDec	1,06 ±0,23	1,16 ±0,24	1,63 ±0,43	1,75 ±0,32	1,47 ±0,48	1,69 ±0,36	1,72 ±0,31	1,80 ±0,37	1,92 ±0,55	2,07 ±0,30	1,51 ±0,49	1,66* ±0,43
RHDec	2,46 ±0,37	2,55 ±0,35	3,22 ±0,33	3,19 ±0,42	3,00 ±0,75	3,23 ±0,34	3,30 ±0,40	3,27 ±0,54	3,64 ±0,53	3,62 ±0,42	3,06 ±0,63	3,14 ±0,53
RIDec	9,30 ±0,99	9,70 ±0,80	10,4 ±1,16	10,6 ±1,04	10,1 ±2,14	10,9 ±1,14	10,5 ±0,83	11,0 ±1,57	10,0 ±1,69	9,92 ±1,79	10,0 ±1,54	10,4* ±1,33
RBDec	41,5 ±2,65	42,5 ±3,40	41,0 ±3,04	41,7 ±2,77	41,2 ±6,54	42,6 ±4,38	42,6 ±2,88	44,2 ±5,67	38,8 ±4,06	38,8 ±4,60	41,0 ±4,38	42,0 ±4,35

T, M, H, I et BAcc: respectivement les accélérations totales, maximales, hautes, intermédiaires et basses; T, M, H, I et BDec: respectivement les décélérations totales, maximales, hautes, intermédiaires et basses ; R : mesure relative par minute ; \* Plus grand lors des périodes de matchs non-rapprochés vs, matchs rapprochés pour le même poste de jeu ( $p<0,05$ ).

**Tableau 3.** Temps passés à accélérer et décélérer lors de matchs de football professionnels, en périodes de matchs rapprochés et non-rapprochés.

(m)	DC		AL		MC		ML		A		Tous les joueurs	
	Rapprochés	Non-rapprochés	Rapprochés	Non-rapprochés	Rapprochés	Non-rapprochés	(m)	Rapprochés	Non-rapprochés	Rapprochés	Non-rapprochés	Rapprochés
TAcc	4548 ±621	4235 ±296	4695 ±832	4251 ±365	4263 ±1018	4104 ±541	4439 ±878	3785 ±434	4032 ±944	4079 ±629	4422 ±870	4116 ±526
MAcc	29,7 ±6,66	36,3* ±6,16	34,0 ±7,15	38,4* ±6,45	33,9 ±10,2	42,9* ±7,25	38,2 ±5,92	37,6 ±0,79	35,6 ±8,23	41,3 ±9,36	33,7 ±8,20	39,4* ±7,68
HAcc	93,7 ±13,6	105* ±11,7	106 ±13,9	111 ±12,7	99,2 ±27,0	115* ±13,4	106 ±7,82	110 ±8,03	97,0 ±19,4	104 ±11,8	100 ±19,0	110* ±14,2
IAcc	375 ±39,8	389 ±31,1	442 ±47,2	434 ±36,5	390 ±88,4	407 ±44,0	394 ±34,7	391 ±19,6	363 ±69,2	362 ±47,7	397 ±67,5	401 ±51,1
BAcc	4049 ±664	3705 ±305	4113 ±875	3668 ±379	3740 ±953	3539 ±511	3901 ±904	3246 ±72,5	3537 ±949	3572 ±629	3891\$ ±865	3567 ±507
RTAcc	49,3 ±9,95	44,9 ±4,25	49,4 ±8,76	45,3 ±4,36	46,4 ±8,99	44,9 ±4,76	47,3 ±8,67	43,4 ±3,78	46,1 ±7,34	45,8 ±4,89	47,9 ±8,72	44,9 ±4,97
RMAcc	0,32 ±0,06	0,38* ±0,06	0,36 ±0,08	0,41* ±0,07	0,37 ±0,10	0,47* ±0,08	0,41 ±0,05	0,43 ±0,01	0,42 ±0,11	0,46 ±0,09	0,37 ±0,09	0,43* ±0,08
RHAcc	1,01 ±0,13	1,11* ±0,12	1,12 ±0,15	1,18 ±0,13	1,09 ±0,28	1,26* ±0,14	1,13 ±0,06	1,27* ±0,09	1,12 ±0,20	1,17 ±0,16	1,09 ±0,19	1,20* ±0,16
RIAcc	4,04 ±0,39	4,11 ±0,29	4,65 ±0,50	4,62 ±0,37	4,26 ±0,84	4,46 ±0,39	4,22 ±0,44	4,49 ±0,21	4,17 ±0,62	4,10 ±0,61	4,30 ±0,63	4,37 ±0,50
RBAcc	44,0 ±10,1	39,3 ±4,29	43,3 ±9,21	39,1 ±4,47	40,7 ±8,56	38,7 ±4,65	41,6 ±9,03	37,2 ±0,70	40,4 ±7,92	40,0 ±5,10	42,1\$ ±8,83	38,9 ±4,92
TDec	2969 ±278	3106 ±249	3023 ±165	3070 ±237	2844 ±549	2957 ±302	2941 ±235	2780 ±0,01	2717 ±285	2780 ±315	2909 ±360	2964 ±327
MDec	30,6 ±5,83	34,0 ±6,55	45,5 ±10,1	49,1 ±7,95	41,3 ±14,1	47,4 ±8,87	46,4 ±5,88	45,9 ±0,58	47,1 ±11,5	51,9 ±8,91	41,4 ±12,0	45,3* ±10,4
HDec	79,9 ±12,2	85,2 ±12,3	104 ±10,4	102 ±11,9	94,9 ±26,0	103 ±11,5	100 ±6,35	93,5 ±10,5	102 ±16,5	102 ±12,5	95,8 ±19,1	97,3 ±14,8
IDec	362 ±48,1	382 ±33,3	411 ±40,8	408 ±34,1	373 ±86,9	397 ±43,4	387 ±22,6	368 ±18,7	342 ±58,1	345 ±47,1	378 ±63,0	384 ±47,8
BDec	2496 ±263	2604 ±250	2462 ±158	2510 ±230	2335 ±459	2410 ±269	2408 ±230	2273 ±62,2	2226 ±244	2281 ±298	2394 ±312	2436 ±299
RTDec	31,8 ±1,65	32,9 ±2,28	31,8 ±1,73	32,6 ±2,19	31,1 ±4,73	32,4 ±2,41	31,4 ±1,65	31,9 ±0,00	31,3 ±1,01	31,2 ±1,72	31,5 ±2,80	32,3* ±2,53
RMDec	0,33 ±0,06	0,36 ±0,07	0,48 ±0,11	0,52 ±0,08	0,45 ±0,14	0,52 ±0,09	0,50 ±0,08	0,53 ±0,01	0,55 ±0,14	0,58 ±0,08	0,45 ±0,13	0,50* ±0,11
RHDec	0,86 ±0,15	0,90 ±0,13	1,10 ±0,11	1,09 ±0,13	1,04 ±0,26	1,12 ±0,10	1,07 ±0,09	1,07 ±0,10	1,18 ±0,15	1,15 ±0,14	1,04 ±0,20	1,06 ±0,16
RIDec	3,89 ±0,43	4,04 ±0,30	4,33 ±0,43	4,34 ±0,34	4,08 ±0,82	4,35 ±0,41	4,13 ±0,22	4,23 ±0,17	3,94 ±0,56	3,90 ±0,60	4,09 ±0,58	4,20 ±0,47
RBDDec	26,8 ±1,78	27,6 ±2,40	25,9 ±1,66	26,7 ±2,20	25,5 ±3,98	26,4 ±2,22	25,7 ±1,75	26,1 ±0,60	25,6 ±0,91	25,6 ±1,71	25,9 ±2,49	26,5 ±2,41

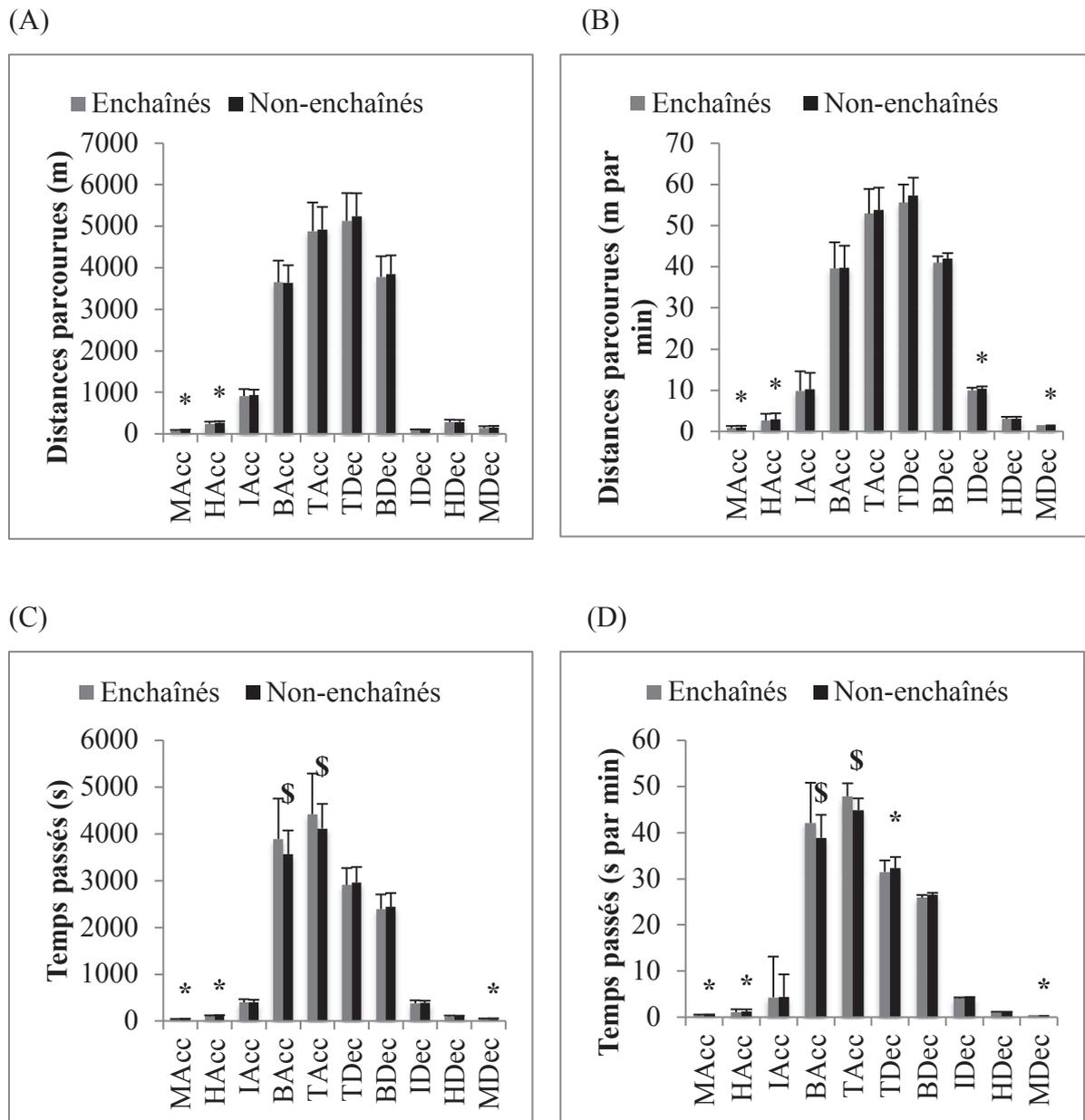
T, M, H, I et BAcc: respectivement les accélérations totales, maximales, hautes, intermédiaires et basses; T, M, H, I et BDec: respectivement les décélérations totales, maximales, hautes, intermédiaires et basses; R : mesure relative par minute ; \* Plus grand lors des périodes de matchs non-rapprochés vs. matchs rapprochés pour le même poste de jeu (p<0,05). \$ Plus grand lors des périodes de matchs rapprochés vs. non-rapprochés (p<0,05).

**Tableau 4.** Activité physique de joueurs professionnels de football, en fonction de leur poste de jeu, lors de matchs officiels.

Distances parcourues	Différences entre les postes de jeu (p<0,005)	Taille d'effet	Temps passés	Différences entre les postes de jeu (p<0,005)	Taille d'effet
DTP	AL > DC,A et MC > A	0,59-0,99	DTP	NM	NM
BI	DC,AL > A et AL > MC	0,49-0,93	BI	NM	NM
II	(MC > DC),AL,ML > A	0,50-0,95	II	(MC > DC),AL,ML > A	0,46-0,98
HI	AL,A,ML > MC > DC	0,51-1,76	HI	AL,A,ML > MC > DC	0,53-1,74
Sprint	AL,A,ML > DC,MC	0,89-1,22	Sprint	AL,A,ML > DC,MC	0,90-1,25
RDTP	AL,MC,ML > DC et ML > A	0,48-0,78	RDTP	NM	NM
RBI	-	-	RBI	NM	NM
RII	MC,ML > DC,A et MC > AL > A	0,55-0,84	RII	MC,ML > DC,A et MC > AL > A	0,58-0,88
RHI	AL,ML,A > MC > DC	0,62-1,76	RHI	AL,ML,A > MC > DC	0,64-1,75
RSprint	AL,ML,A > DC,MC	0,85-1,35	RSprint	AL,ML,A > DC,MC	0,87-1,37
TAcc	AL > DC,MC	0,86-0,98	TAcc	DC,AL > ML	0,57-0,72
MAcc	(A > AL),MC,ML > DC	0,57-1,04	MAcc	A,MC > DC	0,63-0,68
HAcc	AL,MC,ML,A > DC	0,70-0,95	HAcc	AL,MC > DC,A	0,48-0,56
IAcc	AL,MC,ML > DC et AL > A	0,68-1,33	IAcc	AL > DC,ML et A > AL > MC	0,63-1,30
BAcc	AL > A	0,87	BAcc	DC,AL > ML	0,63-0,67
RTAcc	AL,MC,ML > DC	0,60-1,08	RTAcc	-	-
RMAcc	(MC,A > AL),ML > DC	0,50-1,27	RMAcc	MC,ML,A > DC et MC,A > AL	0,58-0,94
RHAcc	(AL,ML > A),MC > DC	0,61-1,27	RHAcc	AL,MC,ML > DC	0,58-0,80
RIAcc	AL,MC,ML,A > DC	0,73-1,36	RIAcc	AL,MC,ML > DC et AL > A	0,54-1,30
RBAcc	AL,ML > DC	0,58-0,68	RBAcc	-	-
TDec	DC,AL,MC,ML > A	0,64-1,03	TDec	DC,AL > ML,A	0,66-1,00
MDec	(A > MC),AL,ML > DC	0,77-1,61	MDec	AL,MC,ML,A > DC	1,21-1,71
HDec	AL,MC,ML,A > DC et A > MC	0,60-1,64	HDec	AL,MC,ML,A > DC	0,60-1,57
IDec	AL,MC > DC,A	0,49-0,91	IDec	AL > (DC > A),MC,ML	0,75-1,25
BDec	DC,AL,MC,ML > A	0,78-1,12	BDec	DC > MC,A,ML et AL > ML,A	0,59-1,01
RTDec	DC > ML et MC,ML > A	0,52-0,77	RTDec	DC,AL > A	0,61_0,69
RMDec	A > AL,MC,ML > DC	0,66-1,70	RMDec	(A > AL,MC),ML > DC	0,66-1,62
RHDec	A > AL,MC,ML > DC	0,68-1,62	RHDec	AL,MC,ML,A > DC	1,09-1,55
RIDec	AL,MC,ML > DC	0,75-0,89	RIDec	AL,MC > DC,A	0,52-0,91
RBDec	DC,AL,MC,ML > A	0,68-0,93	RBDec	DC > A	0,82

DTP : distance totale parcourue; BI : basse intensité (0-10,8 km.h<sup>-1</sup>); II : intensité intermédiaire (>10,8-19,8 km.h<sup>-1</sup>); HI : haute intensité (>19,8-25,2 km.h<sup>-1</sup>); Sprint (>25,2 km.h<sup>-1</sup>); T, M, H, I et BAcc: respectivement les accélérations totales, maximales, hautes, intermédiaires et basses; T, M, H, I et BDec: respectivement les décélérations totales, maximales, hautes, intermédiaires et basses ; R: intensités relatives par minute ; NM: non mesuré ; A: non-assessed; DC: défenseurs centraux ; AL : arrières latéraux ; MC: milieux centraux; ML : milieux latéraux; A: attaquants.

**Figure 1.** Distances parcourues et temps passés à accélérer et décélérer lors de périodes de matchs professionnels de football rapprochés et non-rapprochés.



TAcc, MAcc, HAcc, IAcc, BAcc: respectivement les accélérations totales, maximales, hautes, intermédiaires et basses; TDec, MDec, HDec, IDec, BDec: respectivement les décélérations totales, maximales, hautes, intermédiaires et basses.

\* Plus élevé lors des matchs non-enchaînés vs. matchs enchaînés, pour la même mesure ( $p < 0,05$ ); \$ Plus élevé lors des matchs enchaînés vs. non-enchaînés, pour la même mesure ( $p < 0,05$ ).

## DISCUSSION

Le but de la présente étude était d'analyser les effets de périodes d'enchaînement de matchs rapprochés sur les profils d'accélérations et de décélérations de joueurs de football

professionnel lors de matchs officiels. Les principaux résultats de l'étude étaient que les profils d'Acc et de Dec étaient affectés de manière significative par les enchaînements de matchs rapprochés. Il a été observé que : (i) les distances parcourues aux intensités d'Acc maximales, hautes et aux intensités relatives d'Acc maximales, hautes et Dec maximales étaient moins importantes en jouant des matchs lors de périodes de matchs rapprochés ( $p < 0,05$ , ES: 0,33-0,60) (figure 1A and 1B) ; (ii) les temps passés par les joueurs à MAcc, RMAcc, HAcc, RHAcc, MDec, RMDec et TDec étaient également inférieurs lors des périodes de matchs rapprochés ( $p < 0,05$ , ES: 0,36-0,70) (figure 1C and 1D).

Arruda et al. (2015) ont observé une diminution du nombre total d'Acc par minute lors d'un tournoi de cinq « mini-matchs » joués durant trois jours (deux matchs par jour durant les deux premiers jours et un le dernier) par des jeunes joueurs de football. Le nombre d'Acc et de Dec n'a pas été mesuré dans la présente étude, il est donc difficile de comparer ces résultats avec les nôtres. Cependant, bien que le contexte de pratique et le type de joueurs étaient totalement différents, les deux études peuvent être considérées comme complémentaires.

De récentes recherches ont mis en avant une augmentation du stress physiologique et de la fatigue lorsque le calendrier sportif impose des matchs rapprochés, avec notamment une diminution des taux de testostérone et d'immunoglobuline A et une augmentation des concentrations sur des marqueurs de dommages musculaires (Morgans et al., 2014; Mohr et al., 2016; Moreira et al., 2016). Il est bien connu que les CDD, les Acc et les Dec, qui sont des composants spécifiques de la pratique du football (Stolen et al., 2005), impliquent de grandes forces musculaires, tant concentriques qu'excentriques (Raastad et al., 2010; Young et al., 2012; Silva et al., 2014). L'énergie déployée est d'autant plus importante lorsqu'un effort débute par une course à basse intensité, qui va impliquer une Acc très importante pour atteindre une vitesse de course élevée en très peu de temps (Osgnach et al., 2010; Varley & Aughey, 2013). Il est intéressant de noter que les distances parcourues et les temps passés à MAcc et MDec, dans toutes les mesures absolues et relatives (à l'exception des distances parcourues à MDec), étaient affectés négativement par l'enchaînement de matchs rapprochés. Il pourrait être suggéré que les joueurs de la présente étude ont significativement réduit leur activité physique à différentes intensités d'Acc et de Dec lors des matchs rapprochés, particulièrement aux intensités maximales, en conséquence d'une fatigue cumulée tant générale que périphérique (e.g. musculaire) (Andersson et al., 2008).

Il a été précisément observé que les activités d'Acc des DC, AL et MC étaient particulièrement affectées par les périodes d'enchaînement de matchs, alors que celles des ML et des A ne l'étaient pas. En effet, il a été observé que les DC et les MC réduisaient leurs distances parcourues et temps passés à MAcc et HAcc, et que les AL réduisaient leur temps passés à MAcc lors des périodes de matchs rapprochés ( $p < 0,05$ ). Il est intéressant de constater que ces postes de jeu affectés par ce type de période étaient des postes à vocation défensive. Il pourrait être suggéré que l'une des raisons pour laquelle les joueurs offensifs étaient moins affectés par l'enchaînement des matchs est qu'ils bénéficiaient davantage des stratégies de rotations des effectifs de match en match et de remplacement pendant les matchs. 49% des remplacements effectués par l'équipe pendant la période d'analyse

concernaient les ML et les A, alors que seulement 21% concernaient les DC et les AL. Il a dernièrement été rapporté que les joueurs offensifs étaient ceux qui sont le plus souvent remplacés lors de matchs professionnels de football (Bradley et al., 2014), ce qui aurait pu leur permettre de maintenir leur niveau d'activité physique en terme d'Acc et de Dec.

Les temps passés à TAcc et BAcc augmentaient lors des périodes d'enchaînement. Comme la présente étude était la première à analyser les profils d'Acc lors de périodes de matchs enchaînés chez des joueurs professionnels de football, aucune comparaison avec la littérature n'a pu être réalisée. En revanche, des effets similaires de l'enchaînement des matchs ont été observés chez des joueurs professionnels, concernant leurs distances parcourues à des faibles intensités de course ( $< 11 \text{ km.h}^{-1}$ ) par minute (Carling et al., 2012). Les auteurs de cette étude ont suggéré que ces augmentations, puisqu'elles n'étaient pas accompagnées d'autres variations d'activité physique, étaient certainement reliées à des facteurs contextuels ou tactiques comme le systèmes de jeu, le style de jeu ou les choix de l'entraîneur, tant de l'équipe observée que de leurs différents adversaires (Carling et al., 2012). Dans la présente étude, les augmentations des TAcc et BAcc relatives et absolues étaient accompagnées par des diminutions des MAcc et HAcc relatives et absolues, lors des périodes d'enchaînement de matchs. Il pourrait ainsi être suggéré que les augmentations significatives de TAcc et BAcc étaient, dans ce cas présent, une stratégie de compensation que les joueurs ont mis en place, volontairement ou non, afin d'équilibrer les réductions de MAcc et HAcc probablement causées par de la fatigue accumulée, et ce dans le but de maintenir un certain niveau de performance physique pendant les matchs. En effet, Faude et al. (2012) ont montré que la performance en football était bien plus dépendante des courses à haute intensité et des sprints que des efforts à basse intensité. Plus précisément, Faude et al. (2012) ont montré que les buts étaient très souvent précédés par un sprint rectiligne à très haute intensité. Il est important de rappeler que l'endurance aérobie est un facteur clé dans la capacité à répéter les courses à haute et très haute intensité et les Acc et Dec sur une longue période comme un match de football (Stolen et al., 2005) et que le développement de cette capacité aérobie présenterait donc une importance cruciale dans (i) la réduction des risques de blessure (Malone et al., 2017) et (ii) la performance en match.

Le rapport des différences entre les postes de jeu (tableau 4) a montré que les AL et les ML avaient une activité physique générale similaire, à l'exception des temps passés à TAcc et TDec, où les AL reportaient de plus grandes valeurs ( $p < 0.005$ ). Ces observations étaient en accord avec plusieurs rapports de la littérature suggérant que les AL et les ML travaillaient en synergie (Silva et al., 2016) avec des profils et des attentes sur leurs postes de jeu qui étaient similaires en terme d'implication offensive et défensive (Mohr et al., 2003; Dellal et al., 2010b; Djaoui et al., 2014). La différence observée dans les temps totaux passés en Acc et Dec pourrait s'expliquer par le fait que les AL sont positionnés plus bas sur le terrain, avec de ce fait le besoin de plus de temps pour atteindre la zone offensive lorsque leur équipe est en possession du ballon, et dans le même sens, pour se replacer en position défensive quand leur équipe perd la possession du ballon. Dans la présente étude, les AL et ML avaient l'activité physique globale la plus importante ce qui pourrait être relié au système de jeu utilisé par l'équipe dans la période d'analyse, qui aurait impliqué fortement les joueurs latéraux (Bradley et al., 2011). Les DC avaient l'activité physique la plus basse sur tous les

marqueurs, excepté pendant les courses à BI, les TDec, BDec, RTDec et RBDec. Ces observations sont dans la lignée de la littérature qui fait état que les DC sont ceux qui ont l'implication physique, en match, la moins importante, précisément sur les efforts à haute intensité (Di Salvo et al., 2007, 2009). Cependant, leur positionnement tactique sur le terrain, face au jeu, leur permet de voir et d'anticiper les déplacements, en réalisant tout particulièrement davantage de courses arrière et de déplacements latéraux qui coûtent plus d'énergie que les courses classiques de face (Bloomfield et al., 2007).

Les analyses des distances parcourues et des temps passés aux différentes intensités de course ont montré que l'enchaînement des matchs n'avait pas d'influence sur l'activité physique générale des joueurs, à l'exception des distances relatives parcourues à II, qui étaient affectées négativement par l'enchaînement des matchs ( $35,5 \pm 7,66$  vs.  $37,9 \pm 7,67$ ,  $p < 0,05$ , ES: 0,31). Cette observation ne va pas dans le même sens que la littérature sur le sujet puisque ce sont plutôt des impacts positifs qui étaient trouvés sur les distances parcourues à des vitesses inférieures à  $12 \text{ km.h}^{-1}$  (Djaoui et al., 2014) et sur les distances par minute parcourues à des vitesses inférieures  $11 \text{ km.h}^{-1}$  (Carling et al., 2012). Il est probable que les critères d'inclusion liés au temps de jeu aient induit des différences avec ces études, puisque Djaoui et al. (2014) ont inclus les joueurs ayant participé à la totalité des matchs et Carling et al. (2012) ont inclus la totalité des joueurs ayant participé aux matchs. Les joueurs de la présente étude ont parcouru  $\sim 66\text{m}$  par minute lors des matchs quand les joueurs des études comparables ont couvert  $\sim 69\text{-}73\text{m}$  par minute (Carling et al., 2012) et  $\sim 7100\text{-}7400\text{m}$  (ce qui représente des valeurs supérieures à  $70\text{m}$  par minute) (Djaoui et al., 2014), avec des différences similaires dans les catégories de vitesse. Ces différences pourraient suggérer que les joueurs avaient une moindre implication physique en lien direct avec leur niveau de jeu. Les éventuelles différences de niveau de jeu et de forme physique pourraient ainsi expliquer les résultats observés. Les joueurs de la présente étude étaient des joueurs professionnels de football mais leur supposée moins bonne forme physique a pu impacter leur distance parcourue par minute à II lors des enchaînements de matchs. En revanche, les distances parcourues et les temps passés à HI et en Sprint n'étaient pas affectés par l'enchaînement des matchs, en ligne avec les résultats de la littérature sur le sujet (Carling et al., 2015). Il peut être également suggéré que la réduction de l'activité physique à II n'ait pas d'impact sur la performance globale de l'équipe en match, puisque ce sont les actions à haute et très haute intensité qui sont supposées être décisives dans la réussite d'une équipe (Mohr et al., 2003 ; Arnason et al., 2004 ; Fauve et al., 2012).

Le fait d'enchaîner les matchs a été reporté comme augmentant le risque de blessure et le taux de blessure chez des joueurs professionnels de football (Carling et al., 2015 ; Dellal et al., 2015a). Plus précisément, il a été observé que les blessures sans contact étaient plus à même d'apparaître avec la fatigue cumulée de fin de période d'enchaînement de matchs (Carling et al., 2016). Comme reporté par l'UEFA, les déchirures musculaires et ligamentaires sont les blessures les plus récurrentes en football. Plus particulièrement, ce seraient les ischio-jambiers, les quadriceps et les gastrocnémiens qui seraient le plus souvent touchés (Ekstrand et al., 2011) comme c'est également le cas dans d'autres sports collectifs (Barroso & Thiele, 2015). Ces trois muscles sont impliqués dans des mouvements multi-articulaires et sont très impliqués dans les Acc et les Dec (Burkner & Khan, 2006 ;

Malliaropoulos et al., 2011). Ceci étant dit, il existe probablement une relation entre la diminution de l'activité physique liée aux Acc et Dec observée dans la présente étude et cet état des lieux sur les blessures récurrentes du footballeur. En effet, les joueurs auraient involontairement réduit leur activité d'Acc et Dec, certainement en raison de la fatigue cumulée par l'enchaînement des matchs, et il peut être suggéré qu'ils augmentaient le risque de se blesser dans le cas contraire. En *Bundesliga*, première division allemande, les A avaient le taux de blessure aux adducteurs le plus élevé et les ML le taux de blessure en match le plus important (Leventer et al., 2016). Etant donné que la réduction de l'activité observée dans la présente étude était dépendante des postes de jeu, il peut être suggéré que les ML et les A, qui n'ont pas réduit leur activité pendant les périodes à matchs rapprochés, étaient soumis à des risques de blessure plus importants. De telles suggestions ouvrent les perspectives d'analyse des liens entre les profils d'Acc et Dec et l'apparition des blessures lors de périodes d'enchaînement de matchs de football rapprochés.

Dans la présente étude, l'activité des joueurs a été enregistrée à l'aide de systèmes GPS d'une fréquence de 10 Hz, qui ont montré des limites de précision dans l'enregistrement d'Acc au-delà de  $4 \text{ m.s}^{-2}$  (Akenhead et al. 2014). En revanche, même si l'interprétation des MAcc et MDec mesurées dans la présente étude nécessitent de la prudence, les systèmes à 10 Hz sont, à l'heure actuelle, et à la connaissance des auteurs, le meilleur outil de mesure disponible pour suivre des athlètes de sports collectifs à l'aide de GPS (Kelly et al., 2014).

Pour conclure, la présente étude était unique dans sa conception basée sur l'analyse des profils d'accélération de joueurs professionnels de football lors de périodes d'enchaînement de matchs. Les résultats ont montré une relation significative entre ces périodes à matchs rapprochés et la réduction des profils d'accélération et de décélération de joueurs professionnels. Plus précisément, les DTP et les temps passés aux intensités hautes et maximales étaient négativement affectés. Les postes défensifs comme les DC, AL et MC étaient plus particulièrement affectés par la réduction de ces profils d'activité sans que les activités enregistrées sur les vitesses de course à haute intensité et en sprint n'aient été altérées. Il peut ainsi être suggéré que la fatigue cumulée lors des périodes d'enchaînement de match affectait les activités d'accélération et de décélération des joueurs. Les résultats de la présente étude ne peuvent certainement pas être généralisés à n'importe quel niveau de jeu ou n'importe quelle autre équipe puisqu'ils ont été obtenus par l'analyse d'une seule équipe. Néanmoins il est conseillé aux équipes professionnelles de football de suivre les données d'accélération et de décélération lors des périodes où le calendrier sportif est chargé, car c'est là un moyen de suivre et de mesurer l'activité des joueurs et probablement leur niveau de fatigue et de récupération. De futures recherches sont nécessaires dans le but de déterminer les relations clés qui existent entre les profils d'accélération, la fatigue perçue, des indicateurs physiologiques et l'apparition des blessures lors de périodes d'enchaînement des matchs rapprochés.

## APPLICATION PRATIQUE

Les analyses de cette étude démontrent que les profils d'accélération et de décélération de joueurs de football professionnels sont affectés lors de périodes

d'enchaînement des matchs rapprochés. Ce sont plus particulièrement les postes de jeu à rôle défensif qui étaient concernés. Ces résultats intéressants sont certainement dus aux particularismes de ces postes spécifiques qui requièrent moins de déplacements de façon continue pendant le match, mais doivent exécuter des changements de direction très intenses et des déplacements latéraux ou en courses arrière qui sont plus coûteux en énergie. De plus, la psychologie d'un joueur positionné sur un poste défensif est légèrement différente de celle des autres postes de jeu. Ainsi, en conséquence de la potentielle fatigue accumulée lors des enchaînements de matchs, les défenseurs ont peut-être réduit leurs déplacements explosifs de manière inconsciente en compensant par une amélioration de leur positionnement tactique (Folgado et al., 2015). Il pourrait être ainsi recommandé que les équipes de football prennent en compte la fatigue de manière individuelle et en fonction des postes de jeu, et qu'elles suivent les Acc et les Dec des joueurs. L'utilisation de stratégies individuelles comme la rotation des effectifs, les remplacements et/ou les stratégies de récupération utilisées pour potentiellement éviter la réduction d'activité physique et maintenir un niveau de performance pendant les périodes d'enchaînement de matchs rapprochés est fortement conseillée.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs souhaitent remercier tous les joueurs impliqués tout au long de la période de récolte des données, ainsi que le staff impliqué, sans qui cette étude n'aurait pu être réalisée.

## REFERENCES

- (1) Akenhead, R, French, D, Thompson, KG, and Hayes, PR. The acceleration dependent validity and reliability of 10 Hz GPS. *J Sci Med Sport* 17(5): 562–566, 2014.
- (2) Akenhead, R, French, D, Thompson, KG, and Hayes, PR. The physiological consequences of acceleration during shuttle running. *Int J Sports Med* 36: 302–307, 2015.
- (3) Akenhead, R, Harley, JA, and Tweddle, SP. Examining the external training load of English Premier League football team with special reference to acceleration. *J Strength Cond Res* 30(9): 2424–2432, 2016.
- (4) Andersson, H, Raastad, T, Nilsson, J, Paulsen, G, Garthe, I, and Kadi, F. Neuromuscular fatigue and recovery in elite female soccer: effects of active recovery. *Med Sci Sports Exerc* 40(2): 372–380, 2008.
- (5) Arnason, A, Sigurdsson, SB, Gudmundsson, A, Holme, I, Engebretsen, L, and Bahr, R. Physical fitness, injuries, and team performance in soccer. *Med Sci Sports Exerc* 36(2): 278–285, 2004.
- (6) Arruda, AFS, Carling, C, Zanetti, V, Aoki, MS, Coutts, AJ, and Moreira, A. Effects of a very congested match schedule on body-load impacts, accelerations, and running measures in youth soccer players. *Int J Sports Physiol Perform* 10: 248–252, 2015.
- (7) Aughey, RJ. Applications of GPS technologies to field sports. *Int J Sports Physiol Perform* 6: 295–310, 2011.

- (8) Bradley, PS, Sheldon, W, Wooster, B, Olsen, P, Boanas, P, and Krustup, P. High-intensity running in English FA Premier League soccer matches. *J Sports Sci* 27: 159–168, 2009.
- (9) Bradley, PS, Carling, C, Archer, D, Roberts, J, Dodds, A, Di Mascio, M, Paul, D, Gomez Diaz, A, Peart, D, and Krustup, P. The effect of playing formation in high-intensity running and technical profiles in English FA Premier League soccer matches. *J Sports Sci* 29(8): 821–830, 2011.
- (10) Bradley, PS, Lago-Peñas, C, and Rey, E. Evaluation of the match performances of substitution players in elite soccer. *Int J Sports Physiol Perform* 9: 415–424, 2014.
- (11) Brukner, P, and Khan, K. *Clinical Sports Medicine*. 3rd ed., Australia: McGraw-Hill, 2006.
- (12) Buchheit, M, Bishop, D, Haydar, B, Nakamura, FY, and Ahmaidi, S. Physiological responses to shuttle repeated-sprint running. *Int J Sports Med* 31: 402–409, 2010.
- (13) Barroso, GC, and Thiele, ES. Muscle injuries in athletes. *Rev Bras Ortop* 46(4): 354–358, 2015.
- (14) Carling, C, Le Gall, F, and Dupont, G. Are physical performance and injury risk in a professional soccer team in match-play affected over a prolonged period of fixture congestion? *Int J Sports Med* 33: 36–42, 2012.
- (15) Carling, C, Gregson, W, McCall, A, Moreira, A, Wong, del P, and Bradley, PS. Match running performance during fixture congestion in elite soccer: research issues and future directions. *Sports Med* 45(5): 605–613, 2016.
- (16) Carling, C, McCall, A, Le Gall, F, and Dupont, G. The impact of short periods of match congestion on injury risk and patterns in an elite football club. *Br J Sports Med* 50(12): 764–768, 2016.
- (17) Castagna, C, Varley, M, Povoas, SCA, and D’Ottavio, S. Evaluation of the match external load in soccer: methods comparison. *Int J Sports Physiol Perform* 6: 1–25, 2016.
- (18) Chaouachi, A, Manzi, V, Chaalali, A, Wong, del P, Chamari, K, and Castagna, C. Determinants analysis of change-of-direction ability in elite soccer players. *J Strength Cond Res* 26(10): 2667–2676, 2012.
- (19) Cohen, J. *Statistical power analysis for the behavioural sciences*. 2nd ed. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, 1988.
- (20) Dalen, T, Ingebrigsten, J, Ettema, G, Hjelde, GH, and Wisloff, U. Player load, acceleration, and deceleration during forty-five competitive matches of elite soccer. *J Strength Cond Res* 30(2): 351–359, 2016.
- (21) Dellal, A, Keller, D, Carling, C, Chaouachi, A, Wong, del P, and Chamari, K. Physiologic effects of directional changes in intermittent exercise in soccer players. *J Strength Cond Res* 24(12): 3219–3226, 2010a.
- (22) Dellal, A, Wong, Del P, Moalla, W, and Chamari, K. Physical and technical activity of soccer players in the French first league – with special reference to their playing formation. *Int SportMed J* 11(2): 278–290, 2010b.

- (23) Dellal, A, Lago-Peñas, C, Rey, E, Chamari, K, and Orhant, E. The effects of a congested fixture period on physical performance, technical activity and injury rate during matches in a professional soccer team. *Br J Sports Med* 49(6): 390–394, 2015.
- (24) Di Salvo, V, Baron, R, Tschan, H, Calderon Montero, FJ, Bachl, N, and Pigozzi, F. Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *Int J Sports Med* 28: 222–227, 2007.
- (25) Di Salvo, V, Gregson, W, Atkinson, G, Tordoff, P, and Drust, B. Analysis of high intensity activity in premier league soccer. *Int J Sports Med* 30: 205–212, 2009.
- (26) Djaoui, L, Wong, DP, Pialoux, V, Hautier, C, Da Silva, CD, Chamari, K, and Dellal, A. Physical activity during a prolonged congested period in a top-class European football team. *Asian J Sports Med* 5(1): 47–53, 2014.
- (27) Ekstrand, J, Hagglund, M, and Walden, M. Injury incidence and injury patterns in professional football: the UEFA injury study. *Br J Sports Med* 45: 553–558, 2011.
- (28) Faude, O, Koch, T, and Meyer, T. Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *J Sports Sci* 30: 625–631, 2012.
- (29) Folgado, H, Duarte, R, Marques, P, and Sampaio, J. The effects of congested fixtures period on tactical and physical performance in elite football. *J Sports Sci* 33(12): 1238-47, 2015.
- (30) Gaudino, P, Iaia, FM, Alberti, G, Sturdwick, AJ, Atkinson, G, and Gregson, W. Monitoring training in elite soccer players: a systematic bias between running speed and metabolic power data. *Int J Sports Med* 34: 963–968, 2013.
- (31) Hill-Haas, SV, Dawson, B, Impellizzeri, FM, and Coutts, AJ. Physiology of small-sided games training in football: a systematic review. *Sports Med* 41(3): 199–220, 2011.
- (32) Kelly, VG, Scott, MTU, and Scott, TJU. The validity and reliability of global positioning systems in team sport: a brief review. *J Austr Strength Cond* 22(5): 186–190, 2014.
- (33) Lago, C, Casais, L, Dominguez, E, and Sampaio, J. The effects of situational variables on distance covered at various speeds in elite soccer. *Eur J Sport Sci* 10(2): 103–109, 2010.
- (34) Lago-Peñas, C, Casais, L, Dellal, A, Rey, E, and Dominguez, E. Anthropometric and physiological characteristics of young soccer players according to their playing positions: relevance for competition success. *J Strength Cond Res* 25(12): 3358–3367, 2011.
- (35) Lago, C. The role of situational variables in analysing physical performance in soccer. *J Hum Kinet* 35: 89–95, 2012.
- (36) Leventer, L, Eek, F, Hofstetter, S, and Lames, M. Injury patterns among elite football players: a media-based analysis over 6 seasons with emphasis on playing position. *Int J Sports Med* 37(11): 898–908, 2016.
- (37) Malliaropoulos, N, Isinkaye, T, Tsitas, K, and Maffulli, N. Reinjury after acute posterior thigh muscle injuries in elite track and field athletes. *Am J Sports Med* 39(2): 304–310, 2011.

- (38) Mohr, M, Krustup, P, and Bangsbo, J. Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J Sports Sci* 21: 519–528, 2003.
- (39) Mohr, M, Draganidis, D, Chatzinikolau, A, Barbero-Alvarez, JC, Castagna, C, Douroudos, I, Avloniti, A, Margeli, A, Papassotiriou, I, Flouris, AD, Jamurtas, AZ, Krustup, P, and Fatouros, IG. Muscle damage, inflammatory, immune and performance responses to three games in 1 week in competitive male players. *Eur J Appl Physiol* 116(1): 179–193, 2016.
- (40) Osgnach, C, Poser, S, Bernardini, R, Rinaldo, R, and di Prampero, PE. Energy cost and metabolic power in elite soccer: A new match analysis approach. *Med Sci Sports Exerc* 42: 170–178, 2010.
- (41) Owen, AL, Dunlop, G, Rouissi, M, Chtara, M, Paul, D, Zouhal, H, and Wong, Del P. The relationship between lower-limb strength and match-related muscle damage in elite level professional European soccer players. *J Sports Sci* 33(20): 1–6, 2015.
- (42) Owen, AL, Cossio-Bolaños, M, Dunlop, G, Rouissi, M, Chtara, M, Bragazzi, N, and Chamari, K. Stability in post-seasonal hematological profiles in response to high competitive match-play loads within elite top level European soccer players: implications from a pilot study. *Open Access J Sports Med*, in press.
- (43) Raastad, T, Owe, SG, Paulsen, G, Enns, D, Overguard, K, Cramer, R, Kiil, S, Belcastro, A, Bergersen, L, and Hallen, J. Changes in calpain activity, muscle structure, and function after eccentric exercise. *J Med Sci Sports Exer* 42(1): 86–95, 2010.
- (44) Rampinini, E, Bishop, D, Marcora, S, Ferrari Bravo, D, Sassi, R, and Impellizzeri, F. Validity of simple field tests as indicators of match-related physical performance in top-level professional soccer players. *Int J Sports Med* 28(3):228–235, 2007.
- (45) Silva, JR, Ascensão, A, Marques, F, Seabra, A, Rebelo, A, and Magalhães, J. Neuromuscular function, hormonal and redox status and muscle damage of professional soccer players after a high-level competitive match. *Eur J Appl Physiol* 113: 2193–2201, 2013.
- (46) Silva, JR, Rebelo, A, and Marques, F. Biochemical impact of soccer: an analysis of hormonal, muscle damage, and redox markers during the season. *Appl Physiol Nutr Metab* 39(4): 432–438, 2014.
- (47) Silva, P, Chung, D, Carvalho, T, Cardoso, T, Davids, K, Araujo, D, and Garganta, J. Practice effects on intra-team synergies in football team. *Hum Mov Sci* 46: 39–51, 2016.
- (48) Stølen, T, Chamari, K, Castagna, C, and Wisløff, U. Physiology of soccer: an update. *Sports Med* 35(6): 501–536, 2005.
- (49) Varley, MC, Fairweather, IH, and Aughey, RJ. Validity and reliability of GPS for measuring instantaneous velocity during acceleration, deceleration, and constant motion. *J Sports Sci* 30(2): 121–127, 2012.
- (50) Varley, MC, and Aughey, RJ. Acceleration profiles in elite Australian soccer. *Int J Sports Med* 34: 34–39, 2013.

- (51) Young, WB, Hepner, J, and Robbins, DW. Movement demands in Australian rules football as indicators of muscle damage. *J Strength Cond Res* 26(2): 492–496, 2012.

## CHAPITRE VIII. ÉTUDE 3

### Titre:

Comparaisons des réponses biochimiques entre des matchs enchaînés tous les trois à quatre jours, et des matchs non-enchaînés, chez des joueurs de football évoluant en ligue des Champions.

## RESUME

Le stress imposé à des joueurs de football de haut niveau lors des entraînements, des voyages et des matchs officiels impacte les capacités physiologiques et leurs profils biochimiques. Le but de la présente étude était d'explorer les réponses biochimiques en pleine saison compétitive et d'analyser les différences entre les périodes de matchs enchaînés (PME) vs. les périodes de matchs non-enchaînés (PMNE) sur les cinétiques de fatigue d'après-match de joueurs de football. Vingt-trois joueurs de football professionnels ont ainsi été suivis. Des mesures de créatine kinase (CK) et de cortisol (sCort) et d'immunoglobuline-A salivaire (sIgA) ont été effectuées sur la saison 2016-2017 sur une période incluant 12 microcycles d'entraînement et 14 matchs officiels. Les PME étaient déterminées comme les microcycles pendant lesquels deux matchs officiels étaient joués en quatre jours ou moins. Les PMNE étaient déterminées comme les microcycles incluant deux matchs joués en cinq jours, ou plus. L'analyse des PMNE a révélé des niveaux de CK significativement plus élevés au lendemain du match (JM+1) en comparaison aux valeurs du jour du match (JM) et à M+2 (taille d'effet (TE) : 0,82-1,13,  $p < 0,0033$ ). Les analyses des PME n'ont révélé aucune variation de CK entre les valeurs de JM, JM+1 et JM+2. De plus grandes valeurs de CK ont également été observées en PME vs. PMNE (TE:0,27,  $p < 0,05$ ). Aucune variation n'a été observée concernant sCort et sIgA. Les périodes d'enchaînement de matchs officiels ont pour conséquence de faire varier les réponses biochimiques d'après-match chez des joueurs professionnels de football. Toutes les personnes impliquées dans la préparation physique de tels joueurs devraient connaître l'influence des périodes d'enchaînement de matchs afin d'adapter la préparation et les stratégies de rotation des effectifs en conséquence.

## MOTS CLES

Cortisol, salive, créatine kinase, compétition, sport d'équipe, matchs rapprochés

## INTRODUCTION

Tout au long d'une saison professionnelle de football, l'enchaînement des entraînements et des matchs impose aux joueurs un stress physiologique qui peut se traduire par des variations dans les profils hématologiques (35). Pendant un match officiel, les joueurs réalisent entre 150 et 250 actions courtes et intenses dont certains mouvements qui nécessitent une grande implication musculaire comme les sauts, les tacles, les frappes de balle, les sprints, les accélérations et les décélérations (47). Ces actions engendrent des hauts niveaux d'utilisation de créatine-phosphate et de glycolyses (6). D'après la littérature, l'un des marqueurs des dommages musculaires les plus souvent utilisés serait la créatine kinase (CK) (8,32). Lors d'un match de football, les joueurs sont amenés à répéter un grand nombre d'accélérations et de décélérations (1) qui, parce qu'elles impliquent les muscles des membres inférieurs sur des contractions tant concentriques qu'excentriques, peuvent provoquer des micro dommages et des changements de structures aux muscles (38,50). Dans ce contexte, les valeurs de CK augmentaient dans les 24-48h après un match officiel de football et revenaient à la normale dans les 72h et plus (2,22,39,43). Cependant, les variations d'un tel marqueur au cours d'une semaine classique d'entraînement ne semblent pas avoir été reportées, bien qu'elles soient nécessairement liées à la répartition des charges d'entraînement tout au long de la semaine.

En plus des analyses de CK, et selon la littérature sur ce sujet, le cortisol salivaire (sCort) est un autre marqueur biochimique qui répond fortement à l'exercice, en lien direct avec les activités catabolisantes (4). Le cortisol a récemment été proposé en tant qu'indicateur pertinent de la récupération en football, en réponse à un stress physiologique (42). Ce genre de stress causé par l'exercice est associé à la stimulation d'hormones comme sCort (20,28). Une augmentation de niveaux de sCort serait la conséquence d'une accumulation de stress, qui pourrait avoir un impact négatif sur le statut immunitaire, et pourrait ainsi augmenter le risque de tomber malade (14). Puisque dans le football moderne les calendriers font face à un nombre croissant de matchs à disputer, que ce soit au niveau national ou international, l'amélioration des connaissances de la fatigue biochimique et des cinétiques de récupération pendant ces périodes d'enchaînement de matchs (PME) pourrait aider à mieux calibrer les charges d'entraînement et ainsi réduire le risque de blessure et optimiser la récupération et la performance des joueurs. Des résultats récents ont montré que des PME étaient associées à une augmentation du nombre de blessures (7,15) et à une perturbation du système immunitaire, notamment des immunoglobulines-A salivaire (sIgA) (30). De plus, Mohr et al., (27) ont observé une augmentation des dommages musculaires, des réponses inflammatoires et des réponses oxydatives en jouant trois matchs en une semaine. Ils ont également observé que le deuxième match joué après trois jours de récupération avait causé de plus hauts niveaux de dommages musculaires et de réponses inflammatoires que le troisième match joué après quatre nouveaux jours de récupération (27). De tels résultats étaient peut-être la conséquence de dommages musculaires persistant du premier match et, à cause du manque de récupération musculaire, davantage de CK auraient ainsi été libérés dans le sang. Il pourrait être suggéré qu'il existe une différence entre les périodes pendant lesquelles les matchs se jouent avec trois jours de récupération (e.g. PME) (41) et les périodes pendant lesquelles les matchs se jouent avec quatre jours, et plus, de récupération (périodes de matchs non-

enchaînés, PMNE). Les variations de ces paramètres ont été associées à la fatigue engendrée par un match (39,42). Cependant, à notre connaissance, aucune étude ne s'est penchée sur les différences entre PME vs. PMNE en fonction de l'activité physique et des incidences biochimiques d'un match de football, quel que soit le niveau, mais tout particulièrement chez des professionnels. Ainsi, le but de cette étude était d'explorer les évolutions de différents marqueurs biochimiques pendant une période compétitive, et d'analyser les différences entre les matchs enchaînés vs. non-enchaînés en lien direct avec les cinétiques de récupération des joueurs.

## METHODES

### *Approche expérimentale du problème*

Afin d'analyser les évolutions de CK, de sCort et de sIgA pendant la période compétitive, et d'analyser les différences entre les PME vs. les PMNE en lien aux cinétiques de fatigue d'après-match, les différents tests ont été effectués sur la première phase de la saison 2016-2017. Ce, pour s'assurer qu'aucune variation n'était due à une variation de l'état de forme ou l'apparition d'une fatigue chronique tout au long de la procédure et ainsi permettre une procédure de tests fiable dans la collecte des différentes données (11). La base de données obtenue comprenait 12 microcycles d'entraînement et 14 matchs entre Août et Octobre. Une PME (n = 5 microcycles) était composée de deux matchs au sein d'un microcycle, séparés de quatre jours ou moins. Pendant ces périodes, les différents échantillons étaient collectés le jour du match (JM), 24h (JM+1) et 48h après le match (JM+2). Une PMNE (n = 7 microcycles) était composée de deux matchs séparés de cinq jours ou plus au sein d'un microcycle. Pendant les PMNE, les différents échantillons étaient collectés quatre, trois et deux jours avant le match (respectivement JM-4, JM-3, JM-2), et à JM, JM+1 et JM+2. Bien qu'un nombre total de 59 séances d'entraînement était effectué pendant la période d'analyse, seuls 28 séances ont été inclus dans les procédures d'analyses finales, soit un nombre total de 535 observations, afin d'assurer la validité des analyses et d'éviter tout biais causé par la récolte des données.

### *Sujets*

Vingt-trois (n = 23) joueurs professionnels de football ont participé à cette étude. Les joueurs qui ont participé à cette étude étaient engagés au plus haut niveau de pratique européen en Ligue des Champions, au sein d'une équipe considérée comme la meilleure équipe du championnat national. Au début de l'étude, les joueurs impliqués étaient âgés de (moyenne  $\pm$  écart type) de  $24,4 \pm 4,1$  (rang : 18 à 34) ans, mesuraient  $182,5 \pm 2,9$  (168 à 195) cm, et pesaient  $77,8 \pm 5,4$  (61,2 à 93,5) kg. Ils avaient tous une expérience de pratique du football de huit années et plus et tous faisaient partis de leur équipe nationale, à l'exception de quatre d'entre eux. Les participants ont été informés de la possibilité qu'ils avaient de retirer de l'étude leurs données personnelles à tout moment. Un accord a été reçu de la part de tous les participants. La procédure effectuée dans la présente étude suivait les recommandations du

comité d'éthique de l'institution concernée et suivait les recommandations de la déclaration d'Helsinki de 1964.

### *Procédures*

Tout au long de l'étude, les joueurs ont été autorisés à consommer sans limites des boissons isotoniques, disponibles dans le commerce, pendant les entraînements et ont reçu des instructions pour maintenir un régime nutritionnel quotidien normal avec l'ingestion d'eau et de boissons d'efforts à base d'hydrates de carbone si nécessaire pendant les entraînements. Aucune intervention nutritionnelle supplémentaire n'a été mise en place. Seules les données des joueurs qui suivaient les critères d'inclusion similaires à ceux de Coelho et al. (11) étaient conservées et incluses dans l'étude. Les joueurs devaient avoir joué au minimum 75 min par match, ne devaient être ni blessés ni malades le jour de la récolte de données ou pendant le match, et devaient avoir réalisé la totalité des entraînements du microcycle. Si un joueur était blessé, à n'importe quel moment du microcycle, ses données étaient retirées de l'analyse jusqu'à ce qu'il puisse à nouveau s'entraîner avec le groupe et jouer les matchs officiels. Le nombre de matchs joués par joueur était de 5.56 (entre 1 et 11). Tous les prélèvements de sang ont été réalisés au sein du laboratoire du club avant chaque entraînement.

### *Mesure de la charge d'entraînement*

L'activité physique des joueurs étaient enregistrées pendant la totalité des entraînements de la période d'analyse à l'aide d'un GPS à 10 Hz de fréquence (Viper, Statsport, Ireland). Ce système est considéré comme un moyen valide et fiable de mesurer les mouvements des joueurs sur le terrain (49). Pour l'étude, les distances totales parcourues (DTP) et les courses à haute intensité (HI :  $> 19,8 \text{ km.h}^{-1}$ ) absolues (en m) et relatives (en m par minute) étaient mesurées, ainsi que les accélérations ( $> 1 \text{ m.s}^{-2}$ ), les décélérations ( $< -1 \text{ m.s}^{-2}$ ) et les sprints ( $> 24 \text{ km.h}^{-1}$ ) en valeur absolue (en nombre) et relative (en nombre par minute). La valeur totale de ce qui était réalisé pendant toute la séance était utilisée pour l'analyse.

### *Mesure de créatine kinase*

Pour mesurer les concentrations enzymatiques de CK, 32  $\mu\text{L}$  d'échantillons sanguins étaient collectés à partir du bout de l'index de chaque joueur avant l'entraînement et pendant les jours de repos tout au long de l'étude. Au préalable, le doigt était nettoyé avec de l'éthanol 95% et séché avec du coton pour enlever l'excédent de liquide. La prise de sang était effectuée avec un appareil automatique (Reflotron®, catalog No. 955053202). Les échantillons sanguins étaient ensuite immédiatement placés à l'aide d'une pipette sur une bande-test de CK (Reflotron®, catalog No. 1126695) et furent analysés à l'aide du système Boehringer Mannheim Reflotron Analyzer®.

### *Collecte salivaire*

Les échantillons salivaires étaient obtenus au repos, le matin avant le petit-déjeuner, tout au long de la période d'étude avant chaque entraînement et même les jours de repos. Les jours de repos pendant lesquels les joueurs n'avaient pas à se déplacer jusqu'aux lieux d'entraînement, la récolte n'avait pas lieu pour des raisons de logistique. Les participants devaient rincer leur bouche avec de l'eau 10 minutes avant le prélèvement salivaire. La salive non-stimulée était prélevée à l'aide d'un collecteur de fluide : l'IPRO (OFC, IPRO Interactive, Wallingford, UK). Les participants déposaient une tige OFC sur le bout de la langue et fermaient la bouche pour stimuler la salive. Lorsque 0,5 mL de salive était absorbé par la tige OFC, une lumière bleue se mettait alors à clignoter et la tige pouvait être retirée de la bouche du participant pour être placée dans une solution tampon de 3 mL pour l'analyse. Le temps nécessaire pour prélever l'échantillon de salive était enregistré en minutes et en secondes pour le calcul du débit. Une fois récoltés, les échantillons étaient immédiatement placés dans le testeur Cube Reader (Ipro Interactive, Wallingford, UK) pour déterminer les niveaux de sCort et de sIgA. La détermination des niveaux de ces indicateurs biochimiques a précédemment été validée sur des sportifs (18).

### *Analyses statistiques*

Dans un premier temps, la normalité de la distribution des variables a été testée avec le test de Shapiro-Wilk. Lorsque le test de normalité était significatif, une analyse de variance (ANOVA) à mesures répétées était utilisée pour examiner les différences de niveaux des variables entre les jours de collecte. Ensuite un t-test apparié était utilisé pour pointer les différences de jour en jour. Si le test de normalité n'était pas significatif, un test non-paramétrique de Kruskal-Wallis était utilisé, suivi de tests non-paramétriques de Wilcoxon pour pointer les différences. Les t-tests appariés et les tests de Wilcoxon étaient également utilisés pour analyser la différence entre les PME et les PMNE. La correction de Bonferroni était appliquée pour déterminer le niveau de significativité, elle était déterminée à  $p < 0,05$  pour les comparaisons de périodes, et à  $p < 0,0033$  pour les comparaisons de jour en jour. Pour la totalité des analyses, la taille d'effet (TE) était calculée et évaluée comme petite :  $< 0,50$ , modérée :  $0,50 - 0,80$ , ou grande :  $> 0,80$  (12). Le coefficient de variation (CV) était également calculé systématiquement à l'aide du rapport écart type (sd) / moyenne.

## RESULTATS

Les résultats sont présentés sous la forme moyenne  $\pm$  sd. Les variations des marqueurs biochimiques et de la charge d'entraînement de jour en jour sont présentées dans le **tableau 1**. Pendant les PMNE, les valeurs de CK à JM+1 (CV : 45%) étaient significativement plus grandes que les valeurs récoltées à JM-4 (TE : 1,11, 37%), JM-2 (0,89, 68%), JM (0,82, 64%) et JM+2 (0,93, 63%) ( $p < 0,01$ ). Les valeurs de CK à MJ-3 (65%) étaient plus grandes que les valeurs de JM+2 (0,82,  $p < 0,01$ ) et JM-4 (0,81), mais pas de manière significative ( $p = 0,05$ ) (**figure 1**). Les valeurs mesurées de sCort ne présentaient aucune variation significative au long des semaines en PMNE (72-141%) (**figure 2**). Pendant les PME, aucune variation

significative n'était observée entre les jours concernant les valeurs de CK, de sCort et de sIgA.

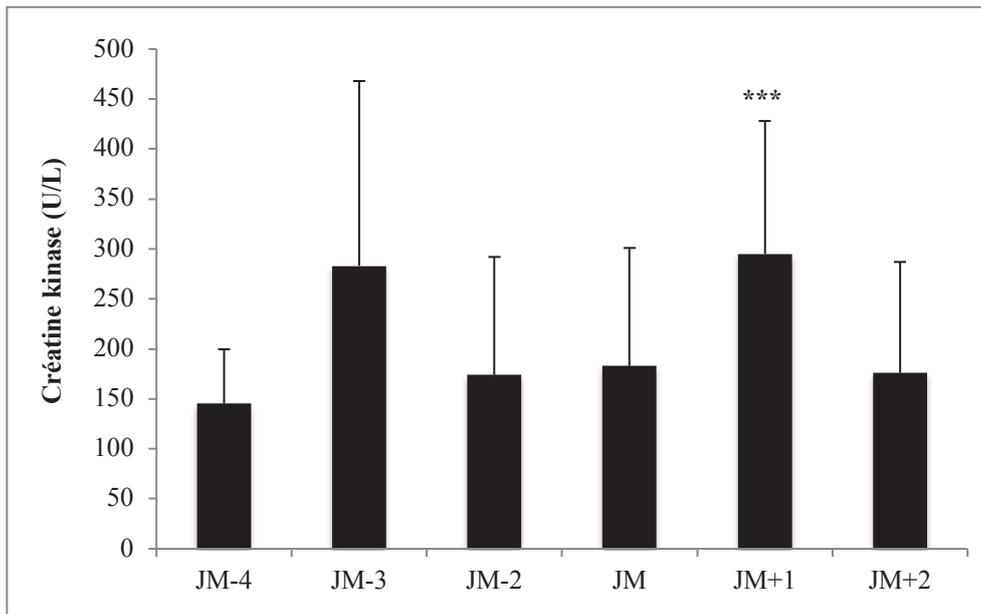
**Tableau 1.** Marqueurs biochimiques et charge d'entraînement de joueurs de football professionnels en périodes de matchs enchaînés et non-enchaînés.

	Indicateurs	JM-4	JM-3	JM-2	JM-1	JM	JM+1	JM+2	Différences (p<0,0033)
Périodes de matchs non – enchaînés	DTP (m.min <sup>-1</sup> )	79,5 ± 16,4	89,0 ± 10,3	68,2 ± 11,1	41,0 ± 9,45	NE	repos	79,0 ± 8,46	JM-3>(JM-4=JM+2)>JM-2>JM-1
	HI (m.min <sup>-1</sup> )	0,84 ± 0,80	0,67 ± 0,57	0,59 ± 0,65	0,15 ± 0,26	NE	repos	0,10 ± 0,26	(JM-4=JM-3=JM-2) > (JM-1=JM+2)
	Accélérations (n)	46,3 ± 15,4	38,8 ± 15,9	27,0 ± 13,2	37,7 ± 11,2	NE	repos	25,3 ± 10,1	JM-4>JM+2>(JM3=JM-2=JM-1)
	CK (U.L <sup>-1</sup> )	145 ± 54,3	283 ± 185	174 ± 118	NE	183 ± 118	295 ± 133	176 ± 111	JM+1>(JM-4= JM-2=JM=JM+2)
	sCort (nmol.L <sup>-1</sup> )	86,9 ± 123	134 ± 104	95,7 ± 75,7	NE	NE	86,0 ± 61,7	98,5 ± 73,2	-
	sIgA (µg.L <sup>-1</sup> )	NE	NE	340 ± 188	NE	NE	292 ± 157	333 ± 243	-
Périodes de matchs enchaînés	DTP (m.min <sup>-1</sup> )	-	-	NE	52,6 * ± 8,45	NE	repos	82,4 ± 11,6	JM+2>JM-1 (p=0,01)
	HI (m.min <sup>-1</sup> )	-	-	NE	0,24 * ± 0,24	NE	repos	0,17 ± 0,32	-
	Accélérations (n)	-	-	NE	42,0 * ± 12,7	NE	repos	17,8 * ± 12,24	JM-1>JM+2
	CK (U.L <sup>-1</sup> )	-	-	NE	NE	221 ± 155	301 ± 160	206 * ± 116	-
	sCort (nmol.L <sup>-1</sup> )	-	-	NE	NE	56,7 ± 40,7	93,7 ± 82,4	88,0 ± 53,1	-
	sIgA (µg.L <sup>-1</sup> )	-	-	NE	NE	NE	304 ± 193	266 ± 163	-

JM-4, JM-3, JM-2 and JM-1 = respectivement quatre, trois, deux et un jour avant le match ; JM = jour de match ; JM+1, JM+2 = respectivement un et deux jours après le match. CK = créatine kinase; sCort = cortisol salivaire ; sIgA = IgA salivaire ; DTP = distance totale parcourue ; HI = courses à hautes intensités (>19,8 km.h<sup>-1</sup>); NE = non enregistré.

\* Plus grand que la même mesure en période de matchs non-enchaînés (p<0,05).

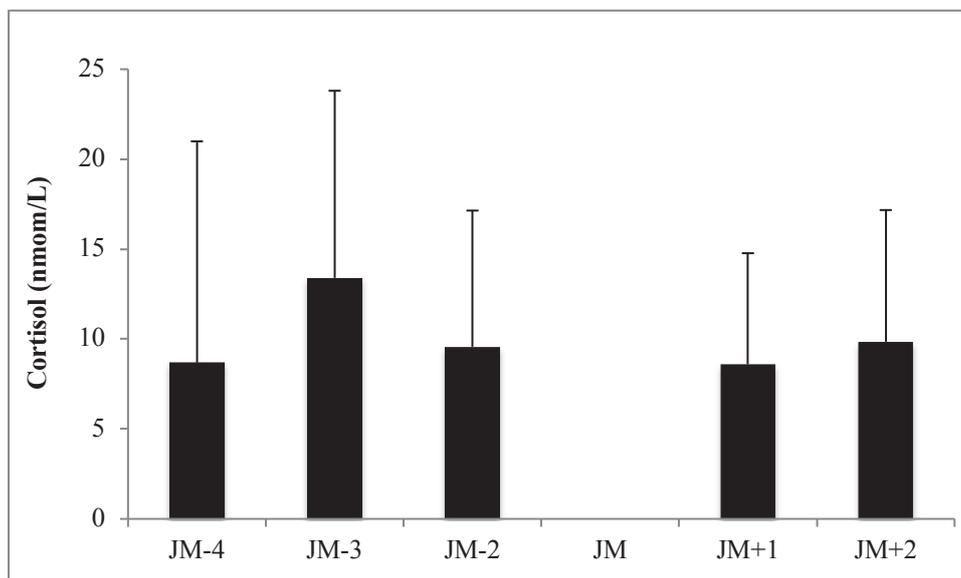
**Figure 1.** Evolutions de créatine kinase au cours d'une semaine d'entraînement de joueurs de football professionnels.



JM-4, JM-3, JM-2 and JM-1 = respectivement quatre, trois, deux et un jour avant le match ; JM = jour de match ; JM+1, JM+2 = respectivement un et deux jours après le match.

\*\*\* JM+1 > JM-2 & JM+2 (p<0,0033)

**Figure 2.** Evolutions de cortisol au cours d'une semaine d'entraînement de joueurs de football professionnels.

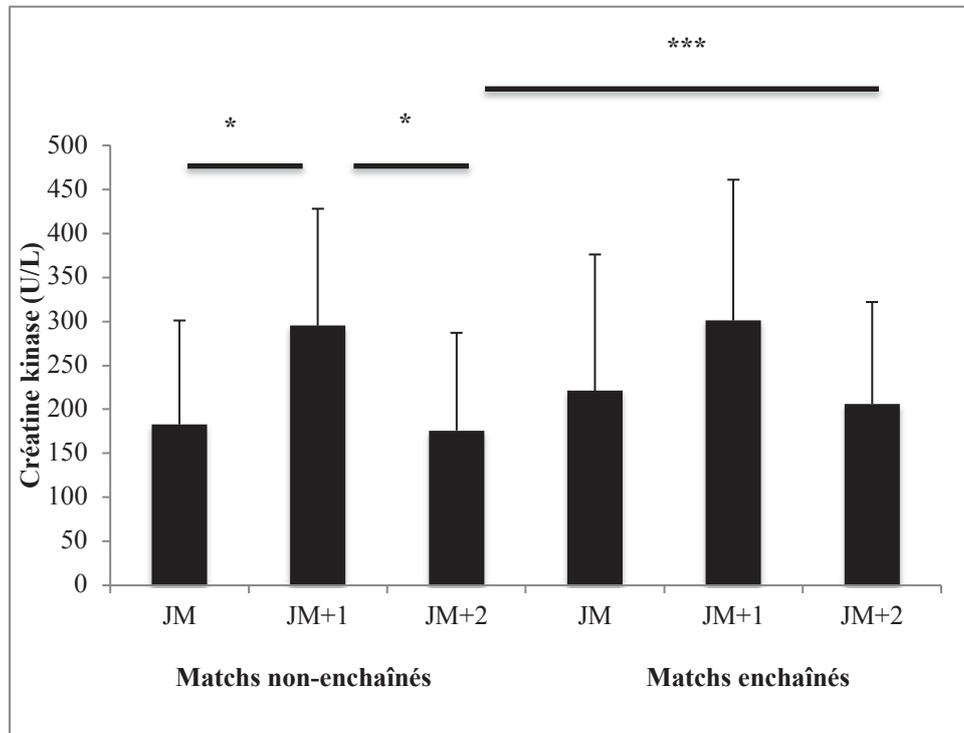


JM-4, JM-3, JM-2 and JM-1 = respectivement quatre, trois, deux et un jour avant le match ; JM = jour de match ; JM+1, JM+2 = respectivement un et deux jours après le match.

En comparant les PME et les PMNE, de plus grandes valeurs de CK étaient obtenues à JM+2 pendant les PME (0.27, p<0.05) (**figure 3**). Aucune différence n'était observée sur

les valeurs de sCort et de sIgA. De plus grandes valeurs de TDC (1,09), de courses à HI (0,35) et d'accélération (0,36) étaient observées à JM-1 lors des PME (vs. PMNE,  $p < 0,05$ ).

**Figure 3.** Cinétiques des concentrations plasmatiques de créatine kinase lors de périodes de matchs enchaînés et lors de périodes de matchs non-enchaînés.



JM = jour de match; JM+1 = un jour après le match; JM+2 = deux jours après le match  
 \* différence significative ( $p < 0,05$ ). \*\*\* différence significative ( $p < 0,001$ ).

## DISCUSSION

Le but de la présente étude était de comparer les variations de CK, sCort et sIgA lors de périodes à matchs enchaînés et à matchs non-enchaînés, chez des joueurs de football professionnels. CK est un indicateur très souvent référencé et régulièrement utilisé comme marqueur des dommages musculaires induits par l'exercice (10,32). Il a été observé dans différents sports comme augmentant après un match de compétition, et c'est en football que les valeurs seraient les plus élevées en comparaison à d'autres sports d'équipe comme le basketball, le handball et le volleyball (46). CK Cort et IgA ont été récemment décrits comme des indicateurs pertinents pour suivre les variations de la charge d'entraînement chez le footballeur de haut niveau (27,30,42). Les premiers résultats de l'étude étaient que JM+1 ( $296 \pm 183 \text{ U.L}^{-1}$ ) était le jour de la semaine avec les plus hautes valeurs de CK (similaire à JM-3 ( $283 \pm 185 \text{ U.L}^{-1}$ )) (Figure 1). De tels résultats mettraient en évidence à quel point la fatigue musculaire en lien avec la charge d'entraînement était à son plus haut point dans les 24h qui suivaient les matchs et trois jours avant. Les hauts niveaux de sCort observés à JM-3 ( $13,4 \pm 10,4 \text{ nmol.L}^{-1}$ ), en comparaison aux autres jours ( $\sim 8,60$  to  $9,85 \text{ nmol.L}^{-1}$ ,  $p < 0,01$ ) (Figure 2), indiquaient une réponse élevée à l'entraînement à ce moment précis de la

semaine, provoquée par une haute charge d'entraînement ponctuelle et/ou cumulée trois jours avant le match qui semblaient assez élevée, puisque que sCort est bien connu pour intervenir dans les mécanismes cataboliques, pour augmenter en réponse à l'exercice et pour être un indicateur du surentraînement (4,36). Des joueurs de football professionnels coréens ont reporté des hauts niveaux de fatigue perçue (RPE) après leurs séances d'entraînement de JM-4 lors en pleine saison compétitive. Des RPE élevées étaient également reportés à JM-4 et JM-5 chez des jeunes joueurs de football quand les valeurs diminuaient à JM-3 et JM-2 (repos à JM-1 dans l'étude en question) (21). Les valeurs élevées de distances parcourues à HI ( $0,84 \pm 0,80$  m.min<sup>-1</sup>) et des nombres d'accélération ( $46,3 \pm 15,4$ ) observés à JM-4, dans la présente étude, en comparaison à tous les autres jours, confirmaient que l'équipe analysée suivait la même répartition des charges dans la semaine. La littérature sur le sujet de l'entraînement a reporté une similaire approche « d'affûtage » qui consiste à réduire la charge d'entraînement en se rapprochant de JM afin de réduire la fatigue et ainsi augmenter la fraîcheur physique (25,33,34). Récemment, il a été reporté sur des joueurs de Premier League anglaise que seul JM-1 était significativement réduit en terme de charge d'entraînement tout au long de la semaine, en guise d'affûtage (25). Owen et al. (34) ont également observé des différences significatives entre l'activité physique réalisée à JM-2, JM-3 et JM-4 comme structure d'un affûtage progressif et périodisé sur la semaine. De plus, il a été suggéré que les praticiens de terrain pouvaient maintenir un cycle d'entraînement uniforme et structuré tout en imposant des variations dans l'activité physique pendant une semaine d'entraînement (34). Cependant, toutes ces observations ne prenaient pas en compte les périodes d'enchaînements de matchs rapprochés.

Les jours qui suivaient les matchs ont révélé une augmentation des niveaux de CK à JM+1 ( $296 \pm 183$  U.L<sup>-1</sup> vs. JM:  $183 \pm 118$  U.L<sup>-1</sup>,  $p < 0.0033$ ) et un retour à la normale à JM+2 ( $176 \pm 111$  U.L<sup>-1</sup>). Une augmentation des niveaux de CK est communément observée 24h après un match de football, et les valeurs sont la plupart du temps toujours élevées au moins 48h après le match (2,17,22,24,39,43), à la différence de nos observations. Les mesures d'avant match (e.g. JM) de CK ( $\sim 183$  U.L<sup>-1</sup>) étaient semblables à celles reportées chez des joueurs professionnels du championnat grecque ( $\sim 150$  U.L<sup>-1</sup>) (22), de deuxième et troisième division portugaise ( $\sim 180-200$  U.L<sup>-1</sup>) (2,24), de *Ligue 1* française ( $\sim 230$  U.L<sup>-1</sup>) (17), de jeunes joueurs de *Série A* italienne ( $\sim 310$  U.L<sup>-1</sup>) (39) et de moins de 21 ans de *Premier League* ( $\sim 343$  U.L<sup>-1</sup>) (43). Les résultats de la présente étude semblent révéler des valeurs plus basses à JM+1 ( $\sim 296$  U.L<sup>-1</sup>) en comparaison aux précédents rapports (de  $\sim 600$  to  $\sim 1411$  U.L<sup>-1</sup>), et il en est de même en JM+2 ( $\sim 176$  U.L<sup>-1</sup> vs.  $\sim 500$  to  $\sim 900$  U.L<sup>-1</sup>) (2,17,22,24,39,43). Seule une étude n'a reporté aucune différence significative entre les valeurs de CK d'avant-match et celles à JM+2 (17). Bien que CK soit connu pour présenter de larges différences interindividuelles et de large variabilité de match en match (43), il pourrait être suggéré que les différences observées avec la littérature étaient en lien avec l'effort physique et psychologique que représentait le match dans chaque contexte. En effet, les valeurs de CK 24H après un match sont en lien avec l'activité physique effectuée pendant le match (44,48). De manière intéressante, les plus grandes augmentations de CK post-exercice ont été reportées chez des sujets moins bien entraînés (26) et avec des niveaux de forces dans les membres inférieurs plus faibles chez des joueurs professionnels de football (32). En prenant

ces observations en considération, il pourrait également être suggéré que les joueurs professionnels analysés dans la présente étude étaient mieux entraînés que ceux des précédents rapports. De plus, les matchs analysés avaient lieu dans la première partie de la saison compétitive lorsque les joueurs sont supposés être à leur meilleure forme physique (5,40) et donc avoir des valeurs biochimiques en lien avec la fatigue plus basses (45). Il est donc possible que les matchs de la présente étude n'aient pas été un stimulus plus important que leur habituelle charge d'entraînement. Cela permet également de suggérer que si les joueurs sont habitués à s'entraîner à des plus hauts niveaux de stimulation physique, leur capacité à récupérer pourrait gagner en efficacité.

Aucune évolution n'a été observée dans les concentrations de sCort d'avant- et d'après-match (**Figure 2**). Récemment, Souglis et al. (46) ont reporté une élévation des niveaux de cortisol sanguin immédiatement après des matchs de différents sports d'équipe à haut niveau qui retournaient aux valeurs d'avant-match 13h après. Moreira et al. (28) ont observé une tendance pour sCort à augmenter entre les valeurs d'avant- et d'après-match chez des joueurs de football professionnels, mais ces augmentations n'étaient pas significatives. Ces observations sont dans la lignée des résultats de la présente étude dont les premières mesures d'après-match ont été réalisées 24h après la fin du match. Il semblerait ainsi que sCort augmente immédiatement après un match de football mais que les valeurs reviennent aux valeurs de base dès le jour suivant. Récemment une étude faisait état d'une diminution des niveaux de cortisol sanguin 24h et 48h après un match de football de jeunes, en comparaison aux valeurs d'avant-match (42). Dans cette étude-là, les hauts niveaux de cortisol observés avant le match laissent suggérer que des facteurs environnementaux ont influencé les résultats, l'anxiété étant connue pour influencer les niveaux de cortisol (37).

Le deuxième résultat de la présente étude était que CK était affecté par l'enchaînement des matchs, et que ni sCort ni sIgA ne l'étaient. En effet, les niveaux de CK mesurés à JM+2 en PME ( $206 \pm 116 \text{ U.L}^{-1}$ ) étaient significativement plus élevés que ceux mesurés à JM+2 en PMNE ( $176 \pm 111 \text{ U.L}^{-1}$ ,  $p < 0,05$ , TE: 0,27). De plus, la différence observée en PMNE entre JM+1 et JM+2 n'existait pas en PME. Dernièrement, aucune variation des performances physiques et techniques n'était observée lors de PME chez des joueurs professionnels de football, même lorsque les PME étaient prolongées sur plusieurs mois d'affilée (9,16). En revanche, une augmentation du nombre de blessures a été rapportée en lien avec des PME (15,19). Récemment, Mohr et al. (27) ont observé une plus grande élévation de CK en jouant deux matchs en trois jours, plutôt qu'en quatre jours. La présente étude apportait une nouvelle information avec l'impact de deux matchs en trois à quatre jours (vs. cinq et plus) sur les dommages musculaires. Il peut être suggéré que c'est à cause d'une fatigue accumulée lors des enchaînements de matchs que les valeurs observées 48h après le match étaient plus élevées en PME plutôt qu'en jouant un match par semaine, où la récupération avant le prochain match est bien plus longue. Les niveaux de sCort et sIgA n'avaient pas varié statistiquement que ce soit lors des PME et des PMNE. En revanche, il était intéressant de constater que les valeurs de sIgA augmentaient légèrement de JM+1 ( $292 \pm 157 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) à JM+2 ( $333 \pm 243 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) lors de PMNE et diminuaient (respectivement  $304 \pm$

193 à  $266 \pm 163 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) lors des PME ( $p < 0,0033$ ). Moreira et al. (29) ont récemment reporté une diminution de marqueurs immuno-endocriniens salivaires, comme sIgA et la testostérone, du premier match d'un tournoi de jeunes joueurs où les matchs étaient très rapprochés, jusqu'au dernier. Ils n'ont également observé aucune variation de sCort tout au long de leur tournoi (29). Plus tôt, Mortatti et al. (31) n'ont rapporté aucune variation de sCort sur une période de six matchs en 20 jours chez des jeunes joueurs de football, avec une diminution de sIgA après le deuxième et le dernier match. Toutes ces observations réunies pourraient nous permettre de suggérer que la fatigue causée par une période d'enchaînement de match de football touche particulièrement les dommages musculaires, le statut immunitaire et l'activité anabolique, mais pas les réponses en lien avec l'activité métabolique. Il aurait d'ailleurs été intéressant de mesurer dans la présente étude les niveaux de testostérone salivaire, en plus de sCort, puisque sCort est connu pour influencer les niveaux de testostérone chez l'homme (2,12) et ces deux hormones sont souvent associées sous la forme du ratio testostérone/cortisol qui est réputé pour être un indicateur pertinent de la fatigue et du surentraînement (4).

De manière intéressante, les résultats de la présente étude montraient que la charge d'entraînement à JM-1 en PME était plus importante que celle en PMNE. Ceci est peut-être dû à l'augmentation de l'état de fraîcheur causée par la réduction de la charge à JM-2 qui jouerait un rôle inconscient dans la motivation et la possibilité pour les joueurs de s'entraîner avec une plus grande intensité. Bien qu'il soit difficile de le prédire et que cela nécessite plus de recherche sur le sujet à l'avenir, les entraîneurs ont également sans doute augmenté la charge d'entraînement par les contenus de ces entraînements pour s'assurer que les joueurs se préparent convenablement malgré la charge réduite des deux-trois jours précédents. De plus, cette charge d'entraînement plus élevée a peut-être joué un rôle dans la fatigue accumulée observée en PME, bien que les tailles d'effet relevées dans les différences entre période pour les courses à HI et les accélérations étaient petites (0,34-0,36). Néanmoins, si la charge d'entraînement était légèrement supérieure en PME vs. PMNE, les indicateurs biochimiques relevés avant les matchs ne présentaient aucune différence significative. Ces indications montrent à quel point il est important pour les entraîneurs de comprendre l'impact des calendriers à matchs enchaînés sur la fatigue des joueurs. Il s'agit pour eux de planifier les charges d'entraînement, et ainsi que les joueurs restent performant.

## LIMITES

Pouvoir obtenir un échantillon important de participants sur une population de joueurs de football professionnels est extrêmement compliqué. En effet, il est difficile de trouver des athlètes remplissant les conditions des critères d'inclusion, en raison du grand nombre de facteurs d'influence externes comme les suspensions, les sélections nationales, les blessures et les cas de maladie sur une période de test en pleine saison. Ainsi, en lien avec la présente étude, de futures recherches devront être orientées sur l'analyse de plusieurs équipes à différents niveaux de pratique afin d'en comparer les résultats et de pouvoir déterminer quels sont les éléments clés qui différencient les différents niveaux. Une limite à la présente étude est qu'aucun groupe contrôle n'ait été utilisé. Cet aspect est à prendre en compte à l'avenir

bien que délicat dans le cas d'une étude sur un groupe de joueurs professionnel en pleine saison compétitive.

## CONCLUSIONS

Le but de cette étude était d'explorer les évolutions des réponses biochimiques de CK, sIgA et sCort pendant une période compétitive de football, et d'analyser les variations en fonction des périodes à matchs enchaînés vs. non-enchaînés, en lien avec les cinétiques de fatigue d'après-match. Les résultats de l'étude pourraient permettre aux personnes impliquées dans l'entraînement de joueurs professionnels de gérer au mieux ces périodes à matchs rapprochés et enchaînés. Les conclusions de cette étude suggèrent que l'enchaînement des matchs de football engendre une accumulation de fatigue en lien avec des variations significatives d'indicateurs biochimiques (i.e. dommages musculaires, statut immunitaire, activité anabolique). Les personnes impliquées dans les processus d'entraînement et de récupération de tels joueurs devraient comprendre les besoins des joueurs dans de tels contextes d'enchaînement de matchs afin d'ajuster leur préparation de manière adéquate et de ne pas hésiter à utiliser des stratégies de rotation d'équipe.

## APPLICATIONS PRATIQUES

Au plus haut niveau de pratique du football, les matchs et les entraînements engendrent un stress chronique sur l'organisme qui influence les réactions biochimiques des joueurs (34). Etant donné l'intensité de la pratique du football et la dépense énergétique qui y est liée, une telle exposition continue et de telles variations physiologiques exposent les joueurs à une augmentation des risques liés à leur santé, leur bien-être et leur performance. Cette étude originale était la première à examiner la relation entre les réponses biochimiques basées sur le cortisol salivaire, l'IgA salivaire et CK sanguin et des périodes de matchs enchaînés et non-enchaînés. Basée sur les résultats de l'étude, son application pratique est de recommander aux praticiens de terrain de réguler les intensités d'entraînement, les stratégies de récupération et d'intégrer des rotations d'équipe intelligentes, dans le but de maximiser la performance tout en réduisant les risques de fatigue chronique et de blessure. La présente étude pourrait ouvrir un champ de discussion sur les moyens supplémentaires à réunir pour suivre les joueurs lors de périodes de matchs enchaînés. Ces moyens sont à considérer comme étant un facteur parmi d'autres dans la prédiction des blessures. Une plus grande attention devrait être accordée à l'intensité et au volume des entraînements à plus long terme, particulièrement lorsque l'équipe se rapproche d'une période ayant plusieurs matchs rapprochés. Car il s'agit de préparer les joueurs à mieux anticiper la fatigue qui pourrait leur causer des blessures de sur-utilisation. En suivant régulièrement les variations biochimiques durant la période de préparation et pendant la saison compétitive, les staffs médicaux et techniques assureront une préparation optimale des joueurs. Ceci est une considération à prendre sérieusement en compte.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs souhaitent remercier tous les joueurs, les équipes médicales, techniques et scientifiques impliqués dans cette étude pour leur professionnalisme et leur engagement tout au long des procédures.

## REFERENCES

1. Akenhead, R, Harley, JA, and Tweddle, S. Examining the external training load of an English Premier League football team with special reference to acceleration. *J Strength Cond Res* 30(9): 2424–2432, 2016.
2. Ascensao, A, Rebelo, A, Oliveira, E, Marques, F, Pereira, L, and Magalhaes, J. Biochemical impact of a soccer match - analysis of oxidative stress and muscle damage markers throughout recovery. *Clin Biochem* 41(10-11): 841–851, 2008.
3. Bambino, TH, and Hsueh, AJ. Direct inhibitory effect of glucocorticoids upon testicular luteinizing hormone receptor and steroidogenesis in vivo and in vitro. *Endocrinol* 108(6): 2142–2148, 1981.
4. Banfi, G, and Dolci, A. Free testosterone/cortisol ratio in soccer: usefulness of a categorization of values. *J Sports Med Phys Fitness* 46(4): 611–616, 2006.
5. Bangsbo, J. The physiology of soccer – With special reference to intense intermittent exercise. *Acta Physiol Scand Suppl* 619: 1–155, 1994.
6. Bangsbo, J, Iaia, FM, and Krstrup, P. Metabolic fatigue in soccer. *Int J Sports Physiol Perf.* 2: 111–127, 2007.
7. Bengtsson, H, Ekstrand, J, and Hagglund, M. Muscle injury rates in professional football increase with fixture congestion: an 11-year follow-up of the UEFA Champions League injury study. *Br J Sports Med* 47(12): 743–747, 2013.
8. Brancaccio, P, Lippi, G, and Maffulli, N. Biochemical markers of muscular damage. *Clin Chem Lab Med* 48: 757–767, 2010.
9. Carling, C, Gregson, W, McCall, A, Moreira, A, Wong, DP, and Bradley, PS. Match running performance during fixture congestion in elite soccer: research issues and future directions. *Sports Med* 45: 605–613, 2015.
10. Chevion, S, Moran, DS, Heled, Y, Shani, Y, Regev, G, Abbou, B, Berenshtein, E, Stadtman, ER, and Epstein, Y. Plasma antioxidant status and cell injury after severe physical exercise. *Proc Natl Acad Sci U S A* 100(9): 5119–5123, 2003.
11. Coelho, DB, Morandi, RF, De Melo, MA, and Silami-Garcia, E. Creatine kinase kinetics in professional soccer players during a competitive season. *Cinética da creatina quinase em jogadores de futebol profissional em uma temporada competitiva. Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum* 13(3): 189–194, 2011.
12. Cohen, J. *Statistical power analysis for the behavioural sciences* (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, 1988.

13. Cumming, DC, Quigley, ME, and Yen, SS. Acute suppression of circulating testosterone levels by cortisol in men. *J Clin Endocrinol Metab* 57(3): 671–673, 1983.
14. Cunniffe, B, Griffiths, H, Proctor, W, Davies, B, Baker, JS, and Jones, KP. Mucosal immunity and illness incidence in elite rugby union players across a season. *Med Sci Sports Exerc* 43: 388–397, 2011.
15. Dellal, A, Lago-Peñas, C, Rey, E, Chamari, K, and Orhant, E. The effects of a congested fixture period on physical performance, technical activity and injury rate during matches in a professional soccer team. *Br J Sports Med* 49(6): 390–394, 2015.
16. Djaoui, L, Wong, DP, Pialoux, V, Hautier, C, Da Silva, CD, Chamari, K, and Dellal A. Physical activity during a prolonged congested period in a top-class European football team. *Asian J Sports Med* 5(1): 47–53, 2014.
17. Djaoui, L, Diaz-Cidncha, G, Hautier, C, and Dellal, A. Kinetic post-match fatigue in professional and youth soccer players during the competitive period. *Asian J Sports Med* 7(1): e28267, 2016.
18. Dunbar, J, Jehanil, A, and Hazell, G. Evaluation of a new point care quantitative cube reader for salivary analysis in the English premier league soccer environment. *Br J Sports Med* 49: A2–A3, 2015.
19. Dupont, G, Nédélec, M, McCall, A, McCormack, D, Berthoin, S, and Wisloff, U. Effect of 2 soccer matches in a week on physical performance and injury rate. *Am J Sports Med* 38(9): 1752–1758, 2010.
20. Edwards, DA, and Casto, KV. Women's intercollegiate athletic competition: cortisol, testosterone, and the dual-hormone hypothesis as it relates to status among teammates. *Horm Behav* 64(1): 153–160, 2013.
21. Impellizzeri, FM, Rampinini, E, Coutts, AJ, Sassi, A, and Marcora, SM. Use of RPE-based training load in soccer. *Med Sci Sports Exerc* 36(6): 1042–1047, 2004.
22. Ispirlidis, I, Fatouros, IG, Jamurtas, AZ, Nikolaidis, MG, Michailidis, I, Douroudos, I, Margonis, K, Chatzinikolaou, E, Kalistratos, E, Katrabasas, I, Alexiou, V, and Taxildaris, K. Time-course changes in inflammatory and performance responses following a soccer game. *Clin J Sport Med* 18: 423–431, 2008.
23. Jeong, TS, Reilly, T, Morton, J, Bae, SW, and Drust, B. Quantification of the physiological loading of one week of pre-season and one week of in season training in professional soccer players. *J Sports Sci* 29(11): 1161–1166, 2011.
24. Magalhaes, J, Rebelo, A, Oliveira, E, Silva, JR, Marques, F, and Ascensao, A. Impact of Loughborough intermittent shuttle test versus soccer match on physiological, biochemical and neuromuscular parameters. *Eur J Appl Physiol* 108: 39–48, 2010.
25. Malone, JJ, Di Michele, R, Morgans, R, Burgess, D, Morton, JP, and Drust, B. Seasonal training-load quantification in elite English premier league soccer players. *Int J Sports Physiol Perf* 10(4): 489–497, 2015.

26. Maxwell, JH, and Bllor, CM. Effects of conditioning on exertional rhabdomyolysis and serum creatine kinase after severe exercise. *Enzyme* 26(4): 177–181, 1981.
27. Mohr, M, Draganidis, D, Chatzinikolau, A, Barbero-Alvarez, JC, Castagna, C, Douroudos, I, Avloniti, A, Margeli, A, Papassotiriou, I, Flouris, AD, Jamurtas, AZ, Krustup, P, and Fatouros, IG. Muscle damage, inflammatory, immune and performance responses to three games in 1 week in competitive male players. *Eur J Appl Physiol* 116(1): 179–193, 2016.
28. Moreira A, Arsati F, de Oliveira Lima Arsati YB, da Silva DA, and de Araujo VC. Salivary cortisol in top-level professional soccer players. *Eur J Appl Physiol* 106(1): 25–30, 2009.
29. Moreira, A, Bradley, P, Carling, C, Arruda, AF, Spigolon, LM, Fancison, C, and Aoki, MS. Effect of a congested match schedule on immune-endocrine responses, technical performance and session-RPE in elite youth soccer players. *J Sports Sci* 34(24): 2255–2261, 2016.
30. Morgans, R, Orme, P, Anderson, L, Drust, B, and Morton, JP. An intensive winter fixture schedule induces a transient fall in salivary IgA in English premier league soccer players. *Res Sport Med* 22(5): 346-354, 2014.
31. Mortatti, A, Moreira, A, Aoki, MS, Crewther, B, Castagna, C, Arruda, A, and Filho, J. Effect of competition on salivary cortisol, immunoglobulin A, and upper respiratory tract infections in elite young soccer players. *J Strength Cond Res* 26(5): 1396–1401, 2012.
32. Owen, A, Dunlop, G, Rouissi, M, Chtara, M, Paul, D, Zouhal, H, and Wong, DP. The relationships between lower-limb strength and match-related muscle damage in elite level professional European soccer players. *J Sports Sci* 33(20): 2100–2105, 2015.
33. Owen, AL, Dunlop, G, Rouissi, M, Haddad, M, Mendes, B, and Chamari, K. Analysis of positional training loads (ratings of perceived exertion) during various-sided games in European professional soccer players. *Int J Sport Sci Coach* 11(3): 1–8, 2016.
34. Owen, AL, Lagos-Penas, C, Gómez, MA, Mendes, B, and Dellal, A. Analysis of a training mesocycle and positional quantification in elite European soccer players. *Int J Sport Sci Coach* 12(5): 1-8, 2017.
35. Owen, AL, Cossio-Bolaños, MA, Mendes, B, Rouissi, M, Chtara, M, Bragazzi, N, and Chamari, K. Post-seasonal hematological profiles in response to high competitive match-play loads within elite top level European soccer players. *Open Access J Sports Med*, in press.
36. Papacosta, E, Nassis, GP. Saliva as a tool for monitoring steroid, peptide and immune markers in sport and exercise. *J Sci Med Sport* 14: 424–434, 2011.
37. Passelergue, P, and Lac, G. Saliva cortisol, testosterone and T/C ratio variations during a wrestling competition and during the post- competitive recovery period. *Int J Sports Med* 20: 109–113, 1999.

38. Raastad, T, Owe, SG, Paulsen, G, Enns, D, Overguard, K, Cramer, R, Kiil, S, Belcastro, A, Bergersen, L, and Hallen, J. Changes in calpain activity, muscle structure, and function after eccentric exercise. *J Med Sci Sports Exer* 42(1): 86–95, 2010.
39. Rampinini, E, Bosio, A, Ferraresi, I, Petruolo, A, Morelli, A, and Sassi, A. Match-related fatigue in soccer players. *Med Sci Sports Exerc* 43(11): 2161–2170, 2011.
40. Reilly, T. The training process. In: Reilly T, ed. *The Science of Training—Soccer: A Scientific Approach to Developing Strength, Speed and Endurance*. London: Routledge, pp 1–19, 2007.
41. Rey, E, Lago-Penas, C, Lago-Ballesteros, J, Casais, L, and Dellal, A. The effect of a congested fixture period on the activity of elite soccer players. *Biol Sport* 27: 181–185, 2010.
42. Romagnoli, M, Sanchis-Gomar, F, Alis, R, Risso-Ballester, J, Bosio, A, Graziani, RL, and Rampinini, E. Changes in muscle damage, inflammation, and fatigue-related parameters in young elite soccer players after a match. *J Sports Med Phys Fitness* 56(10): 1198–1205, 2016.
43. Russell, M, Northeast, J, Atkinson, G, Shearer, DA, Sparkes, W, Cook, CJ, and Kilduff, L. The between-match variability of peak power output and Creatine Kinase responses to soccer match-play. *J Strength Cond Res* 29(8): 2079–2085, 2015.
44. Russell M, Sparkes W, Northeast J, Cook CJ, and Kilduff L. Relationships between match activities and peak power output and creatine kinase responses to professional reserve team soccer match-play. *Hum Mov Sci* 45: 96–101, 2016.
45. Silva, JR, Rebelo, A, Marques, F, Pereira, L, Seabra, A, Ascensao, A, and Magalhaes, J. Biochemical impact of soccer: an analysis of hormonal, muscle damage, and redox markers during the season. *Appl Physiol Nutr Metab* 39(4): 432–438, 2014.
46. Souglis, A, Bogdanis, GC, Giannopoulou, I, Papadopoulos, C, and Apostolidis, N. Comparison of inflammatory responses and muscle damage indices following a soccer, basketball, volleyball and handball game at an elite competitive level. *Res Sports Med* 23(1): 59–72, 2015.
47. Stolen, T, Chamari, K, Castagna, C, and Wisloff, U. Physiology of soccer: an update. *Sports Med* 35(6): 501–536, 2005.
48. Thorpe R, and Sunderland C. Muscle damage, endocrine, and immune marker response to a soccer match. *J Strength Cond Res* 26: 2783–2790, 2012.
49. Varley, MC, Fairweather, IH, and Aughey, RJ. Validity and reliability of GPS for measuring instantaneous velocity during acceleration, deceleration, and constant motion. *J Sports Sci* 30(2): 121–127, 2012.
50. Young, WB, Hepner, J, and Robbins, DW. Movement demands in Australian rules football as indicators of muscle damage. *J Strength Cond Res* 26(2): 492–496, 2012.

## CHAPITRE X. DISCUSSION GÉNÉRALE

Le principal objectif de cette thèse était d'analyser l'activité physique et les incidences physiologiques de matchs de football de haut niveau au cours de périodes d'enchaînement de matchs. Un tel contexte compétitif est récurrent pour les équipes professionnelles qui doivent jongler entre plusieurs compétitions et/ou jouer des matchs reportés en milieu de semaine, entre deux matchs joués plus "classiquement" le week-end. L'hypothèse posée était que l'enchaînement des matchs induisait une fatigue accumulée qui allait se traduire par une baisse de l'activité aux plus hautes intensités et une élévation de certains marqueurs physiologiques en lien avec cette supposée fatigue cumulée.

Les deux premières études se sont penchées sur l'analyse de l'activité physique des joueurs dans ce contexte d'enchaînement de matchs, avec une analyse des distances parcourues sur des nouvelles classifications d'intensité plus proches des vitesses maximales (Etude 1) et une étude des profils d'accélération et de décélération, en distances parcourues et en temps passés à différentes intensités (Etude 2). En accord avec la littérature sur le sujet, aucune variation n'a été observée sur les distances parcourues aux hautes intensités de course en matchs rapprochés, en comparaison aux matchs joués une fois par semaine (Carling et al., 2015). Ainsi, malgré les nouvelles calibrations, qui ont tout de même permis d'ouvrir de nouvelles perspectives d'analyse de l'activité sur des calibrations de course plus précises, et malgré la différenciation des postes de jeu, l'enchaînement des matchs tous les trois-quatre jours ne semblent avoir aucune incidence sur l'activité de course à haute intensité, chez des joueurs de haut-niveau. De nombreuses justifications sont envisageables pour expliquer que ces joueurs aient réussi à maintenir leur niveau de performance intacte. La première serait leur excellente forme physique qui leur permettrait de récupérer rapidement et efficacement, d'autant plus lorsque les charges d'entraînement sont réduites lors des séances entre ces matchs. Deuxième explication : les stratégies de rotation des joueurs auraient permis de d'induire une récupération alternée pour les différents joueurs, puisque dans toutes les études de la littérature sur ce sujet, les joueurs observés n'étaient pas les mêmes sur la totalité des matchs (Carling et al., 2015). Troisième explication : certaines stratégies de récupération comme les massages, les étirements, les immersions en bains chauds /bains froids et l'utilisation de bas de compression auraient permis une accélération des processus de récupération (Nédélec et al., 2015a). Enfin, quatrième explication : la réduction des charges d'entraînement lors des séances entre les matchs aurait également contribué à ce maintien de niveau de performance (Slattery et al., 2012).

Une hypothèse supplémentaire : la non variation de ces distances parcourues aux différentes intensités de course serait due au fait que ce marqueur n'est pas le plus pertinent pour analyser précisément l'activité des joueurs dans de tels contextes. Ainsi, il est probable que les profils d'accélération, plus proches des demandes spécifiques de l'activité (Osgnach et al., 2010), soient un marqueur impactés par l'enchaînement des matchs. Dans ce contexte, l'étude 2 a montré des variations de ces activités liées aux accélérations et aux décélérations

lors de matchs de football professionnels enchaînés. Plus particulièrement, les plus hautes intensités d'accélération (haute et maximale) étaient impactées négativement par l'enchaînement de matchs. De telles observations ont permis de confirmer l'utilisation de ces indicateurs comme étant pertinente dans le suivi des variations d'activité au cours de matchs de football professionnels. La différenciation des postes de jeu a également permis de mettre en avant que les DC, les AL et les MC semblaient être les postes les plus affectés. A la différence des postes offensifs, ces joueurs sont, tout au long du match, confrontés à des déplacements qui les obligent à courir en arrière, courir de profil et se retourner pour accélérer. Ces déplacements spécifiques aux postes défensifs sont bien plus coûteux en énergie que les simples courses et/ou accélération en ligne droite et sont sans doute une explication de la fatigue cumulée observée chez les défenseurs et milieux défensifs.

Les différentes voies énergétiques sont mises à contribution au cours d'un match de football, impliquant l'utilisation de différentes formes de substrats, qui déterminent les besoins en terme d'entraînement, de nutrition et de récupération du joueur de football. Le suivi des cinétiques de récupération, via des marqueurs physiologiques, permet également une application pratique des variations de charges d'entraînement, en lien avec la préparation à la compétition. Dans ce contexte, l'étude 3 a été mise en place afin de déterminer l'influence de l'enchaînement des matchs sur ces cinétiques de récupération (ou de fatigue), avec comme référence, des marqueurs internes comme la CK, marqueur des dommages musculaires, l'immunoglobuline-A, marqueur du système immunitaire et le cortisol, hormone présente dans les mécanismes anabolisants. Les résultats ont permis de mettre en avant que les dommages musculaires étaient plus importants 48h après les matchs enchaînés, en comparaison aux matchs joués avec plus de temps de récupération. Aucune différence n'avait été observée concernant les valeurs de d'IgA et de cortisol. Mohr et al. (2016) avaient montré que CK était impacté par le rapprochement de trois matchs de football, cependant la présente étude a ouvert des perspectives d'analyse sur les cinétiques de récupération lors de périodes compétitives plus longues de matchs officiels.

## CHAPITRE XI. CONCLUSION GÉNÉRALE

L'étude 1 a permis de conclure que les périodes d'enchaînement de matchs n'avaient aucune influence sur les courses réalisées à haute et très haute intensité, chez des joueurs professionnels de football. La mise en place systématique de stratégies de récupération comme les massages, les étirements, les immersions en bains chauds / bains froids et l'utilisation de moyens de compression, entre les matchs rapprochés, a sans doute permis un tel maintien des niveaux de performance. Les nouvelles calibrations d'intensité, plus précises et plus proches des vitesses maximales de course, ont permis de préciser les activités aux postes de jeu sur des matchs professionnels. Les postes latéraux et les attaquants parcouraient les mêmes distances au-delà de 18 km.h<sup>-1</sup>. De telles observations permettraient aux entraîneurs de cibler précisément les demandes aux postes et les besoins en termes d'entraînement.

L'étude 2 a permis de conclure que les périodes d'enchaînement de matchs officiels avaient une influence négative sur les activités d'accélération de joueurs de football professionnels. Plus particulièrement, les hautes accélérations et les accélérations maximales étaient réduites chez les joueurs aux postes à vocation défensive (e.g. défenseurs et milieux défensifs). De telles observations devraient inviter les entraîneurs à suivre régulièrement ces indicateurs d'accélération, comme un moyen de contrôler à la fois la performance des joueurs, mais également leur état de fatigue. Les défenseurs sont moins sujets à être remplacés lors des matchs officiels. Les informations communiquées par cette étude indiquent que le contexte particulier d'enchaînement de matchs rapprochés, même chez des joueurs professionnels de football, influençait leur performance, et donc qu'ils pourraient eux aussi être inclus dans les stratégies de rotation des effectifs et/ou de remplacement. Le but final étant de maintenir un niveau de performance sur la totalité des matchs, tout en évitant d'augmenter le risque de blessure, déjà très présent lors des périodes de matchs rapprochés.

L'étude 3 a permis de conclure que les cinétiques de récupération des dommages musculaires d'après-match étaient significativement affectées par les périodes d'enchaînement de matchs, quand le statut immunitaire l'était marginalement. Une forme de fatigue accumulée existerait lors de telles périodes de matchs rapprochés. Les personnes impliquées dans la préparation de joueurs professionnels de football dont le calendrier sportif impose l'enchaînement de matchs officiels se doivent de connaître l'impact de ces périodes compétitives sur l'organisme afin d'adapter les contenus d'entraînement et les stratégies de rotation d'effectif et de récupération en conséquence.

De manière générale, il peut être conclu que les périodes d'enchaînement de matchs officiels ont un impact certain sur la performance et la fatigue de joueurs professionnels de

football. Si la littérature faisait état jusqu'ici d'une incidence principale sur le risque de blessure, la présente thèse a apporté des informations supplémentaires sur l'activité physique en match et sur les cinétiques de récupération via des marqueurs physiologiques. Malgré leur excellente condition physique, les joueurs professionnels de football sont soumis à une fatigue accumulée par l'enchaînement des matchs rapprochés. L'utilisation systématique de toutes les stratégies à disposition : stratégies de récupération, optimisation des apports nutritionnels et hydriques, rotation des effectifs, remplacements pendant les matchs et gestion de la charge d'entraînement, sont fortement conseillées pour gérer au mieux ces périodes de plus en plus présentes dans le football au plus haut niveau de pratique. Le suivi régulier de la fatigue et des charges d'entraînement, de manière subjective (questionnaire RPE) et objective (suivi GPS, marqueurs physiologiques), est également la clé d'une gestion au plus proche des besoins de chaque joueur. Il est souhaitable que les personnes impliquées dans leur préparation puissent adapter les stratégies précitées de manière individuelle.

## BIBLIOGRAPHIE

### A

Abt G, Zhou S, Weatherby R (1998) The effect of a high-carbohydrate diet on the skill performance of midfield soccer players after intermittent treadmill exercise. *J Sci Med Sport* 1(4): 203-212.

Achten J, Jeukendrup AE (2003) Heart rate monitoring: applications and limitations. *Sports Med* 33: 517–538.

Akenhead R, Hayes PR, Thompson KG, French D (2013) Diminutions of acceleration and deceleration output during professional football match play. *J Sci Med Sport* 16: 556-561.

Akenhead R, French D, Thompson KG, and Hayes PR (2015) The physiological consequences of acceleration during shuttle running. *Int J Sports Med* 36: 302-307.

Akenhead R, Nassis GP (2016) Training load and player monitoring in high-level football: current practice and perceptions. *Int J Sports Physio Perform* 11(5): 587-593.

Akselrod S, Gordon D, Ubel FA, Shannon DC, Berger AC, Cohen RJ (1981) Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: a quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control. *Sci* 213(4504):220–222.

Akubat I, Abt G (2011) Intermittent exercise alters the heart rate- blood lactate relationship used for calculating the training impulse (trimp) in team sport players. *J Sci Med Sport* 14: 249-253.

Akubat I, Barrett S, Abt G (2014) Integrating the internal and external training loads in soccer. *Int J Sports Physiol Perform* 9(3):457–462.

Akubat I, Patel, Barrett S, Abt G (2012) Methods of monitoring the training and match load and their relationship to changes in fitness in professional youth soccer players. *J Sports Sci* 30(12):1473–1480.

Al Haddad H, Laursen PB, Chollet D, Ahmaidi S, Buchheit M (2011) Reliability of resting and postexercise heart rate measures. *Int J Sports Med* 32(8): 598-605.

Alexiou H, Coutts AJ (2008) A comparison of methods used for quantifying internal training load in women soccer players. *Int J Sports Physiol Perform* 23(3): 320-330.

Ali AH (1988) A statistical analysis of tactical movement patterns in soccer. In: Reilly T, Lees A, Davids K, Murphy W, editors. *Science and Football*. London: E & FN Spon.

Ali A, Farrally M (1991) Recording soccer players' heart rates during matches. *J Sports Sci* 9(2): 183-189.

Ali A, Williams C (2009) Carbohydrate ingestion and soccer skill performance during prolonged intermittent exercise. *J Sports Sci* 27(14): 1499-1508.

- Alix-Sy D, Le Scanff C, Filaire E (2008) Psychophysiological responses in the pre-competition period in elite soccer players. *J Sports Sci Med* 7(4): 446-454.
- Almeida CH, Ferreira AP, Volossovitch A (2014) Effects of match location, match status and quality of opposition on regaining possession in UEFA Champions League. *J Hum Kin* 41: 203-214.
- Andersson H, Ekblom B, Krstrup P (2008) Elite football on artificial turf versus natural grass: movement patterns, technical standards, and player impressions. *J Sports Sci* 26(2): 113-122.
- Andrade E, Arce C, Armental J, Rodriguez M, de Francisco C (2008) Mood state indicators for adolescent athletes based on POMS multidimensional model. *Psicothema* 20(4): 630-635.
- Angeli A, Minetto M, Dovio A, Paccotti P (2004) The overtraining syndrome in athletes: A stress-related disorder. *J Endocrinol Invest* 27: 603-612.
- Apostolidis N, Bogdanis GC, Kostopoulos N, Souglis A, Papadopoulos Ch (2014) Changes in the lipid profile of elite basketball and soccer players after a match. *Res Sports Med* 22(1): 100-110.
- Armatas V, Pollard R (2014) Home advantage in Greek football. *Eur J Sport Sci* 14(2): 116-122.
- Armstrong LE, Maresh CM (1998) Effects of training, environment, and host factors on the sweating response to exercise. *Int J Sports Med* 19 Suppl 2: S103-S105.
- Armstrong LE, Soto JA, Hacker FT Jr, Casa DJ, Kavouras SA, Maresh CM (1998) Urinary indices during dehydration, exercise, and rehydration. *Int J Sport Nutr* 8: 345-355.
- Armstrong LE (2000) *Performing in extreme environments*. Champaign, IL, USA: Human Kinetics.
- Armstrong LE, Vanheest JL (2002) The unknown mechanism of the overtraining syndrome: Clues from depression and psychoneuroimmunology. *Sports Med* 32: 185-209.
- Arnason A, Sigurdsson SB, Gudmundsson A, Holme I, Engebretsen L, Bahr R (2004) Physical fitness, injuries, and team performance in soccer. *Med Sci Sports Exerc* 36(2): 278-285.
- Arruda AF, Carling C, Zanetti V, Aoki MS, Coutts AJ, Moreira A (2015) Effects of a very congested match schedule on body-load impacts, accelerations, and running measures in youth soccer players. *Int J Sport Physiol Perform* 10(2): 248-252.
- Atlaoui D, Duclos M, Gouarne C, Lacoste L, Barale F, Chatard J-C (2004) The 24-h urinary cortisol/cortisone ratio for monitoring training in elite swimmers. *Med Sci Sports Exerc* 36(2): 218-224.
- Aubert AE, Seps B, Beckers F (2003) Heart rate variability in athletes. *Sports Med* 33: 889-919.
- Aughey RJ (2011) Applications of GPS technologies to field sports. *Int J Sports Physiol Perform* 6: 295-310.

Aughey RJ, Goodman CA, McKenna MJ (2014) Greater chance of high core temperature with modified pacing strategy during team sport in the heat. *J Sci Med Sport* 17(1): 113-118.

Azevedo LF, Perlingeiro PS, Hachul DT, Gomes-Santos IL, Brum PC, Allison TG, et al. (2014) Sport modality affects bradycardia level and its mechanisms of control in professional athletes. *Int J Sports Med* 35(11):954–959.

## **B**

Bandelow S, Maughan R, Shirreffs S, Ozgüven K, Kurdak S, Ersöz G, et al. (2010) The effects of exercise, heat, cooling and rehydration strategies on cognitive function in football players. *Scand J Med Sci Sports* 20 Suppl 3: 148-160.

Banfi G, Marinelli M, Roi GS, Agape V (1993) Usefulness of free testosterone/cortisol ratio during a season of elite speed skating athletes. *Int J Sports Med* 14: 373-379.

Banfi G, Dolci A (2006) Free testosterone/cortisol ratio in soccer: Usefulness of a categorization of values. *J Sports Med Phys Fitness* 46: 611-616.

Bangsbo J, Norregaard L, Thorso F (1991) Activity profile of competition soccer. *Can J Sport Sci* 16(2): 110-116.

Bangsbo J (1994). The physiology of soccer – with special reference to intense intermittent exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 151 (suppl. 619), 1-55.

Bangsbo J, Peitersen B (2000) Soccer systems and strategies. Champaign, IL: Human Kinetics.

Bangsbo J, Mohr M, Krstrup P (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *J Sports Sci*. 24(7): 665-674.

Bangsbo J, Iaiá FM, Krstrup P (2007) Metabolic response and fatigue in soccer. *Int J Sports Physiol Perform* 2(2): 111-128.

Bangsbo J, Hansen PR, Dvorak J, Krstrup P (2015) Recreational football for disease prevention and treatment in untrained men: a narrative review examining cardiovascular health, lipid profile, body composition, muscle strength and functional capacity. *Br J Sports Med* 49(9): 568-576.

Bannister EW (1991) Modeling elite athletic performance. In: Green HJ, McDougal JD, Wenger HA, eds. *Physiological Testing of Elite Athletes*. Champaign, Illinois: Human Kinetics 403–424.

Barbero JC, Barbero V, Granda J (2007) Perfil de actividad durante el juego en futbolistas infantiles [Physical profiles during play in junior soccer players]. *Apuntes* 4: 33-41.

Barnes C, Archer DT, Hogg B, Bush M, Bradley PS (2014) The evolution of physical and technical performance parameters in the English premier league. *Int J Sports Med* 35: 1-6.

Barnett V, Hilditch S (1993) The effect of an artificial pitch surface on home team performance in football (soccer). *J Royal Stat Soc: Series A*, 156(1): 39-50.

- Barr SI (1999) Effects of dehydration on exercise performance. *Can J Appl Physiol* 24(2): 164-172.
- Bartlett JD, O'Connor F, Pitchford N, Torres-Ronda L, Robertson SJ (2017) Relationships between internal and external training load in team-sport athletes: evidence for an individualized approach. *Int J Sports Physiol Perform* 12(2): 230-234.
- Bate R (1988) Football chance: tactics and strategy In *Science and Football* (edited by T. Reilly, A. Lees, K. Davids and W. Murphy) pp. 293–301 London: E & FN Spon.
- Bauer G (1993) *Soccer techniques, tactics and teamworks*. New York: Sterling Publishing Co.
- Baume N, Jan N, Emery C, Mandanis B, Schweizer C, Giraud S, et al. (2015) Antidoping programme and biological monitoring before and during the 2014 FIFA World Cup Brazil. *Br J Sports Med* 49(9):614–622.
- Bedford A, Schembri AJ (2006) Back Issues. A probability based approach for the allocation of player draft selections in Australian rules football. *J Sports Sci Med* 5: 509-516.
- Bernardi L, Leuzzi S, Radaelli A, Passino C, Johnston JA, Sleight P (1994) Low-frequency spontaneous fluctuations of R-R interval and blood pressure in conscious humans: a baroreceptor or central phenomenon? *Clin Sci* 87(6):649–654.
- Bishop NC, Gleeson M (2009) Acute and chronic effects of exercise on markers of mucosal immunity. *Front Biosci (Landmark Ed)* 14: 4444–4456.
- Blain G, Meste O, Bouchard T, Bermon S (2005) Assessment of ventilatory thresholds during graded and maximal exercise test using time varying analysis of respiratory sinus arrhythmia. *Br J Sports Med* 39(7): 448–452.
- Bloomfield J, Polman RCJ, O'Donoghue PG (2005) Effects of score-line on intensity of play in midfield and forward players in the FA Premier League. *J Sports Sci* 23: 191-192.
- Bloomfield J, Polman RCJ, O'Donoghue PG (2007) Physical demands of different positions in FA Premier League soccer. *J Sports Sci Med* 6(1): 63-70.
- Bompa T, Haff GG (2009) *Periodization: theory and methodology of training*. 5th ed. Lower Mitcham: Human Kinetics 18–21.
- Bonato M, Agnello L, Galasso L, Montaruli A, Roveda E, Merati G, et al. (2017) Acute modification of cardiac autonomic function of high-intensity interval training in collegiate male soccer players with different chronotype: a cross-over study. *J Sports Sci Med* 16(2): 286-294.
- Borg G, Hassmen P, Lagerstrom M (1987) Perceived exertion related to heart rate and blood lactate during arm and leg exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 56: 679-685.
- Borresen J, Lambert MI (2008) Autonomic control of heart rate during and after exercise: measurements and implications for monitoring training status. *Sports Med* 38(8):633–646.
- Bosca JE, Liern V, Martinez RS (2009) Increasing offensive or defensive efficiency? An analysis of Italian and Spanish football. *Omega* 37(1): 63-78.

Bosquet L (2000) Le surentraînement dans les activités physiques de longue durée. Etude de plusieurs marqueurs physiologiques. Thèse de doctorat en Sciences et techniques des activités physiques et sportives. Université de Poitiers, France.

Bosquet L, Merkari S, Arvisais D, Aubert AE (2008) Is heart rate a convenient tool to monitor over-reaching? A systematic review of the literature. *Br J Sports Med* 42:709–714.

Boyd LK, Ball K, Aughey RJ (2011) The reliability of MinimaxX accelerometers for measuring physical activity in Australian football. *Int J Sports Physiol Perform* 6: 311-321.

Bradley PS, Sheldon W, Wooster B, Olsen P, Boanas P, Krstrup P (2009) High-intensity running in English FA Premier League soccer matches. *J Sports Sci* 27: 159-168.

Bradley PS, Carling C, Archer D, Roberts J, Dodds A, Di Mascio et al. (2011) The effect of playing formation on high-intensity running and technical profiles in English FA Premier League soccer matches. *J Sports Sci* 29(8): 821-830.

Bradley PS, Noakes TD (2013) Match running performance fluctuations in elite soccer: indicative of fatigue, pacing or situational influences? *J Sports Sci* 31(15): 1627-1638.

Bradley PS, Lago-Peñas C, Rey E, Sampaio J (2014) The influence of situational variables on ball possession in the English Premier League. *J Sports Sci* 32(20): 1867-1873.

Brewer J, Warren L (2014) A review of the potential implications of hot and humid environmental conditions on soccer match-play performance. *Int J Sci: Basic Appl Res* 15(1): 584-589.

Bricout VA, DeChenaud S, Favre-Juvin A (2010) Analyses of heart rate variability in young soccer players: The effects of sport activity. *Auton Neurosci* 154(1-2): 112-116.

Brink MS, Visscher C, Arends S, Zwerver J, Post WJ, Lemmink KA (2010) Monitoring stress and recovery: new insights for the prevention of injuries and illnesses in elite youth soccer players. *Br J Sports Med* 44(11): 809-815.

Brink MS, Visscher C, Coutts AJ, Lemmink KA (2012) Changes in perceived stress and recovery in overreached young elite soccer players. *Scand J Med Sci Sports* 22: 285-292.

Brink MS, Frencken WGP, Jordet G, Lemmink KAPM (2014) Coaches' and players' perceptions of training dose: not a perfect match. *Int J Sports Physiol Perform* 9: 497–502.

Brito J, Hertzog M, Nassis GP (2016) Do match-related contextual variables influence training load in highly trained soccer players. *J Strength Cond Res* 30(2): 393-399.

Brocherie F, Girard O, Faroq A, Millet GP (2015) Influence of weather, rank, and home advantage on football outcomes in the Gulf region. *Med Sci Sports Exerc*, 47(2) :401-410.

Brun JF, Khaled S, Raynaud E, Bouix D, Micallef JP, Orsetti A (1998) The triphasic effects of exercise on blood rheology: which relevance to physiology and pathophysiology? *Clin Hemorheol Microcirc* 19(2): 89-104.

Brun JF (2003) A la recherche d'un outil d'évaluation standardisé utilisable en routine. *Sci Sports* 18(6): 282-286.

Brutsaert TD, Araoz M, Soria R, Spielvogel H, Haas JD (2000) Higher arterial oxygen saturation during submaximal exercise in Bolivian Aymara compared to European sojourners and Europeans born and raised at high altitude. *Am J Phys Anthropol* 113(2): 169-181.

Buchheit M, Mendez-Villanueva A, Quod MJ, Poulos, Bourdon P (2010) Determinants of the variability of heart rate measures during a competitive period in young soccer players. *Eur J Appl Physiol* 109(5): 869-878.

Buchheit M, Voss SC, Nybo L, Mohr M, Racinais S (2011) Physiological and performance adaptations to an in-season soccer camp in the heat: associations with heart rate and heart rate variability. *Scand J Med Sci Sports* 21: e477-e485.

Buchheit M, Simpson MB, Al Haddad H, Bourdon PC, Mendez-Villanueva A (2012a) Monitoring changes in physical performance with heart rate measures in young soccer players. *Eur J Appl Physiol* 112: 711–723.

Buchheit M, Simpson MB, Al Haddad H, Bourdon PC, Mendez-Villanueva A (2012b) Monitoring changes in physical performance with heart rate measures in young soccer players. *Eur J Appl Physiol* 112: 711–723.

Buchheit M, Simpson BM, Garvican-Lewis LA, Hammond K, Kley M, Schmidt WF, et al. (2013a) Wellness, fatigue and physical performance acclimatisation to a 2-week soccer camp at 3600m (ISA3600). *Br J Sports Med* 47: i100-i106.

Buchheit M, Racinais S, Bilsborough JC, Bourdon PC, Voss C, Hocking J (2013b) Monitoring fitness, fatigue and running performance during a pre-season training camp in elite football players. *J Sci Med Sport* 16(6): 550-555.

Buchheit M, Simpson BM, Schmidt W, Aughey RJ, Soria R, Hunt R, Garvican-Lewis LA, Pyne DB, Gore CJ, Bourdon PC (2013c) Predicting sickness during a 2-week soccer camp at 3600m (ISA3600). *Br J Sports Med* 47 Suppl 1: i124–i127.

Buchheit M (2014) Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome? *Front Physiol* 5: 73.

Buchheit M, Al Haddad H, Simpson BM, Palazzi D, Bourdon PC, Di Salvo V, Mendez-Villanueva A (2014) Monitoring accelerations with GPS in football: time to slow down? *Int J Sports Physiol Perform* 9(3): 442-445.

Buchheit M, Manouvrier C, Cassimare J, Morin JB (2015) Monitoring locomotor load in soccer: is metabolic power, powerful? *Int J Sports Med* 36(14): 1149-1155.

Budgett R, Newsholme E, Lehmann M, et al. (2000) Redefining the overtraining syndrome as the unexplained underperformance syndrome. *Br J Sports Med* 34: 67-68.

Bury T, Marechal R, Mahieu P, Pirnay F (1998) Immunological status of competitive football players during the training season. *Int J Sports Med* 19(5):364–368.

Bush MD, Archer DT, Hogg R, Bradley PS (2015) Factors influencing physical and technical variability in the English Premier League. *Int J Sports Physiol Perform* 10(7): 865-872.

C

- Campos Vazquez MA, Mendez-Villanueva A, Gonzalez-Jurado JA, Leon-Prados JA, Santalla A, Suarez-Arrones L (2015) Relationship between rating-of-perceived-exertion- and heart-rate-derived internal training load in professional soccer players: a comparison of on-field integrated training sessions. *Int J Sports Physiol Perform* 10(5): 587-592.
- Cancela P, Ohanian C, Cuitino E, Hackney AC (2008) Creatine supplementation does not affect clinical health marker in football players. *Br J Sports Med* 42:731–735.
- Carling C, Bloomfield J, Nelsen L, Reilly T (2008) The role of motion analysis in elite soccer: contemporary performance measurement techniques and work-rate data. *Sports Med* 38: 839-862.
- Carling C (2011) Influence of opposition team formation on physical and skill-related performance in a professional soccer team. *Eur J Sport Sci* 11(3): 155-164.
- Carling C, Dupont G (2011) Are declines in physical performance associated with a reduction in skill-related performance during professional soccer match-play. *J Sports Sci* 29(1) : 63-71.
- Carling C, Dupont G, Le Gall F (2011) The effect of cold environment on physical activity profiles in elite soccer match-play. *Int J Sports Med* 32(7): 542-545.
- Carling C, Dupont G, Le Gall F (2012) Are physical performance and injury risk in a professional soccer team in match-play affected over a prolonged period of fixture congestion ? *Int J Sports Med* 33(1): 36-42.
- Carling C (2013) Interpreting physical performance in professional soccer match-play: should we be more pragmatic in our approach? *Sports Med* 43: 655-663.
- Carling C, Gregson W, McCall A, Moreira A, Wong del P, Bradley PS (2015) Match running performance during fixture congestion in elite soccer: research issues and future directions. *Sports Med* 45(5): 605-613.
- Carling C, McCall A, Le Gall F, Dupont G (2016) The impact of short periods of match congestion on injury risk and patterns in an elite football club. *Br J Sports Med* 50(12): 764-768.
- Carmichael F, Thomas D (2005) Home-field effect and team performance : evidence from English premiership football. *J Sports Econ* 6(3): 264-281.
- Casamichana D, Castellano J, Castagna C (2012) Comparing the physical demands of friendly matches and small-sided games in semiprofessional soccer players. *J Strength Cond Res* 26: 837-843.
- Casamichana D, Castellano J, Calleja-Gonzalez J, San Roman J, Castagna C (2013) Relationship between indicators of training load in soccer players. *J Strength Cond Res* 27: 369-374.
- Casamichana D, Castellano J (2014) Variables contextuales y distancia recorrida en la copa mundial Sudafrica'10 / Situational variables and distance covered during the FIFA world cup South Africa 2010. *Rev Int Med Cienc Act Fis Deporte* 14(56): 603-617.

- Castagna C, Impellizzeri FM, Chaouchi A, Bourdon C, Manzi V (2011) Effect of training intensity distribution on aerobic fitness variables in elite soccer players: a case study. *J Strength Cond Res* 25(1):66-71.
- Castagna C, Varley M, Povoas Araujo SC, D'Ottavio S (2016) The evaluation of the match external load in soccer: methods comparison. *Int J Sports Physiol Perform* 6: 1-25.
- Castellano J, Casamichana D, Calleja-Gonzalez J, Roman JS, Ostojic SM (2011a) Reliability and accuracy of 10 Hz GPS devices for short-distance exercise. *J Sports Sci Med* 10(1): 233-234.
- Castellano J, Blanco-Villaseñor A, Álvarez D (2011b). Contextual variables and time-motion analysis in soccer. *Int J Sports Med* 32(6): 415-421.
- Castellano J, Casamichana D, Lago C (2012) The Use of match statistics that discriminate between successful and unsuccessful soccer teams. *J Hum Kin* 31: 139-147.
- Cervantes Blasquez JC, Rodas Font G, Capdevila Ortis L (2009) Heart-rate variability and precompetitive anxiety in swimmers. *Psicothema* 21:531–536.
- Chacon-Mikahil MP, Forti VA, Catai AM, Szrajter JS, Golfetti R, Martins LE, et al. (1998) Cardiorespiratory adaptations induced by aerobic training in middle-aged men: the importance of a decrease in sympathetic stimulation for the contribution of dynamic exercise tachycardia. *Braz J Med Biol Res* 31: 705-712.
- Chamari K, Padulo J (2015) ‘Aerobic’ and ‘anaerobic’ terms used in exercise physiology : a critical terminology reflection. *Sports Med Open* 1(1): 9.
- Chaouachi A, Manzi V, Chaalali A, Wong del P, Chamari K, Castagna C (2012) Determinants analysis of change-of-direction ability in elite soccer players. *J Strength Cond Res* 26(10): 2667-2676.
- Chen JL, Yeh DP, Lee JP, Chen CY, Huang CY, Lee SD, et al. (2011) Parasympathetic nervous activity mirrors recovery status in weightlifting performance after training. *J Strength Cond Res* 25(6): 1546-1552.
- Chtourou H, Hammouda O, Souissi H, Chamari K, Chaouachi A, Souissi N (2012a) Diurnal variations in physical performances related to football in young soccer players. *Asian J Sports Med* 3(3): 139-144.
- Chtourou H, Driss T, Souissi H, Gam A, Chaouachi A, Souissi N (2012b) The effect of strength training at the same time of the day on the diurnal fluctuations of muscular anaerobic performances. *J Strength Cond Res* 26(1): 217-225.
- Chtourou H, Souissi N (2012) The effect of training at a specific time of day: a review. *J Strength Cond Res* 26(7): 1984-2005.
- Clark SA, Bourdon PC, Schmidt W, Singh B, Cable G, Onus KJ, et al. (2007) The effect of acute simulated moderate altitude on power, performance and pacing strategies in well-trained cyclists. *Eur J Appl Physiol* 102: 45-55.

Clarke SR, Norman JM (1995) Home ground advantage of individual clubs in English soccer. *Statistician* 44: 509-521.

Collet C (2013) The possession game? A comparative analysis of ball retention and team success in European and international football, 2007-2010. *J Sports Sci* 31(2): 123-136.

Colombini A, Machado M, Lombardi G, Lanteri P, Banfi G (2014) Modifications of biochemical parameters related to protein metabolism and renal function in male soccer players after a match. *J Sports Med Phys Fitness* 54(5): 658-664.

Cometti G, Maffiuletti NA, Pousson M, Chatard JC, Maffuli N (2001) Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur French soccer players. *Int J Sports Med* 22(1): 45-51.

Coutts AJ, Slattery KM, Wallace LK (2007) Practical tests for monitoring performance, fatigue and recovery in triathletes. *J Sci Med Sport* 10(6): 372-381.

Coutts AJ, Reaburn P (2008) Monitoring changes in rugby league players' perceived stress and recovery during intensified training. *Percept Motor Skills* 106(3): 904-916.

Coutts AJ, Chamari K, Impellizzeri FM, Rampinini E (2008) Monitoring training in soccer: Measuring and periodising training. In D. Alexandre (Ed.), *De l'entraînement à la performance en football*. Bruxelles: de Boeck pp. 242–258.

Coutts AJ, Rampinini E, Castagna C, Marcora S, Impellizzeri FM (2009) Heart rate and blood lactate correlates of perceived exertion during small-sided soccer games. *J Sci Med Sport* 12(1): 79-84.

Coutts AJ, Duffield R (2010) Validity and reliability of GPS devices for measuring movement demands of team sports. *J Sci Med Sport* 13(1): 133-135.

Coutts AJ (2014) In the age of technology. Occam's razor still applies. *Int J Sports Physiol Perform* 9(5): 741.

Coutts AJ (2016) Fatigue in football: it's not a brainless task! *J Sports Sci* 34(14): 1296.

## **D**

Daanen HA, Lamberts RP, Kallen VL, Jin A, Van Meeteren NL (2012) A systematic review on heart-rate recovery to monitor changes in training status in athletes. *Int J Sports Physiol Perform* 7(3):251–260.

Dalen T, Ingebrigsten J, Ettema G, Hjelde GH, Wisloff U (2016) Player load, acceleration, and deceleration during forty-five competitive matches of elite soccer. *J Strength Cond Res* 30(2): 351-359.

Del Rio D, Stewart AJ, Pellegrini N (2005). A review of recent studies on malondialdehyde as toxic molecule and biological marker of oxidative stress. *Nutr Metab Cardiovasc Dis.* 15 (4): 316–28.

Dellal A (2008) Analysis of the soccer player's physical activity and of its consequences in the training: Special reference to the high intensity intermittent exercises and the small sided-games. Thesis of Physiology of Exercise, Strasbourg University, France.

- Dellal A, Chamari K, Pintus A, Girard O, Cotte T, Keller D (2008) Heart rate responses during small-sided games and short intermittent running training in elite soccer players: A comparative study. *J Strength Cond Res* 22: 1449-1457.
- Dellal A, Wong del P, Moalla W, Chamari K (2010a) Physical and technical activity of soccer players in the French first league – with special reference to their playing position. *Int SportMed J* 11(2): 278-290.
- Dellal A, Keller D, Carling C, Chaouachi A, Wong del P, Chamari K (2010b) Physiologic effects of directional changes in intermittent exercise in soccer players. *J Strength Cond Res* 24(12): 3219-3226.
- Dellal A, da Silva CD, Hill-Haas S, Wong del P, Natali AJ, De Lima JR, Bara Filho MG, Marins JJ, Garcia ES, Chamari K (2012) Heart rate monitoring in soccer: interest and limits during competitive match play and training, practical application. *J Strength Cond Res* 26(10): 2890-2906.
- Dellal A, Lago-Peñas C, Rey E, Chamari K, Orhant E (2015a) The effects of a congested fixture period on physical performance, technical activity and injury rate during matches in a professional soccer team. *Br J Sports Med* 49(6): 390-394.
- Dellal A, Casamichana D, Castellano J, Haddad M, Moalla W, Chamari K (2015b) Cardiac Parasympathetic Reactivation in Elite Soccer Players During Different Types of Traditional High-Intensity Training Exercise Modes and Specific Tests: Interests and Limits. *Asian J Sports Med* 6(4): e25723.
- Deschenes MR, Sharma JV, Brittingham KT, Casa DJ, Armstrong LE, Maresh CM (1998) Chronobiological effects on exercise performance and selected physiological responses. *Eur J Appl Physiol* 77: 249-256.
- di Prampero PE, Fusi S, Sepulcri L, Morin JB, Belli A, Antonutto G (2005) Sprint running: a new energetic approach. *J Exp Biol* 208(Pt 14): 2809-2816.
- Di Salvo V, Baron R, Tschan H, Calferon Montero FJ, Bachl N, Pigozzi F (2007) Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *Int J Sports Med* 28: 222-227.
- Di Salvo V, Gregson W, Atkinson G, Tordoff P, Drust B (2009) Analysis of high intensity activity in premier league soccer. *Int J Sports Med* 30: 205-212.
- Diaz del Campo DG, Gonzales Villora S, Garcia Lopez LM, Mitchell S (2011) Differences in decision-making development between expert and novice invasion game players. *Percept Mot Skills* 112(3): 871-888.
- Dill DB, Costill DL (1974) Calculation of percentage changes in volumes of blood, plasma, and red cells in dehydration. *J Appl Physiol* 37: 247-248.
- Djaoui L, Diaz-Cidoncha Garcia J, Hautier C, Dellal A (2016) Kinetic post-match fatigue in professional and youth soccer players during the competitive period. *Asian J Sports Med* 7(1): e28267.

Djaoui L, Chamari K, Owen A, Dellal A (2017) Maximal sprinting speed of elite soccer players during training and matches. *J Strength Cond Res* 31(6): 1509-1517.

Doucet C (2007). *Football: Entraînement tactique*. Paris: Editions Amphora.

Drew MK, Finch CF (2016) The relationship between training load and injury, illness and soreness: a systematic and literature review. *Sports Med* 46(6): 861-883.

Drust B, Waterhouse J, Atkinson G, Edwards B, Reilly T (2005) Circadian rhythms in sports performance - an update. *Chronobiol Int* 22: 21-44.

Drust B, Atkinson G, Reilly T (2007) Future perspectives in the evaluation of the physiological demands of soccer. *Sports Med* 37(9): 783-805.

Duffy LJ, Hinwood DP (1997) Home field advantage: does anxiety contribute? *Percept Mot Skills* 84(1): 283-287.

Dupont G, Nédélec M, Mc Call A, McCormack D, Berthoin S, Wisloff U (2010) Effect of 2 soccer matches in a week on physical performance and injury rate. *Am J Sports Med* 38: 1752-1758.

Dupuy O (2012) *La régulation autonome du myocarde et les performances cognitives sont-elles des outils valides de prévention du surentraînement?* Thèse de doctorat en Sciences et techniques des activités physiques et sportives, Université de Poitiers, France.

Durstine JL, Grandjean PW, Davis PG, Ferguson MA, Alderson NL, DuBose KD (2001) Blood lipid and lipoprotein adaptations to exercise: a quantitative analysis. *Sports Med* 31: 1033-1062.

Dvorak J, Racinais S (2010) Training and playing football in hot environments. *Scand J Med Sci Sports* 20 Suppl 3: iv-v.

## **E**

Edwards AM, Clark N, Macfadyen AM (2003) Lactate and ventilatory thresholds reflect the training status of professional soccer players where maximum aerobic power is unchanged. *J Sports Sci Med* 2: 23-29.

Edwards S (1993) High performance training and racing. In: Edwards S, ed. *The Heart Rate Monitor Book*. 8th ed. Sacramento, CA: Feet Fleet Press: 113-123.

Ehrmann FE, Duncan CS, Sindhusake D, Franzsen WN, Greene DA (2016) GPS and injury prevention in professional soccer. *J Strength Cond Res* 30(2): 360-367.

Ekblom B (1986) Applied physiology of soccer. *Sports Med* 3(1): 50-60.

Ekstrand J, Walden M, Hagglund M (2004) A congested football calendar and the wellbeing of players: correlation between match exposure of European footballers before the World Cup 2002 and their injuries and performances during that World Cup. *Br J Sports Med* 38: 493-497.

Eniseler N (2005) Heart rate and blood lactate concentrations as predictors of physiological load on elite soccer players during various soccer training activities. *J Strength Cond Res* 19(4): 799-804.

Esposito F, Impellizzeri FM, Margonato V, Vani R, Pizzini G, Veicsteinas A (2004) Validity of heart rate as an indicator of aerobic demand during soccer activities in amateur soccer players. *Eur J Appl Physiol* 93(1-2): 167-172.

## **F**

Fallon KE (2004) Utility of hematological and iron-related screening in elite athletes. *Clin J Sport Med* 14: 145-152.

Farrell PA, Wilmore JH, Coyle EF, Billing JE, Costill DL (1993) Plasma lactate accumulation and distance running performance. 1979. *Med Sci Sports Exerc* 25(10): 1091-1097:discussion 1089-1090.

Faude O, Koch T, Meyer T (2012) Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *J Sports Sci* 30(7): 625-631.

Favier R, Spielvogel H, Desplanches D, Ferretti G, Kayser B, Hoppeler H (1995) Maximal exercise performance in chronic hypoxia and acute normoxia in high-altitude natives. *J Appl Physiol* 78: 1868-1874.

Fernandez-Navarro J, Fradua L, Zubillaga A, Ford Pr, McRobert AP (2016) Attacking and defensive styles of play in soccer : analysis of Spanish and English elite teams. *J Sports Sci* 34(24): 2195-2204.

Fessi MS, Nourira S, Dellal A, Owen A, Elloumi M, Moalla W (2016) Changes of the psychophysical state and feeling of wellness of professional soccer players during pre-season and in-season periods. *Res Sports Med* 24(4): 375-386.

Filaire E, Bernain X, Sagnol M, Lac G (2001) Preliminary results on mood state, salivary testosterone:cortisol ratio and team performance in a professional soccer team. *Eur J Appl Physiol* 86(2): 179-184.

Filaire E, Lac G, Pequignot JM (2003) Biological, hormonal, and psychological parameters in professional soccer players throughout a competitive season. *Percept Mot Skills* 97(3 Pt 2): 1061-1072.

Folgado H, Duarte R, Marques P, Sampaio J (2015) The effects of congested fixtures period on tactical and physical performance in elite football. *J Sports Sci* 33(12): 1238-1247.

Forbes GB, Bruining GJ (1976) Urinary creatinine excretion and lean body mass. *Am J Clin Nutr* 29(12): 1359-1366.

Foster C, Daines E, Hector L, et al. (1996) Athletic performance in relation to training load. *Wis Med J* 95: 370-374.

Foster C (1998) Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome. *Med Sci Sports Exerc* 30: 1164-1168.

Foster C, Florhaug JA, Franklin J, Gottschall L, Hrovatin LA, Parker S, et al. (2001) A new approach to monitoring exercise training. *J Strength Cond Res* 15: 109-115.

Foster C, Hector LL, Welsh R, Schragger M, Green MA, Snyder AC (1995) Effects of specific versus cross-training on running performance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 70: 367-372.

Fowler P, Duffield R, Waterson A, Vaile J (2015) Effects of regular away travel on training loads, recovery, and injury rates in professional Australian soccer players. *Int J Sports Physiol Perform* 10(5): 546-552.

Fowler P, McCall A, Jones M, Duffield R (2017) Effects of long-haul transmeridian travel on player preparedness: Case study of a national team at the 2014 FIFA World Cup. *J Sci Med Sport* 20(4): 322-327.

Franks IM, Partridge D, Nagelkerke P (1990) World Cup 90: A Computer Assisted Technical Analysis of Team Performance. Technical Report for the Canadian Soccer Association.

Freitas CG, Aoki MS, Franciscan CA, Arruda AF, Carling C, Moreira A (2014) Psychological responses to overloading and tapering phases in elite young soccer players. *Pediatr Exerc Sci* 26(2): 195-202.

## **G**

Gabbett T (2016) The training-injury prevention paradox: should athletes be training smarter and harder? *Br J Sports Med* 50(5): 273-280.

Galloway SD, Maughan RJ (1997) Effects of ambient temperature on the capacity to perform prolonged cycle exercise in man. *Med Sci Sports Exerc* 29(9): 1240-1249.

Garcia MS, Aguilar OG, Marques PS, Tobio GT, Fernandez Romero JJ (2013) Calculating home advantage in the first decade of the 21st century UEFA soccer leagues. *J Hum Kinet* 38: 141-150.

Gatti R, De Palo EF (2011) An update: salivary hormones and physical exercise. *Scand J Med Sci Sports* 21(2): 157-169.

Gaudino P, Iaia FM, Alberti G, Sturdwick AJ, Atkinson G, Gregson W (2013) Monitoring training in elite soccer players: a systematic bias between running speed and metabolic power data. *Int J Sports Med* 34: 963-968.

Gaudino P, Iaia FM, Sturdwick AJ, Hawkins RD, Alberti G, Atkinson G, Gregson W (2015) Factors influencing perception of effort (session rating of perceived exertion) during elite soccer training. *Int J Sports Physiol Perform* 10: 860-864.

Gharbi A, Chamari K, Kallel A, Ahmaidi S, Tabka Z, Zbidi A (2008) Lactate kinetics after intermittent and continuous exercise training. *J Sport Sci Med* 7: 279-285.

Gifford LS (1987) Circadian variation in human flexibility and grip strength. *Aust J Physiother*. 33: 3-9.

Gil-Rey E, Lezaun A, Los Arcos A (2015) Quantification of the perceived training load and its relationship with changes in physical fitness performance in junior soccer players. *J Sports Sci* 33(20): 2125-2132.

Gjaka M, Tschan H, Francioni FM, Tishkuaj F, Tessitore A (2016) Monitoring of loads and recovery perceived during weeks with different schedule in young soccer players. *Kinesiological Slovenica* 22(1): 16-26.

Gomez-Piriz PT, Jiménez-Reyes P, Ruiz-Ruiz C (2011) Relation between total body load and session rating of perceived exertion in professional soccer players. *J Strength Cond Res* 25(8): 2100-2103.

Gonçalves BV, Figueira BE, Maçãs V, Sampaio J (2014) Effect of player position on movement behaviour, physical and physiological performances during an 11-a-side football game. *J Sport Sci* 32: 191-199.

Gore CJ, McSharry PE, Hewitt AJ, Saunders PU (2008) Preparation for football competition at moderate to high altitude. *Scand J Med Sci Sports* 18 Suppl 1: 85-95.

Goumas C (2014) Home advantage and referee bias in European football. *Eur J Sport Sci* 14 Suppl 1: S243-S249.

Grantham J, Cheung SS, Connes P, Febbraio MA, Gaoua N, Gonzalez-Alonso J, et al. (2010) Current knowledge on playing football in hot environment. *Scand J Med Sci Sports* 20 Suppl 3: 161-167.

Gregson W, Drust B, Atkinson G, Salvo VD (2010) Match-to-match variability of high-speed activities in premier league soccer. *Int J Sports Med* 31(4): 237-242.

Grehaigne J-F (1999) Systemic approach and soccer. In *Notation of Sport III* (edited by M. Hughes), pp. 1 – 8. Cardiff: Centre for Performance Analysis, UWIC.

Greig M, McNaughton L (2014) Soccer-specific fatigue decreases reactive postural control with implications for ankle sprain injury. *Res Sports Med* 22(4): 368-379.

## **H**

Hackney AC, Viru A (2008) Research methodology: issues with endocrinological measurements in exercise science and sports medicine. *J Athl Train* 43: 631–639.

Haddad M, Chaouachi A, Wong del P, Castagna C, Hambli M, Hue O, Chamari K (2013a) Influence of fatigue, stress, muscle soreness and sleep on perceived exertion during submaximal effort. *Physiol Behav* 119: 185-189.

Haddad M, Chaouachi C, Castagna C, Hue O, Wong DP, Tabben M, et al. (2013b) Validity and psychometric evaluation of the French version of RPE scale in young fit males when monitoring training loads. *Sci Sports* 28(2): e29-e35.

Haddad M, Padulo J, Chamari K (2014) The usefulness of session rating of perceived exertion for monitoring training load despite several influences on perceived exertion. *Int J Sports Physiol Perform* 9(5): 882-883.

Halsen SL (2014) Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports Med* 44 Suppl 2: S139-S147.

- Halson SL, Bridge MW, Meeusen R, Busschaert B, Gleeson M, Jones DA, and Jeukendrup AE (2002) Time course of performance changes and fatigue markers during intensified training in cyclists. *J Appl Physiol* 93(3): 947-956.
- Hammouda O, Chtourou H, Chahed H, Ferchichi S, Kallel C, Miled A, et al. (2011) Diurnal variations of plasma homocysteine, total antioxidant status, and biological markers of muscle injury during repeated sprint: effect on performance and muscle fatigue--a pilot study. *Chronobiol Int* 28(10): 958-967.
- Hammouda O, Chtourou H, Farjallah MA, Davenne D, Souissi N (2012) The effect of Ramadan fasting on the diurnal variations in aerobic and anaerobic performances in Tunisian youth soccer players. *Biol Rhythm Res* 43: 177-190.
- Hammouda O, Chtourou H, Chaouachi A, Chahed H, Bellimem H, Chamari K, Souissi N (2013) Time-of-day effects on biochemical responses to soccer-specific endurance in elite Tunisian football players. *J Sports Sci* 31(9): 963-971.
- Hansen L, Klausen K (2004) Development of aerobic power in pubescent male soccer players related to hematocrit, hemoglobin and maturation. A longitudinal study. *J Sports Med Phys Fitness* 44(3):219–223.
- Hardy CJ, Rejeski WJ (1989) Not what, but how one feels: The measurement of affect during exercise. *J Sport Exerc Psychol* 11: 304-317.
- Hatamoto Y, Yamada Y, Fujii T, Higaki Y, Kiyonaga A, Tanaka H (2013) A novel method for calculating the energy cost of turning during running. *Open Access J Sports Med* 4: 117-122.
- Haus E, Lakatua D, Jacqueline S, Sackett-Lundeen L (1983) Chronobiology in hematology and immunology. *Am J Anat* 168: 467-517.
- Hayes LD, Bickerstaff GF, Baker JS (2010) Interactions of cortisol, testosterone, and resistance training: influence of circadian rhythms. *Chronobiol Int* 27(4): 675-705.
- Heisterberg MF, Fahrenkrug J, Andersen JL (2014) Multiple blood samples in elite soccer players. Is it worthwhile? *J Sports Sci* 32(13): 1324-1327.
- Heisterberg MF, Fahrenkrug J, Krstrup P, Storskov A, Kjaer M, Andersen JL (2013) Extensive Monitoring Through Multiple Blood Samples in Professional Soccer Players. *J Strength Cond Res* 27(5): 1260-1271.
- Helgerud J, Engen LC, Wisloff U, Hoff J (2001) Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med Sci Sports Exerc* 33: 1925-1931.
- Hewitt A, Norton K, Lyons K (2014) Movement profiles of elite women soccer players during international matches and the effect of opposition's team ranking. *J Sports Sci* 32(20): 1874-1880.
- Hill-Haas SV, Dawson B, Impellizzeri FM, Coutts AJ (2011) Physiology of small-sided games training in football: a systematic review. *Sports Med* 41(3): 199-220.

Hochachka PW, Stanley C, Matheson GO, McKenzie DC, Allen PS, Parkhouse WS (1991) Metabolic and work efficiencies during exercise in Andean natives. *J Appl Physiol* 70: 1720-1730.

Hodgson C, Akenhead R, Thomas K (2014) Time-motion analysis of acceleration demands of 4v4 small-sided soccer games played on different pitch sizes. *Hum Mov Sci* 33: 25-32.

Hoogeveen AR, Zonderland ML (1996) Relationships between testosterone, cortisol and performance in professional cyclists. *Int J Sports Med* 17(6):423–428.

Hooper SL, Mackinnon LT (1995) Monitoring over-training in athletes: Recommendations. *Sports Med* 20: 321-327.

Hughes MD, Robertson K, Nicholson A (1988) An analysis of the 1984 World Cup of Association Football. In *Science and Football* (edited by T. Reilly, A. Lees, K. Davids and W. Murphy), pp. 363 – 367. London: E & FN Spon.

Hughes MD, Bartlett RM (2002) The use of performance indicators in performance analysis. *J Sports Sci* 20: 739-754.

Hughes M, Churchill S (2005) Attacking profiles of successful and unsuccessful teams in Copa America 2001. In T. Reilly, J. Cabri & D. Araujo (Eds.), *Science and football V* (pp. 219–224). London: Routledge.

Hughes M, Franks I (2005) Analysis of passing sequences, shots and goals in soccer. *J Sports Sci* 23(5): 509-514.

Hughes M, Snook N (2006) Effectiveness of attacking play in the 2004 European Championships. Paper presented at the World Congress of Performance Analysis of Sport 7, Szombathely, Hungary.

Huikuri HV, Seppanen T, Koistinen MJ, Airaksinen J, Ikaheimo MJ, Castellanos A, et al. (1996) Abnormalities in beat-to-beat dynamics of heart rate before the spontaneous onset of life-threatening ventricular tachyarrhythmias in patients with prior myocardial infarction. *Circ* 93:1836–1844.

## **I**

Impellizzeri FM, Rampinini E, Coutts AJ, Sassi A, Marcora SM (2004) Use of RPE-based training load in soccer. *Med Sci Sports Exerc* 36(6) : 1042-1047.

## **J**

Jackson KA, O'Rourke KM, Kark A, Kennedy GA (2010) Artefactual elevation of creatinine due to creatine water supplements. *Med J Aust* 193(10):616–617.

Jacquet A, Morlans J, Blaquart F, Domenech R, Doyen J, Dusseau C, et al. (2002) *Analyses et enseignements de la coupe du monde 2002*. Paris: CTNFS and FFF, Marszaleket Le Guillard Editions.

James N, Mellalieu SD, Hollely C (2002) Analysis of strategies in soccer as a function of European and domestic competition. *Int J Perform Anal Sport* 2(1): 85-103.

Jamurtas AZ, Douroudos II, Deli CK, Draganidis D, Chatzinikolaou A, Mohr M, Avloniti A, Barbero-Álvarez JC, Margonis K, Mavropalias G, Stampoulis T, Giannakidou D, Flouris AD, Koutedakis Y, Fatouros IG (2015) Iron status markers are only transiently affected by a football game. *J Sports Sci* 33(20): 2088–2099.

Jeong TS, Reilly T, Morton J, Bae SW, Drust B (2011) Quantification of the physiological loading of one week of “pre-season” and one week of “in-season” training in professional soccer players. *J Sports Sci* 29: 1161-1166.

Jinshen AX, Xioke C, Yamonakak K, Matsumoto M (1991) Analysis of the goals in the 14th World Cup. In: Reilly T, Leeds A, Davids K, Murphy WJ, eds. *Science and football*. London: E & FN Spon, 203-205.

Jones P, James N, Mellalieu SD (2004) Possession as a performance indicator in soccer. *Int J Perform Anal Sport* 4(1): 98-102.

## **K**

Kanabrocki EL, Sothorn RB, Scheving LE, Vesely DL, Tsai TH, Shelstad J, et al. (1990) Reference values for circadian rhythms of 98 variables in clinically healthy men in fifth decade of life. *Chronobiol Int* 7: 445-461.

Kanabrocki EL, Dennis M, Ramon C, Gwen S, Fraser Bremner W, May D, et al. (2002) Circadian variation in oxidative stress markers in healthy and type II diabetic. *Chronobiol Int* 19: 423-439.

Karvonen, MJ, Kentala, E, Mustala, O (1957) The effects of training on heart rate; a longitudinal study. *Ann Med Exp Biol Fenn* 35(3): 307-315.

Kellmann M, Kallus KW (2001) *Recovery-stress questionnaire for athletes: User manual*. Champaign, IL: Human Kinetics.

Kellmann M (2010) Preventing overtraining in athletes in high-intensity sports and stress/recovery monitoring. *Scand J Med Sci Sports* 20(Suppl 2): 95-102.

Kellmann M, Bertollo M, Bosquet L, et al. (2018) Recovery and performance in sport : consensus statement. *Int J Sports Physiol Perform* 19: 1-6.

Kelly VG, Coutts AJ (2007) Planning and monitoring training loads during the competition phase in team sports. *Strength Cond J* 29: 32-37.

Kelly VG, Scott MTU, Scott TJU (2014) The validity and reliability of global positioning systems in team sport: a brief review. *J Austr Strength Con* 22(5): 186-190.

Kiely J (2012) Periodization paradigms in the 21st century: evidence-led or tradition-driven? *Int J Sports Physiol Perform* 7: 242-250.

Kilgour RD, Gariépy P, Rehel R (1993) Cardiovascular responses during recovery from exercise and thermal stress. *Aviat Space Environ Med* 64(3 Pt 1): 224-229.

Kiviniemi A, Hautala A, Kinnunen H, Tulppo M (2007) Endurance training guided individually by daily heart rate variability measurements. *Eur J Appl Physiol* 101(6): 743-751.

Kiviniemi AM, Hautala AJ, Kinnunen H, Nissila J, Virtanen P, Karjalainen J, et al. (2010) Daily exercise prescription on the basis of HR variability among men and women. *Med Sci Sports Exerc* 42(7): 1355-1363.

Konefal M, Chmura P, Andrzejewski M, Chmura J (2014) Analysis of motor performance of professional soccer players in different environmental conditions. *Trends Sport Sci* 4(21): 221-227.

Kraemer WJ, French DN, Paxton NJ, Häkkinen K, Volek JS, Sebastianelli WJ, et al. (2004) Changes in exercise performance and hormonal concentrations over a big ten soccer season in starters and nonstarters. *J Strength Cond Res* 18(1): 121-128.

Krustrup P, Mohr M, Steensberg A, Bencke J, Kjaer M, Bangsbo J (2006) Muscle and blood metabolites during a soccer game: implications for sprint performance. *Med Sci Sports Exerc* 38: 1165-1174.

## L

Lago C (2009) The influence of match location, quality of opposition, and match status on possession strategies in professional association. *J Sports Sci* 27(13): 1463-1469.

Lago C, Martin R (2007) Determinants of possession of the ball in soccer. *J Sports Sci* 25(9): 969-974.

Lago C, Casais L, Dominguez E, Sampaio J (2010) The effects of situational variables on distance covered at various speeds in elite soccer. *Eur J Sport Sci* 10(2): 103-109.

Lago-Ballesteros, Lago-Peñas C, Rey E (2012) Effect of playing tactics and situational variables on achieving box-to-box possessions in a professional soccer team. *J Sports Sci* 30(14): 1455-1461.

Lago-Peñas C, Dellal A (2010) Ball possession strategies in elite soccer according to the evolution of match score: the influence of situational variables. *J Hum Kin* 25(1): 93-100.

Lago-Peñas C, Lago-Ballesteros J (2011) Game location and team quality effects on performance profiles in professional soccer. *J Sports Sci Med* 10(3): 465-471.

Lago-Peñas C, Lago-Ballesteros J, Rey E (2011) Differences in performance indicators between winning and losing teams in the UEFA Champions League. *J Hum Kin* 27: 135-146.

Lago-Peñas C (2012) The role of situational variables in analysing physical performance in soccer. *J Hum Kinet* 35: 89-95.

Lamberts RP, Lemmink KA, Durandt JJ, Lambert MI (2004) Variation in heart rate during submaximal exercise: implication for monitoring training. *J Strength Cond Res* 18(3): 641-645.

Landahl G, Adolfsson P, Borjesson M, Mannheimer C, Rodjer S (2005) Iron deficiency and anemia: A common problem in female elite soccer players. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 15(6): 689-694.

Lazarim FL, Antunes-Neto JM, Da Silva FO, Nunes LA, Bassini-Cameron A, Cameron LC, Alves AA, Brenzikofer R, De Macedo DV (2009) The upper values of plasma creatine kinase

of professional soccer players during the Brazilian National Championship. *J Sci Med Sport* 12(1): 85-90.

Liederbach M, Gleim GW, Nicholas JA (1992) Monitoring training status in professional ballet dancers. *J Sports Med Phys Fitness* 32(2): 187-195.

Lima-Oliveira G, Volanski W, Lippi G, Pichetch G, Guidi GC (2017) Pre-analytical phase management from patient preparation to laboratory analysis. *Scand J Clin Lab Invest* 77(3): 153-163.

Lindsay A, Costello JT (2017) Realising the potential of urine and saliva diagnostic tools in sport and exercise medicine. *Sports Med* 47(1): 11-31.

Link D, de Lorenzo MF (2016) Seasonal pacing - match importance affects activity in professional soccer. *PLoS ONE* 11(6): e0157127.

Link D, Weber H (2017) Effect of ambient temperature on pacing in soccer depends on skill level. *J Strength Cond Res* 31(7): 1766-1770.

Liu H, Gomez MA, Lago-Peñas C, Sampaio J (2015) Match statistics related to winning in the group stage of 2014 FIFA World Cup. *J Sports Sci* 33(12): 1205-1213.

Liu H, Gomez MA, Gonçalves B, Sampaio J (2016) Technical performance and match-to-match variation in elite football teams. *J Sports Sci* 34(6): 509-518.

Lombardi G, Vitale JA, Logoluso S, Logoluso G, Cocco G, Cocco A, Banfi G (2017) Circannual rhythm of plasmatic vitamin D levels and the association with markers of psychophysical stress in a cohort of Italian professional soccer players. *Chronobiol Int* 34(4): 471-479.

Los Arcos A, Martínez-Santos R, Yanci J, Mendiguchia J, Mendez-Villanueva A (2015) Negative associations between perceived training load, volume and changes in physical fitness in professional soccer players. *J Sports Sci Med* 14: 394-401.

Los Arcos A, Mendez-Villanueva A, Yanci J, Martínez-Santos R (2016) Respiratory and muscular perceived exertion during official games in professional soccer players. *Int J Sports Physiol Perform* 11(3): 301-304.

## **M**

Machado JC, Barreira D, Garganta J (2014) The influence of match status on attacking patterns of play in elite soccer teams. *Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum* 16(5): 545-554.

Mackenzi R, Cushion C (2013) Performance analysis in football: a critical review and implications for future research. *J Sports Sci* 31(6): 639-676.

MacKinnon LT (2000) Special feature for the Olympics: effects of exercise on the immune system: overtraining effects on immunity and performance in athletes. *Immunol Cell Biol* 78(5):502-509.

- Magal M, Webster MJ, Sistrunk LE, Whitehead MT, Evans RK, Boyd JC (2003) Comparison of glycerol and water hydration regimens on tennis-related performance. *Med Sci Sports Exer* 35: 150-156.
- Malm C, Ekblom O, Ekblom B (2004) Immune system alteration in response to two consecutive soccer games. *Acta Physiol Scand* 180: 143-155.
- Malone JJ, Di Michele R, Morgans R, Burgess D, Morton JP, Drust B (2015) Seasonal training-load quantification in elite English premier league soccer players. *Int J Sports Physiol Perform* 10(4): 489-497.
- Malone S, Owen A, Nexton M, Mendes B, Collins KD, Gabbett TJ (2017) The acute:chronic workload ratio in relation to injury risk in professional soccer. *J Sci Med Sport* 20(6): 561-565.
- Mann T, Lamberts RP, Lambert MI (2013) Methods of prescribing relative exercise intensity: physiological and practical considerations. *Sports Med* 43(7): 613-625.
- Manna I, Khanna GL, Chandra Dhara P (2010) Effect of training on physiological and biochemical variables of soccer players of different age groups. *Asian J Sports Med* 1(1):5-22.
- Manzi V, Bovenzi A, Impellizzeri FM, Carminati I, Castagna C (2013) Individual training-load and aerobic fitness variables in premiership soccer players during the precompetitive season. *J Strength Cond Res* 27(3): 631-636.
- Manzi V, Impellizzeri F, Castagna C (2014) Aerobic fitness ecological validity in elite soccer players: A metabolic power approach. *J Strength Cond Res* 28: 914-919.
- Martin A, Carpentier A, Guissard N, Van Hoecke J, Duchateau J (1999) Effect of time of day on force variation in a human muscle. *Muscle Nerve* 22: 1380-1387.
- Maso F, Lac G, Filaire E, Michaux O, Robert A (2004) Salivary testosterone and cortisol in rugby players: correlation with psychological overtraining items. *Br J Sports Med* 38(3):260–263.
- Maughan RJ, Shirreffs SM (2010a) Dehydration and rehydration in competitive sport. *Scand J Med Sci Sports* 20(Suppl 3): 40-47.
- Maughan R, Shirreffs S (2010b) Development of hydration strategies to optimize performance for athletes in high-intensity sports and in sports with repeated intense efforts. *Scand J Med Sci Sports* 20: 59-69.
- Maughan R, Shirreffs S, Ozgunen KT, Kurdak SS, Ersoz G, Binnet, Dvorak J (2010) Living, training and playing in the heat: challenges to the football player and strategies for coping with environmental extremes. *Scand J Med Sci Sports* 20 Suppl 3: 117-120.
- McGarry T, Anderson DI, Wallace SA, Hughes MD, Franks IM (2002) Sport competition as a dynamical self-organizing system. *J Sports Sci* 20(10): 771-781.

- McGregor SJ, Nicholas CW, Lakomy HKA, Williams C (1999) The influence of intermittent high-intensity shuttle running and fluid ingestion on the performance of soccer skill. *J Sports Sci* 17: 895-903.
- McGuckin TA, Sinclair WH, Sealey RM, Bowman P (2014) The effects of air travel on performance measures of elite Australian rugby league players. *Eur J Sports Sci* 14 Suppl 1: S116-S122.
- McMillan K, Helgerud J, Grant S J, Newell J, Wilson J, Macdonald R, Hoff J (2005) Lactate threshold responses to a season of professional British youth soccer. *Br J Sports Med* 39: 432-436.
- McMorris T, Rayment T (2007) Short-duration, high-intensity exercise and performance of a sports-specific skill: A preliminary study. *Percept Mot Skills* 105: 523-530.
- McNair D, Lorr M, Droppleman L (1971) Manual for the profile of mood state. Educational and Industrial Testing Service, San Diego, Calif.
- McSharry PE (2007) Effect of altitude on physiological performance: a statistical analysis using results of international football games. *Br Med J* 335(7633): 1278-1281.
- Meerson FZ, Chashchina ZV (1978) Effect of adaptation to physical loads on the contractile function and mass of the left ventricle of the heart. *Kardiologiya* 18(9): 111-118.
- Meeusen R, Duclos M, Foster C, et al. (2013) Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: joint consensus statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. *Med Sci Sports Exerc* 45: 186-205.
- Meister S, Aus der Fütten K, Meyer T (2014) Repeated monitoring of blood parameters for evaluating strain and overload in elite football players: is it justified? *J Sports Sci* 32(13): 1328-1331.
- Meyer T, Meister S (2011) Routine blood parameters in elite soccer players. *Int J Sports Med* 32(11):875–881.
- Milanez VF, Ramos SP, Okuno NM, Boullosa DA, Nakamura FY (2014) Evidence of a non-linear dose-response relationship between training load and stress markers in elite female futsal players. *J Sports Sci Med* 13(1): 22-29.
- Moalla W, Fessi MS, Farhat F, Nouira S, Wong DP, Dupont G (2016) Relationship between daily training load and psychometric status of professional soccer players. *Res Sports Med* 24(4): 387-394.
- Mohr M, Krstrup P, Bangsbo J (2003) Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J Sports Sci* 21: 439-449.
- Mohr M, Krstrup P, Nybo L, Nielsen JJ, Bangsbo J (2004) Muscle temperature and sprint performance during soccer matches—beneficial effects of re-warm-up at half time. *Scandinavian J Med Sci Sports* 14: 156-162.
- Mohr M, Krstrup P, Bangsbo J (2005) Fatigue in soccer: A brief review. *J Sports Sci* 23: 593-599.

Mohr M, Mujika I, Santisteban J, Randers MB, Bischoff R, Solano R, et al. (2010) Examination of fatigue development in elite soccer in a hot environment: a multi-experimental approach. *Scand J Med Sci Sports* 20 Suppl 3: 125-132.

Mohr, M, Draganidis, D, Chatzinikolau, A, Barbero-Alvarez, JC, Castagna, C, Douroudos, I, et al. (2016) Muscle damage, inflammatory, immune and performance responses to three games in 1 week in competitive male players. *Eur J Appl Physiol* 116(1): 179-193.

Montgomery PG, Pyne DB, Minahan CL (2010) The physical physiological demands of basketball training and competition. *Int J Sports Physiol Perform* 5(1): 75-86.

Moreira A, Arsati F, de Oliveira Lima-Arsati YB, Simoes AC, de Araujo VC (2011) Monitoring stress tolerance and occurrences of upper respiratory illness in basketball players by means of psychometric tools and salivary biomarkers. *Stress Health* 27: e166–e172.

Moreira A, de Moura NR, Coutts A, Costa EC, Kempton T, Aoki MS (2013) Monitoring internal training load and mucosal immune responses in futsal athletes. *J Strength Cond Res* 27(5):1253–1259.

Moreira A, Bradley P, Carling C, Arruda AF, Spigolon LM, Fancisco C, Aoki MS (2016) Effect of a congested match schedule on immune-endocrine responses, technical performance and session-RPE in elite youth soccer players. *J Sports Sci* 34(24): 2255–2261.

Moreno JA, González D, Martínez C, Alonso N, López M (2008) Psychometric properties of the Physical Activity Enjoyment Scale (PACES) in the Spanish context. *Estud Psicol* 29: 173-180.

Morgan WP (1980) Test of champions. *Psychol Today* 14: 92-108.

Morris C (1977) The most important points in tennis. *Optimal strategies in sports*. 5: 131-140.

Morton RH (1997) Modelling training and overtraining. *J Sports Sci* 15:335–40.

Mougios V (2007) Reference intervals for serum creatine kinase in athletes. *Br J Sports Med* 41(10):674–678.

Mujika I, Padilla S (2003) Scientific bases for precompetition tapering strategies. *Med Sci Sports Exer* 35(7): 1182-1187.

## N

Nakamura D, Akimoto T, Waku T, Suzuki S, Kono J (2006) Daily changes of salivary secretory immunoglobulin A and appearance of upper respiratory symptoms during physical exercise. *J Sports Med Phys Fitness* 46:152–157.

Naranjo J, De la Cruz B, Sarabia E, De Hoyo M, Domínguez-Cobo S (2015) Heart Rate Variability: a Follow-up in Elite Soccer Players Throughout the Season. *Int J Sports Med* 36(11):881–886.

Neave N, Wolfson S (2003) Testosterone, territoriality, and the 'home advantage'. *Physiol Behav* 78: 269-275.

Nédélec M, Halson S, Abaidia AE, Ahmaidi S, Dupont G (2015a) Stress, sleep and recovery in elite soccer: A critical review of the literature. *Sports Med* 45: 1387-1400.

Nédélec M, Halson S, Delecroix B, Abaidia AE, Ahmaidi S, Dupont G (2015) Sleep hygiene and recovery strategies in soccer players. *Sports Med* 45(11): 1547-1559.

Nevill AM, Newell SM, Gale S (1996) Factors associated with home advantage in English and Scottish soccer matches. *J Sports Sci* 14(2): 181-186.

Neville V, Gleeson M, Folland JP (2008) Salivary IgA as a risk factor for upper respiratory infections in elite professional athletes. *Med Sci Sports Exerc* 40: 1228-1236.

Newham DJ, Jones DA, Edwards RH (1986) Plasma creatine kinase changes after eccentric and concentric contractions. *Muscle Nerve* 9(1):59-63.

Nicholls AR, Backhouse SH, Polman RC, McKenna J (2009) Stressors and affective states among professional rugby union players. *Scand J Med Sci Sports* 19(1): 121-128.

Nimmo M (2004) Exercise in the cold. *J Sports Sci* 22(10): 898-915.

Nybo L (2008) Hyperthermia and fatigue. *J Appl Physiol* 104(3): 871-878.

Nybo L (2010) Cycling in the heat: performance perspectives and cerebral challenges. *Scand J Med Sci Sports* 20 Suppl 3: 71-79.

## **O**

O'Connor PJ, and Puetz TW (2005) Chronic physical activity and feelings of energy and fatigue. *Med Sci Sports Exerc* 37: 299-305.

O'Donoghue PG, Tenga A (2001) The effect of score-line on work rate in elite soccer. *J Sports Sci* 19: 25-26.

Ohkuwa T, Itoh H, Yamazaki Y, Sato Y (1995) Salivary and blood lactate after supramaximal exercise in sprinters and long-distance runners. *Scand J Med Sci Sports* 5(5): 285-290.

Oliveira RS, Leicht AS, Bishop D, Barbero-Alvarez JC, Nakamura FY (2013) Seasonal Changes in Physical Performance and Heart Rate Variability in High Level Futsal Players. *Int J Sports Med* 34(5):424–430.

Olsen E (1988) An analysis of goal scoring strategies in the world championship in Mexico, 1986. In: Reilly T, Lees A, Murphy WJ, editors. *Science and Football*. London (UK): E and FN Spon: 373-376.

Olsen E, Larsen O (1997) Use of match analysis by coaches. In *Science and Football III* (edited by T. Reilly, J. Bangsbo and M.D. Hughes), pp. 209 ± 220. London: E & FN Spon.

Osgnach C, Poser S, Bernardini R, Rinaldo R, di Prampero, PE (2010) Energy cost and metabolic power in elite soccer: A new match analysis approach. *Med Sci Sports Exerc* 42: 170-178.

Ostojic SM, Ahmetovic Z (2009) Indicators of iron status in elite soccer players during the sports season. *Int J Lab Hematol* 31(4):447–452.

Ouerghi N, Khammassi M, Boukorraa S, Feki M, Kaabachi N, Bouassida A (2014) Effects of a high-intensity intermittent training program on aerobic capacity and lipid profile in trained subjects. *Open Access J Sports Med* 5:243–248.

Owen AL, Forsyth JJ, Wong DP, Dellal A, Connelly S, Chamari K (2015) Heart rate' based training intensity and its impact on injury incidence amongst elite level professional soccer players. *J Strength Cond Res* 29(6): 1705-1712.

Owen AL, Wong DP, Dunlop G, Groussard C, Kebsi W, Dellal A, et al. (2016) High intensity training and salivary immunoglobulin-a responses in professional top-level soccer players: effect of training intensity. *J Strength Cond Res* 30(9): 2460-2469.

Ozgunen KT, Kurdak SS, Maughan RJ, Zeren C, Korkmaz S, Yazici Z, et al. (2010) Effect of hot environmental conditions on physical activity patterns and temperature response of football players. *Scand J Med Sci Sports* 20 Suppl 3: 140-147.

## **P**

Pagani M, Lombardi F, Guzzetti S, Rimoldi O, Furlan R, Pizzinelli P, et al. (1986) Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympatho-vagal interaction in man and conscious dog. *Circ Res* 59(2): 178-193.

Paixão P, Sampaio J, Almeida C, Duarte R (2015) How does match status affects the passing sequences of top-level European soccer teams ? *Int J Perform Anal Sport* 15(1): 229-240.

Partridge D, Franks IM (1989a) A detailed analysis of crossing opportunities from the 1986 World Cup (Part I). *Soccer J* May - June: 47-50.

Partridge D, Franks IM (1989b) A detailed analysis of crossing opportunities from the 1986 World Cup (Part II). *Soccer J* June - July: 45-48.

Passelergue P, Lac G (1999) Saliva cortisol, testosterone and T/C ratio variations during a wrestling competition and during the post-competitive recovery period. *Int J Sports Med* 20(2): 109-113.

Paul DJ, Bradley PS, Nassis GP (2015) Factors affecting match running performance of elite soccer players : shedding some light on the complexity. *Int J Sports Physiol Perform* 10, 516-519.

Penttila J, Helminen A, Jartti T, Kuusela T, Huikuri HV, Tulppo MP, et al. (2001) Time domain, geometrical and frequency domain analysis of cardiac vagal outflow: effects of various respiratory patterns. *Clin Physiol* 21:365–376.

Pfitzinger P, Freedson, PS (1998) The reliability of lactate measurements during exercise. *Int J Sports Med* 19:349–357.

Plews DJ, Laursen PB, Stanley J, Kilding AE, Buchheit M (2013) Training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes: opening the door to effective monitoring. *Sports Med* 43(9): 773-781.

Plews DJ, Laursen PB, Le Meur Y, Hausswirth C, Kilding AE, Buchheit M (2014) Monitoring training with heart rate-variability: how much compliance is needed for valid assessment? *Int J Sports Physiol Perform* 9(5): 783-790.

Plowman AS, Smith DL (2003) Physiological effects of overtraining and detraining. In *Exercise Physiology for Health, Fitness and Performance*. 2th ed, San Francisco: Benjamin Cummings Publishing.

Pollard R (1986) Soccer performance analysis and its application to shots at goal. *Res Biannual Mov* 4: 19-27.

Pollard R, Gomez MA (2009) Home advantage in football in South-West Europe: long trends, regional variation, and team differences. *Eur J Sport Sci* 9(6): 341-352.

Pollard R, Gomez MA (2014) Comparison of home advantage in men's and women's football leagues in Europe. *Eur J Sport Sci* 14 Suppl 1: S77 :S83.

Portas MD, Harley JA, Barnes CA, Rush CJ (2010) The validity and reliability of 1-Hz and 5-Hz global positioning systems for linear, multidirectional, and soccer-specific activities. *Int J Sports Physiol Perform* 5: 448-458.

Poulter DR (2009) Home advantage and player nationality in international club football. *J Sports Sci* 27(8): 797-805.

Pratas J, Volossovitch A, Ferreira AP (2012) The effect of situational variables on teams' performance in offensive sequences ending in a shot on goal. A case study. *Open Sport Sci J* 5: 193-199.

Pyne DB, Boston T, Martin DT, Logan A (2000) Evaluation of the Lactate Pro blood lactate analyser. *Eur J Appl Physiol* 82(1-2): 112-116.

Pyne DB, McDonald WA, Gleeson M, Flanagan A, Clancy RL, Fricker PA (2001) Mucosal immunity, respiratory illness, and competitive performance in elite swimmers. *Med Sci Sports Exerc* 33(3): 348-353.

## Q

-

## R

Racinais S, Connes P, Bishop D, Blanc S, Hue O (2005) Morning versus evening power output and repeated-sprint ability. *Int Chronobiol* 22(6): 1029-1039.

Racinais S, Goua N, Grantham J (2008) Hyperthermia impairs short-term memory and peripheral motor drive transmission. *J Physiol* 586(19): 4751-4762.

Racinais S, Mohr M, Buchheit M, Voss SC, Gaoua N, Grantham J, Nybo L (2012) Individual responses to short-term heat acclimatation as predictors of football performance in a hot, dry environment. *Br J Sports Med* 46(11): 810-815.

Racinais S, Alonso JM, Coutts AJ, Flouris AD, Girard O, Gonzalez-Alonso J, et al. (2015) Consensus recommendations on training and competing in the heat. *Br J Sports Med* 49(18): 1164-1173.

- Rahnama N, Younesian A, Mohammadion M, Bambeichi E. A 90 minute soccer match decreases triglyceride and low density lipoprotein but not high-density lipoprotein and cholesterol levels. *J Res Med Sci*. 2009 ; 14(6) : 335-341.
- Rampinini E, Bishop D, Marcora S, Ferrari Bravo D, Sassi R, Impellizzeri F (2007a) Validity of simple field tests as indicators of match-related physical performance in top-level professional soccer players. *Int J Sports Med* 28(3): 228-235.
- Rampinini E, Coutts AJ, Castagna C, Sassi R, Impellizzeri FM (2007b) Variation in top level soccer match performance. *Int J Sports Med* 28(12): 1018-1024.
- Rampinini, E, Impellizzeri, FM, Castagna, C, Abt, G, Chamari, K, Sassi, A, Marcora, SM (2007c) Factors influencing physiological responses to small-sided soccer games. *J Sports Sci* 25:659–666.
- Rampinini, E., Impellizzeri F. M., Castagna, C., Azzalin, A., Ferrari Bravo D., & Wisløff, U. (2008). Effect of match-related fatigue on short-passing ability in young soccer players. *Med Sci Sports Exer*, 40, 934–942.
- Rampinini E, Impellizzeri FM, Castagna C, Coutts AJ, Wisloff U (2009) Technical performance during soccer matches of the Italian Serie A league: effect of fatigue and competitive level. *J Sci Med Sport* 12(1): 227-233.
- Randers MB, Mujika I, Hewitt A, Santisteban J, Bischoff R, Solano R, et al. (2010) Application of four different football match analysis systems: a comparative study. *J Sports Sci* 28: 171-182.
- Rave G, Fortrat JO (2016) Heart rate variability in the standing position reflects training adaptation in professional soccer players. *Eur J Appl Physiol* 116(8): 1575-1582.
- Rebelo A, Brito J, Seabra A, Oliveira J, Krusturup P (2014) Physical match performance of youth football players in relation to physical capacity. *Eur J Sports Sci* 14 Suppl 1: S148-S156.
- Reep C, Benjamin B (1968) Skill and chance in association football. *J Royal Stat Soc* 131: 581-585.
- Reep C, Pollard R, Benjamin B (1971) Skill and chance in ball games. *J Royal Stat Soc* 134: 623-629.
- Reilly T, Thomas V (1976) A motion analysis of work-rate in different positional roles in professional football match-play. *J Hum Mov Stud* 2: 87-89.
- Reilly T, Thomas V (1979) Estimated energy expenditures of professional association footballers. *Ergonomics* 22: 541-548.
- Reilly T, Down A (1992) Investigation of circadian rhythms in anaerobic power and capacity of the legs. *J Sports Med Phys Fitness* 32(4): 343-347.
- Reilly T (1997) Energetics of high-intensity exercise (soccer) with particular reference to fatigue. *J Sports Sci* 15: 257-263.

- Reilly T, Atkinson G, Waterhouse J (1997) *Biological rhythms and exercise*. Oxford: Oxford University Press.
- Reilly T (2003) Motion analysis and physiological demands. In: *Science and Soccer*. Eds: Williams, A.M. and Reilly, T. 2nd Edition. London, E & FN Spon. 59-72.
- Reilly T, Bambaiechi E (2003) Methodological issues in studies of rhythms in human performance. *Biol Rhythm Res* 34: 321-336.
- Reilly T (2007) The training process. In: Reilly T, ed. *The Science of Training Soccer: A Scientific Approach to Developing Strength, Speed and Endurance*. London: Routledge, 1-19.
- Reilly T, Atkinson G, Edwards B, Waterhouse J, Farrelly K, Fairhurst E (2007) Diurnal variation in temperature, mental and physical performance, and tasks specifically related to football (soccer). *Chronobiol Int* 24(3): 507-519.
- Reinke S, Karhausen T, Doehner W, Taylor W, Hottenrott K, Duda GN (2009) The influence of recovery and training phases on body composition, peripheral vascular function and immune system of professional soccer players. *PLoS One* 4(3): e4910.
- Reinke S, Taylor WR, Duda GN, von Haehling S, Reinke P, Volk HD, et al. (2012) Absolute and functional iron deficiency in professional athletes during training and recovery. *Int J Cardiol* 156(2): 186-191.
- Renaud P (2012) *Le syndrome de surentraînement et l'anxiété : recherche d'une corrélation entre le score du questionnaire de la SFMES et le STAI. A propos d'une étude chez 100 sportifs*. Thèse de doctorat en Médecine. Université de Lorraine, France.
- Rey E, Lago-Peñas C, Lago-Ballesteros J, Casais L, Dellal A (2010) The effects of a congested fixture period on the activity of elite soccer players. *Biol Sport* 27: 181-185.
- Rienzi E, Drust B, Reilly T, Carter JE, Martin A (2000) Investigation of anthropometric and work-rate profiles of elite South American international soccer players. *J Sports Med Phys Fitness* 40(2): 162-169.
- Rivera-Coll A, Fuentes-Arderiu X, Diez-Noguera A (1993) Circadian rhythms of serum concentration of 12 enzymes of clinical interest. *Chronobiol Int* 10: 190-200.
- Robey E, Dawson B, Halson S, Gregson W, Goodman C, Eastwood P (2014) Sleep quantity and quality in elite youth soccer players: A pilot study. *Eur J Sport Sci* 14(5): 410-417.
- Rollo I, Impellizzeri FM, Zago M, Iaia FM (2014) Effects of 1 versus 2 games a week on physical and subjective scores of subelite soccer players. *Int J Sports Physiol Perform* 9: 425-431.
- Rouveix M, Duclos M, Gouarne C, Beauvieux MC, Filaire E (2006) The 24 h urinary cortisol/cortisone ratio and epinephrine/norepinephrine ratio for monitoring training in young female tennis players. *Int J Sports Med* 27(11): 856-863.
- Ruiz-Ruiz C, Fradua L, Fernandez-Garcia I, Zubillaga A (2013) Analysis of entries into the penalty area as a performance indicator in soccer. *Eur J Sport Sci* 13(3): 241-248.

Rushall BS (1990) A tool for measuring stress tolerance in elite athletes. *J Appl Sport Psych* 2: 51-66.

Russell M, Sparkes W, Northeast J, Cook CJ, Love TD, Bracken RM, Kilduff LP (2016) Changes in acceleration and deceleration capacity throughout professional soccer match-play. *J Strength Cond Res* 30(10): 2839-2844.

Ryynanen J, Junge A, Dvorak J, Peterson L, Karlsson J, Börjesson M (2013) The effect of changes in the score on injury incidence during three FIFA world cups. *Br J Sports Med* 47(15): 960-964.

## S

Sajadi N, Rahnama N (2007) Analysis of goals in 2006 FIFA World Cup. *J Sport Sci Med* 6(Suppl. 10):3.

Sanchez PA, Garcia-Calvo T, Leo FM, Pollard R, Gomez MA (2009) An analysis of home advantage in the top two Spanish professional football leagues. *Percept Mot Skills* 108(3): 787-797.

Sanchez-Quesada JL, Homs-Serradesanferm R, Serrat-Serrat J, Serra-Grima JR, González-Sastre F, Ordóñez Llanos J (1995) Increase of LDL susceptibility to oxidation occurring after intense, long duration aerobic exercise. *Atherosclerosis* 118(2): 297-305.

Sarmiento H, Marcelino R, Anguera MT, Campaniço J, Matos N, Leitao JC (2014) Match analysis in football: a systematic review. *J Sports Sci* 32(20): 1831-1843.

Savin WM, Davidson DM, Haskell WL (1982) Autonomic contribution to heart rate recovery from exercise in human. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol* 53(6):1572-1575.

Saw AE, Main LC, Gustin PB (2016) Monitoring the athlete training response: subjective self-reported measures trump commonly used objective measures: a systematic review. *Br J Sports Med* 50(5): 281-291.

Sawka MN, Burke LM, Eichner ER, Maughan RJ, Montain SJ, Stachenfeld NJ (2007) Exercise and fluid replacement. *Med Sci Sports Exerc* 39: 377-390.

Schilling MF (1994) The importance of a game. *Mathematics Mag* 67: 282-288.

Schmitt L, Regnard J, Millet GP (2015) Monitoring fatigue status with HRV measures in elite athletes: an avenue beyond RMSSD? *Front Physiol* 6:343.

Scott BR, Lockie RG, Davies SJG, Clark AC, Lynch DM, Janse de Jonge XAK (2014) The physical demands of professional soccer players during in-season field-based training and match-play. *J Aust Strength Cond* 22(4): 7-15.

Scott BR, Lockie RG, Knight TJ, Clark AC, Janse de Jonge XA (2013a) A comparison of methods to quantify the in-season training load of professional soccer players. *Int J Sports Physiol Perform* 8: 195-202.

Scott TJ, Black CR, Quinn J, Coutts AJ (2013b) Validity and reliability of the session-RPE method for quantifying training in Australian football: a comparison of the CR10 and CR100 scales. *J Strength Cond Res* 27(1):270-276.

- Seabra F, Dantas L (2006) Space definition for match analysis in soccer. *Int J Perform Ana Sport* 6(2): 97-113.
- Seckin A, Pollard R (2008) Home advantage in Turkish professional soccer. *Percept Mot Skills* 107(1): 51-54.
- Seiler S, Haugen O, Kuffel E (2007) Autonomic recovery after exercise in trained athletes: intensity and duration effects. *Med Sci Sports Exerc* 39(8):1366–1373.
- Sgro F, Aiello F, Casella A, Lipoma M (2016) Offensive strategies in the European Football Championship 2012. *Percept Mot Skills* 123(3): 792-809.
- Shetler K, Marcus R, Froelicher VF, Vora S, Kalisetti, Prakash M, et al. (2001) Heart rate recovery: validation and methodologic issues. *J Am Coll Cardiol* 38(7): 1980-1987.
- Silva ASR, Santhiago V, Papoti M, Gobatto CA (2008) Psychological, biochemical and physiological responses of Brazilian soccer players during a training program. *Sci Sports* 23: 66-72.
- Silva JR, Rebelo A, Marques F, Pereira L, Seabra A, Ascensão A, Magalhães J (2014) Biochemical impact of soccer: an analysis of hormonal, muscle damage, and redox markers during the season. *Appl Physiol Nutr Metab* 39(4): 432-438.
- Slattery KM, Wallace LK, Bentley DJ, Coutts AJ (2012) Effect of training load on simulated team sport match performance. *Appl Physiol Nutr Metab* 37(2): 315-322.
- Smith ML, Hudson DL, Graitzer HM, Raven PB (1989) Exercise training bradycardia: the role of autonomic balance. *Med Sci Sports Exerc* 21(1):40–44.
- Smith MR, Coutts AJ, Merlini M, Deprez D, Lenoir M, Marcora SM (2016a) Mental fatigue impairs soccer-specific physical and technical performance. *Med Sci Sports Exerc* 48(2): 267-276.
- Smith MR, Zeuwts L, Lenoir M, Hens N, De Jong LMS, Coutts AJ (2016b) Mental fatigue impairs soccer-specific decision-making skill. *J Sports Sci* 34(14): 1297-1304.
- Souglis A, Bogdanis GC, Giannopoulou I, Papadopoulos C, Apostolidis N (2015) Comparison of inflammatory responses and muscle damage indices following a soccer, basketball, volleyball and handball game at an elite competitive level. *Res Sports Med* 23(1): 59-72.
- Sparks M, Coetzee B, Gabbett TJ (2017) Internal and external match loads of university-level soccer players: a comparison between methods. *J Strength Cond Res* 31(4): 1072-1077.
- Stanley J, Peake JM, Buchheit M (2013) Cardiac parasympathetic reactivation following exercise: implications for training prescription. *Sports Med* 43:1259–1277.
- Staufenbiel K, Lobinger B, Strauss B (2015) Home advantage in soccer – A matter of expectations, goal setting and tactical decisions of coaches? *J Sports Sci* 33(18): 1932-1941.
- Stevens TG, De Ruiter CJ, Van Maurik D, Van Lierop CJ, Savelsbergh GJ, Beek PJ (2015) Measured and estimated energy cost of constant and shuttle running in soccer players. *Med Sci Sports Exerc* 47: 1219-1224.

Stolen T, Chamari K, Castagna C, Wisloff U (2005) Physiology of soccer: an update. *Sports Med* 35(6):501-536.

Stone KJ, Oliver JL (2009) The effect of 45 minutes of soccer-specific exercise on the performance of soccer skills. *Int J Sports Physiol Perform* 4(2): 163-175.

Strudwick T (2012) Contemporary issues in the physical preparation of elite players. In: Williams A, editor. *Science and soccer: developing elite performers*. London: Routledge; 335-356.

Svensson M, Drust B (2005) Testing soccer players. *J Sports Sci* 23(6): 601-618.

Szczepanski L (2008) Measuring the effectiveness of strategies and quantifying players' performance in football. *Int J Perform Anal Sport* 8(2): 55-66.

## T

Task Force (1996) Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Circulation* 93:1043–1065.

Tater D, Leglise D, Person B, Lambert D, Bercovici JP (1987) Lipoproteins status in professional football players after period of vacation and one month after a new intensive training program. *Horm Metab Res* 19:24–27.

Taylor JB, Mellalieu SD, James N, Shearer DA (2008) The influence of match location, quality of opposition, and match status on technical performance in professional association football. *J Sports Sci* 26(9): 885-895.

Tenga A, Holme I, Ronglan LT, Bahr R (2010a) Effect of playing tactics on achieving score-box possessions in a random series of team possessions from Norwegian professional soccer matches. *J Sports Sci* 28(3): 245-255.

Tenga A, Ronglan LT, Bahr R (2010b) Measuring the effectiveness of offensive match-play in professional soccer. *Eur J Sport Sci* 10(4): 269-277.

Thomas S, Reeves C, Smith A (2006) English soccer team's aggressive behavior when playing away from home. *Percept Mot Skills* 102(2): 317-320.

Thorpe RT, Strudwick AJ, Buchheit M, Atkinson G, Drust B, Gregson W (2015) Monitoring fatigue during the in-season competitive phase in elite soccer players. *Int J Sports Physiol Perform* 10(8): 958-964.

Thorpe RT, Strudwick AJ, Buchheit M, Atkinson G, Drust B, Gregson W (2016) Tracking morning fatigue status across in-season training weeks in elite soccer players. *Int J Sports Physiol Perform* 11(7): 947-952.

Tofari P, Kemp J, Cormack S (2017) A self-paced team sport match stimulation results in reductions in voluntary activation and modifications to biological, perceptual and performance measures at half-time, and for up to 96 hours post-match. *J Strength Cond Res*, in press.

Torres-Ronda L, Gonçalves B, Marcelino R, Torrents C, Vicente E, Sampaio J (2015) Heart rate, time-motion, and body load impacts when changing the number of teammates and opponents in soccer small-sided games. *J Strength Cond Res* 29(10): 2723-2730.

Torzewski M, Rist C, Mortensen RF, et al. (2000) C-reactive protein in the arterial intima: role of C-reactive protein receptor-dependent monocyte recruitment in atherogenesis. *Arterioscler Thromb Vasc Biol* 20: 2094-2099.

Tulppo MP, Makikallio TH, Takala TE, Seppanen T, Huikuri HV (1996) Quantitative beat-to-beat analysis of heart rate dynamics during exercise. *Am J Physiol* 271:H244–H252.

Turner M (2013) From local heroism to global celebrity stardom : a critical reflection of the social cultural and political changes in football culture from the 1950s to the formation of the premier league. *Socc & Soc* 15(5): 751-760.

## U

Urhausen A, Kindermann W (1992) Biochemical monitoring of training. *Clin J Sport Med* 2(1): 52–61.

Urhausen A, Gabriel H, Kindermann W (1995) Blood hormones as markers of training stress and overtraining. *Sports Med* 20: 251-276.

Urhausen A, Gabriel HH, Weiler B, Kindermann W (1998) Ergometric and psychological findings during overtraining: a long-term follow-up study in endurance athletes. *Int J Sports Med* 19(2): 114-120.

## V

Vallerand RJ, Ntoumanis N, Philippe FL, Lavigne GL, Carbonneau N, Bonneville A, et al. (2008) On passion and sports fans: a look at football. *J Sports Sci.* 26(2): 1279-1293.

Van der Poel C, Stephenson DG (2002) Reversible changes in Ca(2+)-activation properties of rat skeletal muscle exposed to elevated physiology temperatures. *J Physiol* 544(Pt 3): 765-776.

Varley MC, Aughey RJ (2013) Acceleration profiles in elite Australian soccer. *Int J Sports Med* 34: 34-39.

Varley MC, Fairweather IH, Aughey RJ (2012) Validity and reliability of GPS for measuring instantaneous velocity during acceleration, deceleration, and constant motion. *J Sports Sci* 30: 121-127.

Vervoorn C, Quist AM, Vermulst LJ, Erich WB, de Vries WR, Thijssen JH (1991) The behaviour of the plasma free testosterone/cortisol ratio during a season of elite rowing training. *Int J Sports Med* 12(3):257–263.

Vigne G, Gaudino C, Rogowski I, Alloatti G, Hautier C (2010) Activity profile in elite Italian soccer team. *Int J Sports Med* 31: 304-310.

Viteri FE, Torun B (1974) Anaemia and physical work capacity. *Clin Haematol* 3:609–626.

Vogelbein M, Nopp S, Hökelman A (2014) Defensive transition in soccer – are prompt possession regains a measure of success? A quantitative analysis of German Fußball-Bundesliga 2010/2011. *J Sports Sci* 32(11): 1067-1083.

## **W**

Wallace JL, Norton KI (2014) Evolution of world cup soccer final games 1966-2010 : game structure, speed and play patterns. *J Sci Med Sport* 17(2): 223-228.

Williford H, Scharff N, Olsen M, Gauger S, Duey WJ, Blessing DL (1998) Cardiovascular and metabolic costs of forward, backward, and lateral motion. *Med Sci Sport Exer* 30: 1419-1423.

Winter C, Pfeiffer M (2016) Tactical metrics that discriminate winning, drawing and losing teams in UEFA Euro 2012. *J Sports Sci* 34(6): 486-492.

Wrigley R, Drust B, Stratton G, Scott M, Gregson W (2012) Quantification of the typical weekly in-season training load in elite junior soccer players. *J Sports Sci* 30: 1573-1580.

## **X**

-

## **Y**

Yamanaka K, Liang DY, Hughes M (1997) An analysis of the playing patterns of the Japan national team in the 1994 World Cup qualifying match for Asia. In T. Reilly, J. Bangsbo, & M. Hughes (Eds.), *Science and football III: Proceedings of the Third World Congress of Science and Football* (pp. 221 – 229). London: E & FN Spon.

Yamanaka K, Nishikawa T, Yamanaka T, Hughes MD (2002) An analysis of the playing patterns of the Japan national team in the 1998 World Cup for soccer. In W. Spinks, T. Reilly, & A. Murphy (Eds.), *Science and football IV* (pp. 101 – 105). London: Routledge.

Yiannakos A, Armatas V (2006) Evaluation of the goal scoring patterns in European Championship in Portugal 2004. *Int J Perform Anal Sport* 6(1): 178-188.

Yue Z, Broich H, Mester J (2014) Statistical analysis for the soccer matches of the first Bundesliga. *Int J Sports Sci Coaching* 9(3): 553-560.

## **Z**

Zubillaga A, Gorospe G, Hernandez-Mendo A, Blanco-Villasenor A (2007) Match analysis of 2005-06 Champions League final with Amisco system. *J Sports Sci Med Suppl* 10: 20-21.

## ABRÉVIATIONS

A	Adrénaline
Acc	Accélérations
AL	Arrière latéral
ATT	Attaquant
AU	Acide urique
BF	Basses fréquences
C	Cortisol
CDD	Changement de direction
CE	Coût énergétique
Cn	Cortisone
CK	Créatine kinase
cm	Centimètres
CP	Créatine phosphate
CRP	Protéines C-réactive
CV	Coefficient de variation
DC	Défenseur central
Dec	Décélérations
DTP	Distances totales parcourues
FC	Fréquence cardiaque
FC <sub>ex</sub>	Fréquence cardiaque à l'exercice
FC <sub>max</sub>	Fréquence cardiaque maximale
FC <sub>r</sub>	Fréquence cardiaque de repos
FC <sub>R</sub>	Fréquence cardiaque de récupération
FC <sub>res</sub>	Fréquence cardiaque de réserve
GPS	<i>Global positioning system</i>
h	Heure
HDL	<i>High density lipoprotein</i> (= lipoprotéine à haute densité)
HF	Hautes fréquences
HI	Hautes intensités
HIT	Exercices à haute intensité

Hz	Hertz
IgA (ou C ou M)	Immunoglobuline-A (ou -C ou -M)
kg	Kilogrammes
kJ	Kilojoule
km	Kilomètres
L	Litres
[La]	Lactatémie sanguine
LDH	Lactate déshydrogénase
LDL	<i>Low density lipoprotein</i> (= lipoprotéine à basse densité)
m	Mètres
MC	Milieu central
MDC	Milieu défensif central
ME	Milieu excentré
MI	Moyennes intensités
min	Minute
mmol	Mili moles
MOC	Milieu offensif central
MP	Puissance métabolique
NA	Noradrénaline
O <sub>2</sub>	Oxygène
PME	Période de matchs enchaînés
PMNE	Période de matchs non-enchaînés
RPE	<i>Rate of perceived exertion</i> (= fatigue perçue)
RPE <sub>f</sub>	<i>RPE fatigue</i> (= fatigue perçue)
RPE <sub>ms</sub>	<i>RPE muscle soreness</i> (= douleurs musculaires perçues)
s	secondes
SD	<i>Standard deviation</i> (= écart type)
sIgA	Immunoglobuline-A salivaire
SNA	Système nerveux autonome
SSG	<i>Small sided games</i> (= jeux réduits)
T	Testostérone
TC	Total cholestérol

THI	Très haute intensité
U.A	Unités arbitraires
VFC	Variabilité de fréquence cardiaque
VO <sub>2</sub>	Consommation d'oxygène
VO <sub>2max</sub>	Consommation maximale d'oxygène
W	Watt
<	Inférieur à
≤	Inférieur ou égal à
>	Supérieur à
≥	Supérieur ou égal à

# TABLEAUX ET FIGURES

## **LISTE DES TABLEAUX :**

Tableau 1. Différentes catégories de vitesses pour l'analyse de l'activité physique du joueur de football.

Tableau 2. Performances athlétiques réalisées en match en fonction des différentes catégorisations de vitesse.

Tableau 3. Performances athlétiques en match de football en fonction du poste de jeu.

Tableau 4. Temps passés et distances parcourues en accélérant et en décélérant au cours d'un match de football (Osgnach et al., 2010).

Tableau 5. Comparaison des distances parcourues entre les deux mi-temps de matchs de football de différentes ligues (Abdullah et al., 2012).

Tableau 6. Différentes variables corrélées aux RPE dans la pratique du football.

Tableau 7. Echelles de bien-être (Hooper et al., 1995) et de RPE (Foster et al., 1996).

Tableau 8. Déterminants, fiabilité et sensibilité des différentes mesures de fréquence cardiaque (Buchheit, 2014).

Tableau 9. Exemple d'une période d'enchaînement de matchs rapprochés avec 10 matchs joués par l'OGC Nice entre le 20/11/2016 et le 21/12/2016.

### (Etude 1)

Tableau 1. Distances moyennes parcourues par des footballeurs professionnels en fonction du nombre de match par semaine, de leurs postes de jeu et des catégories de vitesse.

Tableau 2. Moyennes des distances parcourues par des footballeurs professionnels en fonction de leurs postes de jeu et des catégories d'allure.

### (Etude 2)

Tableau 1. Distances parcourues et temps passés à différentes vitesses lors de périodes de matchs de football professionnels rapprochés et non-rapprochés.

Tableau 2. Distances parcourues en accélérant et en décélérant lors de matchs de football professionnels, en périodes de matchs rapprochés et non-rapprochés.

Tableau 3. Temps passés à accélérer et décélérer lors de matchs de football professionnels, en périodes de matchs rapprochés et non-rapprochés.

Tableau 4. Activité physique de joueurs professionnels de football, en fonction de leur poste de jeu, lors de matchs officiels.

(Etude 3)

Tableau 1. Marqueurs biochimiques et charge d'entraînement de joueurs de football professionnels en périodes de matchs enchaînés et non-enchaînés.

### **LISTE DES FIGURES :**

Figure 1. Quelques facteurs contribuant au succès et à l'amélioration de la performance en match (Hughes & Bartlett, 2002).

Figure 2. Influence des postes de jeu sur le nombre total de sprints et le nombre de sprints complétés sur différentes distances (Di Salvo et al., 2009).

Figure 3. Déterminants de la performance en football en référence aux mécanismes physiologiques (Drust et al., 2012).

Figure 4. Rapport de FC d'un match de football.

Figure 5. Rythme circadien de la température rectale (Reilly et al., 1997).

Figure 6. Probabilité de gagner, nombre de buts marqués et encaissés selon la différence entre l'altitude du match et l'altitude de résidence d'une équipe (McSharry, 2007).

(Etude 2)

Figure 1. Distances parcourues et temps passés à accélérer et décélérer lors de périodes de matchs professionnels de football rapprochés et non-rapprochés.

(Etude 3)

Figure 1. Evolutions de créatine kinase au cours d'une semaine d'entraînement de joueurs de football professionnels.

Figure 2. Evolutions de cortisol au cours d'une semaine d'entraînement de joueurs de football professionnels.

Figure 3. Cinétiques des concentrations plasmatiques de créatine kinase lors de périodes de matchs enchaînés et lors de périodes de matchs non-enchaînés.

### **LISTE DES PHOTOS :**

Photo 1. Séances d'entraînement physique dissocié (à gauche) et intégré (à droite) avec GPS.

Photo 2. Exemple de rapport athlétique d'un match de Ligue 1.

Photo 3. Exemple de rapport d'accélération (en vert) / décélération (en rouge) à haute intensité d'un match de Ligue 1.

Photo 4. Exemple de comparatif athlétique entre les deux mi-temps d'un match de Ligue 1.

Photo 5. Joueur qui remplit son questionnaire RPE quotidien sur tablette.

Photo 6. Mise en place d'une ceinture cardio-fréquencemètre sur un joueur avant une séance d'entraînement.

Photo 7. Prise de sang et processus d'analyse dans un club de football de Ligue 1.

Photo 8. Exemple de prélèvement salivaire.

Photo 9. Test urinaire pour calculer l'osmolarité.

Photo 10. Joueur en conditions chaudes cherchant à se rafraichir.

Photo 11. Exemple de système de jeu d'une équipe (en 3-4-3 à gauche, en 4-2-3-1 à droite)

# ANNEXES

Annexe 1. Questionnaire POMS (*Profile Of Mood States*)

Annexe 2. Questionnaire Rest-Q (*Recovery-Stress*)

Annexe 3. Questionnaire DALDA (*Daily Analysis of Life Demands for Athletes*)

Annexe 4. Etude n°1 complète : publiée dans *Asian Journal of Sports Medicine* (2014)

Annexe 5. Etude n°2 : mail de confirmation de soumission dans *Journal of Strength and Conditioning Research* (2017)

Annexe 6. Etude n°3 : mail de demande de révision pour publication dans *Journal of Strength and Conditioning Research* (2017)

## ANNEXE 1

*Directions: Describe HOW YOU FEEL RIGHT NOW  
by circling the most appropriate number after each of the words listed below:*

FEELING	Quite a				
	Not at all	A little	Moderate	bit	Extremely
1. Friendly	1	2	3	4	5
2. Tense	1	2	3	4	5
3. Angry	1	2	3	4	5
4. Worn Out	1	2	3	4	5
5. Unhappy	1	2	3	4	5
6. Clear-headed	1	2	3	4	5
7. Lively	1	2	3	4	5
8. Confused	1	2	3	4	5
9. Sorry for things done	1	2	3	4	5
10. Shaky	1	2	3	4	5
11. Listless	1	2	3	4	5
12. Peeved	1	2	3	4	5
13. Considerate	1	2	3	4	5
14. Sad	1	2	3	4	5
15. Active	1	2	3	4	5
16. On edge	1	2	3	4	5
17. Grouchy	1	2	3	4	5
18. Blue	1	2	3	4	5
19. Energetic	1	2	3	4	5
20. Panicky	1	2	3	4	5
21. Hopeless	1	2	3	4	5
22. Relaxed	1	2	3	4	5
23. Unworthy	1	2	3	4	5
24. Spiteful	1	2	3	4	5
25. Sympathetic	1	2	3	4	5
26. Uneasy	1	2	3	4	5
27. Restless	1	2	3	4	5
28. Unable to	1	2	3	4	5
29. Fatigued	1	2	3	4	5

30. Helpful	1	2	3	4	5
31. Annoyed	1	2	3	4	5
32. Discouraged	1	2	3	4	5
33. Resentful	1	2	3	4	5
34. Nervous	1	2	3	4	5
35. Lonely	1	2	3	4	5
36. Miserable	1	2	3	4	5
37. Muddled	1	2	3	4	5
38. Cheerful	1	2	3	4	5
39. Bitter	1	2	3	4	5
40. Exhausted	1	2	3	4	5
41. Anxious	1	2	3	4	5
42. Ready to fight	1	2	3	4	5
43. Good-natured	1	2	3	4	5
44. Gloomy	1	2	3	4	5
45. Desperate	1	2	3	4	5
46. Sluggish	1	2	3	4	5
47. Rebellious	1	2	3	4	5
48. Helpless	1	2	3	4	5
49. Weary	1	2	3	4	5
50. Bewildered	1	2	3	4	5
51. Alert	1	2	3	4	5
52. Deceived	1	2	3	4	5
53. Furious	1	2	3	4	5
54. Effacious	1	2	3	4	5
55. Trusting	1	2	3	4	5
56. Full of pep	1	2	3	4	5
57. Bad-tempered	1	2	3	4	5
58. Worthless	1	2	3	4	5
59. Forgetful	1	2	3	4	5
60. Carefree	1	2	3	4	5
61. Terrified	1	2	3	4	5
62. Guilty	1	2	3	4	5
63. Vigorous	1	2	3	4	5
64. Uncertain about things	1	2	3	4	5
65. Bushed	1	2	3	4	5

## ANNEXE 2

Table 1.1 Scales of the Recovery-Stress Questionnaire for Athletes

Scale	Scale Summary
1	<b>General Stress</b> Subjects with high values describe themselves as being frequently mentally stressed, depressed, unbalanced, and listless.
2	<b>Emotional Stress</b> Subjects with high values experience frequent irritation, aggression, anxiety, and inhibition.
3	<b>Social Stress</b> High values match subjects with frequent arguments, fights, irritation concerning others, general upset, and lack of humor.
4	<b>Conflicts/Pressure</b> High values are reached if in the preceding few days conflicts were unsettled, unpleasant things had to be done, goals could not be reached, and certain thoughts could not be dismissed.
5	<b>Fatigue</b> Time pressure in job, training, school, and life, being constantly disturbed during important work, overfatigue, and lack of sleep characterize this area of stress.
6	<b>Lack of Energy</b> This scale matches ineffective work behavior like inability to concentrate and lack of energy and decision making.
7	<b>Physical Complaints</b> Physical indisposition and physical complaints related to the whole body are characterized by this scale.
8	<b>Success</b> Success, pleasure at work, and creativity during the past few days are assessed in this area.
9	<b>Social Recovery</b> High values are shown by athletes who have frequent pleasurable social contacts and change combined with relaxation and amusement.
10	<b>Physical Recovery</b> Physical recovery, physical well-being, and fitness are characterized in this area.
11	<b>General Well-Being</b> Besides frequent good moods and high well-being, general relaxation and contentment are also in this scale.
12	<b>Sleep Quality</b> Enough recovering sleep, an absence of sleeping disorders while falling asleep, and sleeping through the night characterize recovery sleep.

Scale	Scale Summary
13	<b>Disturbed Breaks</b> This scale deals with recovery deficits, interrupted recovery, and situational aspects that get in the way during periods of rest (e.g., teammates, coaches).
14	<b>Burnout/Emotional Exhaustion</b> High scores are shown by athletes who feel burned out and want to quit their sport.
15	<b>Fitness/Injury</b> High scores signal an acute injury or vulnerability to injuries.
16	<b>Fitness/Being in Shape</b> Athletes with high scores describe themselves as fit, physically efficient, and vital.
17	<b>Burnout/Personal Accomplishment</b> High scores are reached by athletes who feel integrated in their team, communicate well with their teammates, and enjoy their sport.
18	<b>Self-Efficacy</b> This scale is characterized by how convinced the athlete is that he/she has trained well and is optimally prepared.
19	<b>Self-Regulation</b> The use of mental skills for athletes to prepare, push, motivate, and set goals for themselves are assessed by this scale.

## ANNEXE 3

### DALDA Questionnaire

Monitors state of well being and mood state

(a = worse than normal, b = normal, c = better than normal)

---

#### Part A

---

1. a b c Diet
2. a b c Home Life
3. a b c School/college/work
4. a b c Friends
5. a b c Sports Training
6. a b c Climate
7. a b c Sleep
8. a b c Recreation
9. a b c Health

---

#### Part B

---

- |                              |                                    |
|------------------------------|------------------------------------|
| 1. a b c Muscle Pains        | 14. a b c Enough Sleep             |
| 2. a b c Techniques          | 15. a b c Between Session Recovery |
| 3. a b c Tiredness           | 16. a b c General Weakness         |
| 4. a b c Need for rest       | 17. a b c Interest                 |
| 5. a b c Supplementary Work  | 18. a b c Arguments                |
| 6. a b c Boredom             | 19. a b c Skin Rashes              |
| 7. a b c Recovery Time       | 20. a b c Congestion               |
| 8. a b c Irritability        | 21. a b c Training Effort          |
| 9. a b c Weight              | 22. a b c Temper                   |
| 10. a b c Throat             | 23. a b c Swelling                 |
| 11. a b c Internal           | 24. a b c Likability               |
| 12. a b c Unexplained aches  | 25. a b c Runny Nose               |
| 13. a b c Technique Strength |                                    |

Number of "a" Scores: \_\_\_\_\_

Increase in "a" scores suggests  
overreaching or overtraining.

## Physical Activity during a Prolonged Congested Period in a Top-Class European Football Team

Léo Djaoui<sup>\*1ACDG</sup>, MSc; Del P. Wong<sup>2EG</sup>, PhD; Vincent Pialoux<sup>1EG</sup>, PhD; Christophe Hautier<sup>1EG</sup>, PhD; Cristiano D. Da Silva<sup>3EG</sup>, MSc; Karim Chamari<sup>4EG</sup>, PhD; Alexandre Dellal<sup>1,5,6BDEG</sup>, PhD

### Authors' Affiliation:

1. Centre de Recherche et d'Innovation sur le Sport (CRIS), Université de Lyon 1, France
2. Technological and Higher Education Institute of Hong Kong, Hong Kong
3. Department of Physical Education, Faculty of Viçosa, Viçosa, Brazil
4. Research and Education Centre, Aspetar, Qatar Orthopaedic and Sports Medicine Hospital, Doha, Qatar
5. Laboratory of "Sport Performance Optimization", National Centre of Medicine and Science in Sports, University of Tunis, Tunis, Tunisia
6. FIFA Medical Excellence Centre, Santy Orthopédie clinique, sport science and research department, Lyon, France

### Authors' Contribution

- A** Concept / Design
- B** Acquisition of Data
- C** Data Analysis / Interpretation
- D** Manuscript Preparation
- E** Critical Revision of the Manuscript
- F** Funds Collection
- G** Approval of the Article

### \* Corresponding Author;

Address: CRIS, Bâtiment Raphaël DUBOIS, Campus Universitaire de la Doua 69622 Villeurbanne Cedex, France

E-mail: leo.djaoui@gmail.com

Received: Mar 03, 2013

Accepted: Sep 08, 2013

Available Online: Nov 26, 2013

### Abstract

**Purpose:** The aim of the present study was to examine the variation in physical activity of elite soccer players within successive prolonged periods of fixture congestion over 5 months of competition during the competitive season 2011-2012.

**Methods:** Sixteen international players, classified into 6 positions (central defenders: CD; full-backs: FB; central defensive midfielders: CDM; wide midfielders: WM; central attacking midfielders: CAM; forwards: FW), were examined during the French First League, French Cup, and UEFA Champion's League matches. The total distance covered at light (<12 km.h<sup>-1</sup>), sustained-cruising (>18-21 km.h<sup>-1</sup>), high (>21-23 km.h<sup>-1</sup>), very high (>23-25 km.h<sup>-1</sup>), sub-maximal (>25-27 km.h<sup>-1</sup>), and maximal (>27 km.h<sup>-1</sup>) intensity running (IR) were measured and analysed using a semi-automatic match analysis system (Amisco Pro™).

**Results:** No differences were observed between congested and non-congested periods (two vs. one match a week, respectively) for the total distance covered at all the speed thresholds over 18 km.h<sup>-1</sup>, with no variation in physical fitness over the 5 studied months. Specifically to the playing positions, regardless of the congestion periods, FB and WM covered more distance than CDM over 21km.h<sup>-1</sup>; FB, WM and FW covered similar distances for all running intensities; and CD and CDM covered shorter distance during non-congested compared to congested periods ( $P<0.05$ ) at light-IR.

**Conclusion:** The present study reveals that prolonged congested match fixture did not affect the high-intensity physical activity of top-class soccer players during official games during a 5 months fixture period.

**Key Words:** Fitness Training; Soccer; High-Intensity Running; Motion Analysis; Work Rate; Match Congestion

*Asian Journal of Sports Medicine, Volume 5 (Number 1), March 2014, Pages: 47-53*

## INTRODUCTION

Performance in soccer has been described as the interaction of several factors such as the technical, tactical, physical, and mental aspects [1]. The analysis of the changes of these parameters following a sequence of games or all across a season has already been reported, with data about the eventual differences

in-between players of different positions on the field [2-8]. However, a better understanding of these changes may help to improve the physical preparation of the players according to their playing position.

Since several years, visual estimating methods in soccer have been substituted by the semi-automatic video analysis [6,8,9,10]. This tracking system allows provision of much information in less time than visual

evaluation because it simultaneously collects physical and technical data. More precisely, this system allows the follow-up of all players on the pitch during the match and monitors the total distance covered by the players at different intensities while reporting their technical actions at the same time <sup>[11]</sup>.

In general, central defenders (CD) cover the lowest overall distance whereas full-backs (FB) and forwards (FW) complete the greatest number of sprints <sup>[12]</sup>. It has also been shown that the overall distance covered, the distance covered at high intensities and sprinting ( $>25.2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) decreased during the second half, more importantly for wide midfielders (WM) and FW than other positions <sup>[6,7]</sup>.

However, a congested calendar may also influence physical activity and could modify the time motion characteristics according to the playing positions. In this context, Dellal et al <sup>[13]</sup> and Dupont et al <sup>[14]</sup> did not find significant differences in physical activity when playing two versus one match per week, but reported an increase of injury rates in top-level French and in professional Scottish soccer players.

However, Carling et al <sup>[15]</sup> analyzing French elite soccer data, have reported decreased distances covered at low intensities ( $<14 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) in a short period of fixture congestion (i.e. 1 month), with a relatively small number of matches analysed. This lack of significant effect of congested periods on high intensity running distances may be explained by the relative short duration of observation, and therefore number of games played, which may decrease the statistical power of the analyses. Moreover, in these studies, running intensity has not been analysed at speeds higher than  $25.1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  <sup>[6]</sup>, although the maximal running speed in elite soccer match has been found to be between 29 and  $35 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  <sup>[1]</sup>. Finally, this lack of effect observed during congested fixture, could also be explained by a poor definition/division of the playing positions. It may thus be hypothesized that a more precise classification of the playing positions may reveal an eventual effect of congested fixture as it has been shown for the distance covered <sup>[2]</sup>.

In this context, the aim of the present study was to determine the variation of physical activity of international soccer players according to their precise playing positions and the number of matches per week

in a successive prolonged period of fixture congestion (2 matches per week). These findings may help to better individualize physical training according to playing position in professional soccer and to plan training schedule, in particular during prolonged congested fixture.

## METHODS AND SUBJECTS

### Subjects:

Sixteen international players (age:  $24.3\pm 3.2$  years; height:  $178.1\pm 4.2$  cm; body mass:  $76.9\pm 4.3$  kg) from the same French first League team, took part in this study and were classified into six detailed positional roles: central defenders (CD,  $n=3$ ), full backs (FB,  $n=2$ ), central defensive midfielders (CDM,  $n=3$ ), wide midfielders (WM,  $n=3$ ), central attacking midfielders (CAM,  $n=2$ ) and forwards (FW,  $n=3$ ). Only players who participated in complete match durations were used for analysis, and altogether 132 players' activity was analysed. The study was conducted according to the principles of the declaration of Helsinki and the local university ethics committee approved the study's protocol before the commencement of the assessments.

### Protocol:

Elite European matches have been analysed during 4 successive congested periods (2 matches per week) separated by periods of international truce and normal one-game per week microcycles ( $n=5$ ) during the 2011-2012 season. The first congested period was located in August with six matches played over 21 days (P1), the second period in September-October with seven matches in 21 days (P2), the third period occurred in October-November with seven matches in 22 days (P3) and the fourth period was in November-December with six matches in 24 days (P4). Among these 26 matches, only 15 could have been analysed because of match analysis tool unavailability in some stadiums. Physical performances of players were examined in 11 French League matches, one French cup match and three European Champions league matches, using a semi-automatic video tracking system (Amisco ©). The non-

congested and congested periods (1 match vs. 2 matches per week, respectively) were identified during the four periods. Only players who played two matches in a row were included in the congested period's analysis. All players performed about seven training sessions when they played one match a week, and five sessions when they played two matches a week, including recovery strategy sessions such as massages, recovery-drinks and diet supplementation, and alternating cold and hot water immersion of the legs. Recovery strategies were performed on the days after the games and were consistent during the whole season.

#### **Physical performance:**

Measurements were recorded using Amisco Pro® system (Nice, France), which has been used and validated by several authors<sup>[11,16]</sup>. This tracking system records the movements of the 20 outfield players during the whole match by means of 8 stable synchronized and calibrated cameras positioned at the top of the stadium with a sampling frequency of 25 Hz. Signals and angles obtained by the encoders were sequentially converted into digital data and recorded on computers for post match analyses.

Physical performance of each player was recorded and classified as: total distance covered, total distance covered at light (<12 km.h<sup>-1</sup>), sustained cruising (>18 to 21 km.h<sup>-1</sup>), high (>21 to 23 km.h<sup>-1</sup>), very high (>23 to 25 km.h<sup>-1</sup>), sub-maximal (>25 to 27 km.h<sup>-1</sup>), and maximal (>27 km.h<sup>-1</sup>) intensities.

#### **Statistical analysis:**

All values were expressed as means ± standard deviations (mean±SD). Kruskal-Wallis tests were used to analyse differences between matches and between periods according to the different speed categories. Then, Mann-Whitney tests were used to analyse the differences between all playing positions according to speed categories first, and to differentiate playing positions according to the congested periods (number of matches per week: 1 or 2) in the same speed running categories. Bonferroni correction was applied for the 15 two by two in-between playing positions' comparisons ( $P \leq 0.003$ ). The level of significance was set at  $P < 0.05$ .

## **RESULTS**

No significant differences between congested and non-congested periods were found for all distances covered in the zones over 18 km.h<sup>-1</sup>. However, CD and CDM covered shorter distances than other positions at intensities <12 km.h<sup>-1</sup> during non-congested as compared to congested periods (Table 1).

Over the four congested periods analysed, for maximal intensities (>27 km.h<sup>-1</sup>), FB covered significantly ( $p < 0.003$ ) more distance than CD, CDM, and CAM whereas WM and FW covered more distance than CDM. At sub-maximal intensity running (>25-27 km.h<sup>-1</sup>) FB covered significantly ( $P < 0.003$ ) more distance than CD and CDM, and WM and CAM more distance than CDM. At very high intensity running (>23-25 km.h<sup>-1</sup>), FB, WM and FW covered significantly ( $P < 0.003$ ) more distance than CD and CDM. At high intensity running (>21-23 km.h<sup>-1</sup>), FB, WM, CAM and FW covered significantly ( $p < 0.003$ ) more distance than CD and CDM. At sustained cruising intensity running (>18-21 km.h<sup>-1</sup>), CAM covered significantly ( $P < 0.003$ ) more distance, and CD less distance ( $P < 0.001$ ), than the other playing positions. At light intensity running (<12 km.h<sup>-1</sup>), CD and CDM covered significantly ( $P < 0.003$ ) more distance than FW, WM and FW (Table 2).

## **DISCUSSION**

The purpose of this study was to determine if the match physical activity varied during successive congested periods in elite European players according to the playing positions while comparing it to non-congested periods. The main finding was that no significant differences between congested and non-congested periods were observed in distances covered at the running intensities over 18 km.h<sup>-1</sup> for all playing positions (Table 1).

These results are in-line with those of Dellal et al<sup>[13]</sup> and Dupont et al<sup>[14]</sup> who did not find any effect of a congested fixture period for running speed categories over 19 km.h<sup>-1</sup>, although the study of Dupont et al

**Table 1:** Mean distances covered by professional soccer players according to the number of match per week, their playing positions and speed running categories

Variables	N	Total	Distances Covered (meters)						
			>27 km.h <sup>-1</sup>	27-25 km.h <sup>-1</sup>	25-23 km.h <sup>-1</sup>	23-21 km.h <sup>-1</sup>	21-18 km.h <sup>-1</sup>	<12 km.h <sup>-1</sup>	
Central Defenders (CD)	Non-congested	70	10212.1 (451.7)	82.4 (49.9)	83.1 (28.3)	80.4 (40.1)	152.5 (53.5)	371.6 (151.1)	7282.1* (314.3)
	Congested	134	10384.8 (614.1)	71.4 (66.4)	64.9 (41.6)	98.0 (35.0)	138.2 (40.9)	397.2 (122)	7842.3 (290.9)
Full Backs (FB)	Non-congested	70	10581.2 (718.8)	170.5 (69.3)	118 (59.7)	190.3 (81.1)	294.9 (105.1)	604.5 (153.6)	6970.7 (234.7)
	Congested	112	10813.5 (677)	187.6 (77.8)	121.8 (51.6)	189.6 (62.0)	241.9 (73.4)	640.5 (140)	7239.4 (371.3)
Central Defensive Midfielders (CDM)	Non-congested	54	11373.9 (753.3)	36.3 (12.8)	64 (35.5)	87.3 (57.1)	166.7 (78.6)	463.3 (136.7)	7414.3* (456.3)
	Congested	120	11820 (651.7)	38.1 (18.3)	54.6 (30.7)	90.1 (58.3)	140.7 (66.4)	561.7 (155.4)	7854.7 (367.7)
Wide Midfielders (WM)	Non-congested	47	10838.3 (778.2)	100.4 (86.2)	86.2 (44.2)	169.6 (68.3)	269.1 (82.4)	679.9 (131.4)	6676.1 (811.6)
	Congested	99	10733.5 (772.9)	170.9 (101.2)	124.8 (65.6)	177.6 (50.3)	210.9 (33.2)	621.7 (107.8)	6973.0 (449.9)
Central Offensive Midfielders (CAM)	Non-congested	6	12784.0 (822.9)	0.0 (18.2)	89.0 (40.1)	147.0 (27.8)	376.0 (62.7)	952.0 (74.9)	7265.0 (418.9)
	Congested	36	12193.7 (822.9)	41.6 (18.2)	126.2 (40.1)	136.6 (27.8)	309.5 (62.7)	804.0 (74.9)	7323.0 (418.9)
Forwards (FW)	Non-congested	47	10476.7 (646.2)	82.3 (52.4)	89.4 (19.6)	158.7 (46.4)	243.7 (60.1)	646.7 (92.9)	6856.3 (658)
	Congested	88	10513.4 (759.3)	120.5 (72.9)	86.2 (49)	171.8 (69.4)	231.3 (66.3)	590.6 (131.4)	7051.9 (656)
All players	Non-congested	294	10736.3 (824.2)	100.7 (72.8)	90.9 (43.3)	135 (73.8)	225.9 (97.4)	548.8 (185.4)	7135.7 (583.9)
	Congested	589	10974.7 (889.8)	111.3 (90.1)	91.0 (55.0)	141.4 (67.2)	194.6 (78.1)	569.1 (167.3)	7436.8 (559.3)

\*  $P<0.05$ : significantly lower than same playing position for congested period  
 Note: non-congested=1 match per week; congested=2 matches per week

presented limited number of matches analysed<sup>[14]</sup>. In that regard, high intensity running is one of the most important indicators of physical activity in elite soccer

because it corresponds to decisive short and intense actions which characterize soccer players' effort<sup>[15]</sup>.

In addition, since total distance covered and high

**Table 2:** Mean distances covered by professional soccer players according to their playing positions and speed running categories

Playing positions	N	Total	Distance Covered (meters)					
			>27 km.h <sup>-1</sup>	27-25 km.h <sup>-1</sup>	25-23 km.h <sup>-1</sup>	23-21 km.h <sup>-1</sup>	21-18 km.h <sup>-1</sup>	<12km.h <sup>-1</sup>
Central Defenders (CD)	204	10327.2 (563.3)	75.2 (60.5)	71.2 (38)	91.9 (37.1)	143.1 <sup>†</sup> (45.2)	388.3 <sup>‡</sup> (130.6)	7752.6 (319.4)
Full Backs (FB)	182	10724.2 (688.7)	181.0 (73.7)	120.3 (53.7)	84.6 (56.7)	262.3 <sup>†</sup> (88.9)	626.7 (143.5)	7136.1 (346.9)
Central Defensive Midfielders (CDM)	175	11711.6 (687.2)	37.6 (16.7)	57.1 (31.5)	189.8 (68.4)	139.9 <sup>†</sup> (70.2)	519.3 (154.2)	7779.2 (439.6)
Wide Midfielders (WM)	146	10796.2 (754.6)	148.5 (100.4)	114.6 (62)	175.0 (55.3)	229.4 <sup>†</sup> (58.7)	640.0 (116)	6874.0 (591.4)
Central Offensive Midfielders(CAM)	42	12278 (783.6)	41.6 (18.2)	120.0 (38.9)	138.3 (25.2)	319.0 (62.5)	840.3 (84.5)	7313.3 (375.4)
Forwards (FW)	137	10499.9 (701.3)	105.5 (67.3)	87.1 (42.3)	167.3 (61.4)	238.1 <sup>†</sup> (61.3)	610.3 (119.9)	6983.5 (646.3)
All players	887	10894.6 (889.8)	107.8 (84.7)	90.7 (51.2)	139.2 (69.3)	205.9 (85.8)	562.2 (173.2)	7335.7 (583.2)

\*  $P<0.003$ : significantly higher than others playing positions

†  $P<0.003$ : significantly lower than others playing positions

intensity running distances did not vary during the prolonged period of fixture congestion, it may be suggested that the studied team and players maintained their level of physical performance despite short recovery time between matches. This can indeed be achieved by implementing training sessions with light training load in-between games. In this context, it has to be mentioned that the studied team implemented light technical sessions along with fitness training sessions mainly developing: prevention (proprioceptive and stretching training), agility and short sprinting training. Additionally, the team turn-over (players' rotation) strategy and the in-between matches training (essentially tactical and small-sided games) could also be an explanation of the observed results. Moreover, all these players systematically received post-match recovery strategies (alternating hot and cold water immersion of legs, massage, diet and drink supplementation), which have probably contributed the maintenance of their physical activity in the concerned periods [16,17,18].

The lack of significant differences in high intensity running categories across the different periods of congestion strengthens the literature in this topic [13,14,19,20,21,22], suggesting that intense activity profiles are likely not affected by congested match fixtures. In this context, it has to be noted that the other previous studies analysed high intensity running on short congested period (2 to 8 matches in a row); however, the present study is the first one to analyse variations of physical performance on a prolonged congested period with 26 played matches (15 analysed) in 4 separate periods, over 5 months. Furthermore, running intensity has never been analysed in the thresholds higher than  $25.1 \text{ km.h}^{-1}$  [6] whereas the sprinting running speed in elite soccer matches has been found to be around 29 and even reach  $35 \text{ km.h}^{-1}$  [1]. The lack of match activity close to these high speeds running could represent a limit for deeper analyses of previous studies.

Unlike high-intensity running, significant differences were found for distances covered at light intensities ( $<12 \text{ km.h}^{-1}$ ) for CD:  $\sim 7200\text{m}$  vs.  $\sim 7800\text{m}$  and for CDM:  $\sim 7400\text{m}$  vs.  $\sim 7800\text{m}$  (for congested vs. non-congested, respectively) (Table 1).

These results are in contrast with those found by Lago et al (2011) [23] who reported no differences in playing positions and running speed intensities;

however the present study results are in agreement with those found by Carling et al. (2011) who analysed the effects of an 8 matches sequence over 26 days on low intensity running ( $<11 \text{ km.h}^{-1}$ ) and total distance coverage. Overall, the results of the present study show that the studied elite French soccer players are able to keep the important efforts for soccer (i.e. high intensity runs and sprints) even in congested periods of repetitive official matches while decreasing the light intensity runs for some playing positions. Indeed, and accordingly Stolen et al (2005) have reported that elite soccer players deal with the fatigue appearing in the second half of a game, by reducing the walking and slow speed running distances, but, keeping high intensity distances at the same level of the first half. This strategy allows the player to cover less absolute distance, while keeping the important efforts, i.e. high intensity runs, in an attempt to keep a minimum standard of performance. Whether this is a natural adaptation of the elite soccer players or in opposition, a voluntary choice is not known.

The present study results did not show any significant variations when comparing the covered distances period by period or match by match in opposition to the results of Carling et al (2011). Such differences might be explained by the number of matches analysed and the statistical logic which would show less difference, in a two by two analysis, with a larger sample. Many explanations could be advanced to justify these results such as player rotation strategy in different matches being used for tactical reasons and/or injury or suspension cases, and would have permitted maintenance some physical shape for the whole team. Indeed, it has been suggested that coaches, scientists and medical staff should consider player rotation to help maintaining performance and to reduce injury risks during congested periods [14]. Sixteen different players participated in the fifteen matches analysed, and none of them have played all 15 matches; the 3 most used players played 13 matches, for instance. Therefore, players' rotation has certainly contributed to maintaining physical performance through matches and periods. Furthermore, most of the analysed players included in the present study have participated in international matches in-between the 4 periods, which should also certainly contribute to increase in their fatigue. Despite that, the results show that they

managed to maintain their high intensity efforts during the games.

The adjustment of the training load could also have contributed to these results. Indeed, during congested weeks, team coaches set the training load according to the fatigue level and placed recovery in priority whereas in non-congested weeks, some training sequences could have been more tiring. Thus, training load was reduced during congested calendar.

The present study is the first one reporting results of sprint intensities over 27 km.h<sup>-1</sup>. Speed thresholds calibration is also innovative since it has been proposed to analyse physical performance variations every 2 or 3 km.h<sup>-1</sup>. Sprinting activity variations analysis showed that FB covered significantly more distance than CD and CDM on every high intensities thresholds (from 21 to 27 km.h<sup>-1</sup> and higher). This adds new information to results already reported by Dellal et al<sup>[3]</sup> and Lago et al<sup>[23]</sup>, for instance, who found that only CD covered lower distances than other positions' players for these high intensities. No differences were found between FB, WM, and FW at all running intensities (Table 2). Differences between playing positions are, in most cases, in accordance with their specific tactical roles in the playing formation<sup>[24]</sup>. These results are in contrast with those of Dellal et al<sup>[2]</sup> and Carling et al<sup>[11]</sup> who respectively showed that FW and FB covered the higher distances at high intensities (in English FA First League and Spanish La Liga for Dellal et al and French Ligue 1 for Carling et al.). The present study new speed sampling, with reduced and higher calibration speed ranges specified differences between playing positions as compared to previous studies. More specifically, it has been found that CDM covered less distance than CD from >18 to 21 km.h<sup>-1</sup> while they covered the same distances from >21 to 23 km.h<sup>-1</sup> whereas Lago et al<sup>[23]</sup> did not find any differences from 19 to 23 km.h<sup>-1</sup>. We also showed that FB, WM, and CAM covered more distances than CDM from >25 to 27 km.h<sup>-1</sup>, and that FB, WM, and FW covered more over 27 km.h<sup>-1</sup> distance than CDM. Differences between studies could be explained by the different number of players' analysis (5938 for Dellal et al<sup>[2]</sup> vs. 132 for the present study) and/or others variables such as environmental conditions, tactical aspects, quality of opponents and/or match importance. Nonetheless, it would be worthy to further analyse the effects of these

variables on distances covered at pre-sprinting (>25-27 km.h<sup>-1</sup>) and sprinting (>27 km.h<sup>-1</sup>) intensities in order to compare the effects with literature data.

Although the present study provides new findings of the physical activity at detailed thresholds of running speed during consecutive congested periods and according to the playing positions, it is important to note that Osgnach et al<sup>[25]</sup> have stressed the importance of taking into account accelerations and decelerations when estimating energy expenditure and actual metabolic power. Their analysis showed that the total distance covered at high power represented 26% of total distance, corresponding to 42% of total energy expenditure. Therefore "high intensities" expressed as high power, were in fact two to three times larger than those based only on "running speeds". With this in mind, the present study compared motion analysis based on speeds, as did the majority of the literature studies, allowing comparison; even if this could be biased by the fact that accelerations and decelerations were not taken into account.

## CONCLUSION

This study showed that congested match fixture over a prolonged period of 5 months divided in 4 periods did not influence physical activity among top-level European soccer players independent of their playing positions.

This study also presented a new activity profile of running intensity measured up to 27 km.h<sup>-1</sup> and higher, and especially showed that full-backs covered the most distance at these "very high intensities". Nowadays, the total distance covered at maximal and sub-maximal intensity is essential in modern soccer players because it varies according to the playing formation, the coach, the country and other variables. A new field of research has been started on running speed intensities close to maximal speed during official matches, and it would be interesting to study the effects of different variables such as climatic conditions, playing formation, opponent quality, amongst others, on these distances covered at maximal running intensities. With such

information, soccer training professionals can individualize the training program according to the needs of each playing position during congested fixture.

#### ACKNOWLEDGMENTS

We thank all the players involved in the study for their collaboration. The authors have no conflicts of interest that are directly relevant to the content of this article.

**Conflict of interests:** None

#### REFERENCES

- [1] Dellal, A. Analysis of the soccer player's physical activity and of its consequences in the training: Special reference to the high intensity intermittent exercises and the small sided-games. Thesis of Physiology of Exercise, Strasbourg University, France. 2008.
- [2] Dellal A, Chamari K, Wong DP, et al. Comparison of physical and technical performance in European match-play: FA Premier League and La Liga. *Eur J Sport Sci* 2011;11:51-9.
- [3] Dellal A, Wong DP, Moalla W, Chamari K. Physical and technical activity of soccer players in the Frenche First League – with special reference to their playing position. *Int J Sports Med* 2010;11:278-90.
- [4] Di Salvo V, Baron R, González-Haro C, et al. Sprinting analysis of elite soccer players during European Champions League and UEFA cup matches. *J Sports Sci* 2010;28:1489-94.
- [5] Vigne G, Gaudino C, Rogowski I, et al. Activity profile in elite Italian soccer team. *Int Journal Sports Med* 2010;31:304-10.
- [6] Di Salvo V, Gregson W, Atkinson G, et al. Analysis of high intensity activity in Premier League soccer. *Int J Sports Med* 2009;30:205-12.
- [7] Di Salvo V, Baron R, Tschan H, et al. Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *Int J Sports Med* 2007;28:222–227.
- [8] Barros RML, Misuta MS, Menezes RP, et al. Analysis of the distances covered by first division Brazilian soccer players obtained with an automatic tracking method. *J Sport Sci Med* 2007;6:233-42.
- [9] Bangsbo J, Norregaard L, Thorsoe F. Activity profile of competition soccer. *Can J Sport Sci* 1991;16:110-6.
- [10] Bradley PS, Sheldon W, Wooster B, et al. High-intensity running in English FA Premier League soccer matches. *J Sports Sci* 2009;27:159-68.
- [11] Carling C, Bloomfield J, Nelsen L, Reilly T. The role of motion analysis in elite soccer: Contemporary performance measurement techniques and work rate data. *Sports Med* 2008;38:839-62.
- [12] Özgünen KT, Kurdak SS, Maughan RJ, et al. Effect of hot environmental conditions on physical activity patterns and temperature response of football elite players. *Scand J Med Sci Sports* 2010;20:140-7.
- [13] Dellal A, Lago-Penas C, Rey E, et al. The effects of a congested fixture period on physical performance, technical activity and injury rate during matches in a professional soccer team. *Br J Sports Med* 2013;0:1-5.
- [14] Dupont G, Nedelec M, Mc Call A, et al. Effect of 2 soccer matches in a week on physical performance and injury rate. *Am J Sports Med* 2010;38:1752-8.
- [15] Stolen T, Chamari K, Castagna, C. Physiology of soccer: an update. *Sports Medicine* 2005;35:501-36.
- [16] Ascensao A, Leite M, Rebelo AN, et al. Effects of cold water immersion on the recovery of physical performance and muscle damage following a one-off soccer match. *J Sports Sci* 2011;29:217-25.
- [17] Buchheit M, Horobeanu C, Mendez-Villanueva A, et al. Effects of age and spa treatment on match running performance over two consecutive games in highly trained young soccer players. *J Sports Sci* 2011;29:591-8.
- [18] Leede J, Gissane C, Van Someren K, et al. Cold water immersion and recovery from strenuous exercise: a meta-analysis. *Br J Sports Med* 2012;46:233-40.
- [19] Carling C, Le Gall F, Dupont G. Are physical performance and injury risk in a professional soccer team in match-play affected over a prolonged period of fixture congestion? *Int J Sports Med* 2011;33:36-42.
- [20] Zubillaga A, Gorospe G. Match analysis of 2005-06 champions league final with Amisco system. *J Sports Sci Med* 2007;6(Suppl): 10.
- [21] Rey E, Lago-Penas C, Lago-Ballesteros J, et al. The effects of a congested fixture period on the activity of elite soccer players. *Biol Sport* 2010;27,181-5.
- [22] Odetoyinbo K, Wooster B, Lane A. The effect of a succession of matches on the activity profiles of professional soccer players. *J Sports Sci Med* 2007;10:s16-7.
- [23] Lago C, Rey E, Lago-Ballesteros J, et al. The influence of a congested calendar on physical performance in elite soccer. *J Strength Cond Res* 2011;25:2111-7.
- [24] Mohr M, Krstrup P, Bangsbo J. Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J Sports Sci* 2003;21:519-28.
- [25] Osgnach C, Poser S, Bernardini R, et al. Energy cost and metabolic power in elite soccer: a new match analysis approach. *Med Sci Sports Exerc* 2010;42:170-8.

## ANNEXE 5

Nov 25, 2017

Dear Mr Djaoui,

Your submission entitled "THE INFLUENCE OF CONGESTED MATCHES PERIODS ON ACCELERATION AND DECELERATION PROFILES IN PROFESSIONAL SOCCER PLAYERS IS POSITION SPECIFIC." has been assigned the following manuscript number: JSCR-08-10307.

Our editors will review your manuscript within the next four to six weeks and will send their reviews back to our office. Reviewers do volunteer their time to complete the reviews of your article, and are very dedicated to getting reviews back as soon as possible. You will receive your reviews as quickly as possible. For updates, please check your status on this website, <http://jscr.edmgr.com/>.

Your username is: leo.djaoui  
<http://jscr.edmgr.com/l.asp?i=218083&l=KGMNGUJU>

The purpose of this memo is to let you know that we have your paper and it is in the editorial process.

Please use the title, revision state, first author, corresponding author, and your R number when communicating with our office. It is important that R-number is always used in reference to this paper.

Please remember to properly format your paper so as to reduce time and mistakes in the redactory if accepted. Attention to detail is important. We certainly appreciate your help in this matter. We thank you for your support of the journal.

We are now accepting email submissions and communications and will be increasing pages to decrease in press time. Spread the word.

Thank you for your contribution to the JSCR.

Sincerely,

Joan M. Kraemer, BA  
Managing Editor  
Journal of Strength and Conditioning Research

The Journal of Strength and Conditioning Research has been a PUBMED, Medline journal since 2001. A full archive of all papers is on the NSCA web site at [www.nasca-lift.org](http://www.nasca-lift.org).

## ANNEXE 6

Sep 09, 2017

RE: JSCR-08-9697, entitled "BIOCHEMICAL RESPONSE COMPARISONS OF A COMPETITIVE MICROCYCLE VS. CONGESTED FIXTURE PERIODS IN ELITE LEVEL EUROPEAN CHAMPIONS LEAGUE SOCCER PLAYERS."

Dear Dr. Djaoui,

Expert reviewers carefully evaluated your manuscript. The comments are included below. We ask that you address the points in their reviews and send in a revised manuscript. Each point must be addressed before it can be considered for publication in the Journal of Strength and Conditioning Research.

Of primary concern is that you also take care of the experimental concerns of the reviewers but the impact for the end user appears to be there and thus we want to give you a chance to revise and address the experimental concerns. You need to take care of the presentation style and issues of formatting and enhance the writing style. This has made less clear as to the understanding of the impact of the paper and its role in moving the field forward. After much AE deliberation it was decided that the paper must be considered to be within the top 25% or higher of papers in that field for impact and importance. Thus, you and your research team need to really revise your paper with this in mind. You need to address these concerns.

Pay attention to the list of things to check below, especially IRB and informed consent notation and need for this or it will delay your review and/or publication process.

Make sure you clearly develop your practical question in the introduction of the paper and verify what it means to the strength and conditioning professional in the practical applications section.  
IMPORTANT TO READ and FOLLOW!

If the following is not done it will be sent back to you delaying its review process or eventual publication.

Everything should be in English USA, even all title affiliations and references.

1. Make sure your human use informed consent is worded per author instructions and that if you include anyone who is under the age of 18 years of age, parental or guardian consent has been given and noted in this section. Please give the age range if your mean and SD suggest the subjects may have been under the age of 18 years. You need to say that subjects were informed of the risks and benefits of the study and then gave written informed consent to participate. Also note that the study was approved by an institutional review board or an ethics committee, this is important to have in the Subjects Section of the paper.
2. Make sure that your affiliation information or contact information for the corresponding author are on the title page of the paper as the title only page is used for the blinding;
3. Make SURE you have all your tables and figures attached and noted in the paper both text and where it should be placed.
4. Very IMPORTANT ---Table files must be MADE in Word NOT copied into Word!
5. No PDFs submitted just Word and appropriate files e.g.,PPT for figures as a final pdf will be produced by EM for your approval.
6. Check all formatting and titling and make sure it is correct or this can delay publication in the process. Please read carefully the newest author instructions as well and comply.
7. Make sure you cite each figure or table in the text and that it is part of the revision, not just with the original submission
8. No black eyes or masks over subject pictures face or eyes
9. Make sure your references are in proper format. You can down load End Note with JSCR style.

-----

Each point must be addressed in a separate document in your responses to the reviewers. Do not use red type in the manuscript to show your changes or tracking. Meeting with several other journal editors in the field we know that the number of papers and the ability for gaining enough qualified reviewers has diminished this has put a stress on all journal editorial offices.

The cost of publication has also dramatically risen and JSCR does not charge any submission fees of page charges.

Thus, having a paper with no fatal flaws is no longer the minimal level that must be met. In our case, the findings must have an important impact on practices in the field. Thus, the AE Board understands that with each study a great deal of work goes into it and while we respect this fact, it is just not possible for us or other journals to publish the number of papers that are being submitted so you need to really make a case for your study.

The Editor wants to give you this chance. WE can still reject it as we are now rejecting 65 to 70% of papers, so it is not a rare occurrence. OK

Therefore, understanding the demands of the revision process and with the perceived feeling by the reviewers that it "might" be possible to make this paper meet such demands, I invite you to respond to the reviewers' comments and submit a revision if you believe you can adequately address their concerns. Again, please note that this request for revision does not imply that the manuscript will ultimately be accepted, but that the manuscript must be revised before further consideration is provided. The revisions should be completed by Mar 08, 2018 to avoid being considered as a new submission.

Your revised submission must include an itemized, point-by-point response to each the comments of the reviewers. The revised manuscript will be sent to the original reviewers for another evaluation before a decision is made. You also need to carefully check your JSCR journal format as this will just delay publication if it is not correct.

You must make sure you send the response, manuscript (with R number and revision number on it), figures, tables, and copyright (if you have not already sent it in with your initial submission).

#### **OPEN ACCESS**

If you would like your submission, if accepted, to be open access, please complete the following steps. An information sheet is available at <http://links.lww.com/LWW-ES/A48>.

1. A License to Publish (LTP) form must be completed for your submission to be made open access. Please download the form from <http://links.lww.com/LWW-ES/A49>, sign it, and submit the file as part of your revision (using the Attach Files submission step in Editorial Manager).
2. Upon acceptance of your submission, within your Acceptance decision letter will be a payment link to complete the open access process. The cost for publishing an article as open access can be found at <http://edmgr.ovid.com/jscr/accounts/ifaauth.htm>.

To submit a revision, go to <http://jscr.edmgr.com/> and log in as an Author. You will see a menu item called "Submission Needing Revision." Please click on this item to obtain your submission record and begin the revision process.

Your username is: leo.djaoui  
[click here to reset your password](#)

We thank you for your contribution and look forward to more studies from your laboratory in the near future.

Sincerely,

The Editorial Office  
Journal of Strength and Conditioning Research

The Journal of Strength and Conditioning Research has been a PUBMED, Medline journal since 2001. A full archive of all papers is on the NSCA web site at [www.nasca-lift.org](http://www.nasca-lift.org).