UNIVERSITE DE STRASBOURG

Unité de Formation et de Recherche de Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives

Analyse de l'activité physique du footballeur et de ses conséquences dans l'orientation de l'entraînement : application spécifique aux exercices intermittents courses à haute intensité et aux jeux réduits

THESE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE STRASBOURG

Discipline : Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives

Alexandre DELLAL

Décembre 2008

Directeur de thèse : M. Dominique KELLER, Professeur, Université de Strasbourg II

Présentée et soutenue publiquement devant le jury composé de :

- M. Dominique KELLER, Professeur, Université de Strasbourg II, Directeur
- M. Saïd AHMAIDI, Professeur, Université d'Amiens, Rapporteur
- M. Karim CHAMARI, Maître de Conférences HDR, Université de Tunis, Rapporteur
- M. Jean-Pierre LIBERT, Professeur, Université d'Amiens, Examinateur
- M. Grégoire MILLET, Maître de Conférences HDR, Université de Lausanne, Examinateur

REMERCIEMENTS

A Monsieur Dominique KELLER,

Je vous remercie de vos encouragements, votre confiance, votre patience, vos conseils et votre disponibilité tout au long de ces 4 années de recherches (DEA et Thèse). Vous m'avez fait découvrir les exigences de la recherche. Soyez assuré de ma reconnaissance.

A Monsieur Karim CHAMARI,

Je vous remercie d'avoir également été présent, de m'avoir guidé et orienté tout au long de cette thèse. Vos compréhensions des spécificités de la physiologie de l'exercice et plus spécialement du football m'ont apporté des connaissances indispensables.

A Messieurs Saïd AHMAIDI et Karim CHAMARI,

Je vous remercie d'avoir accepté de faire partie des rapporteurs de cette thèse. A travers vos expertises et vos connaissances scientifiques, votre présence au sein de ce jury est un honneur.

A Messieurs Jean-Pierre LIBERT et Grégoire MILLET,

Je vous remercie d'avoir accepté de faire partie du jury de cette thèse. Votre renommée dans le milieu de la recherche et dans le monde de l'entraînement vous confère toute ma considération et mon estime.

A Messieurs Michel DUFOUR et Philippe LAMBERT

Je vous remercie d'avoir attiré mon attention sur l'importance de la recherche dans l'entraînement spécifique au football. Votre enthousiasme, votre connaissance à la fois pratique et théorique, votre dynamisme et votre simplicité constituent pour moi un exemple à suivre. Je vous serai toujours reconnaissant de m'avoir orienté dans le monde de la recherche à utilité immédiatement pratique.

A Messieurs Jens MELWANG et Alain DAVID

Je vous remercie infiniment pour votre collaboration et nous avoir fournis un nombre de données très intéressantes. Votre sérieux et votre réactivité font de vous et Amisco, les leaders.

A Messieurs Franco IMPELLIZZERRI, Aaron COUTTS et Christopher CARLING

Je vous remercie de m'avoir orienté dans l'exploitation des données des études sur les jeux réduits et l'analyse de l'activité. Vos conseils et vos réflexions sont toujours enrichissants.

A l'ensemble des sujets ayant de participé à mes expérimentations. Ils ont toute ma gratitude et mon respect pour leurs investissements, leurs bonnes humeurs, leurs ponctualités, leurs sérieux, leurs courages et leurs efforts physiques, sans lesquels cette thèse n'existerait pas. Vous étiez des sujets parfaits. Je vous donne rendez-vous pour de nouveaux protocoles d'études !

A Monsieur Martin BUCHHEIT

Je vous remercie d'avoir été à la fois sujet et conseiller lors de l'une des expérimentations. Chacune de nos discussions a été source d'apprentissage par votre sens de la recherche, de l'innovation et la cohérence de vos pensées. De futures collaborations nous attendent.

Au Centre Régional d'Education Populaire et Sportive (CREPS) de Strasbourg

Je remercie la Direction d'avoir fait l'effort de trouver des accords ou des arrangements afin de mettre à ma disposition les terrains d'entraînements, la piste d'athlétisme et la salle de sport collectif. Votre gentillesse et votre sens de l'organisation ont facilité le déroulement de ma thèse.

A mes collègues thèsards, Sylvain-Alain Monkam-Tchokonte, Serge Ambassa et Vitaly,

Votre écoute, votre avis critique, votre enthousiasme, votre soutien et vos encouragements ont été une présence essentielle à la réalisation de cette thèse.

A Laura C., je te remercie pour ton travail de correction. Ton perfectionnisme et tes qualités d'écriture m'ont été d'un grand secours.

A ma famille

A ma femme Mickaëlla, mon enfant Tiago, mes parents, ma belle famille et mes proches. Votre présence, votre patience et votre soutien m'ont été et me seront toujours indispensables.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS…… 2

INTRODUCTION…….. 9

CHAPITRE I. ANALYSE DE LA LITTERATURE…….. 13
1. Analyse de l'activité du footballeur…… 15
1.1. Analyse de l'activité physique…… 15
1.1.1. Analyse quantitative de l'activité physique…… 15
1.1.2. Analyse qualitative de l'activité physique……...…. 16
1.1.2.1. Analyse qualitative des sprints…… 17
1.1.2.2. Analyse de l'activité physique par mi-temps de match joué…… 18
1.1.3. Analyse physiologique de l'activité du footballeur…….. **20**
1.1.3.1. Données quantitatives physiologiques…… **20**
1.1.3.2. Données qualitatives physiologiques…….. **20**
1.2. Analyse de l'activité technico-tactique du footballeur……... **23**
1.2.1. La possession de la balle et le nombre moyen de touches de balle…….. **23**
1.2.2. La répartition des buts……...….. **24**
1.2.3. Typologie des buts…… **24**
1.2.4. Les buts à la suite de coups de pieds arrêtés…… **25**
1.2.5. Les phases de jeu qui précédent les buts…… **25**
1.2.6. Les buts selon la période du match…… **25**
1.3. Synthèse de l'analyse de l'activité du footballeur…… **26**

2. Analyse des facteurs de la performance – aspect de la préparation physique……..… 27
2.1. L'endurance…… 28
2.1.1. Définition de l'endurance…… 28
2.1.2. Les différentes formes de l'endurance…… 29
2.1.2.1. L'endurance fondamentale (EF)…….. 29
2.1.2.1.1. Définition
2.1.2.1.2. Aspect physiologique
2.1.2.1.3. Données de l'entraînement
2.1.2.1.4. Utilisation pratique
2.1.2.2. La capacité aérobie (CA)…… 30
2.1.2.2.1. Définition
2.1.2.2.2. Aspect physiologique
2.1.2.2.3. Données de l'entraînement
2.1.2.2.4. Utilisation pratique
2.1.2.3. Puissance aérobie…… 31

2.1.2.3.1. Définition
2.1.2.3.2. Aspect physiologique
2.1.2.3.3. Données de l'entraînement
2.1.2.3.4. Utilisation pratique
2.1.3. L'entraînement de l'endurance sur le terrain de football…….……... 31
2.1.4. Les exercices intermittents…….…….. 33
2.1.4.1. Caractéristiques de la charge intermittente…… 33
2.1.4.1.1. Généralités : origine, dénomination et fonction.……..… 33
2.1.4.1.2. Densité de la charge intermittente……. 34
2.1.4.1.3. Temps de travail et temps de récupération…… 35
2.1.4.1.4. Nature de l'effort…… 36
2.1.4.1.5. Les différentes formes de l' exercice intermittent.…….. 36
2.1.4.1.6. *La fréquence cardiaque…...……* 37
2.1.4.1.7. Les métabolismes du travail intermittent…… 38
- Le métabolisme anaérobie
- Le métabolisme aérobie

2.1.4.2. Entraînement et exercice intermittent…….…… 39
2.1.4.2.1. Méthodologie du travail intermittent…….. 39
2.1.4.2.2. Source d'énergie et substrat énergétique…… 40
- La phospho-créatine (PCr)
- Le glucose (CHO) ou le glycogène
- Le lactate

2.1.4.2.3. Les différentes adaptations…… 43
2.1.4.2.4. La fatigue et les exercices intermittents……. 44
2.1.4.2.5. Intérêts de l'effort intermittent comparé au travail continu…… 44
2.1.4.2.6. Les principaux moyens du suivi au cours d'exercices intermittents.. 44
- La consommation maximale d'oxygène (VO_2max)
- La fréquence cardiaque maximale (FC max)
- La fréquence cardiaque de réserve (FCr)
- La fréquence cardiaque de repos (FC repos)
- La fréquence cardiaque moyenne au cours de l'exercice
- La cinétique de récupération de la FC post-exercice
- La lactatémie post-exercice
- Perception de l'effort selon Foster et al (2001)

2.1.5. Les séances aux seuils ventilatoires……. 48
2.1.6. L'évaluation du temps limite continu ou/et intermittent…….. 49
2.1.7. Entraînement et endurance …….. 50
2.1.7.1. Construction des séances en endurance…… 50
2.1.7.2. Traumatisme dû à la course…… 51
2.1.7.3. Stabilité des effets de l'endurance…… 51
2.1.8. L'entraînement physique intégré en endurance – utilisation du ballon…… 52
2.1.8.1. Analyse des effets physiologiques des jeux réduits – aspect collectif…… 53
- Jeu réduit, endurance et FC
- Jeu réduit et conditions de jeu
- Jeu réduit et exercice intermittent
- Rapport entre les jeux réduits et le 11 contre 11

2.1.8.2. Analyse des effets physiologiques des circuits techniques en conduite de balle – aspect individuel……...…… 56
- Hoff test
- Circuit avec balle

2.1.9. Synthèse de la partie sur l'endurance……..…… 61
2.2. La vitesse……..…… 62
2.2.1. Définition et objectifs de la vitesse…….. 62
2.2.2. Les différentes formes de la vitesse…… 63
2.2.2.1. Vitesse maximale……..... 63
2.2.2.2. Vitesse courte…… 63
2.2.2.3. Vivacité…… 64
2.2.2.4. Vitesse coordination……..... 64
2.2.2.5. Sur-vitesse…… 64
2.2.2.6. Vitesse – endurance……..... 65
2.2.2.7. Vitesse – force……..... 65
2.2.2.8. Vitesse – puissance en côte……..… 65
2.2.2.9. Vitesse en état de fatigue……..... 66
2.2.3. Analyse de la qualité de vitesse spécifique au football…… 67
2.2.3.1. Analyse physiologique…… 67
2.2.3.2. Capacité à répéter des sprints……..…… 71
2.2.3.3. Aspect technique de la course de vitesse……..…… 72
2.2.3.4. Aspect biomécanique de la course de vitesse…… 75
- La phase de contact au sol
- La phase de suspension

2.2.3.5. Les facteurs de développement de la vitesse……..…… 76
- La fréquence gestuelle
- La vitesse gestuelle
- Le temps de réaction
- Rapport entre la vitesse et les autres facteurs de la performance

2.2.3.6. La récupération durant des exercices de vitesse……...…… 78
- VO_2max et la répétition de sprints
- La récupération entre les répétitions de sprints
- La récupération entre les séries de sprints

2.2.3.7. La récupération à la suite d'une séance de vitesse …… 80
2.2.3.8. Les principaux facteurs limitant de la vitesse spécifique en football……. 80
- Le manque de souplesse, d'élasticité et de relâchement
- Les facteurs anthropométriques
- L'état d'échauffement
- La fatigue
- L'âge
- coordination, contractions parasites et économie d'énergie

2.2.4. Les tests et les performances de vitesses spécifiques au football…… 84
2.2.5. Les exercices de vitesse spécifiques au football…… 85
2.2.6. Synthèse de la partie sur la vitesse…… 87

3. Synthèse de la littérature et hypothèses……..…….…… 88
3.1. Analyse de l'activité quantitative du haut niveau
3.2. Orientation de l'entraînement de la condition physique
3.3. Entraînement physique et entraînement technico-tactique

CHAPITRE II. ANALYSE DE L'ACTIVITE DU FOOTBALLEUR MODERNE DE HAUT-NIVEAU……...…… 92

1. Introduction……...… 93
2. Matériels et méthodes…… 94
3. Analyses statistiques…… 95
4. Résultats…… 95
4.1. Comparaison inter-championnats des différents paramètres analysés en fonction des postes…….…… 95
4.1.1. Analyse des possessions de balle – durée et touche de balle moyenne…. 95
4.1.2. Analyse des passes…….…… 96
4.1.3. Analyse des duels…….…… 96
4.1.4. Distance totale parcourue, en possession et en non possession collective de la balle…… 96
4.1.5. Distance totale parcourue en sprint, en possession et en non possession collective de la balle…… 97
4.1.6. Distance totale parcourue en course haute-intensité, en possession et en non possession collective de la balle……...…… 98
4.1.7. Homogénéité des données…….…… 98
4.2. Comparaison intra-championnats des différents paramètres analysés en fonction des postes……...……..…… 104
4.2.1. Analyse selon les postes occupés dans le championnat anglais…… 104
4.2.2. Analyse selon les postes occupés dans le championnat espagnol…… 109
4.2.3. Analyse selon les postes occupés dans le championnat allemand…… 114
4.2.4. Analyse selon les postes occupés dans le championnat français……... 117
5. Discussion……...…… 120
6. Conclusion……..…… 122

CHAPITRE III. ANALYSE COMPARATIVE DE L'EXERCICE INTERMITTENT EN LIGNE ET EN NAVETTE…….. 123

1. Introduction…… 124
2. Matériels et méthodes…… 124
2.1. Sujets…… 124
2.2. Protocole……... 125
2.3. Les conditions de réalisation…… 126
2.4. Les variables mesurées…… 126
3. Analyses statistiques…… 128
4. Résultats…… 128
4.1. Exercices intermittents et composante centrale : %FC de réserve et ITR…… 128
4.2. Exercices intermittents et composante périphérique : lactatémie et RPE…… 129
5. Discussion…… 130
6. Conclusion…… 133

CHAPITRE IV. LES JEUX REDUITS EN FOOTBALL : UNE ALTERNATIVE A L'ENTRAINEMENT PHYSIQUE…… 134

1. Introduction……...…… 135
2. Matériels et méthodes……...…… 136
2.1. Approche expérimentale du problème……..…… 136
2.2. Sujets……..…… 136
2.3. Procédures……...…… 137
2.3.1. Le test de terrain de VMA ou de vVO_2max: le VAMEVAL……. 137
2.3.2. Les exercices intermittents courses de courtes durées…… 138
2.3.3. Les jeux réduits…… 138
2.3.4. Les mesures de FC et les calculs……... 138
3. Analyses statistiques…… 139
4. Resultats……... 139
4.1. Comparaison intra exercice intermittent et intra jeux réduits …… 139
4.2. Comparaison entre les exercices intermittents et intra jeux réduits…….. 140
5. Discussion……..… 141
6. Conclusion…… 143

CHAPITRE V. DISCUSSION GENERALE…… 144

CHAPITRE VI. CONCLUSION GENERALE…… 156

BIBLIOGRAPHIE…… 160

PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS…… 189

GLOSSAIRE…… 192

TABLES ET FIGURES…… 194

ANNEXES…… 197
1- Dellal A. De l'entraînement à la performance en football. EDS De Boeck 2008…..... **198**
2- Dellal A, Chamari K, Pintus A, Girard O, Cotte T, Keller D. Heart rate responses during small sided-games and short intermittent running training methods in elite soccer players: a comparative study. *J. Strength Cond. Res.* 2008, 22(5): 1449-57…… **201**
3- Dellal A. Les jeux réduits en football : un moyen d'atteindre un niveau d'intensité de travail equivalent aux exercices intermittents de courte durée spécifique. www.savoir-sport.org, fiche scientifique S537, septembre 2008……..…… **211**
Dellal A, Drust B, Keller D, Carling C, Chaouachi A, Wong PL, Chamari K. The effe of directional changes in shuttle intermittent running exercise on central and periphe physiological parameters – special reference to soccer fitness training. Soumis au *J. Sports Sci.* ……..……. **214**
4- Wong PL, Chamari K, Dellal A, Wisloff U. U14 soccer players with different playing positions are characterized by different anthropometrical but not physiological performances. Soumis au *J. Strength Cond. Res.*…… **245**

INTRODUCTION

La méthodologie de l'entraînement dans le milieu du football devient de plus en plus importante. Auparavant, les axes de travail étaient sensiblement les mêmes (e.g. Ekblom et al, 1986) et la différence de performance entre deux équipes émanait essentiellement de la qualité des footballeurs et de la quantité de bons joueurs au sein de leurs effectifs (Eriksson et al, 2001). Certaines nations se démarquaient par une implication plus importante au niveau de la composante physique (Angleterre), technique (Brésil), tactique (Italie) et/ou psychologique (Allemagne). Aujourd'hui ces quatre aspects sont tous aussi importants les uns que les autres. Le football de haut-niveau exige ces qualités (Bangsbo, 1994a) et le fait d'avoir l'une d'entre elles en-dessous d'un niveau optimal peut nuire à la performance du joueur. Selon le poste qu'il occupe sur le terrain, selon les schémas de jeux et les animations préconisées par le staff technique, une mauvaise prestation d'un joueur peut directement influer la performance générale de l'équipe (Jacquet et al, 2000). En effet, un joueur qui ne peut accomplir son rôle va créer un déséquilibre collectif (Mourinho, 2005). Les raisons peuvent être: manque de concentration, déficit en condition physique, insuffisance de technique individuelle ou encore incompréhension du placement tactique selon les phases de jeu.

A ce jour, l'aspect physique représente l'une des qualités que les entraîneurs peuvent le mieux maîtriser et contrôler (Balsom, 1995). D'ailleurs, la grande majorité des staffs techniques intègrent au moins un préparateur physique ayant pour objectif d'optimiser la performance (Lippi, 2007). La présence du « fitness coach » coïncide avec le fait qu'un joueur en parfaite condition physique pourra exploiter au mieux ses qualités techniques et tactiques (Bangsbo, 1994b). Pour illustration, les plus grands joueurs de l'histoire du football tels que Maradona, Pelé, Messi et Zidane avaient besoin d'être bien physiquement afin de pouvoir effectuer des gestes d'une bonne qualité à la suite de longues courses, de duels au sol, après plusieurs accélérations ou encore en fin de match (Zauli, 2002). De même, cette qualité va directement influer sur la lucidité des placements tactiques des joueurs et sur la capacité de replacement. La performance en football de haut-niveau se joue sur des détails et le fait qu'un joueur n'ait pu faire un replacement de quelques mètres peut directement entraîner un but (Trapattoni, 1999).

En partant de ces différents constats, nous nous rendons bien compte que la préparation physique constitue une condition sine qua non à la performance du footballeur. Ainsi, au sein de cette thèse, nous allons nous intéresser à la méthodologie de l'entraînement du footballeur selon le versant de la condition physique.

Une des premières interrogations concerne le discernement de l'impact physique et physiologique d'un match de football sur les joueurs. Quelle est la participation des différents métabolismes énergétiques ? Quels sont les efforts dominants ? Quels sont les facteurs de la performance ? Autant de questions que divers auteurs ont tenté de résoudre au travers *d'analyses de l'activité du footballeur*. Une des premières études avait déjà été effectuée par Gamblin et Winterbottom en 1952. Elle relatait la distance totale parcourue accomplie par des joueurs professionnels anglais. Plus de 30 études similaires ont été recensées (e.g. Di Salvo et al, 2007). Ce type d'analyse est défini comme une analyse quantitative, c'est-à-dire qu'elle effectue une analyse globale de l'activité du joueur au moyen de la distance totale parcourue. Cependant, au fil des années, les techniques d'analyses se sont diversifiées. Les scientifiques sont passés d'une simple analyse d'observation visuelle chronophage (Gamblin et Winterbottom, 1952) à des techniques utilisant les « global positioning system » ou GPS (Hennig et Briehle, 2000) au moyen de matériels portatifs sur les joueurs non autorisés par la FIFA (Barros et al, 2007). Ces deux techniques sont peu fiables ; Edgecomb et Norton (2006) avaient relevé que ces techniques surestimaient de 4,8% les distances parcourues. Actuellement, la technique d'analyse de l'activité la plus utilisée dans le domaine scientifique est le système d'analyse automatique. La méthode consiste à effectuer un « tracking passif » au moyen de 6 à 8 capteurs placés au sein du stade qui permettent de capturer et de mesurer objectivement la position et les déplacements des joueurs et du ballon 25 fois par seconde pendant l'intégralité du match (Rampinini et al, 2007a). Les données qui en ressortent peuvent être à la fois quantitatives et qualitatives. Ces dernières sont définies comme une analyse fine de l'activité du joueur au niveau des intensités de courses, des mouvements réalisés, des actions effectuées avec et sans le ballon. Edgecomb et Norton (2006) avaient relevé que ce type de technique permet un minimum d'erreurs. Figueroa et al (2006) confirmaient ce risque d'erreurs minime (1.4%).

Ces analyses permettent d'étudier tous les paramètres physiques du joueur en relation directe avec des données technico-tactiques au cours d'un match de football (Carling et al, 2007). Toutefois, une des difficultés réside dans les choix de paramètres d'analyse pertinents afin d'en déduire les différents facteurs de la performance de cette discipline.

Van Gool (1988), Bangsbo (1994a), Reilly (1994 et 1996), Verheijen (1996), ainsi que Stolen et al (2005) avaient mis en corrélation l'ensemble des analyses de l'activité existantes afin d'identifier les différents facteurs de la performance en football. Au niveau de la composante de la condition physique, les qualités constatées sont : l'endurance, la vitesse, la force, la coordination et la mobilité. Ces données sont toutes étroitement liées et présentent de multiples interactions. Chacune d'entre elles avait fait l'objet de nombreuses études scientifiques dont Stolen et al (2005) ont fourni une revue de littérature précise. La mise en avant de l'importance de ces facteurs de la performance en football a permis d'orienter l'entraînement du footballeur de manière plus fine (Bangsbo, 2008).

Partant de ces analyses, Bangsbo (1994b) a privilégié l'orientation de l'entraînement en endurance du footballeur par des exercices de types intermittents. Il a décrit le football comme un « sport intermittent », qui peut se définir comme une succession continue et aléatoire de périodes d'efforts et de périodes de récupérations actives ou passives. Ce constat a déclenché l'intérêt du travail de type intermittent pour un entraînement spécifique. Fox et Mathews (1977), Gaitanos (1990), Gaitanos et al (1993), Bangsbo (1994a et 1994b), Balsom (1995), Billat (1998), Billat et al (1994, 1996, 1999, 2000) entre autres, ont étudié cette notion de travail intermittent d'un point de vue scientifique. Dupont (2003) a relevé cent trente deux articles portant sur l'exercice intermittent entre 1960 et 2003. Ces études ont permis d'évaluer l'implication des métabolismes, les mécanismes de la fatigue, le temps limite de maintien à vitesse maximale aérobie et d'autres caractéristiques du travail intermittent. La méthode d'entraînement par un exercice intermittent se distingue notamment de l'entraînement à charge continue par une plus grande distance parcourue, une accumulation de lactate moindre et un allongement du délai d'apparition de la fatigue (Christensen et al, 1960 ; Billat et al, 1996a). Comparativement au travail continu, pour une même intensité de travail, le travail intermittent permet aux athlètes de travailler et de solliciter l'organisme plus longtemps (Fox et Mathews, 1977 ; Christensen et al, 1960).

Les exercices intermittents constituent un exemple de l'orientation de l'entraînement en conformité aux analyses des différents facteurs de la performance. La performance physique du footballeur sera optimisée. Toutefois, de nombreux auteurs (e.g. Le Gall, 2002 ; et Hoff et al 2002) ont essayé de mettre en relation ces données physiques avec des données technico-tactiques. Ils se sont interrogés sur la sollicitation physiologique et physique d'exercices avec ballon tels que *les jeux réduits*, par rapport à certains exercices physiques spécifiques.

Ainsi, l'analyse de l'activité du footballeur a été un déterminant dans le processus d'identification et d'optimisation des différents facteurs de la performance physique et technico-tactique. Partant de ces constats, nous nous proposons tout au long de cette thèse :

- de mettre en relation l'ensemble des analyses de l'activité du footballeur avec les différents facteurs de la performance ;
- de fournir et d'analyser plus finement des données issues des matchs de footballeurs adultes ;
- de spécifier l'exploitation des exercices intermittents chez le footballeur ;
- et enfin de proposer certaines méthodes d'entraînements intégrées avec ballon comme des alternatives à certains exercices intermittents.

CHAPITRE I

ANALYSE DE LA LITTERATURE

1. **Analyse de l'activité du footballeur**
   1.1. Analyse de l'activité physique
   1.2. Analyse de l'activité technico-tactique
   1.3. Synthèse de l'analyse de l'activité du footballeur

2. **Analyse des facteurs de la performance**
   2.1. L'endurance
   2.2. La vitesse

3. **Synthèse et hypothèse**
   3.1. Analyse de l'activité physique du footballeur de haut niveau
   3.2. Orientation de l'entraînement de la condition physique
   3.3. Entraînement physique et entraînement technico-tactique

CHAPITRE I

1. ANALYSE DE L’ACTIVITE DU FOOTBALLEUR

1. Analyse de l'activité du footballeur

Le football est une activité qui ne cesse d'évoluer. Gérard Houiller relatait dans une interview dans France Football du 25 septembre 2007 « vitesse, réduction des espaces, exigences techniques et physiques : l'évolution est profonde ». Cette mutation doit faire l'objet de la plus grande attention. Nous devons connaître l'impact physique des matchs de haut-niveau, c'est-à-dire comment le joueur dépense son énergie et voir quels types d'efforts il effectue. Ces éléments doivent être connus sur un plan *quantitatif* au niveau de la distance totale parcourue, et sur un plan *qualitatif* au travers des temps de récupération moyens entre 2 sprints pour un attaquant par exemple. Nous nous proposons de faire une revue de littérature de l'ensemble des données scientifiques issues de l'analyse de l'activité. Ces données permettront de mieux appréhender l'aspect physique du football afin de mieux adapter et orienter l'entraînement du footballeur.

1.1. Analyse de l'activité physique

1.1.1. Analyse quantitative de l'activité physique

Dans la littérature actuelle, la majorité des articles scientifiques analysant l'activité physique du footballeur l'étudient de manière quantitative (e.g. Mohr et al, 2004). Certaines de ces données, essentiellement la distance totale parcourue, sont difficilement utilisables de manière brute (Tableau 1) car elles ne spécifient pas les postes occupés par les joueurs sur le terrain, le système de jeu, l'activité durant chaque mi-temps… Elles représentent des chiffres non exploitables directement dans l'entraînement car elles sont trop *générales*. Par exemple, les auteurs trouvent une distance totale parcourue entre 8 et 13 km / match à une vitesse de 7.8 km/h et à une fréquence cardiaque moyenne (FC) de 164 bpm. L'entraîneur dispose ainsi d'une tendance mais il ne pourra pas l'exploiter pour calibrer son entraînement.

Toutefois, certaines études ont relevé des tendances très intéressantes dans l'entraînement. Mohr et al (2003) et Whitehead (1975) avaient relevé qu'un joueur professionnel parcourait une distance totale plus importante qu'un joueur amateur. Cette donnée va véritablement influer l'orientation de l'entraînement chez les amateurs.

Tableau 1. Les différentes distances totales moyennes par équipe relevées au cours d'un match dans la littérature.

Auteurs	Niveau	Distance totale parcourue en mètres
Gamblin et Winterbottom (1952)	Professionnel anglais	**3 361**
Agnevik (1970)	Professionnel suédois	10 200
Saltin (1973)	Amateur suédois	12 000
Whitehead (1975)	Professionnel anglais	11700
Smaros (1980)	Division 2 finlandaise	7 100
Whiters et al (1982)	Sélection australienne	11500
Ekblom (1986)	Amateur suédois	10 000
Gerisch et al (1988)	Amateur allemand	9 000
Van Gool et al (1988)	Universitaires belges	10 300
Reilly (1994 et 1996)	2ème division anglaise	9 660
Bangsbo (1994a)	International danois	10 550

Rienzi et al (2000)	International Amérique du Sud	8 638
Helgerud et al (2001)	International Junior norvégien	9107
Mohr et al (2004)	Professionnel danois	10 333
Hawkins (2004)	Professionnel anglais	**15 000**
Di Salvo et al (2007)	Professionnel espagnol	11393
Barros et al (2007)	Professionnel brésilien	10 012
Rampinini et al (2007a)	Professionnel anglais	10 864

1.1.2. Analyse qualitative de l'activité physique

L'analyse quantitative n'étant pas directement exploitable, nous devons utiliser des données qualitatives. Nous devons savoir qu'un joueur effectue entre 825 et 1632 déplacements par match (Bangsbo, 1994b). Ce sont des déplacements de type courses à différentes intensités, des déplacements latéraux, des sauts, des tacles, des courses arrières et autres. Bangsbo (1994a) et Verheijen (1998) ont été les premiers à véritablement analyser l'activité du joueur en match dans les moindres détails. Ils ont systématiquement différencié les analyses selon le niveau, les postes occupés, les allures de courses, les aspects physiques, physiologiques et techniques (Tableau 2, 3 et 4). Ces données permettent d'avoir une idée plus précise, plus fine de l'activité du joueur. Des séances spécifiques selon les postes pourront ainsi être appliquées (Bangsbo, 2008). L'entraînement devient spécifique et orienté selon les exigences de tels ou tels postes occupés sur le terrain, ce qui représente pour nous des données qualitatives (Carling et al, 2007).

Tableau 2. Distance totale parcourue aux différentes allures, selon le poste occupé et le niveau, Verheijen (1998).

	INTERNATIONAL JUNIOR A			PROFESSIONNEL					
	DEFENSEURS	MILIEUX	ATTAQUANTS	DEFENSEURS		MILIEUX		ATTAQUANTS	
				Central	latéral	défensif	offensif	de pointe	de soutien
MARCHE	3 km	1,9 km	4,6 km	4,2 km	2,8 km	2,4 km	2,2 km	4,4 km	2,2 km
TROT	2,5 km	5,9 km	2,2 km	2,7 km	4,2 km	9,4 km	6,8 km	2,1 km	5,0 km
COURSE	1,2 km	1,2 km	1,0 km	0,5 km	1,3 km	0,6 km	2,6 km	1,3 km	0,6 km
SPRINT	0,9 km	0,8 km	1,4 km	0,5 km		0,6 km		0,9 km	

Tableau 3. Distance totale parcourue aux différentes allures et selon le niveau de jeu, Bangsbo (1994a).

	International danois	**1ère ligue anglaise**
ARRET	7 '	
MARCHE	3,4 km	3,2 km
TROT	2,2 km	2,4 km
COURSE LENTE	3,2 km	3,1 km
COURSE MOYENNE	1,3 km	1,2 km
COURSE RAPIDE	0,6 km	0,7 km
SPRINT MAX	0,4 km	0,3 km
MARCHE ARRIERE	0,4 km	0,35 km

Tableau 4. Distances parcourues durant un match selon les postes et l'intensité de course, Rampinini et al (2007a).

	Distance parcourue en m	Distance parcourue en marche - en m (0 - 7,2 km/h	Distance parcourue en course de faible intensité en m (7,2 et 14,4 km/h)	Distance parcourue en course de moyenne intensité en m (14,4 et 19,8 km/h)	Distance parcourue en course de haute intensité en m (19,8 et 25,2 km/h)	Nombre de sprints (supérieur à 25,2 km/h)
Défenseurs centraux	9995	3846	1458	278	76	18
Défenseurs latéraux	11233	3504	1601	211	123	31
Milieux	11748	3341	1726	467	118	24
Attaquants	10233	3844	1361	321	95	27

Whiters et al (1982) avaient relevé qu'un joueur effectuait 9.2 sauts, 49.9 demi-tours, 13.1 tacles au cours d'un match de la sélection australienne. De même, ils avaient catégorisé la distance totale parcourue en fonction de différents déplacements. La marche correspondait à 27% de la distance totale parcourue, la course lente à 46%, la course rapide à 13.5%, les sprints à 0.7%, les courses arrière à 7.8%, les courses latérales à 3% et les courses avec ballon à 2%. Bangsbo (1994b) relevaient en moyenne 8 têtes par match, 11 tacles par match, 1.3 minutes de possession de la balle et 30 dribbles/match sachant que chaque dribble dure 2.9 secondes. Stolen et al (2005) relevaient qu'un joueur effectuait une nouvelle course toutes les 4 à 6 secondes.

Une des données à ne pas négliger réside dans la distance totale parcourue en course arrière (Tableau 5). Elle entraîne une action excentrique et donc elle peut entraîner une fatigue musculaire (Meier, 2007).

Tableau 5. Distances parcourues en course arrière durant un match.

Auteurs	**Niveau de pratique**	**Distance parcourue en course arrière (mètres)**
Thomas et Reilly (1979)	Professionnel anglais	668
Whiters et al (1982)	Sélection australienne	1066
Bangsbo (1994a)	International danois	400
	Première League anglaise	350
Castagna et al (2003)	Jeunes amateurs italiens	**114**
Thatcher et Batterham (2004)	U-19 anglais	**1301**

1.1.2.1. Analyse qualitative des sprints.

De nombreux auteurs s'étaient intéressés à la distance totale parcourue en sprint lors d'un match (Tableau 6). Elle est très intéressante pour l'entraînement. Bangsbo (1994b) avait notamment relevé que les joueurs effectuaient 20 sprints de moins de 3 secondes. Stolen et al (2005) notaient entre 10 et 20 sprints par match. Bangsbo et al (1991), et Thomas et Reilly (1979) rapportaient que les temps de récupération entre chaque sprint se situaient aux alentours de 90 secondes. Verheijen (1998) relevait une distance entre 0.5 et 0.9 km de distance parcourue

en sprint par match avec ***des distances maximales de sprints de 53 m pour des attaquants, 56 m pour des défenseurs et 63 m pour des milieux***. La distance totale parcourue en sprint correspondrait à une fourchette de 1 à 11% de la distance totale parcourue (Bangsbo, 1994b ; Di Salvo et al, 2007). Rampinini et al (2007a) indiquaient que le nombre de sprints effectués par match variait en fonction du poste occupé par le joueur. Un arrière latéral en fait 31, un attaquant 27, un milieu 24 et un défenseur central 18 en moyenne. L'entraînement en vitesse pourra alors être orienté selon des distances précises, des nombres de répétitions et des temps de récupération entre chaque exercice de sprint.

Tableau 6. Distance totale parcourue en sprint au cours d'un match.

Auteurs	Niveau de pratique	Distance parcourue en sprints en mètres
Brooke et Knowles (1974)	Professionnel anglais	520
Thomas et Reilly (1979)	Professionnel anglais	783
Whiters et al (1982)	Sélection australienne	**946**
Van Gool et al (1988)	Universitaire belge	867
Ohashi et al (1988)	Professionnel japonais	589
Bangsbo et al (1991)	Professionnel danois	300
Rienzi et al (2000)	International sud américain	345
Castagna et al (2003)	Jeunes amateurs italiens	468
Mohr et al (2003)	Professionnel italien	650
Thatcher et Batterham (2004)	U-19 anglais	**247**

1.1.2.2. Analyse de l'activité physique par mi-temps de match joué.

Un élément intéressant porterait sur une *analyse de l'activité du joueur en différenciant les deux mi-temps*. Di Salvo et al (2007) avaient comparé l'activité des joueurs selon les postes et par mi-temps (Tableau 7).

Tableau 7. Comparaison de l'activité de joueurs professionnels de très haut-niveau selon les postes occupés, les allures de courses et durant chaque mi-temps (en mètres), Di Salvo et al (2007).

	Distance parcourue	Distance parcourue entre 0 et 11km/h	Distance parcourue 11,1 et 14km/h	Distance parcourue entre 14,1 et 19km/h	Distance parcourue entre 19,1 et 23km/h	Distance parcourue à plus de 23km/h	Distance parcourue avec la balle	% de la distance parcourue en possession de la balle par rapport à la distance totale
Moyenne	**11393***	-	-	-	-	-	-	-
Arrière central	10627	7080	1380*	1257	397	215	119	1,2
Arrière latéral	11410	7012	1590	1730	652	402	220	1,9
Milieu axial	12027	**7061****	**1965***	**2116***	627	248	230	1,9
Milieu excentré	11990	**6960****	**1743***	1987	738	446	286	2,4
Attaquant	11254	6958	**1562***	1683	621	404	212	1,9

* différence significative. Valeur plus haute en 1ère mi-temps
** différence significative. Valeur plus haute en 2ère mi-temps

Di Salvo et al (2007) n'avaient relevé aucune différence significative de la distance parcourue en sprints entre la 1ère et la 2ème mi-temps. Au contraire, Verheijen (1998) avait relevé une perte de 125 m entre la distance totale faite en sprints en 1ère mi-temps (621m) et celle effectuée en 2ème mi-temps (496). Cette différence correspond à une baisse de 11.2%**.** Cette donnée varie selon les niveaux de jeu mais elle serait au minimum de 11.2% et elle peut atteindre plus de 30% (Hawkins, 2004).

Concernant les distances parcourues à des allures inférieures à celles des sprints, Verheijen (1998) avait noté une perte de 980 m entre la distance totale réalisée en 1ère mi-temps (5934m) et celle réalisée en 2ème mi-temps (4954m). Cette différence correspond à une diminution de 9%. Selon les différents auteurs, la distance parcourue en 2ème mi-temps peut baisser de 1 à 9% (Tableau 8). Ces données sont relatives à des joueurs professionnels et elles sont accentuées chez les amateurs (Hawkins, 2004).

Tableau 8. Comparaison de la distance totale parcourue durant chaque mi-temps (en mètre).

Auteur	Population	Distance parcourue en 1ère mi-temps	Distance parcourue en 2ème mi-temps	Distance total parcourue	Différence en %
Bangsbo (1991)	Professionnels danois	5520	5250	10800	-5%
Verheijen (1998)	Professionnels hollandais	5934	4954	10888	**-9%**
Hennig et Briehle (2000)	-	-	-	10600	-4%
Rienzi et al (2000)	Internationaux sud américains	4605	4415	8638	-4%
Mohr et al (2003)	Professionnels danois	5510	5350	10860	-3%
	Professionnels danois	5200	5130	10330	**-1%**
Di Salvo et al (2007)	Professionnels espagnols	5709	5684	11393	**-1%**
Rampinini et al (2007a)	Professionnels anglais	-	-	10864	-8%
Barros et al (2007)	Professionnels brésiliens	5173	4808	10012	-7%

Ces résultats sont très importants car ils relatent une baisse de performance physique pouvant amener à une baisse de performance technique et tactique. Toutefois, cette décroissance est plus marquée chez les joueurs amateurs. Les professionnels sont très peu confrontés à cette décroissance (Di Salvo et al, 2007). Les équipes amateurs devront orienter l'entraînement de telle façon que cette décroissance soit limitée. Des exercices intermittents de courtes durées pourraient à la fois permettre de développer la qualité explosive et la qualité d'endurance spécifique. Les entraînements devront être mieux calibrés. Chez les professionnels, nous ne rencontrons que très peu ce problème étant donné que le staff technique a d'autres moyens de suivi des joueurs car ils effectuent plus d'entraînement. De plus, ils pourront être plus précis car ils ont à disposition de meilleurs joueurs et ils sont mieux formés sur la méthodologie de l'entraînement.

1.1.3. Analyse physiologique de l'activité du footballeur

L'analyse physiologique de l'activité en football est intéressant afin d'orienter l'entraînement en corrélation avec les données physiques qualitatives et quantitatives (Peñas, 2002).

1.1.3.1. Données quantitatives physiologiques

De nombreux auteurs ont analysé la FC moyenne, la lactatémie moyenne, la consommation d'oxygène (VO_2) souvent exprimée en pourcentage de VO_2max au cours d'un match. Concernant la FC moyenne, les auteurs relataient des valeurs se situant entre 157 et 175 bpm, soit entre 72% et 93% de la FCmax (Tableau 9). Bangsbo (1994a) relevait une variation plus étendue de la FC durant un match entre 150 et 190 bpm tandis que Stolen et al (2005) précisaient que l'activité du footballeur durant un match se situerait entre 80 et 90% de la FC max.

Bangsbo (1994a) estimait que l'intensité de l'activité du joueur se rapprochait de 70% de VO_2max. Ces données quantitatives physiologiques permettent aussi d'avoir une idée globale de l'activité mais elles ne permettent pas d'orienter l'entraînement spécifique des joueurs étant donné la disparité des résultats qui varient en fonction des conditions environnantes, de l'adversaire, du score ou encore de l'objectif.

Tableau 9. FC moyenne au cours d'un match de football selon différents auteurs (Bangsbo, 1994a).

Auteurs	FC moyenne en bpm	%FC max	Population
Seliger (1968)	165	80%	Professionnels tchécoslovaques
Agnevik (1970)	175	**93%**	Internationaux suédois
Smodlaka (1978)	171	85%	Internationaux russes
Reilly (1986)	157	**72%**	Professionnels de 1ère League anglaise
Van Gool et al (1988)	169 en 1ère MT et 165 en 2ème MT	84%	Joueurs universitaires belges
Ali et Farrally (1991)	168-172	-	Professionnels et amateurs écossais
Bangsbo (1992)	164 en 1ère MT et 154 en 2 ème MT	80%	Internationaux danois
Brewer et Davis (1994)	175	89-91%	Professionnels suédois
Helgerud et al (2001)	-	82,2%	Internationaux juniors norvégiens
Mohr et al (2004)	160	-	Professionnels danois

1.1.3.2. Données qualitatives physiologiques

Nous devons disposer de données générales mais surtout de résultats bien plus précis tels que la cinétique des valeurs maximales de lactatémie, le temps passé à ce pic de lactatémie, des données différenciées selon les mi-temps et d'autres encore. Balsom (1999) avait relevé la FC au cours de l'intégralité d'un match (Figure 1). Plus précisément, Rhode et Espersen (1988) analysaient qualitativement la FC et ils trouvaient que la FC moyenne était de moins de 73% de la FC max pour 11% du temps de jeu, de 73% à 92% de la FC max pour 63% du temps de jeu et enfin de plus de 92% de la FC max pour 26% du temps de jeu sur six joueurs de 1ère division danoise. Ils proposaient donc de travailler à une FC supérieure à 75% de la FC max, soit un travail au seuil anaérobie, pour que les exercices en endurance soient spécifiques. Bangbso (1994) avait analysé la cinétique de la FC couplée à celle de la lactatémie au cours d'un match de football (Figure 2).

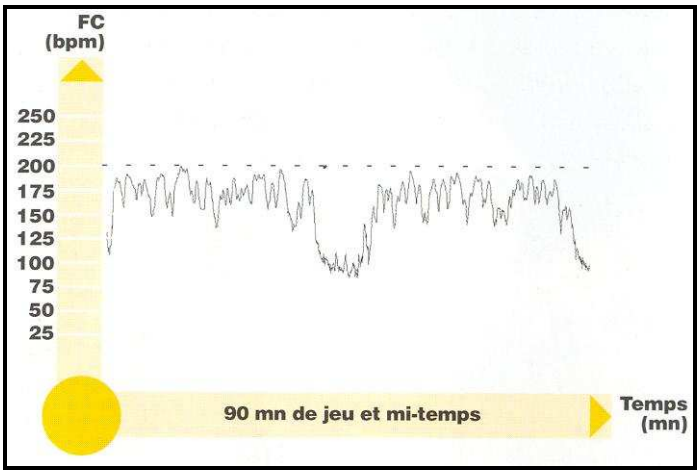


Figure 1. Cinétique de la FC au cours d'un match de football, Balsom (1999).

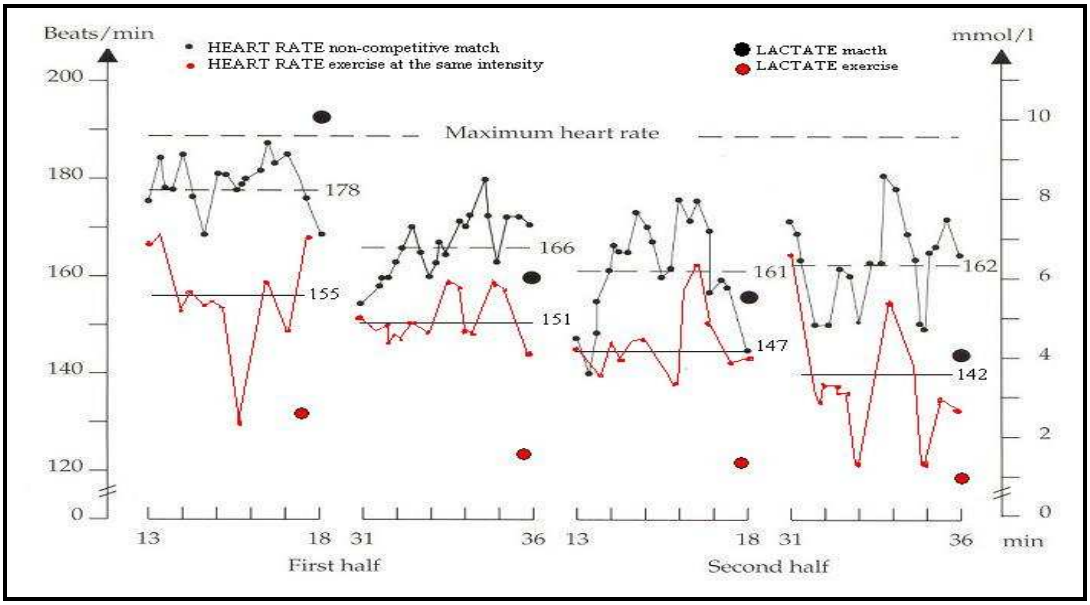


Figure 2. Cinétique de la FC et de la lactatémie de joueurs professionnels au cours d'un match et d'un exercice spécifique, Bangsbo (1994b).

De manière plus précise, Bangsbo (1994a) avait suivi l'évolution de la concentration sanguine de lactate [La] au cours de l'intégralité d'un match. La valeur de repos était de 1.8 mmol/l, la valeur pic était de 9.7 mmol/l au milieu de la seconde période et de 3.5 mmol/l à la fin du match (Figure 3). Ces valeurs sont également intéressantes quand nous les analysons mi-temps par mi-temps. De nombreux auteurs avaient relevé ces données (Tableau 10) et ces résultats relatent bien que l'activité du football ne permet pas d'atteindre des valeurs maximales de lactatémie (Bangsbo, 2008) tout en sachant que le niveau de [La] dépend de l'activité durant les 3min qui précèdent. Le travail n'est pas équivalent à un travail de résistance. Toutefois, ces valeurs doivent être mises en relation avec la VO_2max des joueurs. En effet, un joueur ayant un haut VO_2max va mieux récupérer des actions intermittentes au cours d'un match et va augmenter la métabolisation du lactate et la re-synthétisation des phospho-créatines (Tomlin et Wenger, 2001). De ce fait, les joueurs avec un haut VO_2max, vont présenter une concentration sanguine en lactate moindre.

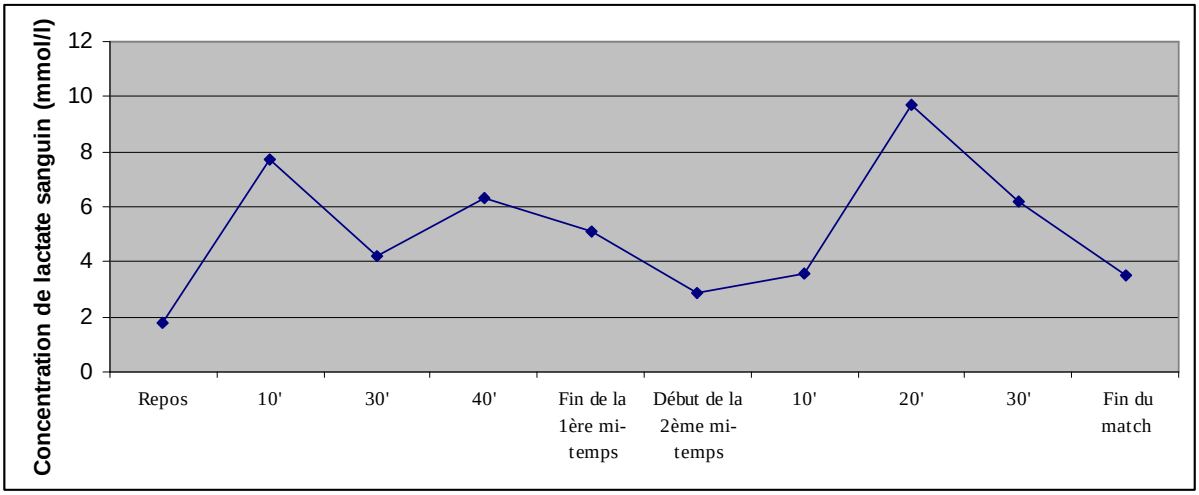


Figure 3. Cinétique de la lactatémie de joueurs professionnels au cours d'un match, Bangsbo (1994a).

Tableau 10. Valeurs de lactatémie durant les différentes mi-temps d'un match.

Auteurs	Lactates 1ère mi-temps en mmol/l	Lactates 2ème mi-temps en mmol/l
Smaros (1980)	4,9*	4,1*
Ekblom (1986)	**9,5***	**7,2***
Rhode et Espersen (1988)	5,1*	3,9*
Gerisch et al (1988)	5,6*	4,7*
Bangsbo et al (1991)	4,9	3,7
Bangsbo (1994a)	**4,1**	**2,4**
Brewer et Davis (1994)	5,1*	4,6*
Florida-James et Reilly (1995)	4,4	5

* à la fin de la mi-temps

Covelle et al (1962) et Ogushi et al (1993) avaient tenté d'analyser l'évolution spécifique de la VO_2 au cours d'un match. Cependant leurs valeurs semblaient sous-estimées étant donné l'imposant matériel que portaient les joueurs, inhérent à la mesure de la VO_2. Ogushi et al (1993) avaient utilisé un sac de Douglas (1.2 kg) et ils trouvèrent des valeurs moyennes de 29 à 38 ml/kg/min soit entre 47 et 61% du VO_2max. Ces sacs ne permettent pas de courir confortablement, d'effectuer différentes actions spécifiques au football (tacles, duels aériens, chutes…) et donc la VO_2 est bel et bien sous-estimée.

A l'heure actuelle, aucune étude n'a permis d'analyser véritablement la cinétique de consommation d'oxygène au cours d'un match de football en condition réelle (Peñas, 2002). Les seules valeurs dont nous disposons sont des estimations de la consommation d'oxygène moyenne au cours d'un match. Elles se situeraient aux alentours de 70% du VO_2max (Bangsbo, 2008). Astrand et al (2003) avaient déduit une activité correspondant à 75% du VO_2max au cours d'un match, grâce à la correspondance effectuée avec les résultats d'une activité moyenne à 85% de la FC max.

Ces valeurs ne sont que des estimations. Balsom et al (1991) avaient bien démontré que la FC évoluait de manière disproportionnelle à la VO_2 à la suite de sprints ou d'actions explosives.

L'analyse de l'activité physique des joueurs peut se faire soit de manière quantitative soit qualitative. Les valeurs quantitatives permettent de donner une tendance globale tandis que les données qualitatives suggèrent un entraînement spécifique selon les postes occupés. Ces résultats permettent également de différencier l'activité des joueurs professionnels et amateurs. Des amateurs parcourent une distance moindre et présentent une décroissance de la performance en sprint 2 fois plus importante que les professionnels au cours de la 2ème mi-temps d'un match de football (Bangsbo, 2008).

Toutefois, l'analyse de l'activité du footballeur sur un plan physique n'est pas une fin en soi. Elle doit être accompagnée d'une analyse de l'activité technique et tactique au cours d'un match et d'une analyse fine de l'objectif premier du football : comment marquer des buts.

1.2. Analyse de l'activité technico-tactique du footballeur

L'analyse de l'activité technico-tactique du footballeur se définit comme l'ensemble des actions réalisées avec la balle en fonction des mouvements des partenaires et des adversaires : le nombre de passes réussies, le temps total de possession de la balle, le nombre de possessions, le nombre de touches de balle moyen, l'analyse des frappes au but ou l'analyse des dribbles. Ces données sont indispensables car elles doivent être mises en relation avec les analyses de l'activité physique afin de dégager les différents facteurs de la performance en football (Bangsbo, 2007).

L'objectif premier du football est de marquer plus de buts que son adversaire. De ce fait, nous allons également nous intéresser à l'ensemble des analyses des buts marqués en nous servant des données issues des différentes grandes compétitions internationales depuis la coupe du monde 1994 aux USA.

1.2.1. La possession de la balle et le nombre moyen de touches de balle

La durée totale de possession de la balle par joueur est très certainement une des valeurs les plus explicites lors des différentes analyses de l'activité du joueur. En effet, l'ensemble des études mentionne des chiffres allant de 1.12 min à 2.48 min (e.g. Van Goll et al 1988 ; Bangsbo, 2007). Ces données justifient l'importance d'une bonne qualité technique car les joueurs touchent très peu la balle dans un match et ils doivent l'utiliser au mieux (Carling et al, 2007).

Les joueurs parcourent entre 119 m et 286 m avec la balle, soit entre 1.2% et 2.4% de la distance totale parcourue (Di Salvo et al, 2007). Ces données relatent l'importance de bien exploiter chaque possession du ballon.

Ainsi, les joueurs doivent agir vite et l'optimisation des différentes qualités physiques va leur permettre d'exploiter au mieux leurs qualités techniques. Le nombre de touches de balle moyen par possession excède rarement 4. Trapattoni (1999) relatait que plus le niveau de l'équipe est haut plus le nombre de touches de balle moyen de l'équipe est petit. Ces constatations sont d'autant plus vraies pour marquer des buts. En effet, Jacquet et al (2002) avaient trouvé que 67% des buts étaient marqués en 1 touche de balle (sans contrôle) lors de l'Euro 2000 tandis qu'en 2 touches de balle (contrôle –frappe ce pourcentage est seulement de 21%. Carling et al (2007) confirmaient ces chiffres lors de la coupe du monde 2002. Ils exposaient que les pourcentages de buts marqués en 1 touche de balle étaient de 78% tandis qu'en 2 touches de balle ils étaient de jusqu'à 12 % des buts marqués. Moins ls joueurs font de touche de balle plus ils ont de chance de marquer.

1.2.2. La répartition des buts

Lors de la Coupe du Monde 2002 au Japon et en Corée du Sud les attaquants ont marqué plus de 55.9% des buts (Figure 4), selon Jacquet et al (2002). De même, lors de la coupe du monde 1998 en France ce chiffre était de 56.7%. Les milieux de terrains continuent de marquer des buts en proportion croissante au cours des coupes du monde : 29% en 1994, 33.9% en 1998 et en 34.2% en 2002. Ces proportions sont identiques lors des 3 derniers championnats d'Europe aussi bien pour les attaquants (69% en 1996 et 58.8% en 2000) que pour les milieux (19% en 1996 et 34.1% en 2000). Le constat est simple, les milieux marquent plus et les attaquants moins.

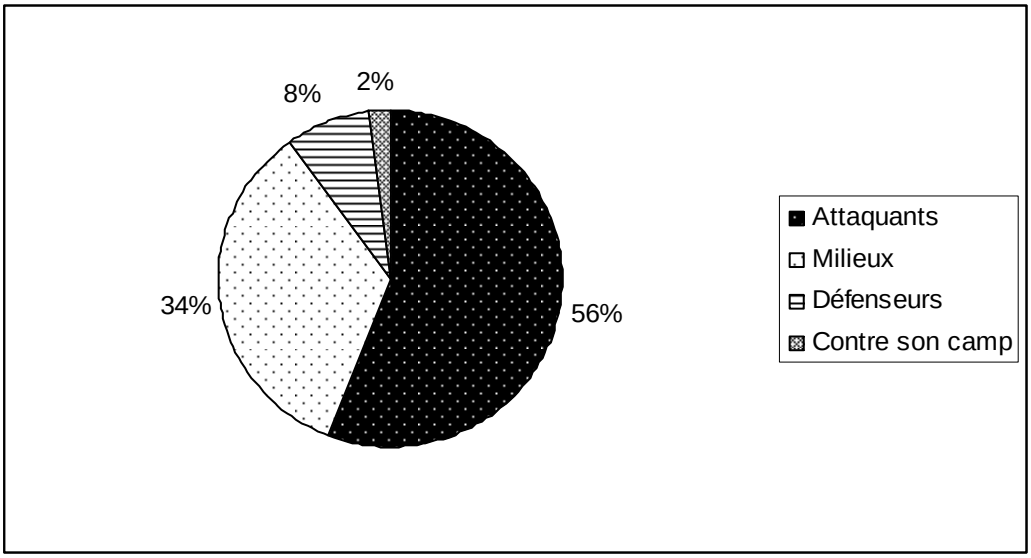


Figure 4. Répartition des buts selon les postes occupés lors de la coupe du monde 2002 en Corée du Sud et au Japon, Jacquet et al (2002).

1.2.3. Typologie des buts

La majorité des buts sont marqués sans contrôle et cette tendance s'est affirmée au fur et mesure des grandes compétitions internationales (46% en 1996, 61% en 1998, 67% en 2000 et 76% en 2002) selon les données de la Fédération Française de Football (2002). La densité défensive est plus importante. Les espaces sont plus réduits et de ce fait les joueurs doivent agir rapidement pour surprendre les adversaires tout en étant plus adroits et mieux positionnés. David Trezeguet évoque bien l'ensemble de ces qualités : un joueur adroit, toujours bien placé, qui frappe dans toutes les positions et qui cadre ses tirs de manière optimale. Rappelons que 67% des buts étaient marqués en 1 touche de balle (sans contrôle) et 88% en 2 touches de balle lors de l'Euro 2000. Carling et al (2007) confirmaient ces chiffres lors de la coupe du monde 2002 en avançant des pourcentages de 78% et 90% en 1 et 2 touches de balles.

De plus, Jacquet et al, (2002) avaient trouvé que la zone de prédilection pour marquer des buts se situait entre le point de penalty et les 5.5 m (43.5% des buts en 2002). Les frappes de loin représentaient un taux de 14.9% en 2002 mais lorsque les défenses sont denses, les frappes en dehors de la surface de réparation peuvent être une arme efficace.

1.2.4. Les buts à la suite de coups de pieds arrêtés

Plus de 1 but sur 3 est marqué à la suite d'un coup de pied arrêté (Eriksson et al, 2001). Lors des différentes grandes compétitions internationales la proportion des buts sur coups de pieds arrêtés était de 34% en 2002, 40% en 1998 et 36.1% en 1994 (Jacquet et al, 2002). Par contre, ces données sont légèrement inférieures lors des championnats d'Europe : 28% en 2000 et 27.9% en 1996 (DTN et FFF, 2000). L'entraînement devra alors être orienté sur un travail consciencieux des coups de pieds arrêtés.

1.2.5. Les phases de jeu qui précédent les buts

A la coupe du monde 2002, 51.8% des buts sont marqués à la suite de centres, plus de 23% consécutivement à des combinaisons à base de passes courtes et 5.8% grâce à des passes longues (Jacquet et al, 2002). Les centres sont véritablement un élément clé lorsque les blocs défensifs sont en place. Il faut les contourner, les déséquilibrer pour trouver des positions de centres favorables (Mourinho, 2005). Toutefois, nous devons relever que 18.7% des buts se marquent soit par des actions personnelles, des cafouillages ou des buts contre son camp (Figure 5).

Les attaques placées avec des actions de plus de 15 secondes avaient permis de marquer 29% en 1998 et 31% des buts en 2002, Jacquet et al (2002). Carling et al (2007) avaient relevé que 46% des buts étaient marqués en moins de 10 secondes lors de cette même compétition. Ces valeurs diffèrent selon les cultures footballistiques. Au cours de la saison de 1ère League anglaise, un tiers des buts étaient marqués en moins de 2 secondes et 82% en moins de 11 secondes (Carling et al, 2007). La capacité d'une équipe à évoluer et à trouver des solutions en attaque placée va permettre d'optimiser ses chances de marquer un but (Mourinho, 2005).

1.2.6. Les buts selon la période du match

Jacquet et al (2002) avaient relevé que 38.5% des buts étaient marqués lors des 30 dernières minutes lors de la coupe du monde 2002. Par contre lors du championnat d'Europe en 2000, ce fut le 1er quart d'heure de la 2ème mi-temps qui fut le plus prolifique en buts (DTN et FFF, 2000). Carling et al (2007) confirmaient ces données. Lippi (2007) suggérait même d'en définir des indices de fatigabilité selon les zones de provenances des buts et les postes occupés.

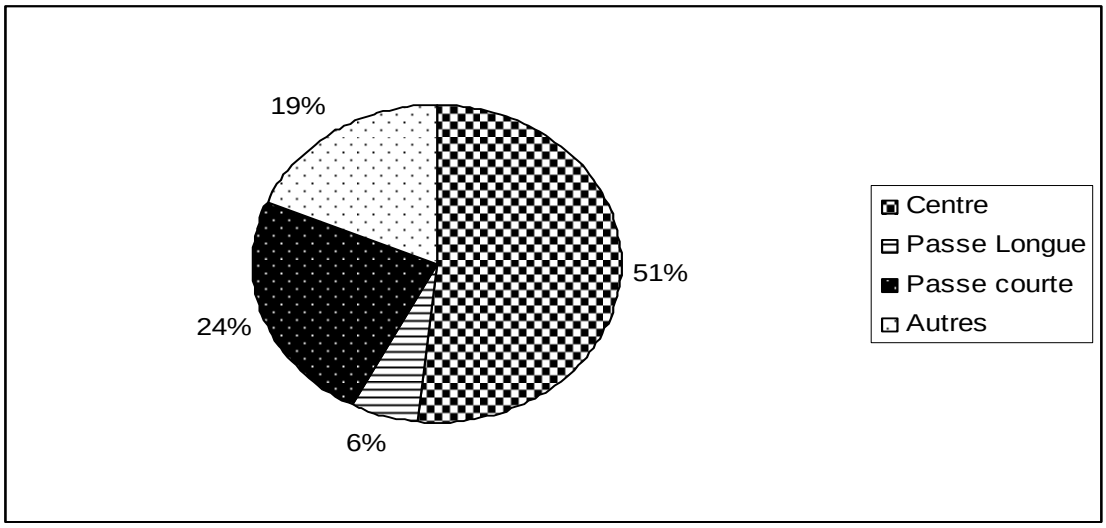


Figure 5. Répartition des actions amenant à des buts lors de la coupe du monde 2002, DTN et FFF (2002).

1.3. Synthèse de l'analyse de l'activité du footballeur

L'analyse de l'activité technico-tactique des joueurs est très explicite : les footballeurs sont très peu en possession de la balle et le nombre de touches de balle moyen est également très faible (Bangsbo, 2007). Par conséquent, ils doivent agir rapidement tout en étant endurants, forts lors des duels, coordonnés, adroits, mobile dans la gestuelle tout en ayant de la lucidité dans les prises de décisions (Mourinho, 2005). Leurs conditions physiques doivent être optimales pour retarder la fatigue et de ce fait ils pourront être techniquement et tactiquement performants (Lippi, 2007).

Ainsi, les analyses de l'activité technico-tactique et de l'activité physique ont permis de distinguer les différents facteurs de la performance en football. Ils regroupent indépendamment et en interaction : l'endurance, la force, la coordination, la vitesse, la mobilité articulaire et musculaire, la technique et la tactique individuelle et collective. Nous pourrions rajouter d'autres facteurs tels que l'hygiène de vie et les capacités psychologiques du joueur mais nous nous limiterons à la condition physique tout au long de cette thèse.

CHAPITRE I

2. ANALYSE DES FACTEURS DE LA PERFORMANCE – ASPECT DE LA PREPARATION PHYSIQUE

2. Analyse des facteurs de la performance – aspect de la préparation physique

L'analyse de l'activité du footballeur a permis de dégager les différents facteurs de la performance au niveau de la composante de la condition athlétique. Les qualités physiques sont dépendantes l'une de l'autre, elles sont en interaction (Bangsbo, 2007). De plus, elles interfèrent directement avec la performance technique et tactique au cours d'un match (Lippi, 2007). Partant de ces constats, nous comprenons bien l'importance d'optimiser les différentes qualités physiques et d'en avoir une connaissance approfondie (Peñas, 2002). Dans le cadre de cette thèse nous allons nous intéresser à deux d'entre elles : l'endurance et la vitesse. La mobilité, la coordination et la force ne seront pas traitées. Cependant, nous y ferons référence tout au long de cette partie parce que les qualités de force (Meier, 2007) et de flexibilité (Weineck, 1998) interagissent sur la performance de vitesse, d'endurance spécifique et de coordination (Sassi, 2001).

2.1. L'endurance

L'endurance est une qualité fondamentale dans la performance en football (Hoff et al, 2002). Un joueur parcoure entre 9995 m et 11233 m lors d'un match (Rampinini et al, 2007a). L'endurance permet aux footballeurs d'exprimer leurs qualités technico-tactiques. Son développement fait appel à une méthodologie précise à laquelle nous devons faire correspondre nos objectifs. Différentes méthodes permettent de la développer et de l'optimiser, et c'est pourquoi nous allons plus précisément nous attarder sur des procédés qui sont considérés comme spécifiques au football.

2.1.1. Définition de l'endurance

L'endurance constitue une qualité indispensable afin d'optimiser le travail effectué au sein des autres facteurs de la performance du footballeur tels que la force ou la vitesse avec pour objectif final l'expression optimale des qualités techniques, physiques et tactiques durant son match et ce quel que soit le niveau de jeu. La notion d'endurance est très délicate à définir clairement. De manière large, elle consiste en toute action qui se prolonge dans le temps (Billat, 1994). Nous dénotons une multitude de définitions selon la pratique et les objectifs de travail. Nous proposons d'utiliser la définition utilisée par Sassi (2001). Il l'avait décrite comme une qualité qui permet à la fois de développer les systèmes cardio-vasculaires et cardio-respiratoires en effectuant des actions maintenues à une intensité donnée et durant un temps donné. Elle s'effectue en rapport avec l'objectif souhaité : travail en endurance fondamentale, en capacité aérobie, en puissance aérobie, en résistance, en optimisation de la VMA ou encore de la vitesse associée à la consommation maximale d'oxygène (vVO_2max). La valeur de VO_2max occupe une place centrale au sein du développement de l'endurance. Nous la traiterons dans les paragraphes suivants. Toutefois, nous présentons ci-dessous les différentes études ayant relaté la valeur de VO_2max d'un footballeur de haut-niveau (Tableau 11). Ces données permettent de situer les aptitudes des joueurs, de les suivre et surtout d'orienter les entraînements en endurance.

L'endurance consiste à utiliser certains substrats (glucide, lipide et protéine) en milieu aérobie (mitochondries, cycle de Krebs et chaînes respiratoires) ou anaérobie lactique afin de produire un stock d'ATP, l'energie indispensable à l'application d'exercices en endurance. Cette dégradation des substrats énergétiques est le résultat d'un ensemble de mécanismes physiologiques avec notamment les métabolites et les enzymes qui participent à la réaction chimique permettant de reformer des mocules d'ATP. La part majoritaire du métabolisme aérobie ou anaérobie est définie par l'intensité de travail mais aussi par la nature et la durée de la récupération.

Tableau 11. Le VO_2max des footballeurs de haut-niveau.

Auteurs	Niveau de pratique	VO_2max (ml/kg/min)
Withers et al (1977)	Internationaux australiens	62,0
Ekblom (1986)	Internationaux	61,0
Bangsbo et Mizuno (1988)	Professionnels danois	**66,2**
Chatard et al (1991)	Equipe nationale africaine	55 / 56
Cazorla (1991)	Professionnels français	61,1
Puga et al (1993)	Professionnels portugais	59,6
Tiryaki et al (1997)	Professionnels turcs	**51,6**
Drust et al (2000)	Internationaux universitaires	58,9
Helgerud et al (2001)	Internationaux espoirs norvégiens	58,1 / 64,3
Wisloff et al (2004)	Professionnels norvégiens	65,7
Santos-Silva et al (2007)	Professionnels brésiliens	54,5-55,2
Casajus et Castagna (2007)	Professionnels espagnols	54,9

2.1.2. Les différentes formes d'endurance

L'endurance est constituée de différentes caractéristiques et composantes auquelles nous attribuerons plus ou moins d'importance selon la période d'entraînement. Toutefois, chaque forme d'entraînement se développe à une allure précise en fonction de la vitesse maximale aérobie (VMA) ou de la *v*VO_2max qui aura été déterminée à la suite d'un test de type Vameval (Cazorla et Léger, 1993) ou Léger-Boucher (Léger et Boucher, 1980).

2.1.2.1. L'endurance fondamentale (EF)

- **Définition**. Elle correspond à l'intensité de base de l'entraînement physique avec une utilisation privilégiée des lipides. Elle permet d'utiliser les acides gras libres et donc de maintenir le taux de glycémie dans le sang (Billat, 1998).

- **Aspect physiologique**. Elle permet d'augmenter le taux de cellules adipeuses exploité, d'effectuer une meilleure irrigation du système cardio-vasculaire, d'augmenter la capillarisation (qui irriguent les fibres musculaires) et donc d'augmenter la surface d'échange métabolique ce qui va permettre d'améliorer les ressources énergétiques et les réserves en oxygène (Billat, 1998). Le degré de capillarisation du muscle est essentiellement contrôlé par la demande en oxygène et ce quel que soit le type de fibre (Vock et al, 1996). Cette donnée de la capillarisation est fondamentale car elle permet d'évaluer la distribution de l'oxygène et des substrats mais aussi l'épuration des déchets métaboliques (Vock et al, 1996). L'EF va donc accroître le volume cardiaque, augmenter le volume d'éjection systolique (VES) et la FC.

- **Donnée de l'entraînement.** Elle se travaille à une vitesse supérieure à 50% de la *v*VO_2max (Bangsbo, 1994b). Certains auteurs utilisent la FC comme moyen de contrôle de l'allure. Cette méthodologie est délicate pour son application en football car la variabilité cardiaque, la FC de repos, la FC max sont toutes différentes d'un individu à un autre. Dupont (2003) conseille alors de travailler en fonction de la FC de réserve qui va être décrite par la suite, soit en rapport à la *v*VO_2max.

- **Utilisation pratique.** Elle est généralement utilisée en début de saison afin de constituer la base de la condition physique du joueur avant d'effectuer des séances de préparation physique plus spécifique (Balsom, 1995). Elle est très souvent utilisée le matin à jeun lors des premières séances, dans l'objectif de remettre le footballeur à son niveau de masse grasse initial ou adéquat car il prend souvent quelques kilos pendant les vacances (Mac Ardle et al, 2004). Des séances en endurance fondamentale peuvent également être utilisées au cours de la saison afin de maintenir un niveau d'endurance basal nécessaire. Certains auteurs les appellent les séances de « piqûres de rappels » (Gacon, 1997). Toutefois, certains staff techniques occultent cette forme d'endurance et travaillent directement en capacité aérobie (Sassi, 2001).

2.1.2.2. La capacité aérobie (CA)

- **Définition**. Elle correspond à l'intensité à partir de laquelle le footballeur développe ses qualités d'endurance (Weineck, 2007).

- **Aspect physiologique**. Elle permet une utilisation glycolytique entraînant une accumulation de lactatémie et par conséquent la réserve de glycogène musculaire va augmenter (Billat, 1998). La CA va améliorer le fonctionnement des systèmes cardio-vasculaire et cardio-respiratoire avec une hausse du nombre et de la surface des mitochondries, qui est un élément indispensable au développement de l'endurance et donc de la réserve d'oxygène de la cellule et dans le sang (Wilmore et Costill, 2006). Costill et Trappe (2002) avaient relaté qu'un entraînement de 27 semaines s'accompagnait d'une hausse de 5% du nombre de mitochondries par semaine et d'une augmentation de 35% de la taille des mitochondries. Ils observaient également une hausse de la densité en capillaires qui irriguent les fibres musculaires et une augmentation des enzymes aérobies. L'entraînement en endurance permet d'accroître jusqu'à 40% le nombre de capillaires bordant les fibres musculaires (Wilmore et Costill, 2006).

- **Donnée de l'entraînement.** Elle se travaille à une vitesse comprise entre 70% et 85% de la vVO_2max ou de la VMA (Billat, 1998). D'autres auteurs proposaient de travailler par rapport à la FC (e.g. Balsom et al, 1991) mais les différences interindividuelles constituent un problème majeur dans la comparaison. De ce fait la FC de réserve serait un bon outil d'entraînement.

- **Utilisation pratique.** Elle est généralement utilisée dès le début de saison à base de footing continu afin de préparer le « terrain physiologique », de développer les structures physiologiques spécifiques à l'endurance et pour retrouver une aisance respiratoire (Mac Ardle et al, 2001). Le cycle est très court, de l'ordre de 10 à 21 jours selon les auteurs et la méthodologie (Pradet, 2002). La CA est également préconisée comme intensité de base pour la récupération (type décrassage ou autre).

2.1.2.3. Puissance aérobie

- **Définition**. Elle correspond à l'intensité à partir de laquelle nous allons augmenter, optimiser notre potentiel en endurance et notre capacité à maintenir des courses à haute intensité (Billat, 1998). Les exercices préconisés sont soit continus soit à base d'exercices

par intervalles ou intermittents. Ces exercices sont appliqués avec des variations de charges, des modifications du type de récupération ou des formes de course.

- **Aspect physiologique**. La production de lactates devient importante (dans le sang l'acide lactique est dissocié en lactate et proton H^+) se situant de 7.5 à 16 mmol/L, et le substrat énergétique majoritairement utilisé est le glycogène (Mac Ardle et al, 2001). Une hausse des enzymes glycolytiques et oxydatives tels que la phospho-fructo-kinase (PFK), la malate-dehydrogenase (MDH) et la succinate-dehydrogenase (SDH) est observée mais l'entraînement en endurance n'aurait aucun effet sur la phosphorylase (Wilmore et Costill, 2006). Cette hausse de l'utilisation du glycogène et donc cette accumulation de [La] vont permettre d'élever le stock de glycogène musculaire par différentes dégradations (glycolyse aérobie ou anaérobie) pour l'exercice. Ces exercices vont permettre d'optimiser le VO_2max et la VMA dont des détails seront apportés dans la partie spécifique aux exercices intermittents. Enfin, nous notons que ces exercices permettent une sollicitation mixte des filières aérobie et anaérobie (Lacour et al, 1992).

- **Donnée de l'entraînement.** Elle se travaille à une vitesse comprise entre 90% et 120% de la *v*VO_2max ou de la VMA. Nous dénotons trois types d'exercices : continus, par intervalles ou intermittents. Les plus utilisés sont les exercices intermittents courses de courtes durées en ligne puis en navette au cours de la saison. Ce sont essentiellement des exercices intermittents de type 30-30, 45-15, 20-20, 15-15, 10-10 et 5-25 (temps de travail – temps de récupération). L'intensité est définie selon l'objectif de la séance. L'application se fait en fonction de sa VMA et donc en fonction de la distance correspondante (Billat, 1998). Le staff technique variera les différentes intensités, le type de récupération, la durée et le nombre de blocs, la forme de l'exercice…

- **Utilisation pratique**. Ces séances s'appliquent à partir de la 2-3ème semaine d'entraînement avec une évolution des intensités, de la durée des blocs, du nombre des blocs de travail et de la forme de travail (en ligne ou en navette). Ces séances correspondent à l'activité du footballeur, c'est-à-dire des actions dites intermittentes (Bangsbo, 1994b et 1998). Ces types d'entraînements sont également très utilisés dans les séances de ré-athlétisation car ils permettent de développer à la fois la filière aérobie et anaérobie.

2.1.3. L'entraînement de l'endurance sur le terrain de football

La méthodologie de l'entraînement peut différer selon les staffs techniques. La période d'entraînement en endurance s'étale en général sur une durée de 7 semaines de préparation (Mourinho, 2005). Concernant la préparation physique, nous notons 2 semaines où les joueurs effectuent un travail de base (EF et CA) représentant 20 à 30% de la préparation globale, 4 semaines où ils effectuent un travail spécifique (CA et puissance aérobie) représentant 50 à 65% de la préparation globale puis 1 semaine d'affûtage afin de préparer à la compétition officielle (Monkam Tchokonte et al, 2008).

Les entraîneurs doivent respecter l'individualisation des charges (Dupont, 2003), une alternance des charges et la progressivité des charges (volume et intensité) comme nous le présentons à la Figure 6. Ce dernier aspect de progressivité de la charge est indispensable (Bompa, 1996) et s'applique par un travail continu vers un travail intermittent en ligne puis en navette (Figure 7).

Dans l'objectif d'appréhender la qualité d'endurance du footballeur, nous allons évoquer les différentes méthodes qui sont utilisées pour son développement de manière générale et

spécifique. Les *exercices intermittents* seront sujets à une analyse poussée car ce sont les efforts que le staff technique va le plus souvent utiliser (Bangsbo, 2007). Toutefois nous devons toujours utiliser différentes formes d'entraînement afin de surprendre l'organisme et développer un niveau supérieur d'adaptation (Sassi, 2001).

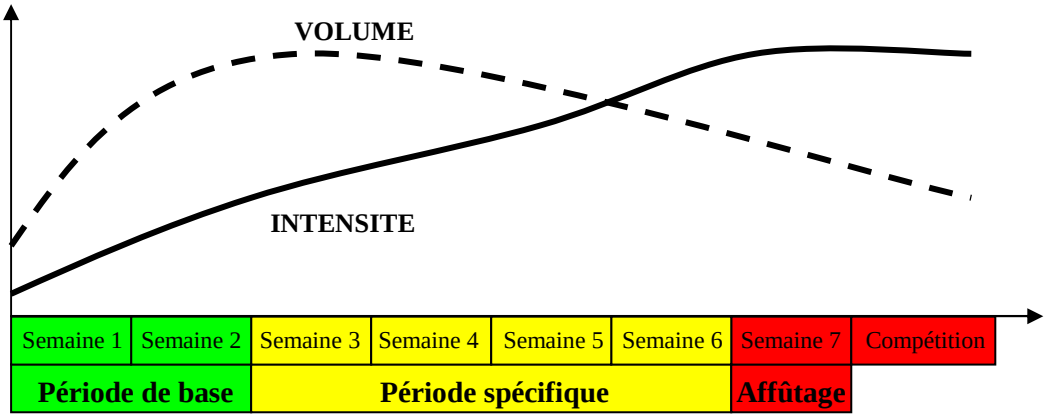


Figure 6. Evolution des charges de travail au cours de la préparation physique d'avant saison.

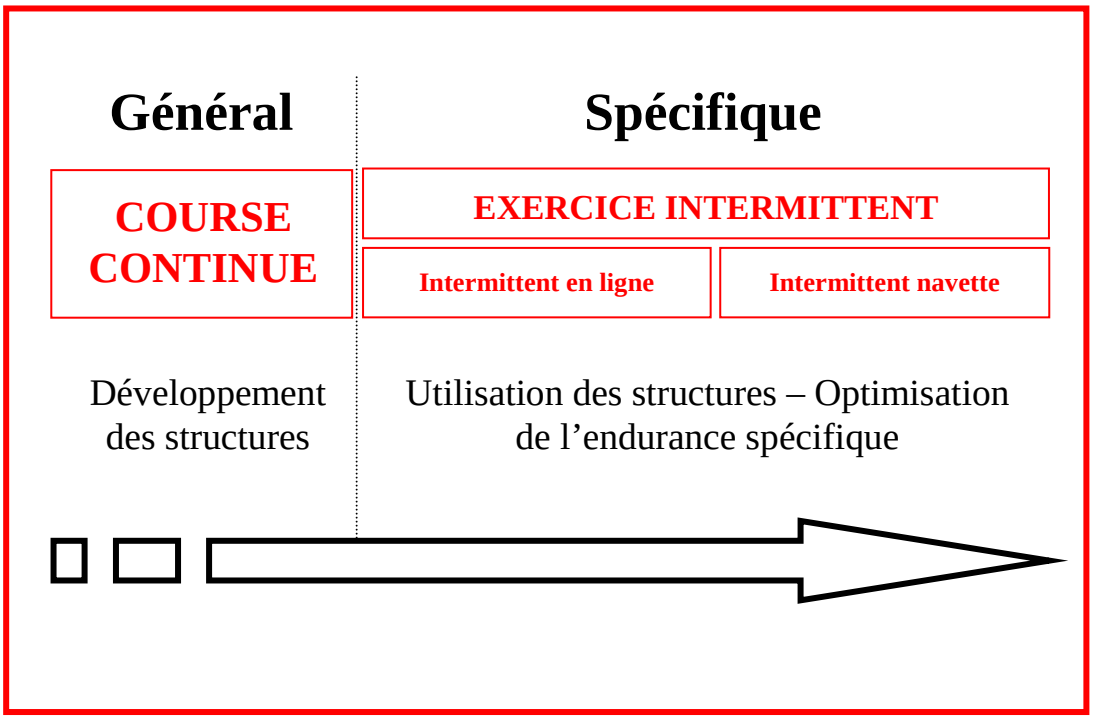


Figure 7. Progressivité du développement de l'endurance en football, Dellal et Grosgeorge (2006).

2.1.4. Les exercices intermittents

Les exercices intermittents constituent des entraînements incontournables dans le milieu du football. Bangsbo (1994a et 1994b) et Verheijen (1997) avaient analysé et décrit l'activité du footballeur comme une activité dite « intermittente » car durant un match, les joueurs effectuent différentes actions tels que les dribbles, des sprints ou encore des changements de direction à des intensités qui varient aléatoirement et qui diffèrent selon le poste, le niveau de jeu, l'expérience et le rôle joué au sein de l'équipe.

Ainsi, ces types d'exercices sont certainement les plus en adéquation avec l'activité du footballeur. De ce fait, de nombreux auteurs se sont intéressés à ces types d'exercices. Ils définissent cette activité comme une succession continue et aléatoire de périodes d'efforts et de périodes de récupérations actives ou passives. Nous allons présenter en détails les exercices intermittents en faisant référence aux données scientifiques du moment.

2.1.4.1. Caractéristiques de la charge intermittente

2.1.4.1.1. Généralités : origine, dénomination et fonction

Dans les années 1940 Gerschler, Reindell et Roskamm ont élaboré la méthode des efforts intermittents, ils l'appelaient « l'interval-training » (Parienté, 1996). Dans le milieu de l'athlétisme, « cette procédure a été popularisée dans les années 1950 par Zatopek qui répétait au cours d'une même séance jusqu'à 120 fois 400 m en 1.07 min, soit 86% de son VO_2max avec une récupération active de 2 min entre chaque course » (Billat, 1998). Reindell et Roskamm (1959) sont les premiers à décrire scientifiquement l'exercice intermittent. Depuis, cet exercice a suscité l'intérêt de nombreux chercheurs. Balsom (1995) a rapporté dans sa thèse les différentes expressions utilisées dans la littérature scientifique (Tableau 12). Nous pourrions ajouter l'un ou l'autre terme, notamment le Fartlek qui est un vocable suédois signifiant « jeu de vitesse » et qui est une forme d'exercice intermittent qui consiste à courir dans des chemins vallonnés et à jouer sur les allures de vitesse.

Tableau 12. Les autres termes qui ont été proposés pour définir l'intermittent de haute intensité, Balsom (1995).

APPELATIONS	AUTEURS
Exercice intermittent d'intensité supra maximale	Margaria et al (1969)
Exercice intermittent	Saltin et Essén (1971)
Interval-training	Fox et Mathews (1977)
Répétition maximale de sprints	Wooton et Williams (1983)
Sprints multiples	Williams (1987)
Exercice intermittent supra maximal	Rieu et al (1988)
Exercice intermittent maximal	Gaitanos (1990)
Répétition brève d'exercices maximaux	Brooks et al (1990)
Exercice intermittent maximal	Hamilton et al (1991)
Répétition de périodes de sprint	Gaitanos et al (1993)
Exercice intermittent sprint	Nevill et al (1993)
Répétition de période d'un maximum d'exercices de durée courte	Lakomy et al (1994)
Exercice intermittent intense	Bangsbo (1994a)

Nous notons que ce type de travail permet de développer et de maintenir l'endurance et la capacité aérobie (Sassi, 2001). Le VO_2max d'un athlète qui évolue linéairement par rapport à la fréquence cardiaque (FC), représente le plus fidèle indice physiologique d'un travail en endurance (e.g. Billat et al, 2000b). Comparé à un travail continu, la charge intermittente présente de nombreux avantages même si leur coexistence semble indispensable. Ce travail intermittent présente différentes caractéristiques.

2.1.4.1.2. Densité de la charge intermittente

Cette notion se définit comme le rapport entre les temps de travail et les temps de récupération (W/R). Elle est à l'origine des diverses définitions attribuées au travail intermittent. Pradet (2002) propose quatre méthodes d'intermittents selon ce rapport W/R (Tableau 13) et selon la vitesse maximale aérobie (VMA).

La 1ère méthode est celle des efforts intermittents de longues durées : l'athlète doit effectuer une succession d'efforts supra-maximaux d'au moins 3 min entrecoupés d'une récupération équivalente (la vitesse est supérieure de 3 km/h à la VMA).

La 2ème méthode est celle des efforts intermittents de durées moyennes avec des temps de travail à une vitesse supérieure de 5 km/h à la VMA et avec une récupération de 2 min 30.

La 3ème méthode est celle des efforts intermittents de courtes durées avec 15 s de travail à une vitesse supérieure de 7 km/h à la VMA avec une récupération de 1 min 30 à 2 min.
Ces deux premières méthodes semblent être difficilement réalisables. En effet Billat et al (1994) ont montré que le temps limite à VMA se situe aux alentours de 4 à 8 min.

La dernière méthode est celle du « court-court », avec des efforts et des récupérations variant entre 10 et 30 s du type 30 s de travail et 30 s de récupération (30-30).

Tableau 13. Les caractéristiques des actions permettant le développement du processus aérobie, Pradet (2002).

ACTION		RECUPERATION		QUANTITE DE TRAVAIL OU NOMBRE DE REPETITIONS
INTENSITE	*DUREE*	*DUREE*	*NATURE*	
PUISSANCE				
EFFORTS CONTINUS				
80% à 95% de la VMA	20 min à 45 min			1
EFFORTS INTERMITTENTS DE LONGUES DUREES				
VMA + 3km/h	± 3 min	3 min	active	> 6 répétitions
EFFORTS INTERMITENTS DE DUREES MOYENNES				
VMA + 5 km/h	± 1 min	2 min 30 s	active	> 8-10 répétitions
EFFORTS INTERMITTENTS DE COURTES DUREES				
VMA + 7 km/h	15 s	1 min 30 s - 2 min	active	> 12-15 répétitions
LE COURT-COURT				
	15 s ou 30 s	15 s ou 30 s	active	2 à 3 séquences et > 10 min dans la même séance

La densité de la charge est un élément très important dans l'organisation de la séance (Billat et al, 1996a). En effet la calibration des temps de travail et de récupération doit être faite avec beaucoup de précaution. Pour un 30-30 la densité serait de 1/1, une charge équilibrée. Elle sera identique à du 10-10 ou du 15-15. Nous dénotons majoritairement des densités de type 1/1, 1/2 (10-20), 1/3 (15-45) ou 1/4 (1'- 4'). Cette densité de la charge va directement influencer la filière énergétiques majoritairement sollicitée et donc les types de substrat utilisés. Par conséquent, ce rapport définit et est calculé en fonction de l'utilisation des stoks énergétiques et de leur délai restauration.

2.1.4.1.3. Temps de travail et temps de récupération

Au cours du travail intermittent nous constatons deux types de récupération : active et passive. La récupération active s'établit à une allure inférieure à 60% de la vVO_2max (Billat et al, 1996a). Elle permet notamment une accélération de l'irrigation sanguine utile pour l'évacuation des déchets métaboliques. La récupération passive, quant à elle, consiste à être totalement inactif. Le choix d'une récupération active plutôt que passive s'explique par le fait qu'elle induit une accumulation de lactate moindre et surtout l'athlète maintient le VO_2 à un niveau plus élevé (Bangsbo, 2008). Quand la récupération est passive, les muscles sollicités vont être plus fatigués mais Dupont et al (2003) avaient bien démontré que le joueur se fatiguait plus vite lors d'un 15-15 à récupération active (40% du VO_2max) qu'avec une récupération passive. En fait, le choix d'une récupération active ou passive dépendra du temps et de l'intensité de travail mais aussi de la durée et de l'intensité de la récupération qui vont jouer un rôle important dans la restauration des stocks éngergétiques.

Les choix des temps de travail et de récupération sont essentiels. Balsom (1995) a montré l'importance du temps de travail dans une étude où les sujets exerçaient des temps de travail soit sur un 15 m (2.5 s), un 30 m (4.5 s) ou sur un 40 m (5.5 s) avec une récupération passive de 30 s. Il a observé que les résultats de sprints sur 15 m se détérioraient après 40 répétitions tandis que pour les sprints sur 30 m et 40 m, les baisses de la performance apparaissaient plus tôt (Figure 8). De même Balsom (1995), a démontré l'importance de la durée de repos. Des sujets faisaient un sprint de 40 m avec une récupération de 30 s, 60 s ou 120 s (R=120). Plus le temps de récupération était long, plus les joueurs étaient performants. Ces résultats sont confirmés par les études de Wooton et Williams (1983) et Holmyard et al (1988). Dupont et al (2003) précisaient même qu'une récupération passive permettait d'avoir une diminution des oxyhémoglobines moindre, une meilleure resynthèse des phospho-créatines (PCr) et une plus haute ré oxygénation des myoglobines comparativement à une récupération active lors d'exercices intermittents de type 15-15. De ce fait, le temps d'épuisement est plus long en récupération passive selon la durée et l'intensité de la récupération.

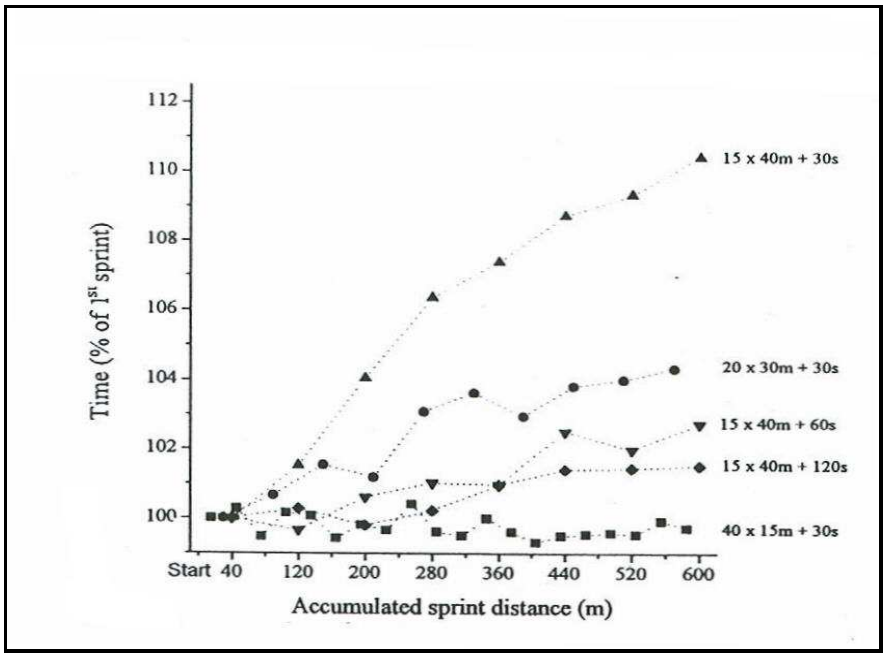


Figure 8. Effets des répétitions de sprints à 15, 30 et 40 m. Le temps est pris pour le 1er sprint, Balsom (1995).

2.1.4.1.4. Nature de l'effort

La nature de l'effort correspond au type de travail effectué. En général, les athlètes travaillent l'aspect endurance quand ils réalisent des exercices intermittents. Cependant ils peuvent développer d'autres facteurs que l'endurance : la coordination ou la force (Cometti 2002 et 1993). Cometti (2002) recherchait un travail en qualité en parlant d'un « intermittent - force ». Il remplaçait des répétitions de courses soit par un travail de force avec ou sans charge, soit par un travail de bondissements. Il proposait également de varier les facteurs sollicités durant les temps de récupération, en alternant de la course, du jonglage, des passes à deux joueurs ou des tirs. Toutefois, ce même auteur, Cometti (2003), avait démontré qu'un intermittent 10-20 avec une récupération passive durant un bloc de 8 min, à objectif unique VMA, permettait de développer plus fortement la VMA qu'un intermittent dont la nature de l'effort serait différente. De ce fait, les exercices intermittents seraient plus efficaces pour l'endurance du joueur quand ils utilisent uniquement l'aspect course.

Au contraire, Chtara et al (2005) nuançaient ces résultats après leur étude qui testait des étudiants en STAPS sur 12 semaines d'entraînement avec un groupe qui effectuait des séances de circuit training, un autre groupe qui réalisait des exercices intermittents et un dernier groupe qui pratiquait ces deux exercices au sein des séances. Ils trouvèrent qu'un cycle d'entraînement de 12 semaines comprenant des séances mixtes, soit un exercice intermittent suivi d'un exercice de renforcement musculaire en circuit training, permettaient d'améliorer plus significativement les performances sur une course de 4 km qu'un entraînement en exercice intermittent unique. Ils ajoutaient même que ce type de séances améliorait plus fortement le VO_2max des joueurs.

2.1.4.1.5. Les différentes formes de l'exercice intermittent

Les exercices intermittents peuvent être soit accomplis en ligne, ce qui privilégiera le système central (FC et le VES), soit avec des changements de direction privilégiant le système périphérique. Ces changements de direction peuvent se faire en demi-tour, ils sont alors définis comme des exercices intermittents en navette, ou latéralement. L'entraînement intermittent en navette se distingue d'une séance intermittente en ligne par une augmentation plus importante de la lactatémie et des NH_3 tout en ayant un temps limite de maintien de la performance moins important (Dellal et Grosgeorge, 2006 ; Ahmaidi et al, 1992). Le nombre de changements de direction lors d'exercices intermittents en navette influencerait instantanément le coût énergétique de la course et la performance de l'athlète (Bisciotti et al, 2000 ; Thompson et al, 1999 ; Ahmaidi et al, 1992).

Nicholas et al (2000) avaient mis au point un test à la base d'exercices intermittents en navette et en continu, « The Loughborough Intermittent Shuttle Test », afin de trouver des similitudes avec les incidences physiologiques d'un match de football. Il est désigné comme un test simulant l'activité du footballeur en match sur un plan physiologique et physique. Ce type d'exercice serait proche de la réalité des actions faites par un joueur au cours d'un match. Toutefois il ne permet pas d'organiser des entraînements intermittents en navette.

Buchheit (2008) avait mis en place un test intermittent progressif de type 30-15 permettant d'individualiser les entraînements intermittents en navette. Ce test est uniquement validé pour de jeunes footballeurs. Il permettrait d'atteindre une vitesse de course maximale faisant intervenir en même temps plusieurs facteurs déterminant de la performance en sport collectif, à savoir le VO_2max bien sûr, mais également les qualités de récupération et les qualités d'explosivité musculaire (Dellal, 2008).

2.1.4.1.6. La fréquence cardiaque

Au cours d'un entraînement intermittent, l'évolution de la FC est différente de celle obtenue durant un travail continu (Gacon in Cometti, 2002), (Figure 9). Pour un travail intermittent, nous observons que la FC atteint des pics de valeurs significativement plus élevées que lors d'un travail continu et par conséquent, Balsom et al (1995) définissait les exercices intermittents comme un travail d'endurance. En effet, Ahmaidi et al (1992) avaient relevé que les valeurs de FCmax atteinte lors du test Léger-Boucher (1980) étaient significativement équivalentes que celles obtenus lors du test non-continu, le test Luc Léger (Léger et Lambert, 1982). La FC représente parfaitement un individu travaillant en filière aérobie car elle évolue linéairement à la VO_2 pour des exercices longs (Figure 10). Cependant n'oublions pas que la FC max ne correspond pas obligatoirement au VO_2max (Dupont et al, 1999). L'utilisation et l'exploitation de la FC lors d'exercices intermittents doivent donc être utilisées avec précaution. Les auteurs préfèrent encourager l'utilisation d'une distance calculée en fonction de la VMA, de la *v*VO_2max ou directement du VO_2max (e.g. Billat et al, 2000a et b ; Kachouri et al, 1996)

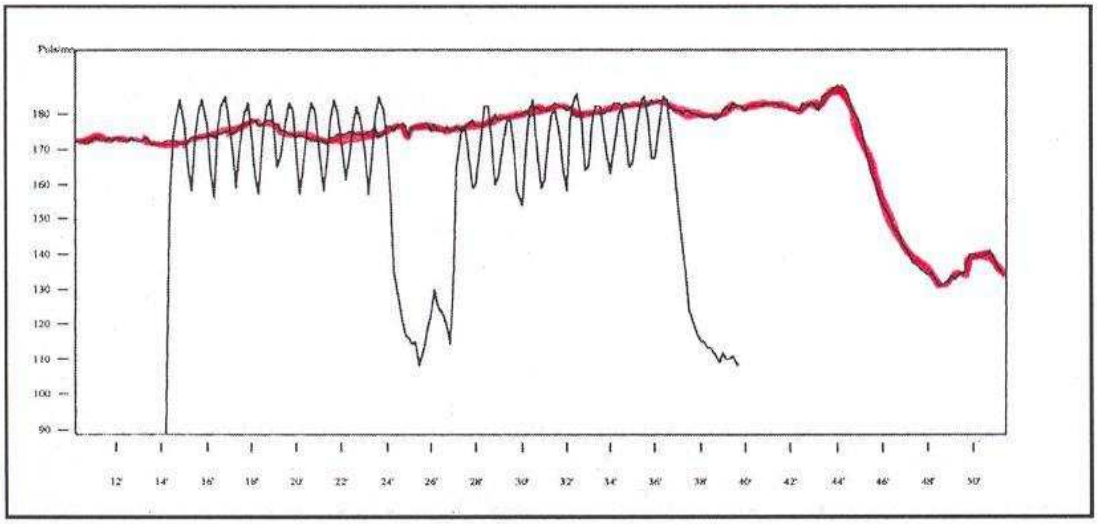


Figure 9. La FC lors d'un effort continu superposé à la FC d'un effort intermittent 30-30, Cometti (2002).

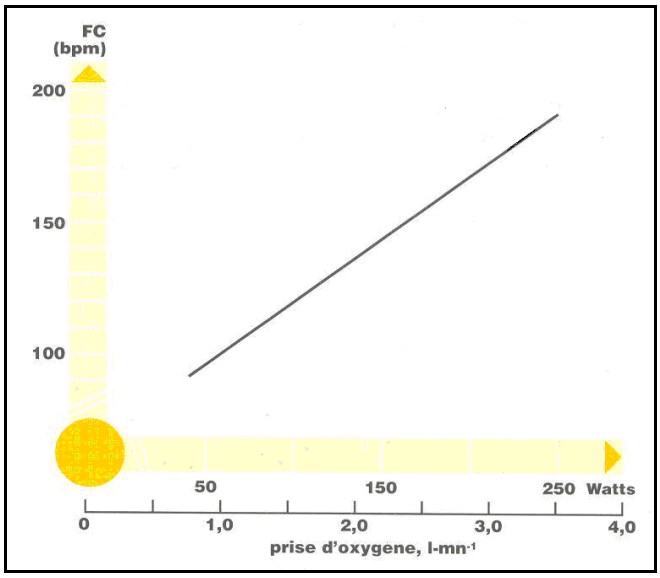


Figure 10. Relation entre FC et la consommation d'oxygène, Balsom (1999).

2.1.4.1.7. Les métabolismes du travail intermittent

Le travail intermittent est une sollicitation mixte anaérobie et aérobie (Dupont, 2003 ; Thibault, 1996 ; Gaitanos et al, 1993 ; Lacour et al, 1992 ; Christensen et al, 1960). La part d'énergie apportée par ces deux métabolismes énergétiques dépend des différentes caractéristiques des exercices intermittents (Bangsbo, 2007). Quelles sont les conséquences physiologiques et énergétiques d'un entraînement intermittent ?

- **Le métabolisme anaérobie**

La part de la participation du métabolisme anaérobie à la fourniture énergétique dépend de l'intensité et du temps de travail (Bangsbo, 2008). Lors des toutes premières secondes de l'exercice intermittent, la PCr est utilisée. Le reste de l'énergie anaérobie est délivré par la glycolyse anaérobie menant à une formation de lactate peu importante, compte tenu de la courte durée de ces exercices intermittents (Balsom, 1995). De plus, le lactate formé va être métabolisé durant les temps de récupération.

Gaitanos et al (1993) ont montré qu'au-delà du premier temps de travail lors de 10 répétitions de 6 s de sprint maximal avec une récupération passive de 30 s, que l'énergie requise pour conserver un rendement de puissance moyen avait été générée par une contribution égale de la dégradation de PCr et de la glycolyse anaérobie. Tout au long de courtes périodes de travail très intensif, la majorité de l'énergie nécessaire pour la contraction musculaire serait fournie de façon anaérobie par la rupture des liaisons PCr et par la glycolyse anaérobie (Boobis et al, 1982) ; la rupture des liaisons des PCr (200 ms) étant plus rapide que le mécanisme de la glycolyse.

- **Le métabolisme aérobie**

L'exercice intermittent utilise la stimulation des processus aérobies qui s'observe à l'issue d'un effort ayant provoqué une dette d'oxygène (O_2) dans l'organisme de l'athlète (Pradet, 2002). Christensen et al (1960) relataient qu'une part de l'énergie nécessaire à la contraction du muscle proviendrait des réserves de ce métabolisme (O_2). Bien que lors d'un exercice intermittent les réserves de l'organisme en O_2 ne soient pas importantes, cette molécule est fortement sollicitée passé un délai temporel. L'O_2 est limitée dans le muscle où elle se lie à la myoglobine et dans le sang où elle se lie à l'hémoglobine. Astrand et al (1960) notaient environ 2 mmol d'O_2/kg durant les phases initiales de l'exercice. La myoglobine est une protéine qui ressemble à celle de l'hémoglobine et qui constitue une réserve d'O_2, tout en permettant de transporter l'O_2 du sang vers les mitochondries des cellules musculaires (Fox et Mathews, 1981). L'O_2 dissout dans les muscles, constitue une source d'énergie directement utilisée dès le départ de l'exercice intermittent. L'activité aérobie va donc permettre d'élever la proportion de l'utilisation des PCr (Balsom, 1995) car l'O_2 permet la resynthèse des PCr lors des temps de récupération et donc il réduit la production de lactate (Bangsbo, 2007).

Pour un exercice de 10 répétitions de 6 s de temps de travail à intensité maximale, ce métabolisme aérobie participe à 20% de la fourniture de l'énergie totale (Balsom, 1995). Durant la récupération de ces exercices intermittents de hautes intensités, l'Adénosine-Tri-Phosphate (ATP) va être régénérée exclusivement par le métabolisme aérobie (Harris et al, 1975). Il y a une relation directe entre la réserve d'O_2 dans le muscle et le pourcentage de PCr resynthétisé durant la récupération. Une hausse du pourcentage de PCr resynthétisé sera plus grande pour les fibres lentes (ST) que pour les fibres rapides (FT), (Balsom 1995). En effet, les ST présentent une capillarisation plus importante (Pette et Staron, 1990), une forte teneur en myoglobine (Richardson et al, 2001), une richesse en glycogène et en mitochondries renfermant les enzymes aérobies utilisées préférentiellement par le métabolisme aérobie (Saltin, 1977).

2.1.4.2. Entraînement et exercice intermittent

2.1.4.2.1. Méthodologie du travail intermittent

Sachant qu'un exercice intermittent s'effectue par rapport à la VMA, l'entraîneur doit connaître la VMA des athlètes. Cependant, Cazorla et Léger (1993) trouvaient une différence notable entre une VMA ligne et une VMA navette. Un test VMA en ligne tel que le Léger-Boucher (1980) relèverait une VMA utile pour l'établissement d'exercices intermittents en ligne. L'IFT 30-15 test de Buchheit (2008) permet quant à lui d'orienter les exercices intermittents en navette mais à ce jour, il est validé uniquement sur des jeunes footballeurs. D'autres tests proposés par Bangsbo (1994a), le « Yo-Yo Intermittent Endurance Test » et le « Yo-Yo Intermittent Recovery Test », permettent d'évaluer et d'apprécier la capacité des athlètes à soutenir des exercices intermittents de hautes intensités et leurs capacités à récupérer entre ces types d'efforts (Krustrup et al, 2003a ; Krustrup et al, 2003b). Le staff technique doit ainsi croiser ces différentes données afin d'orienter au mieux l'application d'exercices intermittents en navette de manière individuelle (Dellal, 2008).

La VMA étant connue, le staff technique pourra choisir minutieusement les caractéristiques de cet entraînement (Tableau 14). Reindell et Roskamm (1959) attribuaient de l'importance aux périodes de récupération tandis que Fox et Mathews (1977) attribuaient une importance à la période d'exercices intenses faisant référence à certaines réalités physiologiques. Ces réalités sont notamment : définir la filière métabolique prédominante et établir le programme d'entraînement le plus efficace. En prenant conscience de ces règles nous pourrions utiliser ces principes pour déterminer : les caractéristiques des temps de travail et des temps de récupération, la densité de la charge, la nature du travail, la forme du travail et le nombre de répétitions ainsi que des séries.

Les caractéristiques de ces exercices doivent être combinées pour qu'il y ait des effets sur les athlètes qui devraient aussi modifier leurs habitudes (Berg, 2003). « Lorsque l'intensité est supérieure au VO_2max, les marqueurs aérobies et anaérobies peuvent être améliorés, alors que lorsque les intensités sont inférieures à la VMA, seuls les marqueurs aérobies peuvent être améliorés », Dupont (2003).

Thibault (1999) a proposé un modèle (Figure 11) permettant de construire 35 séances différentes. Ce modèle permettait de contrôler le niveau de difficulté des séances et de percevoir une sensation de fatigue subjective. Enfin nous notons qu'un exercice intermittent doit s'établir à une intensité supérieure à 100% de la VO_2 max (Billat et al, 1996a).

Brown et al (2008) relevaient que les performances lors d'exercices intermittents de hautes intensités ne seraient pas dépendantes du type d'échauffement, qu'il soit passif ou actif.

Tableau 14. Caractéristiques des principaux exercices intermittents en football.

Exercice Intermittent (travail / récupération)	Intensité (en % de la VMA)	Type de récupération	Nombre et durée des blocs (en min)	Nombre de temps de travail	Nombre de temps de récupération	Exemple de distance utilisée pour les exercices en navette
30-30 ou 30-60	100%, 105% et 110%	Active (50% de la VMA)	1 * 11'30	12	11	42 m
15-15 ou 15-30	105%, 110% et 115%	Passive	1 * 9'45	20	19	30 m
10-10 ou 10-20	110%, 115%, et 120%	Passive	1 * 6'50	21	20	21 m
5-25 ou 5-5	Maximale	Active	2 * 3' ou 1'	6	20	13 m

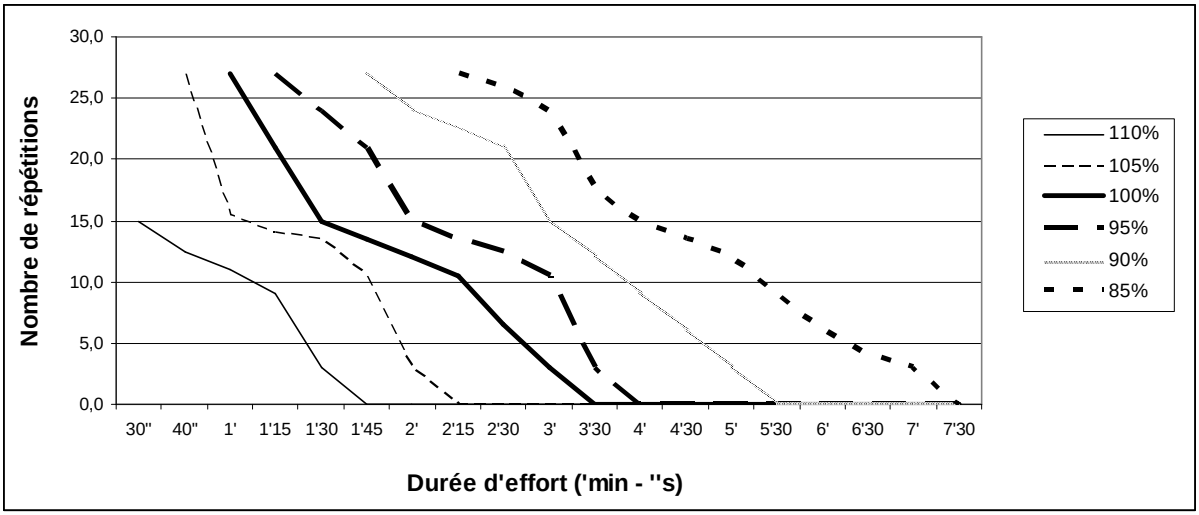


Figure 11. Présentation du modèle de l'entraînement en intermittent proposé par Thibault (1999).

2.1.4.2.2. Source d'énergie et substrat énergétique

➢ **La Phospho-Créatine (PCr).**

Les premiers articles relatant que la PCr était un substrat énergétique pour les exercices intermittents de hautes intensités sont issus de Margaria et al (1969), Saltin et Essén (1971) et Fox et Mathews (1977). Elle représenterait la source d'énergie principale pour reformer l'ATP au cours des premières secondes de l'exercice. Elle serait resynthétisée grâce à l'O_2 de l'organisme et à l'O_2 ambiant au cours d'une récupération active. Toutefois, Dupont et al (2003) précisaient qu'une récupération passive permettait d'avoir une diminution des oxyhémoglobines moindre, une meilleure resynthèse des phospho-créatines (PCr) et une plus haute ré oxygénation des myoglobines comparativement à une récupération active lors d'exercices intermittents de type 15-15. Pour des exercices d'intensité sous maximale, 50% de la PCr serait resynthétisée entre 21-22 s (Harris et al, 1975) et 30 s (Edwards et al, 1972) au cours d'une récupération active. Haseler et al (1999) considèrent que le demi-temps de restauration de la PCr serait plus proche de la minute. Ainsi la cinétique de resynthèse de la PCr n'est pas clairement identifiée car un grand nombre de variables sont à prendre en considération simultanément. De nouvelles techniques comme un spectromètre portable appelé encore « near infrared spectroscopy » (NIRS) permettraient d'analyser la concentration intra musculaire en PCr (Hamaoka et al, 2003 ; Dupont et al, 2007a). Cette méthode est très intéressante car elle est non invasive et elle est de plus en plus préconisée en sciences du sport afin d'obtenir des données concernant le métabolisme tissulaire (Neary, 2004), l'oxygénation musculaire et le volume sanguin au cours même de l'exercice (Bhambhani, 2004). Cette méthode utilise les propriétés de la lumière du NIRS (700-1000 nm) qui pénètre les couches superficielles et qui est absorbée par les chromophores tels que les oxy et deoxy hémoglobines et les myoglobines. Elle est aussi employée pour mesurer la saturation du tissu en O_2, les changements dans le volume d'hémoglobine, le flux de sang du cerveau ainsi que du muscle, et la consommation du muscle en O_2 (Ferrari et al, 2004).

D'autres exploitations tentaient d'analyser l'importance des PCr dans la performance lors d'exercices intermittents. Balsom et al (1994) ont démontré que la performance augmentait s'il y avait un régime d'au moins 6 jours à raison de 20 g/jour de créatine supplémentaire. Preen et al (2002) précisaient qu'un régime de 15 g de créatine sur 5 à 6 jours améliorait également la performance en travail intermittent. Toutefois, ils ajoutaient qu'une ingestion de 15 g de créatine avant l'exercice n'avait pas d'influence sur la performance. Cette

supplémentation serait encore plus efficace pour améliorer la performance lors d'exercices intermittents mixtes ou de courtes durées, Bemben et Lamont (2005).

Dans un tout autre contexte, Gaitanos et al (1993) ont suggéré lors d'une série de 10 sprints de 6 s sur ergocycle avec R=30 s, que le rendement de puissance au dernier sprint serait supporté par la dégradation des PCr et par une hausse du métabolisme aérobie. Ainsi, cela démontre bien l'importance des PCr et du métabolisme aérobie pour la performance (Mac Mahon et Jenkins, 2002). Ceci est appuyé par l'étude de Bogdanis et al (1995) qui ont démontré que la resynthèse de PCr influe sur la performance (Figure 12). La PCr serait un acteur majeur dans l'approvisionnement énergétique lors d'exercices intermittents.

Glaister (2005) relevait l'impact physiologique de l'utilisation des PCr lors de ce type d'exercices. Il expliquait qu'au cours d'exercices intermittents avec de courts temps de récupérations, c'est-à-dire moins de 45 s, la PCr n'était jamais entièrement resynthétisées et l'organisme accumulait des phosphates inorganiques (Pi). Une des causes de la fatigue dans ce type de travail serait entre autre due à l'accumulation de Pi.

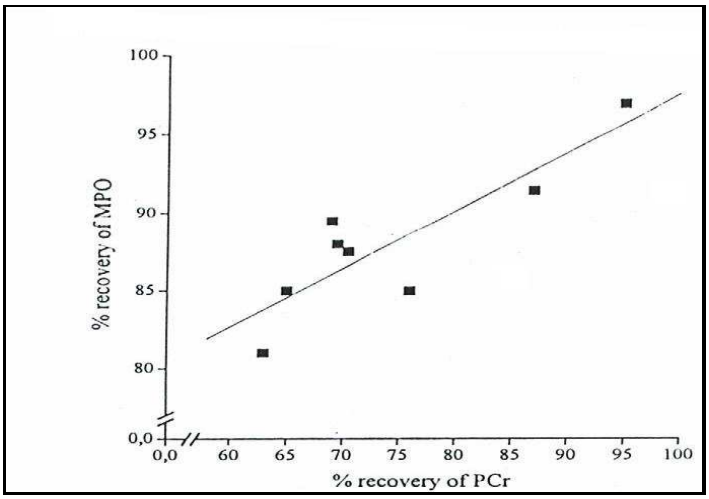


Figure 12. Relation entre le pourcentage de PCr resynthétisé durant les 3 min de la récupération et le rendement de la puissance moyenne (MPO) développée durant les temps de travail de 6 s de « all-outs » qui suivent, Bogdanis et al (1995).

La concentration de PCr ([PCr]) dans le muscle squelettique est limitée. Gaitanos et al (1993) relataient que la [PCr] dans le vaste latéral tombait de 76 à 32.9 mmol/kg après le premier temps de travail de 10 répétitions de 6 s à intensité maximale. Cette baisse peut atteindre 13.2 mmol/kg, mais la PCr participe tout de même significativement à la fourniture énergétique jusqu'à la fin des 10 répétitions. Ainsi la performance lors d'intermittents de hautes intensités est liée à la PCr et à sa capacité de resynthèse (Mac Mahon et Jenkins, 2002).

Un supplément de PCr augmente de 7% les capacités tampons du muscle, pouvant donc réduire la régulation de la glycolyse (Balsom, 1995). Cette hausse des capacités tampons est très importante pour l'entraînement. L'entraînement intermittent courses de courtes durées permet de développer les capacités tampons du muscle au niveau des bicarbonates intracellulaires, des phosphates et des dipeptides (Bangsbo, 1994a). Ainsi, l'organisme tolèrera une quantité de lactate plus importante lors des premières minutes de l'exercice où le métabolisme anaérobie sera le mécanisme dominant (Bonning et al, 2007).

- **Le glucose (CHO) ou le glycogène**.

Ils sont utilisés très rapidement au niveau des muscles sollicités au moyen de la glycolyse anaérobie. Favano et al (2008), Bishop et al (2002), Nevill et al (1993), Bangsbo et al (1988) ont signalé que les performances lors d'exercices intermittents de hautes intensités seraient

influencées par les glucides et surtout par la concentration de glycogène musculaire avant l'exercice. Cette concentration constituerait un substrat énergétique essentiel au même titre que la PCr. Aussi, Welsh et al (2002), Davis et al (1999) ont montré que les CHO étaient des substrats essentiels pour des actions intermittentes intenses. Favano et al (2008), Bishop et al (2002), Davis et al (2000), Bangsbo (1994b) et Bangsbo et al (1992), ont montré que la hausse de CHO dans l'alimentation prolonge significativement les performances d'endurance intermittentes pour un passage de 39% (355 g) à 55% (602 g) d'apport par jour. Le glycogène musculaire initial augmenterait, ce qui permettrait une hausse de la performance (Balsom et al, 1999). Patterson et Gray (2007) trouvaient qu'une supplémentation en CHO permettait d'augmenter les performances lors d'exercices intermittents en navette.

Utter et al (2007) trouvaient même une relation entre la supplémentation de CHO et la perception subjective de l'effort (RPE) ; elles diminueraient conjointement. Au contraire, De Souza et al (2007) présentaient l'absence de cette diminution de l'estimation de l'effort à la suite d'exercices intermittents à très hautes intensités.

- **Le lactate (La)**. Les premières études sur l'intermittent portaient sur l'évolution du lactate sanguin (Christensen et al, 1960 ; Margaria et al, 1969 ; Astrand et Rodhal, 1970 ; Fox et Mathews, 1977). Balsom (1995) trouva que pour des répétitions de sprints de 15 m avec une récupération passive de 30 s, la lactatémie évoluait entre 7 mmol/L et 15.5 mmol/L (Figure 13). Ces données reflètent le fait que la glycogénolyse et la glycolyse sont immédiatement stimulées pour un exercice intermittent (Chamari et al, 2001 ; Shroubridge et Radda, 1987 ; Hultman et Sjoholm, 1983 ; Bergström et al, 1971). Balsom (1995) a mesuré la concentration de lactate ([La]) musculaire tout de suite après 6 s de travail à intensité maximale. Il en a déduit que l'énergie proviendrait à 50% de la glycolyse anaérobie par rapport à l'énergie totale requise. Gaitanos et al (1993) ont trouvé que la [La] musculaire et la glycolyse anaérobie participaient de manière significative à la production d'énergie totale à partir de plus de 10 répétitions de temps de travail de 6 s. Une partie de l'énergie anaérobie était délivrée par la glycolyse anaérobie menant à une formation de lactate peu importante compte tenu de la courte durée de ces exercices intermittents.

La hausse du lactate musculaire est le fruit du transport et de la diffusion du lactate. Cependant, durant ces exercices, comme nous l'avons relaté auparavant, cette [La] va être maintenue à un niveau peu élevé (Figure 14) comparativement à un travail continu (Fox et Mathews, 1977). Cette valeur de lactatémie est due à la métabolisation du lactate durant les temps de récupération au moyen de la néoglycogenèse. Le lactate va être converti en glycogène au niveau hépatique permettant de produire du glycogène musculaire si l'athlète est encore en activité.

Le type de récupération va directement influer sur le niveau de concentration de lactatémie [La]. Après la répétition d'exercice de 6 s, Ahmaidi et al (1996) avaient relevé une valeur de [La] significativement plus élevée à la suite d'une récupération passive par rapport à une récupération active à 32% de la puissance maximale aérobie.

Le *pouvoir tampon* devrait être suffisamment efficace pour faire face à cette hausse du lactate (Sahlin et Henriksson, 1984). Nielsen et al (2002) confirmaient que les capacités tampons du muscle étaient assez fortes pour atténuer cette accumulation non maximale de lactatémie et cette désaturation artérielle en O_2. Böning et al (2007) relataient même que ces capacités tampons agissaient pendant mais aussi après l'exercice face à l'acidose lactique.

Kindermann (1978) constatait qu'après 3 courses à vitesse donnée la lactatémie s'abaissait plus rapidement avec une récupération active qu'avec une récupération passive. Et ceci après et entre les courses. Taoutaou et al (1996), Gupta et al (1996) et Bonen et Belcastro (1976) expliquaient que la récupération active permettait d'augmenter la diffusion du lactate grâce une hausse de la circulation sanguine et lymphatique locale et systémique.

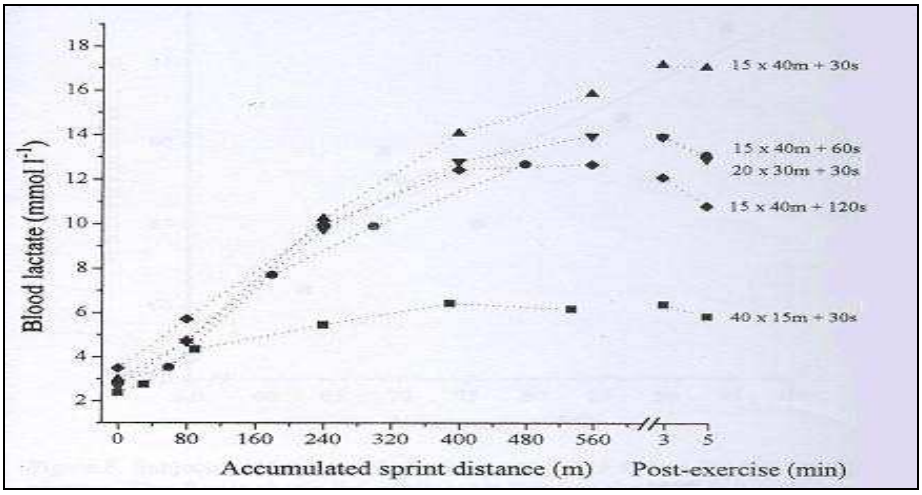


Figure 13. Concentration du lactate sanguin durant et après la répétition de sprints, Balsom (1995).

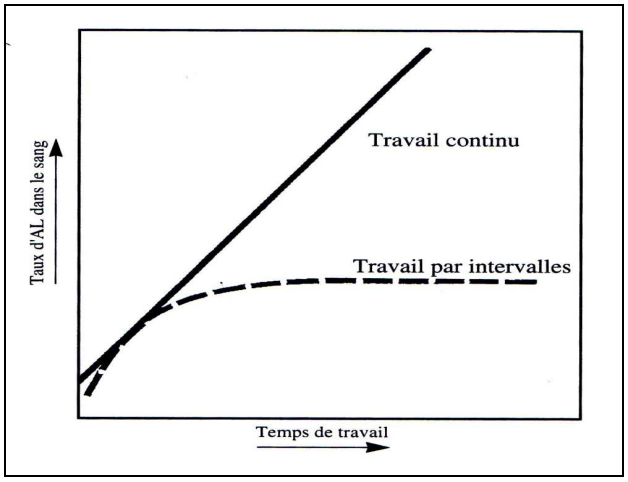


Figure 14. Evolution de la lactatémie lors d'un travail intermittent et continu, Fox et Mathews (1977).

2.1.4.2.3. Les différentes adaptations

La densité de la charge influence les adaptations (Bangsbo, 2008). Les intensités des charges doivent être variées et mixées afin de créer différentes adaptations. Un ratio équilibré de type 30-30 à 105% du VO_2max, s'effectuant en 2 blocs de 12 min, stimulerait la VMA (Billat et al, 2000b). Billat et al (2002) ont montré que nous pouvons travailler durant 2.5 fois le temps limite pour ce type de 30-30. Un ratio non équilibré de type 10-20 permettrait un travail mixte anaérobie-aérobie (Rieu, 1986). Un effort intermittent course de haute intensité autoriserait également le développement du VO_2max tout en développant la capacité anaérobie (Mac Mahon et Wenger, 1998 ; Bogdanis et al, 1995). La haute intensité des courses provoquerait une sollicitation du citrate synthase et une sollicitation de l'AcétylCoenzymeA (Bogdanis et al, 1995). L'organisme utiliserait également la voie aérobie comme filière énergétique (Rodas et al, 2000) et de ce fait, ces résultats confirment l'ensemble de la littérature des efforts intermittents de hautes intensités qui stipulait qu'ils augmentent l'activité enzymatique oxydative du muscle (e.g. Parolin et al 1999).

2.1.4.2.4. La fatigue et les exercices intermittents

L'intermittent se caractérise par une fatigue d'ordre périphérique et centrale liée :

- à la motivation des sujets ;
- à une altération de la transmission des commandes du système nerveux central et/ou du recrutement des axones moteurs (Clausen, 2007) ;
- à la disponibilité des PCr dépendant aussi de la réserve en O_2 dans les muscles sollicités lors de l'exercice, donc essentiellement les muscles du train inférieur (Haseler et al, 1999) ;
- à une baisse du glycogène musculaire et une baisse de la glycolyse (Favano et al, 2008 ; Bishop et al, 2002) ;
- à une modification de l'équilibre électro-chimique (K^+) au niveau de la cellule influençant la propagation de l'influx nerveux au niveau du sarcolemme et du système T, ralentissant ainsi la libération d'ions calcium Ca^{2+} au sein de la fibre musculaire (Clausen, 2007) ;
- à une accumulation de déchets métaboliques dans le muscle (hypoxanthine, xanthine, Pi, IMP, acide lactique et urique).

2.1.4.2.5. Les intérêts de l'entraînement intermittent par rapport au travail continu

« Le temps total couru spécifiquement à VO_2max et de façon fractionnée, selon la modalité standard (répétitions de 2 min) ou individualisée (les répétitions sont égales à la moitié du temps limite à la vitesse du VO_2max) est 2.5 fois celui du temps limite continu à la vitesse du VO_2max » (Billat, 2003). De plus les exercices intermittents permettraient :

- de retarder l'apparition de la fatigue et de récupérer plus rapidement entre les séances (Balsom, 1995) ;
- une hausse possible des capacités tampons du muscle (Böning et al, 2007) ;
- une sollicitation de toutes les fibres avec une utilisation des PCr parallèlement à une utilisation de l'O_2 des myoglobines et des hémoglobines (Bhambhani, 2004) ;
- une sollicitation de la glycolyse anaérobie moindre, donc une économie des stocks de glycogènes et une accumulation de lactate moins importante (Gaitanos et al, 1993) ;
- l'utilisation d'exercices intermittents de courtes durées telle que le 5-20, le 10-10 et le 15-15, permettrait de développer la capacité anaérobie des athlètes (Billat, 1998).

2.1.4.2.6. Les principaux moyens du suivi au cours d' exercices intermittents

La PCr, le lactate, la VO_2 et la FC permettent de caractériser l'intermittent. Généralement l'activité des joueurs lors du travail intermittent est contrôlée grâce à différentes valeurs :

- **<u>Le VO_2max.</u>** Elle représente l'efficacité du système respiratoire à extraire l'O_2 de l'air ambiant, l'efficacité du système circulatoire à transporter cette O_2 jusqu'à la cellule musculaire, l'efficacité du système cardiaque qui permet de réguler la circulation et enfin l'efficacité à utiliser cet O_2 (Billat, 1998). Cette mesure s'effectue au moyen de différents appareils : le sac de Douglas, les métabolimètres de type K4 simple (Cosmed K4b², Rome, Italie) ou encore le K4 GPS. La VO_2 constitue un moyen pertinent pour le suivi et le contrôle de l'activité des athlètes lors d'un travail en endurance et donc lors d'un travail intermittent. Le joueur n'est pas obligé d'atteindre la VMA pour être à un niveau équivalent de 100% de son VO_2max (Demarie et al, 2000). Malgré la relation linéaire entre VO_2 et FC, la FC max ne correspond pas toujours à VO_2max (Dupont et al, 1999). Le développement du VO_2max est

corrélé à la durée de travail au niveau d'intensité. Plus l'athlète arrive à maintenir son VO_2max lors d'un exercice intermittent, plus les augmentations du VO_2max seront importantes (Dupont, 2003). Dupont (2003) notait qu'à la suite d'un entraînement intermittent, le VO_2max reste élevé pendant plusieurs heures. Gaesser et Brooks (1984) ont relaté le terme de consommation d'oxygène en excès post-exercice (EPOC) composée de deux phases selon Bahr (1992) : une phase initiale et une phase secondaire. La première peut s'étaler sur 60 min alors que la deuxième durerait plusieurs minutes au-delà de cette phase initiale. LaForgia et al (2006) précisaient que cette EPOC peut s'étaler de 3h à 24h pour des exercices supérieurs à 105% du VO_2max durant plus de 6 min. La valeur de l'EPOC correspondrait entre 6 et 15% du VO_2 durant l'exercice.

Toutefois, le VO_2max d'un sujet peut être comparée à celle d'un autre sujet uniquement si elle est exprimée en unité ml/kg/min. En effet, différents travaux scientifiques relataient le fait important que le VO_2max serait dépendante de la section transversale de l'aorte, elle-même proportionnelle à la surface corporelle (Chamari et al, 2005b ; Hoff et al, 2002 ; Helgerud et al, 2001 ; Wisloff et al, 1998 et Bergh et al, 1991). De ce fait, le VO_2max exprimée en ml/kg/min semble erronée ou imprécise et la capacité réelle des athlètes devrait plutôt être relatée en ml/kg$^{0.75}$/min ou encore ml/kg$^{0.66}$/min.

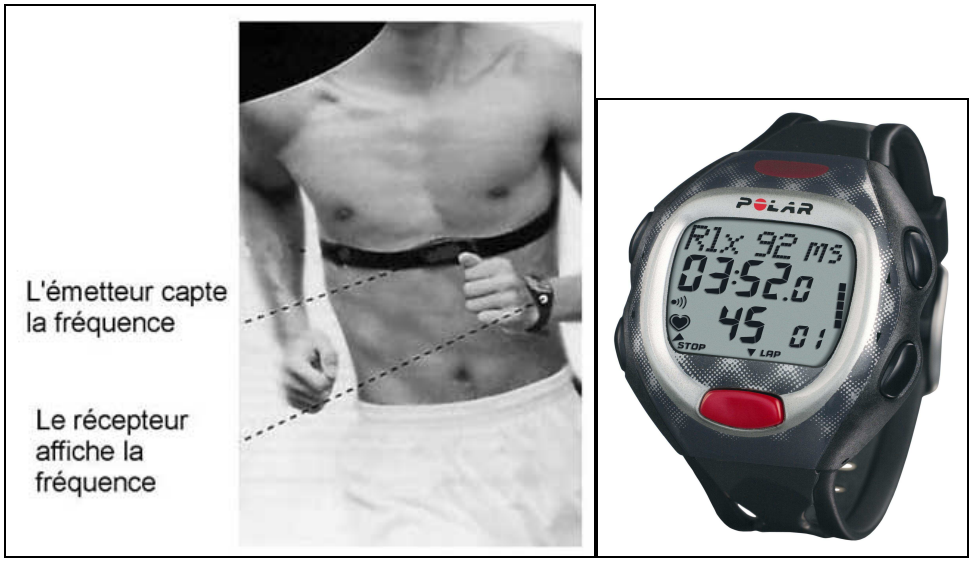
- **<u>La fréquence cardiaque maximale (FCmax).</u>** Un test triangulaire en laboratoire ou certains test de terrains (Léger-Boucher, 1980 ; Léger et Lambert, 1982) permettent d'évaluer la FCmax. Lors d'un travail intermittent, le pourcentage de la FCmax permet d'évaluer individuellement l'intensité de l'exercice. Cependant, elle ne présente pas un grand intérêt pour une comparaison interindividuelle (Le Gall, 2002). La FC présente une évolution propre à chaque individu rendant compte de ses activités et de son état psychologique et/ou physiologique. Desgorces et al (2007) relataient que la FCmax et la FC ne permettaient pas de suivre convenablement l'activité d'un sportif lors d'exercices intermittents comparativement à un travail continu prolongé. Toutefois l'essentiel des tests intermittents tels que les Yo-Yo test (Krustrup et al, 2003a et 2003b ; Krustrup et al, 2006) et le 30-15 (Buchheit, 2008) utilise un suivi de FC durant toute l'évaluation. Enfin nous notons qu'un athlète atteint très rarement FC max au cours d'un exercice intermittent spécifique au football (Berger et al, 2008).

- **<u>La fréquence cardiaque de réserve (FCr).</u>** Sachant que la FC varie individuellement à une charge de travail, Le Gall (2002) préconisait de prendre en compte la charge circulatoire : la FCr décrite par Karvonen et al (1957) correspondant à la différence entre la FCmax et la FC de repos. Le staff peut en déduire le pourcentage de la FCr afin de comparer des individus aux caractéristiques de FCmax et de FC repos différentes (Le Gall, 2002).

$$\% \text{ FC réserve} = \frac{\text{FC moyenne enregistrée} - \text{FC repos}}{\text{FC max} - \text{FC repos}} \times 100$$

- **<u>La fréquence cardiaque de repos (FC repos).</u>** Elle correspond à l'analyse de la FC minimale du joueur. Une variation notable de la FC de repos pourrait indiquer un déséquilibre hormonal et un état de fatigue (Wilmore et Costill, 2006). Elle permet d'observer l'état physiologique, physique et psychologique dans lequel se trouve le footballeur à un moment donné. Certains staffs effectuent des prises de FC de repos chaque semaine afin d'analyser l'état du joueur (Bangsbo, 2007). Elle s'effectue dans des conditions qui doivent être standardisées : mettre les joueurs couchés sur un tapis, les yeux fermés, dans un milieu calme, durant une période de 10 min. La valeur la plus basse correspondra à la FC de repos.

➢ **<u>La fréquence cardiaque moyenne au cours de l'exercice.</u>** Elle prend en compte l'évolution de la FC durant tout l'exercice. Elle est adaptée aux exercices de longues durées. Malgré le fait qu'elle varie individuellement en fonction des différents évènements qui affectent les joueurs, elle peut permettre la comparaison d'un même athlète sur les différents exercices intermittents (Wilmore et Costill, 2006). Elle peut être mesurée au moyen de cardiofréquencemètre type Polar RS-800 (R-R) étalonné toutes les secondes (Polar Electro, Kempele, Finlande). Ces outils technologiques sont très utiles pour estimer la contribution énergétique du métabolisme aérobie, c'est-à-dire le pourcentage moyen de FC au cours d'un exercice, tout en tenant compte de la variabilité cardiaque (Karvonen et Vuorimaa, 1988). Cet appareil consiste à attacher une ceinture thoracique émettrice et un récepteur porté au poignet. Il n'occasionne pas une gêne importante durant l'exercice. Ces relevés de FC moyenne au cours de l'exercice permettent de déduire le pourcentage de la FC de réserve.



<u>Photo 1</u>. Matériel d'enregistrement de la FC au cours d'un exercice (Polar Electro, Kempele, Finlande).

➢ **<u>La cinétique de la récupération de la fréquence cardiaque post-exercice.</u>** Durant les 5 min qui suivent chaque exercice nous pouvons continuer à relever la FC. Ces éléments nous permettent d'analyser la capacité de récupération de l'athlète au niveau de la composante centrale. L'indice technique de récupération (ITR) de Gacon (1997), correspondant au nombre de battements récupérés par minute, permettrait d'analyser cette capacité de récupération. Shetler et al (2001), Pierpont et al (2000) ont validé la cinétique de la FC post-exercice durant les premières minutes post-exercice. Dans cette optique d'analyse, les joueurs doivent à la fois rester debout, ne pas se pencher, ne pas s'étirer, ne pas s'hydrater et ne pas s'alimenter. Toutes ces indications permettent d'éviter une accélération du processus de récupération. Lors de la 1ère min de récupération, une valeur inférieure à 20 battements perdus nous indique que le sujet récupère mal après un exercice sous maximal (Pierpont et al, 2000). Le simple suivi de la FC atteinte après cette minute permet de se faire une idée de l'intensité de l'effort enduré par l'athlète, de sa capacité de récupération et de sa forme physique (Noding et Mende, 1979). Toutefois, ces données sont peu précises et reproductibles car elles dépendent de plusieurs variables : durée et intensité de l'effort, niveau d'hypertermie ou encore la qualité du sommeil qui précèdent l'entraînement.

➢ **<u>La lactatémie post-exercice</u>**. Taoutaou et al (1996), Basset et al (1991) ont relaté que le pic de lactatémie post-exercice se situerait aux alentours de 3 min après l'exercice avec ou sans récupération active. Dupont et al (2003) préconisaient aussi d'effectuer des relevés de lactatémie à la 3ème min post-exercice. L'outil utilisé est un analyseur portable de type Lactate Pro (Arkray, Japon). Les prises de lactatémie s'effectuent aux bouts des doigts après le nettoyage de cette zone. Les mesures données par ce matériel ont été validées par Pyne et al (2000).

<u>Photo 2</u>. Matériel de mesure de la lactatémie (Lactate Pro, Akray, Japon).

➢ **<u>Perception de l'effort selon Foster et al (2001)</u>.** Dès 1961, Borg a mis en place une échelle de perception de l'effort afin de permettre un retour sur la sensation subjective engendrée par l'application d'un exercice (Borg, 1998). L'échelle de perception de l'effort est communément appelé « the Borg RPE » ou en d'autres termes « Ratings of Perceived Exertion ». Borg (1998) a bien relaté le fait que les valeurs de RPE puissent être utilisées pour comparer des mesures physiologiques telles que la FC ou la VO_2. Nous devons expliquer aux joueurs que chaque valeur correspond à une appréciation subjective de l'effort effectué.

Il existe un grand nombre de modifications et d'adaptations de l'échelle de Borg (e.g. Borg 1970 et 1985). Dans le cadre du football, nous pouvons utiliser la modification apportée par Foster et al (2001) à l'échelle de Borg (Tableau 15). Nous devons relever chaque estimation de l'effort environ 2 à 5 min après l'exercice sans les informer des valeurs qu'ils avaient déjà données préalablement à d'autres intermittents. Nous pouvons utiliser la formule « comment était l'exercice » adopté par un grand nombre d'auteurs dont Mac Guigan et al (2004).

<u>Tableau 15</u>. Adaptation de l'échelle RPE de Borg selon Foster et al (2001).

Estimation = Description	
0	Lègère
1	Très, très facile
2	Facile
3	Modéré
4	Quelque peu difficile
5	Difficile
6	*
7	Très difficile
8	*
9	*
10	Maximal

2.1.5. Les séances au seuil

Le travail au seuil, notamment anaérobie, est une méthode très couramment utilisée dans les sports nécessitant des qualités d'endurance (Bisciotti et al, 2003) et notamment en football (Cottin et al, 2007 ; Castagna et al, 2006). Cependant, cette méthodologie est très controversée (e.g. Bentley et al, 2007). Elle consiste à travailler à une intensité équivalente à des seuils obtenus lors de tests triangulaires en laboratoires (seuils aérobie et anaérobie, ou encore dénomés seuils ventilatoires N°1 et N°2). L'objectif est de décaler le point d'inflexion du seuil ventilatoire N° 2 le plus proche possible du point équivalent à VO_2max (Conconi et al, 1982). Des valeurs de lactatémie et de FC sont mises en relation avec les notions de seuils et ces points d'inflexions. Lors de ces tests en laboratoire, le VE et le VCO_2 évoluent parallèlement tandis que la VO_2 évolue de manière plus linéaire (Cottin et al, 207).

Wassermann était le premier à décrire la notion de seuil. Selon Wassermann et al (1979) et Wassermann (1984), « le seuil anaérobie est le point auquel survient l'acidose métabolique associée à des modifications des échanges gazeux et pulmonaires lors d'un exercice progressif ». Il relève deux points d'inflexion sur la courbe de la lactatémie et des échanges gazeux : 2 mmol/l et 4 mmol/l. Il parle de seuil anaérobie et de « Threshold of decompensated Metabolic acidosis » (TDMA) :

- à 60% du VO_2max, au seuil aérobie (TDMA) ou seuil ventilatoire N°1 ;
- à 80% du VO_2max, au seuil anaérobie ou seuil ventilatoire N°2.

Les méthodes varient grandement d'un laboratoire à l'autre. Par exemple, Bunc et al (1981) relataient déjà à l'époque que le seuil anaérobie était au point de rencontre entre la courbe de la lactatémie et la bissectrice des tangentes à la courbe tracée au repos et à l'exercice maximal. De même Stegmann et al (1981) affirmaient que le seuil anaérobie était au point de tangente de la courbe, de la droite qui passe par le point de la courbe de lactatémie en récupération qui est au niveau de la lactatémie à la fin de l'exercice.

Le staff devra prendre en considération les notions de seuils anaérobie ou aérobie plutôt que les notions de seuils de lactates N°1 et N°2 car les cinétiques de production et de disparition des lactates sont variables selon les individus (Baldari et al, 2004). « L'insuffisance de la pénétration de l'oxygène dans la cellule pour s'accommoder avec le pyruvate, l'insuffisance des enzymes présentes et/ou le fait que les tissus n'acceptent que très peu les lactates seraient à l'origine du déséquilibre conduisant à la hausse de la lactatémie », e.g. Baldari et al (2005). Les entraîneurs travailleront à partir des données de FC afin d'attribuer un moyen de contrôle de la charge de l'exercice ou de l'entraînement.

Pour des sportifs issus de sports collectifs, ces valeurs de travail au seuil varient (Tableau 16). Le seuil anaérobie ou seuil ventilatoire N°2 se travaillera à 80 et 90% du VO_2max (ou de la FCmax), le seuil aérobie ou seuil ventilatoire N°1 se travaillera entre 70 et 80% du VO_2max (ou de la FCmax), et l'endurance de base ou de récupération se travaillera entre 60% et 70% du VO_2max (ou de la FCmax),

Tableau 16. Comparaison des seuils ventilatoires chez des sédentaires et des sportifs de haut-niveau.

	SEDENTAIRES	SPORTIFS DE HAUT-NIVEAU
SV1	50%-60 VO_2max	60-72% VO_2max
	~2 mmol [LA]	~3 mmol [La]
	-	155 bpm
SV2	75% VO_2max	92% VO_2max
	~4 mmol [LA]	~6 mmol [La]
	-	184 bpm

A partir du moment où les joueurs arrivent à faire des séances avec des allures supérieures à 90% du VO_2max, ils seront dans un travail de puissance aérobie et anaérobie (Billat, 2003). Toutefois, de nombreux auteurs relevaient que la sollicitation anaérobie dépendrait de l'intensité de travail et que celle-ci devrait se situé au minimum à 100% du VO_2max (e.g. Dupont, 2003). Cottin et al (2007) ont accordé de l'importance aux exercices intermittents courses de courtes durées afin d'améliorer le seuil ventilatoire N°2. Ainsi, afin d'augmenter ces valeurs de seuils, le staff technique pourra, dans premier temps, mettre en place des séances au seuil ventilatoire N° 2, puis dans second temps il aura la possibilité d'appliquer des exercices intermittents courses de courtes durées de type 30-30 ou 45-15 (Tableau 15). L´entraînement intermittent améliorerait davantage le SV2 que le travail continu mais n´aurait pas plus d´effet sur le seuil lactique comparativement au travail continu (Billat, 1998).

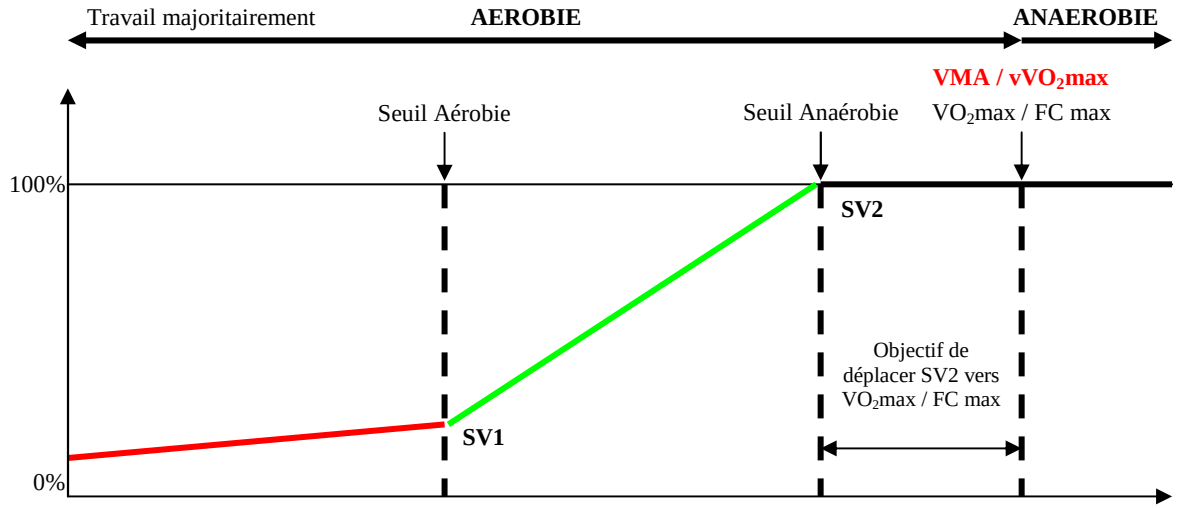


Figure 15. Les allures d'entraînements en endurance.

2.1.6. L'évaluation du temps limite continu ou intermittent

L'objectif est d'obtenir le temps limite à VMA (Billat, 1998). Le principe de ce test est proche de celui donné pour le demi-Cooper et de ses variantes. Le test se réalise à vitesse stable. A la différence des tests rapportés, la vitesse n'est pas choisie par le sportif. Elle est imposée en fonction du résultat obtenu lors d'un test progressif réalisé au préalable (Billat, 2003). Il s'agit pour le sportif de maintenir son effort le plus longtemps à cette vitesse imposée. L'épreuve de temps limite (temps de maintien) associée à VMA pour la vérification de la VMA est obtenue lors d'épreuves progressives sur piste. Elle peut-être réalisée sur tapis roulant avec ou sans prélèvement des gaz expirés. Selon les auteurs et les entraîneurs, les répétitions utilisées peuvent être : des 30-30 (30 s de course à VMA – 30s de récupération), des 400 m, des 1000 m ou des durées égales à la moitié du temps de maintien à la VMA.

Environ deux semaines après avoir réalisé une épreuve progressive de détermination de la VMA (Léger-Boucher ou Vameval) sur le terrain, le sportif effectue cette épreuve de temps limite à VMA. L'échauffement est de 15-20 min à 60% de la VMA. Puis en 20 s, le sportif atteint sa VMA et la maintient le plus longtemps possible (Demarie et al, 2000). La vitesse peut être imposée par un "lièvre-cycliste" ou par le balisage de la piste (plots) associé à des signaux sonores. La distance et le temps soutenus à cette intensité constituent la base de calcul des différents entraînements fractionnés (courts et longs) à diverses intensités exprimées en pourcentage de la VMA. Ce test peut être effectué à 100% de la VMA, mais aussi dans toute autre fraction de la VMA.

Dans le cadre d'un entraînement structuré, le test de temps de maintien à 100% de VMA donne une information complémentaire sur la VMA (aspect "volume" contre aspect "intensité" pour la VMA brute). Ce temps de maitient est surtout préconisé pour un usage courant de la part des entraîneurs qui peuvent le faire passer sur une piste afin de vérifier la VMA. Ainsi pour une même VMA, ils peuvent enregistrer une éventuelle progression du temps limite à VMA. Ceci exprime donc la quantité totale de travail réalisé à VMA, la distance maximale aérobie en mètres (Dellal, 2008). Ce critère de temps de maintien à VMA va fournir un cadre de référence pour le choix de la durée d'entraînement à VO_2max et un critère d'évaluation de l'aptitude aérobie et de la préparation du sportif, plus sensible et complémentaire du VO_2max (Demarie et al, 2000). L'entraîneur doit disposer d'un tableau de temps de passage et donner le rythme au coureur (sifflet). Seule l'allure VMA est évaluée. Le sportif ne dispose pas d'informations sur ses autres vitesses de course en aérobie (Billat, 2003). De plus, ce type de travail n'est pas encore précisé en fonction de l'activité football. Certaines études complémentaires devraient être apportées. En effet, la performance du test Tlim dépend fortement de la précision de mesure de $v$$VO_2$max. Billat et Koralsztein (1996) ont précisé les critères précis de mesure de $v$$VO_2$max, étant la vitesse associée au début de plateau de VO_2, l'amplitude de 2,1ml.kg-1.min-1 en dessous de la valeur pic de VO_2 définirait le plateau de VO_2. D'autre part, des erreurs minimes de mesure de $v$$VO_2$max donnent des différences très grandes en termes de performances au test Tlim. Ceci a forcé plusieurs chercheurs à éviter l'utilisation de ce test.

2.1.7. Entraînement et endurance

2.1.7.1. Construction des séances en endurance

- **Premiers jours de la reprise**: footing type EF de préférence le matin afin d'épurer la massa grasse et de retourner à son poids de forme. Le sportif ressentira des douleurs situées au niveau des adducteurs qui s'expliquent par le fait que les adducteurs sont impliqués dans l'initiation du retour du genou vers l'avant. Cette douleur apparaît malgré l'absence de travail latéral (Hawkins et al, 2004).

- **Dans les 10 jours**: Tests VAMEVAL (Cazorla et Léger, 1993) ou Léger-Boucher (Léger et Bouche, 1980) et test triangulaire en laboratoire de préférence sur tapis roulant.

- **Jusqu'à la 3ème semaine**: Travail en CA avec des séances en références à la FC, à la VMA ou aux seuils ventilatoires. Ces intensités de courses sont très souvent celles utilisées lors du stage N°1. Les courses se font le matin, à jeun, afin d'éliminer le surplus de poids que les joueurs auront pu prendre durant l'intersaison (Dellal, 2008).

- **De la 2ème à la 6ème semaine**: Travail spécifique de PA + Test IFT (Buchheit, 2008) + exercices intermittents courses en ligne de courtes durées 30-30, 15-15, 45-45 et 1-1 par exemple, en référence à la VMA ou à la $v$$VO_2$max et à une distance déterminée selon l'exercice intermittent et l'intensité choisi. Lors du stage N°2 le staff commence à mettre en place des exercices spécifiques. Des stages en altitude sont possibles car ils permettent d'améliorer ce travail en endurance et ils permettent d'optimiser la $v$$VO_2$max. La méthode en altitude des « Training High – Living Low » serait idéale (Billat et al, 2003 et 2000) pour le travail en endurance, pour les sollicitations spécifiques aux exercices intermittents (Prommer et al, 2007) et pour améliorer les capacités tampons du muscle (Böning et al, 2007 ; Bailey et Davies, 1997).

- **Au cours de la saison**: Le staff mettra en place des séances d'endurance spécifique par période de 10 jours pour effectuer des « piqûres de rappels » afin de maintenir le niveau d'endurance des joueurs (Bangsbo, 2008). L'enchaînement des matchs et des entraînements va contribuer à maintenir la capacité d'endurance du footballeur à une valeur optimale. De plus, des exercices physiques intégrés comme des circuits techniques permettent de travailler la capacité d'endurance tout en étant spécifiques (Dellal 2008).

- **Durant la trêve hivernale:** Selon les staffs techniques, les méthodes varient car le temps de préparation est court. Les staffs vont soit effectuer un travail en CA puis un travail spécifique à base d'exercices intermittents, soit travailler des exercices intermittents de courtes durées tels que 1-1, 45-45, 30-30 ou 20-20 afin de préparer la deuxième partie de saison. Des stages en altitude sont possibles.

2.1.7.2. Traumatisme dû à la course

Pendant la course, chaque pied entre en contact avec le sol environ 500 fois / km. Chaque pied reçoit 70 tonnes de force par kilomètre de course. De plus, une chaussure perd environ 30 à 50% de sa capacité d'absorption après 400km de course, Gacon (1991). De ce fait, il est important de bien choisir les conditions de pratique. Pour des footballeurs, il serait préférable d'effectuer des exercices de courses sur un terrain en herbe car les joueurs ne sont pas habitués à courir sur des pistes d'athlétisme ou des terrains durs.

Une piste d'athlétisme ou un terrain synthétique présenteraient des risques de traumatismes pour les articulations, les tendons et les muscles des sujets (e.g. Ekstrand et al, 2006) bien que certaines études démontreraient l'absence de risque comparativement à un terrain en herbe (Andersson et al, 2008).

2.1.7.3. Stabilité des effets de l'endurance

A la suite de l'arrêt de la pratique sportive, Vock et al (1996) notaient une baisse de l'activité enzymatique dès 48h. De même, le nombre de capillaires diminuait de 10 à 20% entre le 5ème et le 12ème jour d'arrêt. La baisse du VO_2max apparaîssait entre le 10ème et le 15ème jour. La FC a augmenté au repos et donc à l'exercice, le débit cardiaque diminue. De même, un arrêt entrainait une baisse des réserves intramusculaires de glycogène. « La différence artério-veineuse de concentration d'oxygène ne va pas changer sur les 3 premières semaines, ensuite cette différence va diminuer, contribuant à la baisse du VO_2max. Sur le plan enzymatique, nous aurons une diminution des activités des enzymes oxydatives, ainsi que de la production d'ATP par les mitochondries. Tout ceci va contribuer à une diminution des qualités physiques que cela soit dans les sports d'endurance avec une baisse rapide ou dans les sports de force vitesse avec un déclin plus lent (4 semaines), avec néanmoins une désadaptation lorsqu'il s'agit de travail excentrique ou de force spécifique à l'activité » (Meier, 2007). Ces données varient pour un arrêt dû à une blessure. La perte peut être plus importante.

Afin d'anticiper cette baisse, le corps médical, paramédical et les préparateurs physiques utilisent des techniques tels l'aquajogging, la natation, l'ergocycle, la musculation, ou encore l'électrothérapie afin de maintenir une activité. Par exemple, une personne ayant subit une ligamentoplastie pourra garder une activité cardio-vasculaire et cardio-respiratoire via un ergocycle bras (Hawkins, 2004). De même, certaines techniques de physiothérapie, notamment l'électrothérapie et la neurocryostimulation, permettent de réduire la durée d'arrêt totale et donc de minimiser les pertes dues au desentraînement.

BAISSE DU VES
+
BAISSE DU NOMBRE DE CAPILLAIRES
=
↘ DE LA CAPACITÉ D'ENDURANCE

2.1.8. L'entraînement physique intégré en endurance – utilisation du ballon

L'aptitude aérobie du joueur de football est d'une importance majeure (Mallo et Navarro, 2008). En effet, il a été montré qu'une augmentation des variables de l'aptitude aérobie était accompagnée d'une meilleure performance en match (Helgerud et al, 2001). Helgerud et al (2001) ont montré qu'une élévation du VO_2max de 6 ml/kg/min (augmentation de 13%) et une amélioration de l'économie de course de 7% étaient accompagnées, pendant un match de football :

- d'une augmentation de distance parcourue de 20% (1 800 m par joueur),
- d'une augmentation d'engagements avec le ballon (24%),
- d'un doublement du nombre de sprints (100%)
- et d'une augmentation de l'intensité de jeu (de 83 à 86% de FC max).

L'endurance est une qualité très importante en football. Elle est au centre du développement de l'ensemble des différents facteurs de la performance. Son optimisation est une condition sine qua non à la réalisation de bonnes performances durant toute la saison. Nous avons bien vu qu'il existe un grand nombre de méthodologies pour la développer lors de la préparation physique de début de saison. Au cours de la prépartion de début de saison, les staffs peuvent dans un premier temps effectuer un travail à base de courses continues (capacité aérobie) puis de courses par intervalle de type exercices intermittents. Enfin tout au long de la saison et de la compétition, ils doivent tenter de maintenir l'endurance des joueurs à leurs niveaux optimaux. Pour la maintenir à ce niveau, ils effectuent des cycles d'exercices intermittents et de VMA (cycles de piqûres de rappel).

Toutefois, nous oublions souvent de prendre en compte un élément important dans l'entraînement : l'aspect de la préparation physique intégrée. Tout au long de la saison, le staff technique entretient l'endurance grâce à l'enchaînement des entraînements et des matchs. A l'intérieur même de la séance, nous trouvons de nombreux exercices qui permettent de la maintenir. Des exercices comme les jeux réduits à base de conservation permettraient d'approcher le travail d'endurance lors d'un exercice intermittent de courte durée (Rampinini et al, 2007a et 2007c).

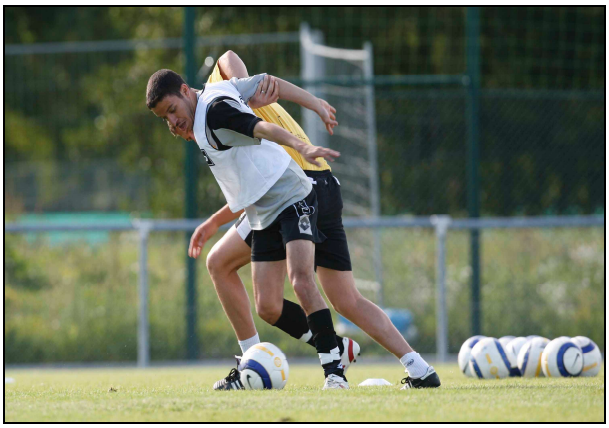


Photo 3. Séances d'entraînements physiques intégrés.

2.1.8.1. Analyse des effets physiologiques des jeux réduits – aspect collectif

Le jeu réduit se définit comme une opposition numériquement équilibrée ou non, au cours de laquelle les règles ont été modifiées par rapport à celles d'un match. L'étude de Lindholm, Nilson et Ekblom (in Balsom, 1999) financée par le Centre National Suédois de la Recherche Sportive, **suggérait que les jeux réduits permettraient, au même titre qu'un travail intermittent ou continu, un entraînement en endurance pour les footballeurs.**

- **Jeu réduit, endurance et FC.** Mallo et Navarro (2008) avaient relevé que les jeux réduits permettaient bien de développer la capacité aérobie de footballeurs. De nombreuses études telles que celles de Hill-Haas et al (2007) ou Impellizzerri et al (2006) confirmaient ces affirmations. Plus précisément, une étude scientifique menée par Balsom (1999) consistait à relever la charge de travail de joueurs d'un niveau national au moyen d'un cardiofréquencemètre Polar Vantage étalonné à 5 s au cours de 8 jeux réduits à 3 contre 3 (sur une surface de 33 m X 22 m), avec des temps de travail et des temps de repos différents pour chaque jeu. Il en a conclu que **l'amplitude des charges de travail était suffisante pour développer ou stabiliser l'endurance des joueurs.** De plus, il a montré que pour un même rapport de temps de travail et de temps de récupération, les charges de travail d'une activité continue sans ballon et d'une activité intermittente étaient quasi identiques à celle des jeux réduits (Figure 16, 17 et 18). Un jeu réduit permettrait d'approcher l'activité cardiaque d'une course continue sans ballon, d'une course discontinue sans ballon et avec des exercices intermittents de courtes durées. Durant ces différents jeux réduits, les FC moyennes étaient au minimum de 85% de la FC maximale.

  Hoff et al (2002) avaient relevé qu'un entraînement spécifique à base de jeux réduits (5 vs. 5) permettait d'approcher des valeurs de FC équivalentes à celles obtenues lors d'exercices intermittents de courtes durées. Une des principales différences entre ces deux méthodes d'entraînements est la présence de la balle lors des jeux réduits et toutes les variables pouvant être présentes et provoquant des incidences physiologiques différentes : présence de gardiens de but, taille des terrains, nature de l'opposition, jeux avec appuis, durée du jeu, nombre de touche de balle…

  Rampinini et al (2007c) cofirmaient qu'un jeu réduit à 6 vs. 6 permettait d'atteindre une moyenne de 84% de la FCmax et qu'un 3 vs. 3 permettait d'atteindre une moyenne de 91% de FCmax avec une lactatémie de 6.5mmol/L et une RPE de 7,2.

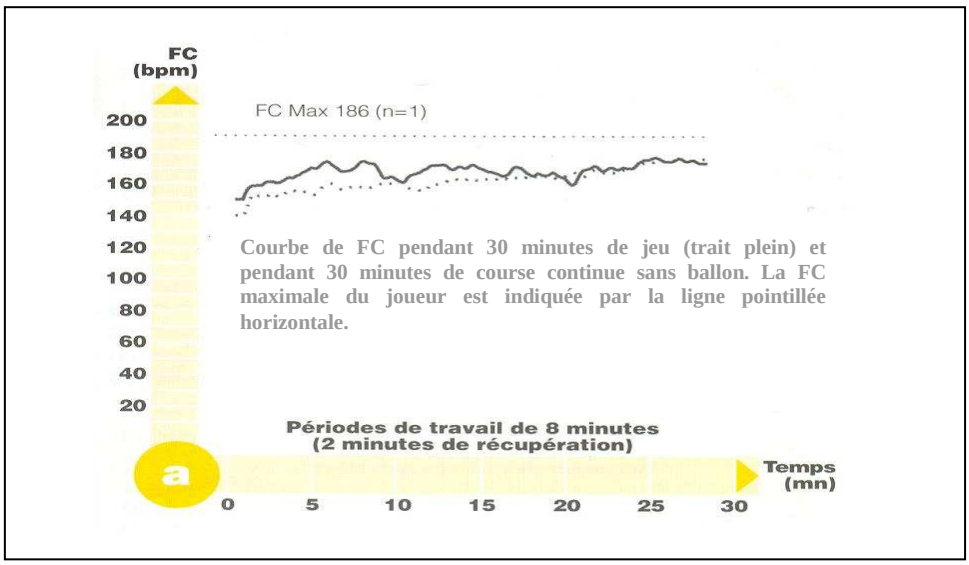


Figure 16. Comparaison d'un travail continu sans ballon et d'un jeu réduit de même proportion, Balsom (1999).

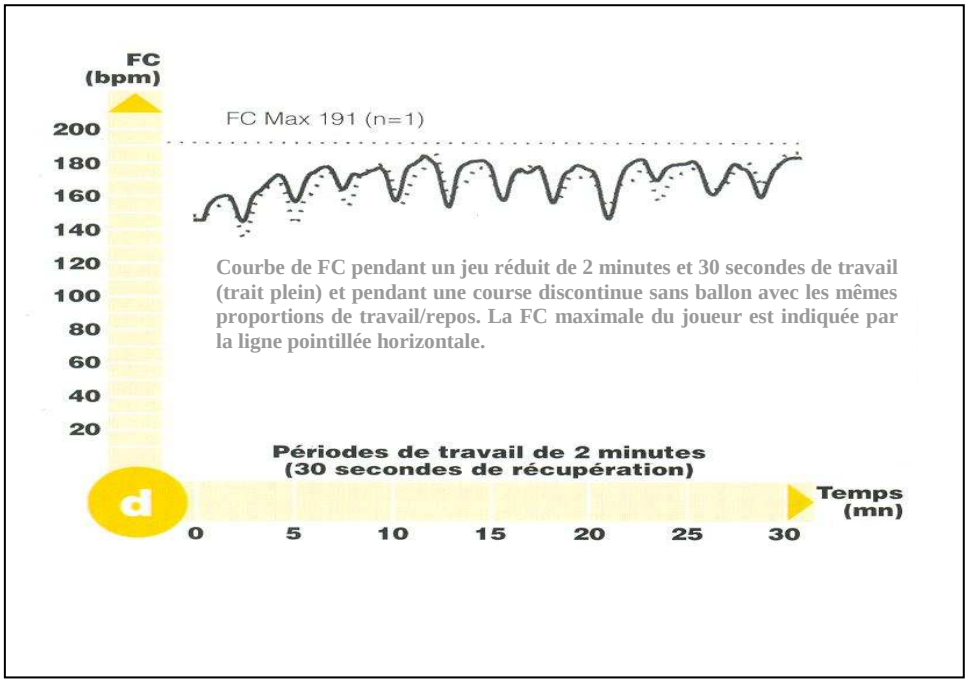


Figure 17. Comparaison d'un travail intermittent course et d'un jeu réduit de même proportion, Balsom (l999).

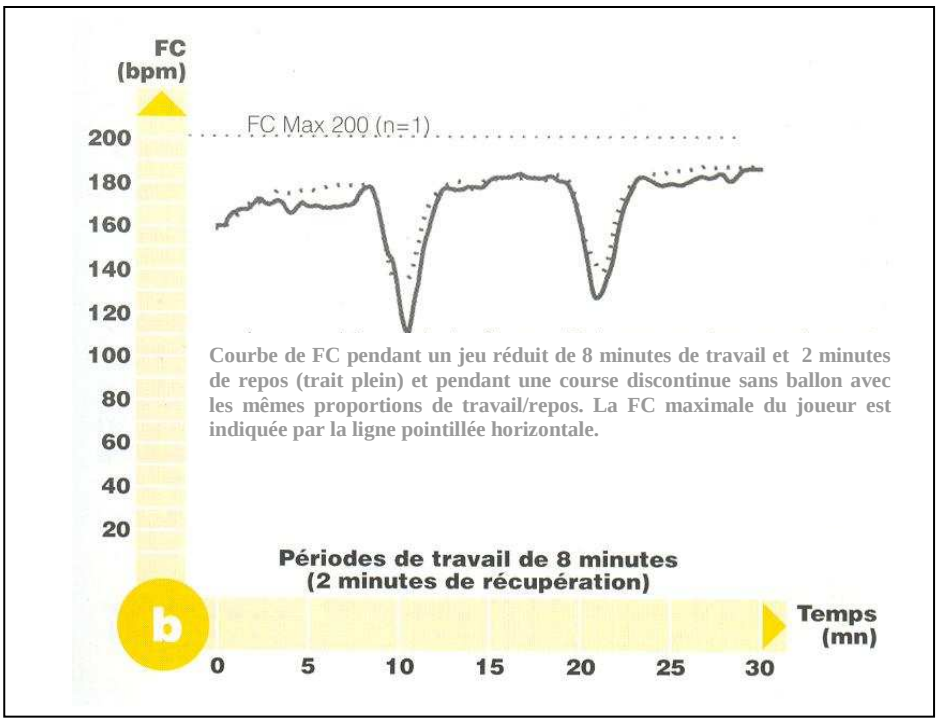


Figure 18. Comparaison d'un travail de course par intervalles et d'un jeu réduit de même proportion, Balsom (l999).

- **Jeu réduit et les conditions de jeu.** Il est essentiel de faire attention aux « conditions de jeu » : la dimension et la taille du terrain (e.g. Mallo et Navarro, 2008), les règles de jeux, les intervalles de récupération et de travail (Balsom, 1999), la disponibilité des ballons, les types d'opposition et leurs emplacements dans la planification (Jones et Drust, 2007). Ces éléments conditionnent les incidences physiologiques recherchées. L'activité du joueur ne sera pas la même lors d'un 8 contre 8 et lors d'un 1 contre 1. Utiliser des grands ou des petits buts, placer des appuis ou non, la présence ou non de gardiens, tant de points à prendre en considération (Little et Williams, 2007a).

  La taille du terrain influe grandement sur les réponses cardiaques des joueurs. Tessitore et al (2006) avaient relevé que les impacts physiologiques étaient significativement corrélés à la taille du terrain. Ils expliquaient qu'un 6 vs. 6 sur un terrain de 30 X 40 m engendrait des réponses cardiaques supérieures que le même jeu réduit réalisé sur un terrain de 50 X 40 m. Cependant, Kelly et Drust (2008) relevaient des résultats contraires. Ils ont appliqué des 4 vs. 4 sur trois tailles de terrains différents (30 X 20 m, 40 X 30 m et 50 X 40 m) durant lesquels ils ont relevé la FC. Ils ont constaté aucune différence significative entre les réponses cardiaques au cours des ces jeux réduits. Ils ajoutaient qu'il existait une différence uniquement au niveau de la récupération cardiaque à la suite de ces exercices. Owen et al (2004) avaient déjà présenté des résultats similaires.

  Le nombre de joueurs affecterait directement l'impact physiologique (Tableau 17) d'un jeu réduit en corrélation directe avec la taille du terrain (e.g. Owen et al, 2004).

  La présence ou non de gardiens de but influerait grandement la performance physique des joueurs au cours de ces jeux réduits. En effet, Mallo et Navarro (2008) ont comparé l'activité physique de footballeurs au cours de jeux réduits avec et sans gardiens. Ils ont trouvé qu'en l'absence de gardiens de buts, les joueurs parcouraient plus de distance (748 m vs. 638 m) et que la FC moyenne montait plus haut (173 bpm vs. 166 bpm) pour des conditions de jeux identiques.

  En combinant ces différents facteurs de conditions de jeu, les entraîneurs peuvent moduler l'intensité des jeux réduits dans une zone voulue et avec un minimum de contrôle des stimuli de l'entraînement aérobie, Rampinini et al (2007c). La RPE serait un moyen de contrôle intéressant pour ce type d'efforts en football (Coutts et al, 2007a et b ; Impellizzerri et al, 2004).

  Enfin n'oublions pas que ce type d'exercices a un impact sur la réalisation technique (Kelly et Drust, 2008). Jones et Drust (2007) indiquaient que des jeux réduits à 4 vs. 4 (30 X 25 m) permettaient de solliciter de manière plus significative la composante technique d'un joueur que lors d'un 8 vs. 8 (60 X 40 m).

- **Jeu réduit et exercice intermittent.** Les données fournies par Le Gall (2002) au sujet de certains jeux réduits de type 10 contre 10, 9-9, 8-8, 6-6, 5-5, 4-4 et 3-3 ont été comparées avec les données d'exercices intermittents de ratio équilibré type 30-30 et 15-15. Ainsi, un exercice intermittent de type 30-30 à 100% de la VMA avec une récupération active présente une correspondance avec des jeux réduits de type 6 contre 6 sur un demi-terrain ou un 8 contre 8 sur les ¾ du terrain (Tableau 17). Des résultats similaires furent trouvés par Balsom (1999) mais ces sources scientifiques n'ont pas été encore publiées. Nous remarquons un manque de données à ce niveau-là.

- **Rapport entre les jeux réduits et le 11 contre 11.** Kirkendall (2000) a relaté le fait que le football est une somme de phases de jeu à 4 contre 4 ou moins, sur un espace de la taille de la surface de réparation. Allen et al (1998) ont évalué la demande physique

et physiologique d'un 5 contre 5 et d'un 11 contre 11. Ils ont indiqué que la distance couverte durant ces jeux était la même. Cependant, ils ont montré que l'activité d'un joueur en 5 contre 5 était significativement plus élevée. Ils ont aussi observé que le nombre de contacts avec la balle est plus grand lors de ce jeu réduit, tout en travaillant l'aspect tactique. Ces données sont en rapport avec les résultats d'Owen et al (2004), Reilly (2005), Jones et Drust (2007), Kelly et Drust (2008) qui indiquaient que les 4 vs. 4 seraient des jeux réduits permettant un maximum de contacts avec la balle tout en sollicitant le développement de la capacité aérobie du joueur.

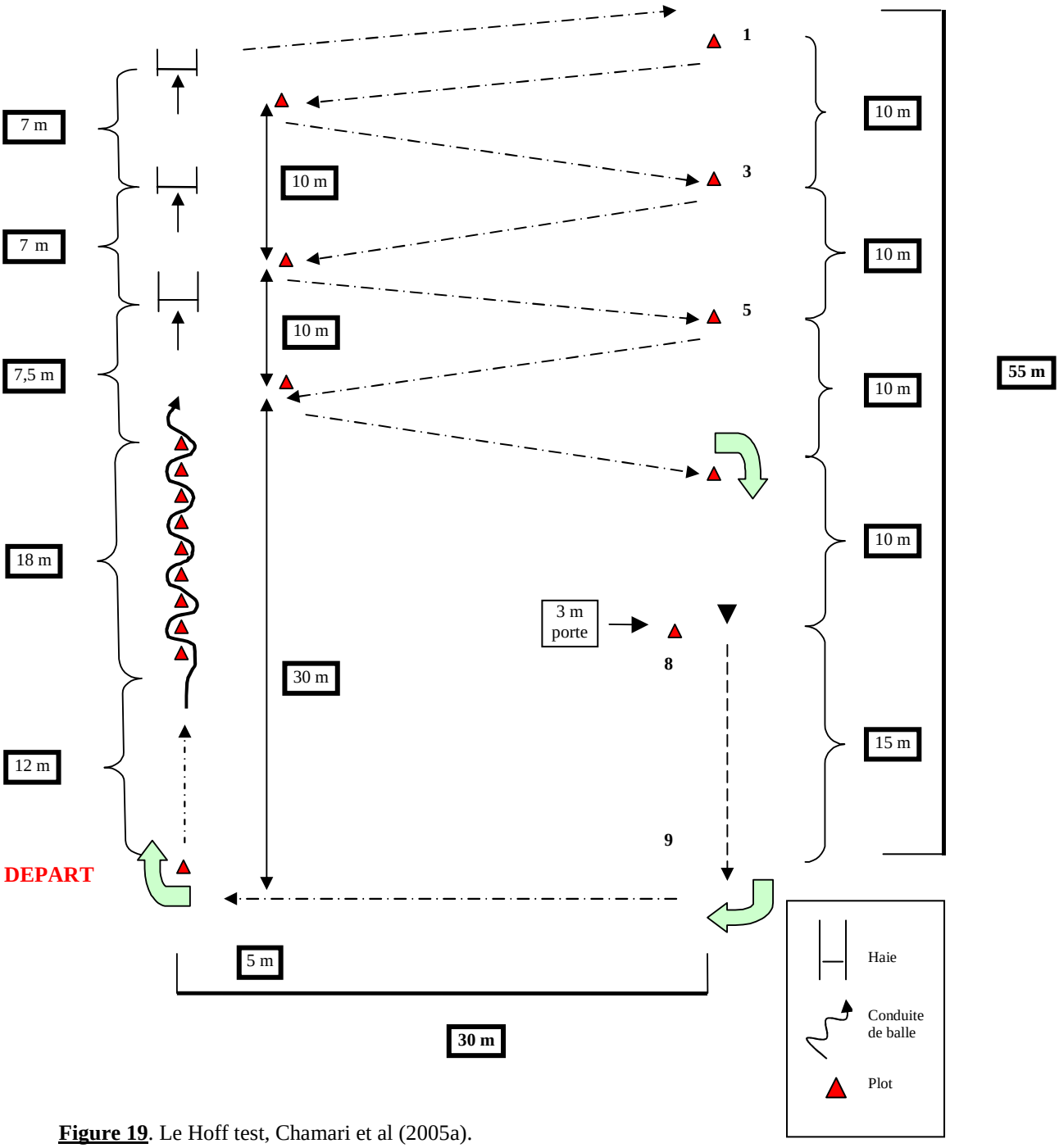
Tableau 17. Les différents paramètres lors de différents jeux réduits et d'exercices intermittents (Le Gall, 2002).

	Jeux réduits	Type de terrain	Durée	FC moyenne	FC max	% FC de réserve	Indice de charge	Lactate sanguin	Notes
INF 1	9 contre 9	1/2 terrain 56/40	16 min 25	168	194	74,1	39,2	3,1	Avec gardiens
	9 contre 9	1/2 terrain 56/40	3 X 8 min	168	194	73,3	74,7	1,81	Avec gardiens
	8 contre 8	1/2 terrain 56/40	21 min par joueur	165	197	71,3	60,3		Avec gardiens, et 2 remplaçants par équipe toutes les 2 min
	3 contre 3	16,50/40	3 X 8 min	166	189	71,7	56		Sans gardien mais avec des appuis en dehors de la surface de jeu
INF 2	10 contre 10	Sur tout terrain 80/56	2 X 15 min	165	189	71,5	72,2		Conservation du ballon puis jeu avec gardiens
	9 contre 9	1/2 terrain 56/40	22 min	165	188	71,3	46,5	2,46	Avec gardiens
	9 contre 9	1/2 terrain 56/40	27 min 15	160	190	69,2	54,9	1,96	Avec gardiens
	8 contre 8	3/4 terrain 60/56	54 min 30	162	188	69,3	48,2	2,25	Avec gardiens
	6 contre 6	1/2 terrain 56/40	22 min 30	172	193	76,5	56,1	3,5	Avec gardiens, il y a une 3ème équipe qui récupère passivement
	6 contre 6	1/2 terrain 56/40	20 min 30	174	193	78,8	53,6	3,41	Avec gardiens, il y a une 3ème équipe qui récupère passivement
	5 contre 5	20/20 m	24 min 30	163	193	69,7	50	4,43	Sans gardien sans but
INF 3	8 contre 8	1/2 terrain 56/40	40 min	151	190	62,4	70,5		Avec gardiens
	8 contre 8	1/2 terrain 56/40	32 min 40	169	193	75,3	78,1	2,99	Avec gardiens
	8 contre 8	1/2 terrain 56/40	46 min	162	193	70	102	2,69	Avec gardiens
	4 contre 4	20/20 m	3 X 4 min	151	188	61,1	41,4	4,22	Sans gardien mais avec des appuis aux extrémités de la surface de jeu
	3 contre 3	20/20 m	2 X 8 min	152	182	63,9	36,6	2	Sans gardien mais avec des appuis aux extrémités de la surface de jeu
	Intermittent 15 -15		8 min	182	196	82,8	24		110% de la VMA avec récupération active
	Intermittent 30 – 30		7 min 35	178	191	79,7	21		

2.1.8.2. Analyse des effets physiologiques des circuits techniques en conduite de balle – aspect individuel

La capacité aérobie d'un joueur de football est essentielle à l'utilisation optimale de sa technique et de ses choix tactiques. Les études se sont le plus souvent intéressées à l'impact des jeux réduits sur la composante centrale (e.g. Rampinini et al, 2007a et b) mais très peu d'entre elles avaient effectué une analyse de l'impact physiologique d'une activité individuelle avec la balle durant un temps donné.

- **<u>Hoff test</u>**. Dans cette optique, Chamari et al (2005a) avaient proposé le Hoff test. Ce test évaluait la capacité aérobie lors d'un test spécifique à base de conduites de balle et de dribbles individuels. Le Hoff test (Chamari et al, 2005a) consiste donc à conduire le ballon à travers le parcours de Hoff modifié (Hoff et al, 2002), pendant un temps imposé (10 min) ; la tâche demandée étant de parcourir la plus grande distance possible sur plusieurs tours (Figure 19). Chamari et al (2005a) relataient que la distance parcourue lors du Hoff test était un test significativement corrélé avec VO_2max. De ce fait l'aptitude à conduire la balle à une intensité et une durée donnée entraîne un impact physiologique au niveau de la composante centrale, le système cardio-vasculaire et cardio-respiratoire.



<u>Figure 19</u>. Le Hoff test, Chamari et al (2005a).

- **Circuit avec balle**. Les données issues de l'étude de Chamari et al (2005a) permettent donc d'affirmer que la conduite de balle (environ 10 min) agit directement sur la composante centrale et sur la consommation d'oxygène. Ils avaient relaté qu'un entraînement de 8 semaines à base de conduites de balle et de dribbles permettaient d'augmenter de 8.6% le VO_2max et d'améliorer de 10 à 12% l'économie de course chez des jeunes footballeurs de 14 ans. Certes, ces valeurs ont un intérêt uniquement pour les jeunes joueurs mais elles démontrent l'impact de l'entraînement à base de dribbles et de conduite de balle sur la condition physique.

  A ce jour, aucune étude ne relate directement l'impact physiologique de la conduite de balle et ne propose une méthodologie d'entraînement approprié à ce type d'exercice. Hoff (2005) relevaient l'intérêt d'un entraînement avec une conduite de balle mais il n'était pas allé plus loin, certainement à cause de la difficulté de calibrer un entraînement avec la balle. Chaque joueur réagit différemment selon sa capacité aérobie, sa technique et de ce fait, les études scientifiques sont très délicates car la conduite de balle entraîne un impact à la fois sur le plan musculaire (composante périphérique) et sur la capacité aérobie (composante centrale).

  Nous admettons l'intérêt d'exercices sous forme de conduites de balle afin de travailler de manière intégrée, c'est-à-dire, à la fois la technique et la capacité aérobie (Bangsbo, 2008). Toutefois, aucune méthodologie de travail n'a été proposée et c'est pourquoi les staffs doivent les utiliser avec la plus grande précaution car nous ne connaissons pas leurs impacts physiologiques exacts.

  Dans le cadre d'un entraînement collectif, cette méthodologie d'entraînement intégré ne présente pas un grand intérêt étant donné l'importance de la variabilité des réponses physiologiques (Dellal, 2008). Toutefois son utilisation lors d'un entraînement spécifique individuel en séance de type réadaptation ou ré-athlétisation semble plus adaptée étant donné le suivi direct, voulu et contrôlé de l'impact physiologique des exercices à base de conduite de balle.

  Ainsi, un circuit de conduites de balle et de dribbles (Figure 20) avec des changements de direction et des changements de rythme durant une période 8 minutes permettrait d'atteindre des valeurs de 79 à 91% de la FC max d'un joueur en phase de ré-athlétisation (Dellal et al, 2006).

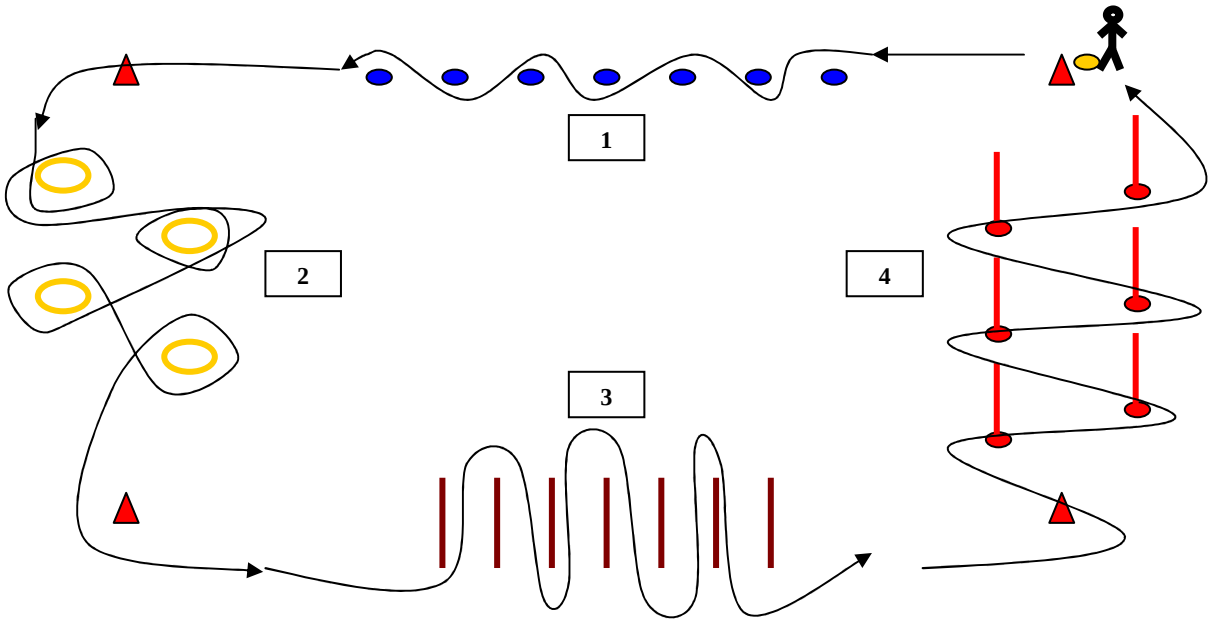


Figure 20. Circuit technique de conduite de balle et de dribble.

Le circuit technique s'appliquait de la manière suivante. Il était composé de quatre exercices qui sont effectués à intensité maximale. Entre chaque exercice, les joueurs récupéraient en ralentissant le rythme mais toujours en étant au contact avec la balle pour aller à l'exercice suivant. Les joueurs enchaînaient 4 exercices (Figure 20) durant 8 min :

1. Ils effectuaient un slalom entre les plots, du pied droit au 1er tour, du pied gauche au 2ème tour et alterné au 3ème tour. Et ainsi de suite jusqu'à la fin des 8 minutes.
2. Ils réalisaient le tour des cerceaux avec une conduite intérieure du pied droit pour le 1er cerceau, intérieure du pied gauche pour le 2ème cerceau, extérieure du pied droit pour le 3ème cerceau et extérieure du pied gauche pour le 4ème cerceau.
3. Ils exécutaient une conduite de balle latérale une fois vers la gauche puis une fois vers la droite.
4. Ils accomplissaient des changements de direction de l'extérieur du pied à la sortie de chaque piquet.

Les résultats de Dellal et al (2006) indiquaient une sollicitation du système cardio-vasculaire proche de celle d'un exercice intermittent de type 30-30 à 105% de vVO_2max (Figure 21). Le joueur international numéro 1 atteignait 175 bpm lors de l'exercice intermittent tandis qu'il arrive à 169 bpm lors du circuit technique (84% de sa FCmax). Un 30-30 va permettre de solliciter plus fortement la composante centrale qu'un circuit technique car celui-ci implique davantage une sollicitation musculaire. Les changements de direction permanents et les contraintes liées à la conduite de la balle entraînent une sollicitation « moins aérobie » mais une adaptation périphérique supérieure (Bangsbo, 2008).

Enfin, la cinétique de récupération des battements cardiaques (bpm) lors des circuits techniques était supérieure après 1 min et 2 min de récupération passive par rapport à celle observée lors d'un 30-30 (circuit technique : 1 min = 19 bpm et 2 min = 38 bpm ; 30-30 : 1 min = 17 bpm et 2 min = 33 bpm).

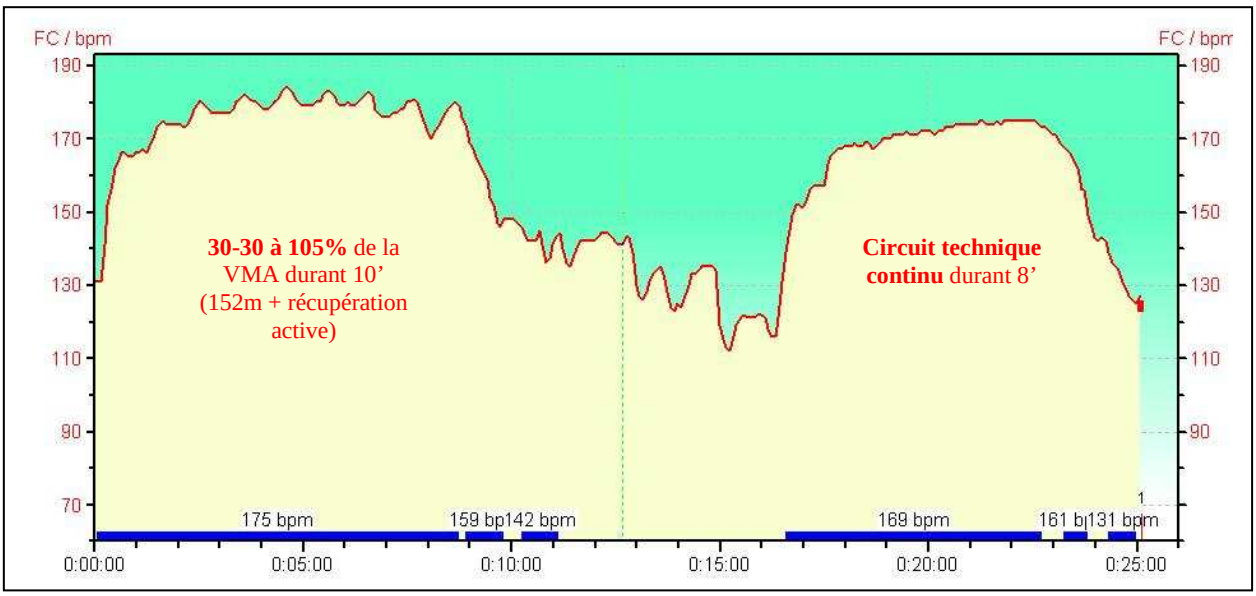


Figure 21. Réponses cardiaques d'un joueur international N°1 doté d'un VO_2max de 69 ml/kg/min et d'une bonne technique lors d'un circuit technique de conduite de balle/dribble et un 30-30 à 105% de la vVO_2max (Dellal et al, 2006).

Les résultats précédents concernaient un joueur qui disposait d'un bon VO_2max et d'une bonne technique pour un footballeur international (69 ml/kg/min). Toutefois, un joueur de même niveau avec un bon VO_2max de 71 ml/kg/min mais qui présente une technique individuelle plus faible sollicitera la composante centrale (cardio-vasculaire) à un niveau égale voire supérieur lors des circuits techniques à celle d'un 30-30 à des conditions similaires (Figure 22). La qualité technique individuelle du joueur va directement influer le niveau de sollicitation aérobie au cours d'un circuit technique avec balle.

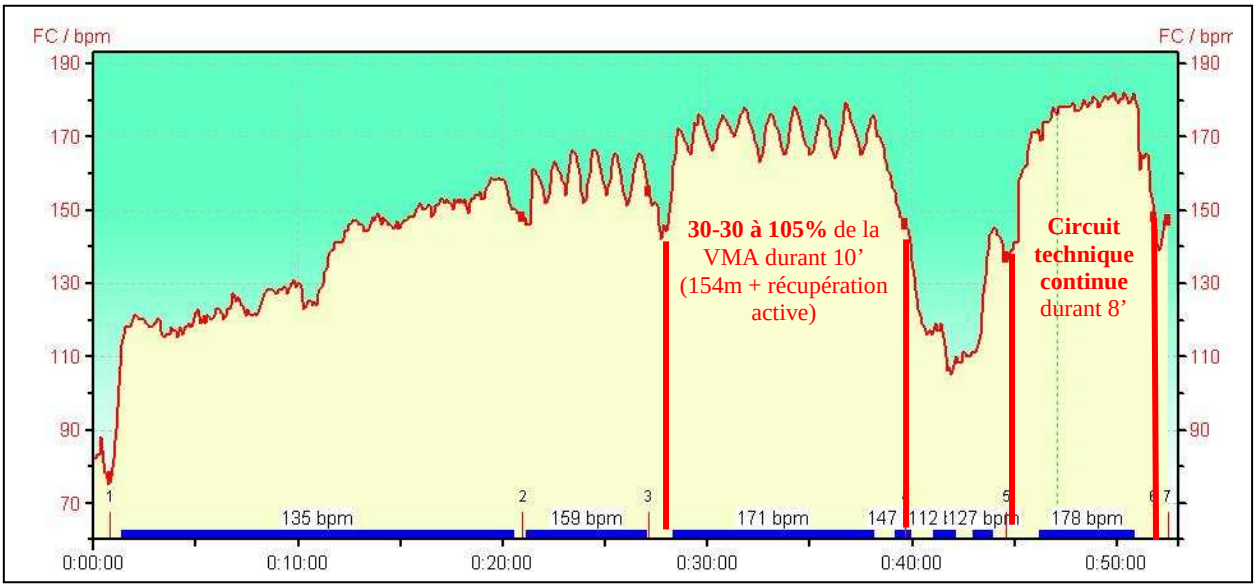


Figure 22. Réponses cardiaques d'un joueur international N°2 doté d'un VO_2max de 71 ml/kg/min et d'une technique plus faible, lors d'un circuit technique de conduite de balle/dribble et 30-30 à 105% de la *v*VO_2max (Dellal et al, 2006).

- **Conclusion**. Un entraînement via des circuits techniques permet une sollicitation à la fois centrale et périphérique à un niveau proche de celle d'un exercice intermittent de type 30-30 à 105% de la *v*VO_2max (Dellal et al, 2006). Toutefois, le niveau technique du joueur va directement influer sur la performance lors de ce circuit. Un joueur doté d'une technique moyenne va dépenser plus d'énergie au cours de l'exercice et donc il va monter plus haut au niveau de sa FC. Il se fatiguera plus rapidement au cours du circuit technique. Au contraire, un joueur doté d'une très bonne technique va économiser son énergie et réduire à la fois la sollicitation périphérique et centrale, il se fatiguera moins. De ce fait, le staff devra adapter la durée d'application du circuit technique selon le niveau technique du joueur. Cet exercice de circuit technique sera un outil intéressant dans la phase de réadaptation et de ré-athlétisation car il permet de faire la transition entre un entraînement cardio-vasculaire et un entraînement plus spécifique au football tout en intégrant la balle (Bangsbo, 2008). Il constitue un entraînement individuel intégré qui se fera durant les 2 ou 3 séances qui précèdent la reprise de l'entraînement collectif.

  L'ensemble des données sur les entraînements intégrés est assez contradictoire. Certains auteurs relataient qu'ils ne permettaient pas d'approcher significativement l'activité de match (e.g. Antonacci et al, 2007) alors que d'autres affirmaient que l'activité est équivalente (Rampinini et al, 2007c). L'exploitation de données scientifiques est actuellement délicate étant donné l'importance des réactions physiologiques propres à chaque individu.

2.1.9. Synthèse de la partie sur l'endurance

Tout au long de ce chapitre, nous avons relevé que le footballeur parcourait une distance totale comprise entre 9995 m et 11233 m (Rampinini et al, 20007a). Ces données renforcent le fait que l'endurance et la capacité aérobie sont des qualités importantes dans le milieu du football (e.g. Bangsbo, 1994a). Toutefois, l'entraînement en football nécessite un travail d'endurance spécifique car c'est un sport dit « intermittent ».

Les exercices intermittents courses de courtes durées seraient hautement spécifiques à l'activité football (Balsom, 1995) car ils permettraient de solliciter à la fois le métabolisme énergétique anaérobie (Bangsbo, 2008, Gaitanos et al, 1993) et aérobie (Bangsbo, 2007 ; Dupont, 2003). Ils agissent notamment dans l'optimisation de la vVO_2max (Billat et al, 2002), dans le développement de l'activité des enzymes oxydatives (Parolin et al, 1999) tout en ayant une action sur les composantes périphériques (Thompson et al, 1999). L'intérêt de l'exercice intermittent est incontesté dans le milieu du football. Cependant, le choix des différentes caractéristiques tels que les temps de récupération (Dupont et al, 2004) et les temps de travail (Balsom, 1995) doit être défini avec précautions. Le test IFT 30-15 (Buchheit, 2008), serait un outil qui permet de mieux contrôler et de mieux définir les principales caractéristiques du travail intermittent courses de courtes durées. L'application de ces exercices en ligne ou en navette est physiologiquement différente (Bisciotti et al, 2000) mais leur utilisation sera tout aussi importante selon la période de la saison (Grosgeorge et Dellal, 2005).

Les jeux réduits constitueraient également un travail permettant de solliciter la capacité aérobie du joueur (Mallo et Navarro, 2008). Ils pourraient élever la vVO_2max (Rampinini et al, 2007a et 2007c) tout en permettant de travailler l'aspect tactique et l'aspect technique propre au joueur et à l'équipe (Kelly et Drust, 2008). Les conditions de jeu doivent également être définies très précisément car la présence de gardien (Mallo et Navarro, 2008), le nombre de joueurs (Rampinini et al, 2007a ; Owen et al, 2004), la taille du terrain (Tessitore et al, 2006) et la durée des séquences (Jones et Drust, 2007) influeraient directement sur l'impact physiologique des footballeurs. La RPE serait un outil d'évaluation intéressant pour ce type de travail, au même titre que la lactatémie et la FC (Coutts et al, 2007a et b ; Impellizzerri et al, 2004).

Enfin, certains auteurs relataient le fait que d'autres exercices intégrés à base *de conduites de balle en circuit* pourraient avoir les mêmes effets. Or, Antonacci et al (2007) relevaient que leurs intérêts n'existaient pas car ils dépendraient trop de la qualité technique individuelle du joueur. La sollicitation physique serait trop aléatoire.

De ce fait, l'endurance en football peut être optimisée selon différentes méthodologies. Mais cette qualité ne constitue pas la plus importante en football. Bangsbo (2008) relevait que la qualité d'endurance est une qualité de base de travail pour le footballeur. La vitesse serait la qualité la plus importante à travailler car elle représente le travail qualitatif (Dellal, 2008). Le footballeur doit être capable de répéter des sprints à intensité maximale tout au long du match tout en enchaînant des actions footballistiques de qualité. Dans la prochaine partie, nous allons maintenant aborder cet autre facteur de la performance que constitue la qualité de *vitesse*. En effet, lors d'exercices intermittents de courtes durées, nous utilisons des intensités de travail maximales ou supra maximales. De ce fait, nous devons appréhender l'ensemble des éléments biomécanique, physiologique et psychologique relatifs à cette qualité. Ainsi, nous pourrions la mettre en relation avec les exercices intermittents les cas échéants. La vitesse doit être analysée et comprise pour mieux appliquer les efforts spécifiques aux footballeurs, le travail par des exercices intermitents et la capacité à répéter des sprints le plus longtemps possible.

L'activité du footballeur de haut niveau, l'endurance, la performance lors d'exercices intermitents spécifiques au football sont étroitement liés à la qualité de vitesse.

2.2. La vitesse

2.2.1. Définition et objectifs de la vitesse

Cette qualité de vitesse doit être comprise et analysée dans ses moindres détails afin de pouvoir améliorer l'exploitation des exercices intermittents de hautes intensités, efforts spécifiques des footballeurs, traités à la partie précédente. Messi, Cissé, Henry, Saviola, Owen, Roberto Carlos, Ronaldo sont des joueurs présentant les mêmes caractéristiques : une qualité de vitesse et de vivacité exceptionnelle. La performance des footballeurs de haut-niveau est très souvent corrélée à sa capacité à réitérer des sprints à un niveau optimal (Bangsbo, 2008). En harmonie avec les autres facteurs de la performance que sont l'endurance, la mobilité, la force, la coordination, le technico-tactique, cette qualité est devenue une des caractéristiques majeures du footballeur de haut-niveau (Sassi, 2001). Plus le niveau de compétition est élevé, plus la vitesse de jeu augmente, plus les footballeurs sont rapides comparativement au poste occupé (Lippi, 2007). En effet Verheijen (1998) a démontré qu'il existe une différence significative entre des footballeurs amateurs et des joueurs professionnels au niveau des temps de course sur 15 et 40 m. Cette différence s'observe également entre des sportifs de niveau national et des sportifs de niveau international (Gissis et al, 2006).

La vitesse est un élément fondamental dans le football actuel. Durant un match, les joueurs effectuent environ 700 m de sprints (entre 100 et 140 sprints), avec des distances variant entre quelques mètres et 50 m et des temps de récupération avoisinant les 30 à 40 s, Bangsbo (1994a). Les différentes études et analyses considèrent que la vitesse du footballeur est maximale aux alentours de 40 à 46 m (Bangsbo, 2008).

Toutefois, « la qualité de vitesse constitue une liaison des différentes qualités physiques », Carminati et Di Salvo (2003). Ils ajoutent que c'est une « qualité multicomposante » qui constitue une interconnexion entre les différents facteurs de performance. Elle nécessite des capacités de souplesse dynamique et de flexibilité, de coordination et de force (Ronnestad et al, 2008). Bangsbo (1994b) avait même démontré qu'il y avait une corrélation entre la capacité de répétition de sprints et le VO_2max. La vitesse est une qualité variée car elle fait intervenir aussi bien des facteurs d'ordre physique que psychophysiologique (Bauer, 1981).

Ces éléments psychophysiologiques sont à développer, entretenir et perfectionner quel que soit le niveau de pratique (Figure 23). Grâce à l'harmonisation de chacun de ces facteurs, les joueurs pourront développer leurs performances quel que soit le type de vitesse. Cette vitesse est multifactorielle et existe sous différentes formes : la vitesse gestuelle, la vitesse maximale, vitesse courte (accélération et démarrage), la vivacité, la vitesse-coordination, la vitesse-force, la survitesse et l'endurance-vitesse encore appelé capacité à répéter les sprints ou Repeated Sprint Ability (RSA) (Dellal, 2008).

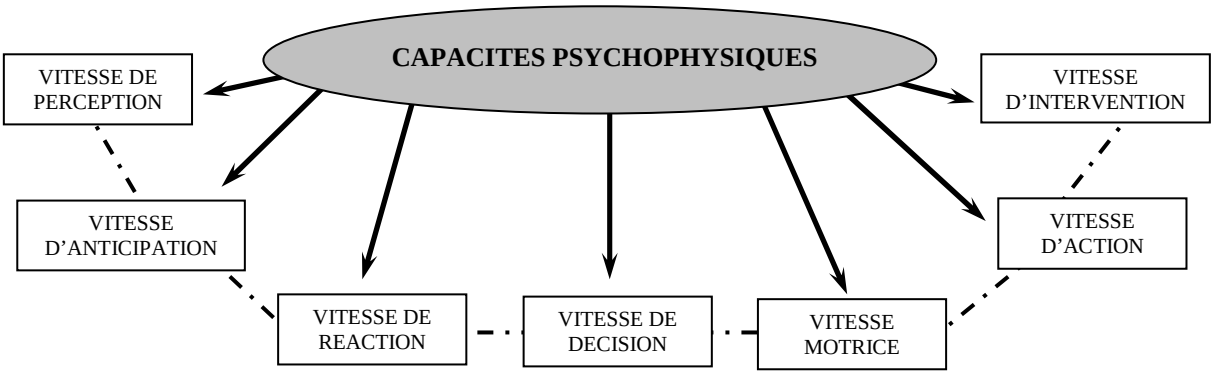


Figure 23. Les capacités psychophysiques de la vitesse, Bauer (1981).

2.2.2. Les différentes formes de la vitesse

La vitesse est donc une qualité muti-factorielle qui peut se différencier en différentes formes d'entraînement de la vitesse (Figure 25).

2.2.2.1. **Vitesse maximale.** Elle représente la vitesse maximale que peut atteindre un joueur lors d'un sprint ou d'une accélération (Gissis et al, 2006). Elle varie en fonction des individus et peut être atteinte selon des distances qui différent selon les postes et les organisations de jeu (Mourihno, 2005). En football, nous considérons qu'un joueur atteint sa vitesse maximale aux alentours de 40 à 46 m (Bangsbo, 2008). Cette forme de vitesse doit être spécifique et son entraînement doit être orienté uniquement en ce sens (Little et Williams, 2005). Lorsque le staff effectue un entraînement avec des exercices à vitesse maximale, les joueurs accumulent des lactates et d'autres déchets métaboliques tels que l'hypoxantine ou les phosphate inorganique (Pi) et de ce fait, le délai de récupération approchera les 48 h (Carminati et Di Salvo, 2003).

Carminati et Di Salvo (2003) proposaient même de préciser que la vitesse maximale des joueurs est atteinte pour une distance de 18 m quel que soit les postes occupés. Ils relevaient qu'elle serait le type de course maximale du footballeur. Carminati et Di Salvo (2003) confirmait cela.

2.2.2.2. **Vitesse courte**. Elle englobe la capacité d'accélération et d'atteinte de la vitesse maximale sur des distances courtes (5 à 20 m qui seraient directement influencées par la capacité de réaction, d'anticipation et d'action (Carminati et Di Salvo, 2003). Gissis et al (2006) indiquaient que les professionnels de haut niveau avaient des performances sur 10 m significativement plus élevées que des joueurs sub-élite et des amateurs. Di Salvo et Pigozzi (1998) indiquaient par exemple que les défenseurs centraux et les milieux effectuaient entre 45 et 50 accélérations sur des distances de vitesse courte de 2 s. Ces actions courtes nécessitent une qualité des appuis et de fréquence gestuelle (Bangsbo, 2007) inhérente à l'activité du footballeur faite de changements de direction et de rythmes (Bangsbo, 1994a). Lors d'un entraînement intégrant des exercices de vitesse courte, le délai de récupération est de 24 h (Bangsbo, 2007) mais elle ne peut être appliquée la veille de match (Dellal, 2008). Le principal substrat énergétique, les PCr, se régénérait rapidement si les efforts ne sont pas trop répétés et l'accumulation de lactate serait inférieure à 8 mmol.l après 4 répétitions de 18 m entrecoupées de 1 min de récupération passive (Bangsbo, 2007). Toutefois, le staff doit faire attention au nombre de séries et de répétitions pouvant induire une hausse importante de la lactatémie pour des distances de courses de 15 m (Little et Williams, 2007b). La vitesse courte pourrait intégrer une séance de répétitions de sprints avec pour objectif de retarder l'apparition de la fatigue et de conserver ses performances le plus longtemps possible (Little et Williams, 2007b). Carminati et Di Salvo (2003) relevaient que 18 m constituait la distance où le joueur pouvait atteindre sa vitesse maximale quel que soit le poste occupé. Ils ont relevé ces résultats de vitesse courte selon les positions jouées par les joueurs :

- 2.895 s pour les gardiens,

- 2.865 s pour les défenseurs centraux
- 2.84 pour les défenseurs latéraux
- 2.860 pour les milieux
- 2.862 pour les attaquants

2.2.2.3. **Vivacité.** Elle représente la capacité d'un sportif à effectuer des actions rapides de quelques mètres tout en changeant de direction de manière tout aussi rapide (Bangsbo, 2007). La qualité des appuis, le rythme et la fréquence gestuelle sont essentiels à ce niveau. Le délai de récupération est de 24 h car le principal substrat énergétique, le PCr, se régénère très vite si les efforts ne sont pas trop répétés. La distance de travail se situe entre 2 et 14 m (Carminati et Di Salvo, 2003). La vivacité intègre régulièrement les séances de veilles de matchs avec des exercices d'appuis, des changements de direction tout en combinant l'utilisation de différents stimuli visuels, sonores ou gestuels. Le footballeur doit accélérer et être le plus réactif au sol. Carminati et Di Salvo (2003) relevaient que les temps de contact au sol devaient être les plus courts possibles, entre 0.16 s et 0.18 s selon les postes, et que cette capacité de réaction au sol est directement corrélée au nombre de répétitions de vitesse courte. Enfin, notons que le joueur doit être capable d'être vif le plus longtemps possible durant le match et de ce fait nous sommes plus dans un travail mixte, à la fois aérobie-anaérobie (Krustrup et al, 2001) dans la capacité à réitérer les efforts intenses de courtes durées (Little et Williams, 2007b).

2.2.2.4. **Vitesse-coordination**. Elle consiste à maîtriser des actions dans des situations prévisibles (automatisme) ou imprévisibles (adaptation), de les exécuter de façon économique et d'apprendre rapidement les mouvements, avec une certaine de vitesse (Weineck, 1998). Le staff souhaite ici effectuer des actions, des gestes techniques (dribble, enchaînement de contrôle-passe…) à une vitesse optimale. Toutefois, Little et Williams (2005) démontraient qu'un travail de vitesse maximale et de vitesse courte n'améliorait pas forcément l'agilité des joueurs et la vitesse de coordination. Cependant, Bloomfield et al (2007) indiquaient qu'un entraînement combiné en vitesse maximale, en vitesse coordination et en vitesse courte était très intéressant pour améliorer les performances de vitesse spécifiques au football comparativement à l'entraînement en jeux réduits. Young et Farrow (2006) ont travaillé sur les spints en ligne et sprints avec changements de direction (COD), et ont monré que ces qualités étaient distinctes. En effet améliorer les sprints simples n'améliore pas les sprints avec COD et par conséquent ces qualités doivent etre travaillées en parallèle.

2.2.2.5. **Sur-vitesse.** La survitesse consiste à faire courir ses joueurs à une vitesse plus importante que leurs vitesses optimales afin de les habituer à de nouvelles fréquences gestuelles et autres éléments de la technique de vitesse (Bangsbo, 2008). Le staff veut surprendre le muscle. Ces exercices sont en général effectués sur une pente inclinée au maximum de 3 à 5% (Romanova, 1990). Au delà de cette inclinaison, la qualité de la technique de course serait détériorée. Enfin, nous devons savoir que le travail en sur-vitesse augmente la sollicitation des groupes musculaires des ischio-

jambiers (Bangsbo, 2007) et de ce fait, elles pourraient occasionner certaines lésions si ce groupe musculaire n'est pas parfaitement préparé (Dellal, 2008). Les séances peuvent être du type 6 X 20 m sur une pente de 4% avec une récupération de 1 min entre chaque répétition (Sassi, 2001). Les données de la littérature scientifique sont à ce jour trop maigres pour établir un constat de cette approche de la vitesse. Toutefois, cette technique permettrait de franchir un palier de vitesse et d'apporter une variation dans l'entraînement de la vitesse. Ce dernier élément, la variation des exercices et des sollicitations, constitue une des clés du travail de la vitesse (Carminati et Di Salvo, 2003).

2.2.2.6. **Vitesse-endurance**. Elle représente la capacité du joueur à effectuer des répétitions de sprints courts ou longs sans perte de vitesse. Ce travail permet de répéter des sprints et de maintenir le plus longtemps possible la vitesse maximale, d'augmenter les réserves de phosphagènes, d'être protégé contre l´acidification lactique (baisse du pH, sprints longs) et un retour à un meilleur état de fraîcheur avant chaque début de sprint (Carminati et Di Salvo, 2003). Le délai de récupération approche 72 h car les joueurs accumulent des lactates et d'autres déchets métaboliques (Bangsbo, 2007). Cette forme de vitesse peut être rattachée aux exercices intermittents intenses de courtes durées au cours desquels les joueurs doivent effectuer un certain nombre de sprints, avec un temps de récupération défini au préalable et avec une performance métrée à réaliser (Brown et al, 2007).

Hill-Haas et al (2007) relevaient que l'endurance et la vitesse étaient deux facteurs interactifs. La répétition de sprints de 3 séries de 6 sprints de 40 m induisait un entraînement sollicitant la capacité aérobie du joueur (Bravo et al, 2007).

2.2.2.7. **Vitesse-force.** La vitesse est directement influencée par la qualité de force du train inférieur (Carminati et Di Salvo, 2003) et des muscles de la ceinture pelvienne (Sassi, 2001). Lors des premiers mètres, la poussée au cours d'un démarrage est très importante et dépend directement de la force du joueur (Kotzamanidis et al, 2005). La répétition de sprints serait également influencée par la qualité de force isocinétique d'extension de la jambe à 240° la cuisse (e.g. Newman et al, 2004). De ce fait l'entraînement de la vitesse doit être accompagné par un entraînement en force avec certaines précautions à prendre. En effet, Askling et al (2003) indiquaient que des joueurs ayant effectué un renforcement musculaire spécifique au niveau des ischio-jambiers en début de saison, pouvaient présenter des blessures lors d'accélérations. La gestion des ces deux facteurs de la performance étroitement liés est délicate mais elle reste indispensable. Cometti et al (2001) indiquaient que les performances en force isocinétique des extenseurs et fléchisseurs du genou (120° et 300°) et en vitesse sur 10 m présentaient des facteurs de différenciation entre amateurs et élites.

D'autres méthodologies d'entraînement permettent de travailler à la fois en force et en vitesse. Il s'agit d'effectuer diverses actions rapides tout en étant soumis à une charge tels que les harnais de résistances, les parachutes, les élastiques, les terrains boueux, le travail en côte, les fosses de sable ou encore la charge d'un adversaire (Sassi, 2001). La qualité de

force vitesse est certainement la plus importante et la plus délicate à maîtriser.

2.2.2.8. **Vitesse-puissance en côte**: La vitesse peut être travaillée par des exercices sur des pentes inclinées (Figure 24). Lors d'une séance en côte, l'inclinaison ne doit pas excéder 10-15% afin de rester dans un travail de puissance-vitesse ou force-vitesse (Carminati et Di Salvo, 2003). Plus l'angle de la côte est important, plus les poussées concentriques des quadriceps seront importantes. Ce type de travail en cote est également intéressant pour faire monter rapidement la FC (100 bpm en moins de 10 s) mais détériore la fréquence gestuelle (Sassi, 2001). Le staff peut également proposer du travail en escalier sur des marches basses pour développer la puissance du joueur, et ce, notamment pour les retours des blessés aux ischio-jambiers.

Figure 24. Pente du centre d'entraînement de la Juventus de Turin, Vinovo (Italie).

2.2.2.9. **Vitesse en état de fatigue**. Ces entraînements consistent à faire des exercices de vitesse en situation de fatigue (Cometti, 2002). Il peut également rejoindre la méthodologie de répétitions de sprints. Plus le joueur arrive à conserver sa performance en sprint, plus il retarde sa fatigue, plus il sera performant sur le terrain (Bangsbo, 2007 ; Rampinini et al, 2007c). Ces exercices sont intéressants sachant que la différence entre les équipes s'effectue majoritairement dans le dernier quart d'heure du match, et de ce fait, l'équipe ayant le plus de ressources physiques, mais aussi morales, pourra prendre l'avantage (Lippi, 2007). Les joueurs doivent être capables à la fois de parcourir une distance totale aux alentours de 10000 m (Rampinini et al, 2007a), de jouer des duels au sols et aériens, d'être tactiquement performants, d'être mentalement efficaces, d'être techniquement compétitifs tout en étant systématiquement rapides et de pouvoir répéter ces sprints le plus longtemps dans le match (Carminati et Di Salvo, 2003).

Figure 25. Les différentes formes de la vitesse.

2.2.3. Analyse de la qualité de vitesse spécifique football

2.2.3.1. Analyse physiologique

La vitesse pure est une qualité qui est multifactorielle, c'est à dire qu'il existe différentes composantes permettant de développer sa performance sur courte ou moyenne distance : la coordination gestuelle et segmentaire, la force des membres inférieurs, la vitesse de transmission nerveuse et autres composantes (Figure 26). Toutefois, nous devons ajouter d'autres éléments spécifiques au contexte du footballeur : l'importance du temps de réaction, la vitesse avec charge, la vitesse à la suite de changements de direction, d'un saut, d'un tacle ou d'une tête (Coburn et al, 2006).

A vitesse égale, certains joueurs peuvent être les premiers sur la balle grâce à une analyse de la situation rapide et efficace (Williams et al, 1994). L'anticipation et une perception affinée permettent de gagner quelques centièmes de secondes par rapport à l'adversaire et donc d'être en avance sur lui, même si sa vitesse pure est inférieure à la sienne (Carminati et Di Salvo, 2003). Le staff technique va donc tenter de développer le travail combiné d'attention, de concentration, d'anticipation avec les différentes adaptations physiologiques recherchées qui peuvent être grossièrement définies comme :

- augmenter le nombre d'éléments contractiles dans les muscles sollicités (Gabaldon et al, 2008) ;
- augmenter les réserves ATP/CP et de l'O_2 en réserve intra-musculaire (Bangsbo, 1994a) ;
- augmenter la densité des enzymes intervenant dans le métabolisme anaérobie alactique et lactique, la créatine-phosphokynase et la myokinase (Balsom, 1995) ;
- préparer les muscles à des actions brèves et spontanées (Little et Williams, 2007b),

- augmenter la Force Maximale Volontaire (FMV) et la Force Maximale Isométrique (FMI) grâce à un travail de force vitesse (Widrick et al, 2002) ;
- améliorer la capacité pulmonaire (Bangsbo, 2008) ;
- augmenter la qualité d'échange respiratoire (Sassi, 2001) ;
- diminuer le temps de contact au sol (Carminati et Di Salvo, 2003) ;
- optimiser la rythmicité (Carminati et Di Salvo, 2003) ;
- optimiser la fréquence (Martin, 2007) ;
- optimiser la capacité d'anticipation (Carminati et Di Salvo, 2003).

La vitesse est une action explosive dont la demande énergétique va être importante et de ce fait, l'activité enzymatique va également être considérablement augmentée. Billat (1998) relatait qu'un « des problèmes majeurs des efforts brefs et intenses est de satisfaire immédiatement l´énorme demande d´énergie qui augmente la vitesse des réactions de la glycolyse de 1000 fois par rapport au repos ». La phosphofructokinase (PFK) serait l'enzyme la plus sollicitée (Glaister, 2005). De même Garry et Mac Shane (2000) relevaient chez 23 footballeurs que la concentration plasmatique en créatine kinase et en lactate déshydrogénase augmenterait lors de l'exercice de vitesse. L'augmentation de l'activité enzymatique nécessite notamment une température intramusculaire de l'ordre de 38°C (Garry et Mac Shane, 2000), c'est-à-dire que le muscle doit être échauffé. Mohr et al (2004) indiquaient une hausse de température musculaire de l'ordre de 36°C à 39.4°C au niveau des quadriceps à la suite d'un échauffement classique. Une hausse de la température corporelle de 2°C va permettre d'augmenter la vitesse de contraction musculaire de 20% et de 13% l'activité du métabolisme tout en agissant positivement sur les fibres de collagène (Ranatunga, 1984). Au contraire, la température centrale ne pourra pas augmenter au-delà de 2°C, mais cette valeur sera suffisante pour influer les réactions enzymatiques (Joch et Uckert, 2001).

La composante élastique et réactive des muscles est très importante car elle est directement liée à la capacité de vitesse du joueur (Hoff, 2003). Elle est également très importante pour la performance du footballeur, au niveau de sa vitesse gestuelle notamment, du fait du cycle « étirement - détente » omniprésent dans chacun des gestes spécifiques (Impelizzerri et al, 2008). Elle peut être définie comme la capacité du muscle à pouvoir se déformer et à se raidir selon l'équilibre propre à la contraction nécessaire à un exercice donné. Elle peut être divisée en deux fractions : une fraction passive, les tendons, et une fraction active, la partie contractile du muscle (Carminati et Di Salvo, 2003). Les exercices amenant à des contractions de type concentrique permettent de travailler la compliance, c'est à dire « la déformabilité », des muscles alors que ceux amenant à des contractions de type excentrique, pliométrique ou isométrique permettent de travailler la raideur du muscle (Carminati et Di Salvo, 2003).

L'énergie élastique serait principalement présente dans les tendons et serait développée et optimisée lors de travail de type pliométrique où le staff cherche à obtenir un « coupling time » très court de l´ordre de 50 – 150 ms pour que la phase concentrique corresponde à la mise en jeu du réflexe d´étirement (Tofas et al, 2008). En football, la sollicitation de l'élasticité musculaire est trop faible, d'où la baisse de l'énergie élastique (Carminati et Di Salvo, 2003). Toutefois, Impellizzerri et al (2008) relataient que cette capacité de réactivité au sol doit être travaillée sur différentes surfaces. Ils ajoutaient que le travail sur le terrain gazonné permettait également d'avoir des résultats sur le plan neuromusculaire tout en étant relié aux différents facteurs d'étirement raccourcissement. Toutefois, si nous souhaitons améliorer ou maintenir l'élasticité musculaire, nous pouvons effectuer des exercices isotoniques, balistiques, pliométriques, ou encore des exercices associant la force maximale et la force explosive. Le tendon d'Achille joue un rôle important dans cette qualité de vitesse et d'élasticité car il permet un rebond de qualité (Carminati et Di Salvo, 2003).

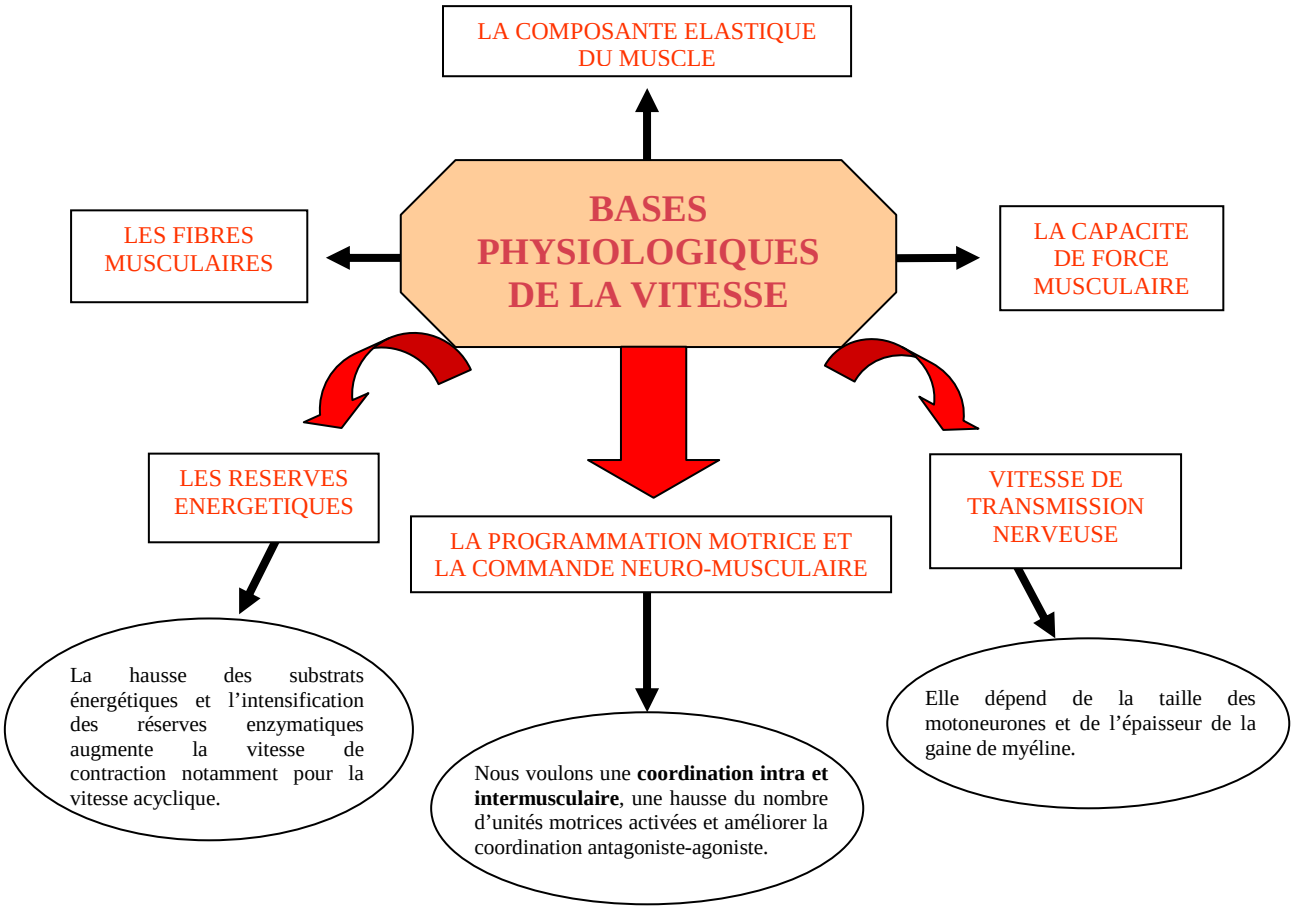


Figure 26. Bases physiologiques de la vitesse (Dellal, 2008).

La force est indispensable au développement de la qualité de la vitesse (Meier, 2007). Wisloff et al (2004) avaient relaté que la performance en ½ squat était directement corrélée à la performance aux sprints chez le footballeur. Un travail en force maximale va permettre de synchroniser les unités motrices. De même, Cronin et Hansen (2005) avaient démontré qu'un travail de puissance force était plus intéressant qu'un travail à base de pliométrie afin d'améliorer la performance des footballeurs en sprints. Ronnestad et al (2008) trouvaient des résultats similaires. Ils avaient testé l'effet combiné d'un entraînement combiné de pliométrie et de renforcement musculaire avec charge effectué 2 fois par semaine durant 7 semaines pour des joueurs ayant 6 à 8 sessions d'entraînement par semaine. Les résultats ne démontraient aucune augmentation de la performance de sprint et de détente verticale mesurée en squat jump (SJ) et en contre mouvement jump (CMJ) comparativement à un entraînement classique de renforcement musculaire.

Les muscles sollicités (Figure 27) sont les muscles équilibrateurs et extenseurs de la hanche qui fixent le bassin, les extenseurs du genou, les fléchisseurs du genou, les muscles responsables de la rétroversion tels que les abdominaux, transverses, petit et grand obliques, grand droit de l'abdomen, ischio-jambiers et les muscles permettant les appuis unipodaux tels que les abducteurs et les adducteurs (Carminati et Di Salvo, 2003). Wisloff et al (2004) consolidaient le fait que la force et la vitesse sont deux qualités indissociables. La musculation permet d'améliorer la puissance et la qualité de démarrage grâce à des exercices comme le $^{1}/_{2}$

squat, la presse, le leg curl et le leg extension). Plus précisément, l'augmentation de la force maximale permet d'améliorer la capacité d'accélération et, lors des phases de freinage, de réduire brutalement la vitesse pour effectuer une autre action de type : s'arrêter, sauter, se repousser ou toute autre action footballistique (Meier, 2007). La force maximale n'est pas atteinte pendant le sprint (Wisloff et al, 2004).

Le travail de force-vitesse constitue une des bases du travail du footballeur. Le staff peut soit mettre des exercices de renforcement musculaire spécifique aux muscles sollicités lors de la course de vitesse et effectuer un travail de vitesse dissocié, soit il peut combiner le travail de force et de vitesse (Bangsbo, 2007). Ce type d'exercice consiste à effectuer des contractions maximales dans un laps de temps bref et à entraîner le système nerveux :

- par une augmentation et une amélioration de la synchronisation des unités motrices (UM) et de leurs fréquences de décharge, c'est-à-dire une diminution du temps de recrutement des UM notamment des fibres rapides (Behm et Sale, 1993) ;
- par une amélioration de la coordination intra-musculaire et une activation d'un plus grand nombre de fibres (Meier, 2007) ;
- par une amélioration de la coordination intermusculaire, en d'autres termes, la capacité des muscles agonistes et antagonistes à coopérer (Meier, 2007).

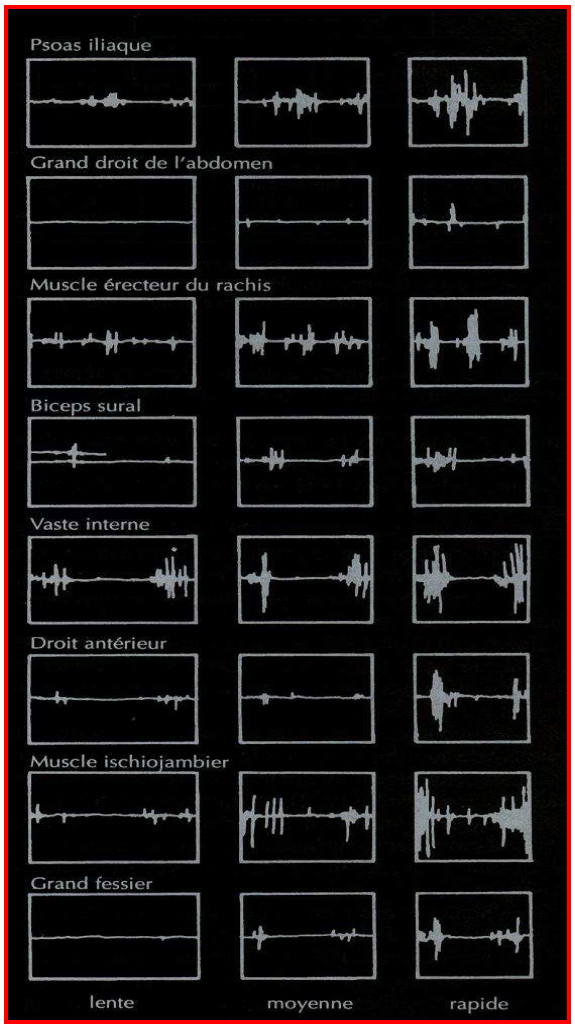


Figure 27. Analyse de l'activité musculaire durant 3 types de courses : lente, à allure moyenne et à allure maximale, Kunz et Unold (1988).

La combinaison d'un travail de force et de vitesse permettra au cours de la même séance d'améliorer également l'explosivité et la performance du footballeur (Kotzamanidis et al, 2005). Ce travail de force vitesse doit être effectué régulièrement au cours de la saison, environ 5 séances par mois (Carminati et Di Salvo, 2003). L'entraînement en force-vitesse permet non seulement d'améliorer et d'entretenir les qualités de vitesse d'un joueur mais aussi les qualités de force. Widrick et al (2002) ont démontré que 3 séances de force-vitesse par semaine permettaient d'améliorer la force maximale volontaire de plus de 60%. De même ils ont conclu que ce travail permettait d'augmenter de 30 à 40% la force maximale isométrique. Toutefois, le joueur doit être physiquement prêt, c'est-à-dire que le staff doit au préalable mettre en place des séances de renforcement musculaire spécifique au muscle des membres inférieurs lors de la période de préparation de début de saison. Ce travail sera dissocié dans un premier temps. Une fois que ces conditions ont été évaluées comme positives, ils doivent préparer les joueurs à réaliser des actions explosives brèves et intenses grâce à des exercices intermittents intenses de courtes durées tout en travaillant le renforcement musculaire en explosivité. Par la suite, ils pourront combiner un travail de force-vitesse tout au long de la saison avec un minimum de risque de blessure (Carminati et Di Salvo, 2003).

2.2.3.2. Capacité à répéter des sprints (RSA)

La performance physique du footballeur est très souvent liée à sa capacité à réitérer des sprints, encore appelée « repeated sprint ability » (RSA) dans la littérature scientifique, à un niveau optimal tout au long du match, notamment pour des postes tels que milieu défensif et arrière latéral (Dellal, 2008). Lors d'un match, les joueurs effectuent des sprints de 10 à 20 m ou plus précisément de 2 à 3 s (Spencer et al, 2005).

La force isocinétique des muscles extenseurs du genou, analysée par une vitesse angulaire de $240°.sec^{-1}$, serait liée à la performance en sprint durant la première phase d'accélération de 0 à 10 m (e.g. Newman et al, 2004). La qualité de force musculaire ne serait pas uniquement intéressante pour accélérer. Elle permettrait aussi de décélérer, de stopper le sprint brutalement et de changer de direction (Lakomy et Haydon, 2004). Bangsbo (1994b) puis Brown et al (2007) avaient même démontré qu'il y avait une corrélation entre la capacité de répétition de sprints et le VO_2max. L'optimisation du VO_2max et son maintien à un niveau vont permettre de mieux réitérer les sprints (Gaister, 2005) et de mieux récupérer entre chaque sprint (Aziz et al, 2007 ; Brown et al, 2007). L'analyse de la cinétique du VO_2max lors de 15 sprints de 40 m avec 25 s de récupération démontrerait que le système cardio-respiratoire serait corrélé à la performance lors de la répétition de sprints de 40 m (Dupont et al, 2005).

Krustrup et al (2006a) avaient analysé les effets de l'accumulation de métabolites sanguins et musculaires au cours d'un match avec des joueurs évoluant en 4ème division danoise. Ils avaient procédé à une biopsie musculaire et une prise de sang avant et après le match. Les joueurs avaient également accompli 5 sprints de 30 m avec 25 s de récupération passive entre chaque sprint durant 3 périodes : avant le match, immédiatement à la mi-temps du match et immédiatement à la fin du match. Krustrup et al (2006b) relevaient que la performance en sprint au cours du match était réduite (enchaînement des sprints avec d'autres actions explosives et aérobies) et à la fin du match. Ils expliquaient cette baisse par une diminution du niveau de glycogène musculaire. Ainsi, nous comprenons bien qu'il est important d'accumuler le plus de glycogène musculaire possible et d'avoir un VO_2max optimal afin de ralentir l'apparition de la baisse de la performance en sprints au cours d'un match de football (Welsh et al, 2002).

Krustrup et al (2002) indiquaient également que le niveau de lactatémie aurait été un pauvre indicateur du lactate musculaire durant un match de football. De même, différentes études indiqueraient que le taux sanguin de lactate n'était pas un indice de fatigue ou

d'intensité d'exercice intéressant pour la capacité de répétitions de sprints (e.g. Little et Williams, 2007c). L'ATP, la resynthèse de PCr et la glycolyse ne seraient pas aussi nettement corrélées à ce type d'exercice (Spencer et al, 2005) malgré leur importance dans la fourniture énergétique (Gaister, 2005). De plus, Little et Williams (2007c) avançaient que les réponses physiologiques n'étaient pas forcément liées à la distance parcourue. En effet, six footballeurs professionnels avaient parcouru une distance de 600 m en répétant plusieurs sprints soit de 15 m, soit de 40m entrecoupés de ratios de récupération de 1:4 ou 1:6. Ils relevaient que les valeurs de FC (89% de la FCmax) et de lactatémie (13-14 mmol/l) étaient significativement identiques lors de la répétition de sprints 15 m et 40 m pour des ratios de récupérations de 1:4. Au contraire, les valeurs de RPE étaient supérieures lors de la répétition de sprints de 15 m. De ce fait, la capacité de répétition de sprints est liée au temps de récupération intra exercice mais les réponses physiologiques ne sont pas systématiquement différenciées.

Enfin, nous devons noter que ce type d'exercices nécessite un échauffement spécifique (Dellal, 2008). Les performances de footballeurs à la répétition de sprints seraient supérieures lorsque que ceux-ci ont effectué un échauffement qu'il soit passif ou actif (Brown et al, 2008).

2.2.3.3. L'aspect technique de la course de vitesse

- Nous pouvons diviser une course de vitesse en 4 composantes : une phase de réaction, une phase d'accélération, une phase de maintien de la vitesse et une phase de décélération (Carminati et Di Salvo, 2003). En football, les deux premières phases sont omniprésentes lors d'un match avec les multiples changements de direction qu'elles impliquent (Bangsbo, 2008). Les décélérations sont tout aussi importantes car elles nécessitent à la fois de la force et de l'explosivité pour pouvoir enchaîner une autre action tels que des changements de direction (Lakomy et Haydon, 2004). La phase de maintien de la vitesse est également présente dans le football dans la mesure où certains joueurs effectuent régulièrement des courses longues, notamment les joueurs excentrés (Dellal, 2008).

- La mobilité des segments est très importante, les bras favorisent le mouvement impulsif des jambes (Leigh et al, 2008). Les bras et avant bras doivent osciller dans un plan parallèle. Dans le même temps les jambes effectuent deux types de mouvements : le 1er est un mouvement arrière représentant la phase active de la foulée, l'élément moteur pour la propulsion du joueur ; le 2ème est un mouvement avant qui sollicite l'engagement de la jambe (Goriot, 1984). Le joueur doit être relâché tout en ayant un bon contrôle segmentaire, les mains doivent être controlés afin de garder un équilibre correct (Leigh et al, 2008).

- Le positionnement du bassin est très important (Harland et Steele, 1997). Le bassin doit être placé le plus en rétroversion possible pour qu'il y ait un maximum de transfert d'énergie et ceci tout au long de la course afin de maximiser l'économie énergétique (Kraan et al, 2005). Le buste doit être incliné par un déplacement du centre de gravité (CG) vers l'avant. A très haut-niveau, les staffs techniques et médicaux effectuent des enregistrements et des analyses des oscillations du bassin du coureur durant la course afin de corriger le positionnement segmentaire du bassin de l'athlète. Certaines normes ont été établies afin de considérer une oscillation du bassin comme efficace à ± 8% du CG ou environ 2.2 cm (Kraan et al, 2005). Une oscillation du CG trop importante au cours de la course, se traduira par une déperdition énergétique non négligeable. Toutefois, ces données sont difficiles à exploiter en football étant donné la présence de la balle, d'actions techniques à effectuer et la

présence d'adversaires (Carminati et Di Salvo, 2003). En effet, le joueur aurait une oscillation du CG de l'ordre de 7 cm lors de sa course pure, mais en situation de match elle peut aller jusqu'à 13 cm (Carminati et Di Salvo, 2003). Le footballeur ne fait que très rarement des longues courses rectilignes sans opposition. L'athlète ne peut être comparé biomécaniquement à un joueur de football (Dellal, 2008).

- La composante de démarrage est essentielle car elle permet d'acquérir une vitesse dans un laps de temps bref nécessitant une force importante au niveau des muscles du train inférieur (Newman et al, 2004). Elle correspond à la phase de réaction et de poussée. Les joueurs doivent pouvoir transformer l'énergie développée par la poussée au sol avec le minimum de perte énergétique au cours de la transmission (Carminati et Di Salvo, 2003). La force et l'explosivité sont les deux facteurs indispensables à la capacité de démarrage (Gissis et al, 2006). Au cours des matchs, d'autres facteurs tels que l'anticipation, la perception ou le temps de réaction viennent complexifier cette capacité d'accélération (Lemmink et Visscher, 2005). Il est donc important de varier les stimuli de réaction, c'est à dire effectuer des stimuli visuels, sonores, ou encore précéder l'action de démarrage par des actions spécifiques : sauts, course arrière ou course latérale (Carminati et Di Salvo, 2003). La capacité d'accélération, très proche de celle du démarrage et souvent assimilée comme telle, est essentielle car elle permet de combler son déficit de performance au démarrage. Elle est fonction de la capacité de réaction et de la puissance du joueur (Lemmink et Visscher, 2005).

- La qualité des appuis tels que la fréquence et l'amplitude est très importante dans cette notion de vitesse. La vitesse est égale au rapport de l'amplitude et de la fréquence (Carminati et Di Salvo, 2003). « La fréquence représente une notion de temps et de rythme. C'est le nombre de foulées obtenues par unité de temps donnée », Goriot (1984). Au contraire, ce travail de fréquence doit être fait très tôt dans la formation du joueur car il aura atteint sa fréquence maximale vers 15-16 ans, même si cette qualité pourra être améliorée au travers d'efforts très réguliers (Gissis et al, 2006). L'amplitude serait la quantité métrique dépendante de la qualité de la foulée. Durant l'activité football, le staff conseille d'effectuer des appuis courts et dynamiques durant la phase de poussée, c'est à dire les premiers mètres, puis des appuis avec plus d'amplitude lors de courses plus longues de 20 à 60 m (Little et Williams, 2005).

- Toutes ces capacités doivent être travaillées tout au long de l'année par le staff (Dellal, 2008). Le développement de la vitesse est un travail à long terme. Le tableau 18 permet d'apporter des données plus claires. Il permet d'avoir des repères. Toutefois le joueur n'est pas un athlète. Il est à noter qu'en parallèle à la technique pure, le joueur devra aussi calculer et prévoir des trajectoies de balle. En effet, courir en ligne droite permet à l'athlèe de se concentrer sur sa course rectiligne. Par contre, le joueur court extrêmement rarement en ligne, il doit ajuster la trajectoire de sa course vers un point fictif où il pense qu'il rejoindra la balle. La précision de cette prévision lui fera économiser de la distance supplémentaire à parcourir. C'est ainsi qu'il est possible à un joueur moins rapide, mais meilleur calculateur, d'arriver le premier sur le ballon par rapport à un joueur rapide mais dont les prévisions de trajectoire sont moins bonnes. Ceci à part la réactivité décrite plus haut dans le document. Le joueur ne pourra pas développer rapidement sa vitesse de course maximale, mais au cours de quelques mois, un résultat positif sera observable (Sassi, 2001). Le joueur doit répéter des sprints et des exercices intermittents de hautes intensités en économisant le plus d'énergie possible afin de toujours être performant. Il doit avoir une technique de course et une biomécanique correctes.

Tableau 18. Analyse de la course de Ben Johnson et Carl Lewis lors de leurs records du monde sur 100 m (celui de Ben Johnson a été annulé pour cause de dopage), International Athletic Foundation (1990), cf Weinek (1997).

FACTEURS ANALYSES	ATHLETE	0 à 10 m	20 m	30 m	40 m	50 m	60 m	70 m	80 m	90 m	100 m
Temps intermédiaire (s)	Ben Johnson	1,73	2,86	3,8	4,67	5,53	6,38	7,23	8,1	8,96	9,83
	Carl Lewis	1,74	2,86	3,91	4,78	5,64	6,5	7,36	8,22	9,07	9,93
Temps sur 10 m (s)	Ben Johnson	1,73	1,02	0,94	0,87	0,86	0,85	0,85	0,87	0,86	0,87
	Carl Lewis	1,74	1,02	0,95	0,87	0,86	0,86	0,86	0,86	0,85	0,86
Vitesse moyenne (m/s)	Ben Johnson	5,78	9,8	10,64	11,49	11,63	11,76	11,76	11,49	11,63	11,49
	Carl Lewis	5,75	9,8	10,53	11,49	11,63	11,63	11,63	11,63	11,76	11,63
Nombre de foulées	Ben Johnson	7,3	5,3	4,5	4,4	4,3	4,1	4,1	4,05	4,05	4,1
	Carl Lewis	6,95	4,8	4,35	4,2	4,1	3,9	3,9	3,9	3,95	3,65
Longueur des foulées (m)	Ben Johnson	1,37	1,89	2,1	2,27	2,32	2,44	2,44	2,47	2,47	2,44
	Carl Lewis	1,44	2,08	2,3	2,38	2,44	2,56	2,56	2,56	2,53	2,74
Fréquence des foulées (m/s)	Ben Johnson	4,22	5,19	4,77	5,05	5	4,82	4,82	4,65	4,7	4,71
	Carl Lewis	3,99	4,7	4,58	4,82	4,77	4,53	4,53	4,53	4,65	4,24
Temps de contact au sol (ms)	Ben Johnson	115	91	85	87	80	80	85	85	83	88
	Carl Lewis	134	100	87	85	83	82	85	82	83	88
Temps de suspension (ms)	Ben Johnson	86	99	111	113	122	127	122	122	128	138
	Carl Lewis	90	113	121	124	124	133	134	138	135	162
Index d'activité (contact-suspension)	Ben Johnson	1,34	0,92	0,76	0,77	0,65	0,63	0,7	0,7	0,65	0,64
	Carl Lewis	1,49	0,88	0,72	0,68	0,67	0,62	0,63	0,59	0,61	0,54

2.2.3.4. L'aspect biomécanique de la course de vitesse

La biomécanique de course est indispensable à analyser afin d'améliorer ses performances sur vitesse courte ou sur moyenne distance (Kraan et al, 2001). De même, quand les joueurs effectuent des exercices intermittents de hautes intensités, ils doivent maîtriser les mouvements de leur corps afin de se fatiguer le moins possible et d'avoir le moins de contractions parasites, ces dernières entraînant une déperdition énergétique. Le staff technique doit affiner la qualité gestuelle afin de minimiser ces pertes (Harland et Steele, 1997). Dans la littérature scientifique, l'aspect biomécanique de la vitesse est très souvent divisé en deux catégories : la phase de contact au sol et la phase de suspension (Figure 28).

Théoriquement, le joueur doit avoir une course haute, avec de faibles oscillations du bassin et du CG, une attaque au sol par le talon le plus rapide possible, un temps de contact au sol le plus court possible, une phase d'impulsion la plus explosive et forte possible, une coordination segmentaire et un regard droit devant soi. Cependant, ces données sont difficilement applicable car le joueurs doit maîtriser d'autres variables que sont la balle, ses partenaires et les adversaires (Dellal, 2008).

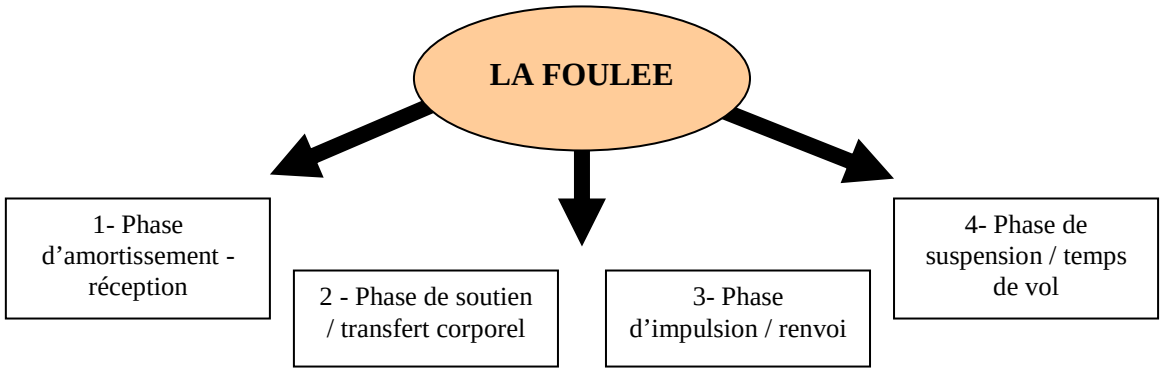


Figure 28. Analyse de la foulée en course.

- **La phase de contact au sol**. Tout d'abord, nous devons savoir que la vitesse de la jambe avant la reprise au sol doit être très rapide, jusqu'à 20 m/s pour une vitesse de 12 m/s et que le staff recherche à réduire le temps de contact au sol, en général entre 0.16 et 0.18 s (Carminati et Di Salvo, 2003). La première composante à analyser est *la phase d'amortissement – réception* qui s'opère progressivement sur toute la surface du pied. Elle peut-être définie comme la contraction excentrique des extenseurs. Goriot (1984) notait l'existence de 3 types de poses d'appuis : en avant des genoux pour limiter l'amortissement, à la verticale du genou en ce qui concerne notamment les petits gabarits, et derrière le genou avec une économie énergétique plus importante mais l'amplitude de la foulée est très limitée et donc la performance sera diminuée (Lees et Nolan, 1998).

  La seconde composante est constituée de *la phase de soutien* qui doit être la plus courte possible. Elle se situe au passage du bloc bassin-tronc à la verticale de l'appui. Elle correspond au moment où le pied est à la verticale du bassin. C'est une phase neutre et explosive traduisant le transfert du poids corporel sur l'appui (Sassi, 2001).

  Enfin *la phase d'impulsion* est constituée par la poussée et l'extension harmonieuse de l'ensemble des muscles du train inférieur notamment le quadriceps, les ischio-jambiers, les triceps suraux et les soléaires. Elle conditionne l'amplitude de la foulée et la fréquence des appuis. Nous pourrons également parler de phase de propulsion car la force générée lors de la poussée par l'extension des segments

inférieurs vers l'arrière va permettre de déterminer directement la performance en vitesse du joueur (Newman et al, 2004). Goriot (1984) considère l'impulsion non pas comme une poussée mais comme une déformation de la trajectoire du CG dont il s'agit de maintenir la vitesse acquise. Nous parlons également de *phase de renvoi* qui se doit d'être la plus dynamique possible et la plus courte possible afin d'être le plus explosif possible.

Ainsi nous pouvons dissocier la phase de contact au sol en 3 composantes : 1 - amortissement-réception ; 2- soutien ; 3- impulsion. L'ensemble de ces 3 composantes doit être le plus court possible afin de garantir une rythmicité, une tonicité et une vivacité (Carminati et Di Salvo, 2003). Cette donnée de temps de contact au sol est très importante et elle est très souvent analysée dans l'athlétisme et dans les sports – collectifs au moyen d'appareils tel que l'Optojump (Carminati et Di Salvo, 2003).

- **La phase de suspension.** Cette phase de repos relatif est une conséquence des actions au sol. Plus la puissance à l'impulsion a été grande, plus l'amplitude sera importante. Toutefois, l'objectif est qu'elle soit courte afin d'enchaîner des impulsions au sol (Hunter et al, 2004). La durée de cette phase de suspension correspond à un intervalle de 0.12 s à 0.14 s pour un sprinteur et de 0.13 s à 0.16 s chez le footballeur (Sassi, 2001).

2.2.3.5. Les facteurs de développement de la vitesse

- **La fréquence gestuelle**. Elle dépend de la force des agonistes et des antagonistes, mais aussi de l'aptitude du joueur à enchaîner des contractions et un relâchement musculaire de manière qualitative (Lees et Nolan, 1998). Cette fréquence gestuelle permet d'augmenter la vitesse gestuelle du joueur. Elle a un rôle sur la structure et sur la répétition. La vitesse et la fréquence gestuelle sont étroitement liées à la force (Meier, 2007). Toutefois, le développement de ce facteur de fréquence gestuelle est limité par la barrière de vitesse, qui peut-être définie comme une limitation de la fréquence d'ordre essentiellement nerveux (Hunter et Smith, 2007). Cette notion de barrière de vitesse correspond à une vitesse donnée que le joueur ne pourra plus améliorer avec un entraînement normal. Nous devons alors trouver d'autres moyens d'entraînement, comme la survitesse, afin de dépasser cette barrière avec une fréquence et une vitesse gestuelle plus affinées et plus élevées.

- **La vitesse gestuelle**. Elle est la condition préalable de la maîtrise de la situation motrice nécessitant une action ciblée et rapide en relation directe avec la notion de vitesse d'exécution et de précision (Lees et Nolan, 1998). Les sportifs ont souvent du mal à agir vite avec une grande précision (Gissis et al, 2006). D'où l'expression courante : « agir sans précipitation ». D'ailleurs une des principales différences entre le très haut-niveau et le haut-niveau concerne cette notion de vitesse d'exécution (Zhongfan et al, 2002). Ce facteur nécessite un rapport entre force et vitesse (Newman et al, 2004). Chez les joueurs professionnels, la vitesse gestuelle s'utilise contre résistance, c'est-à-dire contre l'adversaire, et avec très peu de vitesse gestuelle pure. Cette donnée dépend de la qualité de la contraction musculaire qui doit être « violente ». L'obtention d'une contraction musculaire efficace va dépendre de facteurs :
  1- se situant au niveau des muscles : la libération de Ca^{2+} permettant la formation des ponts d'actine-myosine, du taux d'ATP présent dans le muscles et du pourcentage de fibres rapides (FT) ;

2- de l'utilisation du muscle : la synchronisation des unités motrices, la capacité de sélectionner un maximum de FT et l'amélioration de l'efficacité musculaire due à l'étirement ;
3- de la coordination des différents muscles : agonistes-antagonistes.

« Agir vite » dépend également de la capacité *d'anticipation*, c'est à dire que le joueur doit être capable de faire face à différents évènements hétéro-chroniques à cinétique variée (Dellal, 2008). Ces facteurs endogènes et exogènes sont à la fois contrôlés et non contrôlés. Anticiper les mouvements des adversaires, les mouvements de ses partenaires, la balle, tenir compte des différentes *dimensions spatio-temporelles* nécessite une prise *d'informations* perpétuelle et une anticipation de tous les instants. Cette notion d'anticipation est clairement liée à la *compréhension du jeu* et à *l'expérience*. Agir vite c'est anticiper, bien analyser les différents facteurs endogènes et exogènes, apprécier une trajectoire, et maîtriser le temps et l'espace. Cette vitesse d'exécution, directement liée à la technique individuelle, constitue la coordination ainsi que tout ce qu'elle peut renvoyer : apprentissage moteur, anticipation, compréhension, analyse ou feed-back (Keller, 1984).

- **Le temps de réaction**. Cette notion correspond à une manifestation de l'excitation au niveau des différents récepteurs de l'organisme (Lemmink et Visscher, 2005). Ce message va être transmis sous forme d'influx nerveux au système nerveux central (SNC) qui va traiter la ou les informations. Puis le SNC va constituer un signal effecteur qui va se propager jusqu'au niveau périphérique provoquant une excitation et la manifestation de la contraction musculaire (Wilmore et Costill, 2006). Le temps de réaction se développe par un travail de vitesse gestuelle rapide, par une méthode répétitive et une attitude sensorielle. Ce temps de réaction doit être le plus court possible afin de gagner du temps par rapport à son adversaire (Lemmink et Visscher, 2005). Ce sont ces quelques centièmes de secondes ou cette seconde qui vont permettre d'être en avance sur les joueurs adverses (Dellal, 2008).

  Nous différencions deux sortes de temps de réaction. Le temps de réaction simple et le temps de réaction complexe. En football ces derniers sont omniprésents (Bangsbo, 2008). Ce temps de réaction concerne plusieurs incertitudes, hétéro chroniques ou non, desquelles le joueur devra extraire les bonnes informations pour effectuer une réponse adaptée (Lemmink et Visscher, 2005). Le sportif devra donc également anticiper et s'adapter lors de la phase préparatoire afin d'effectuer des ajustements moteurs indispensables à la production du mouvement (Keller, 1984).

- **Rapport entre la vitesse et les autres facteurs de la performance**. Vescovi et Mac Guigan (2007) avaient relevé une correspondance entre les performances en sprint, les tests de coordination et les évaluations en contre mouvement jump (CMJ). Ratamess et al (2007) confirme ces résultats après 10 semaines d'entraînements à base de travail de résistance, de sprints et de travail pliométrique. Le travail d'agilité, de coordination, de force et de répétitions de sprints est indispensable à l'amélioration de la qualité de vitesse (Bloomfield et al, 2007 ; Kotzamanidis et al, 2005 ; Little et Williams, 2005). Elles permettent d'améliorer et d'optimiser cette capacité de vitesse pour réduire au minimum la dépense énergétique des contractions parasites (Kotzamanidis et al, 2005). De même, un joueur doit être fort et agile pour exprimer ses qualités de vitesses en match car il les utilise face à un adversaire, sur un terrain de football et avec un ballon. Sa qualité de vitesse pure sera mise en relation et associée avec l'ensemble des autres facteurs de la performance (Carminati et Di Salvo, 2003).

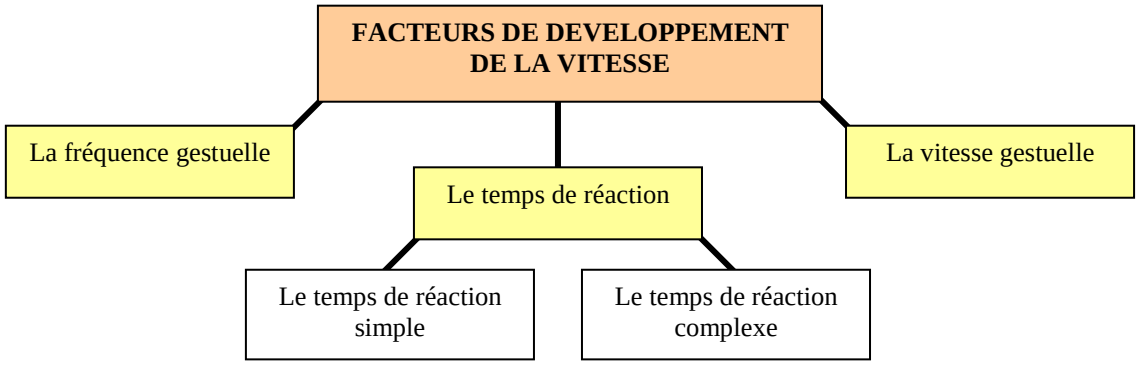


Figure 29. Les facteurs de développement de la vitesse.

2.2.3.6. La récupération durant des exercices de vitesse

La récupération est un élément essentiel dans l'application d'exercices de vitesse (Little et Williams, 2007c). Little et Williams (2007b) avaient relevé l'importance de la récupération au cours de séances de vitesse et d'exercices intermittents de hautes intensités. Ils avaient notamment relevé qu'un joueur qui répétait des sprints sur 15 m et 40 m avec des temps de récupération différents (1:4 pour les 15 m et 1 :6 pour les 40 m) était plus fatigué à la suite de la répétition des 15 m qu'à la fin de la répétition des sprints sur 40 m.

Les joueurs doivent être le plus frais possible afin de travailler qualitativement leurs vitesses. Le nombre de séries, le nombre de répétitions, la charge de travail des exercices effectués préalablement à ce travail de vitesse sont autant de facteurs influençant directement la qualité du travail. Tous ces éléments doivent être définis judicieusement en harmonie les uns avec les autres afin de cibler la dépense énergétique et la qualité du travail (Carminati et Di Salvo, 2003).

De plus, les nombres de répétitions et de séries dépendent également de l'objectif de travail. Est-ce que nous voulons effectuer un travail de vitesse en situation de fatigue, de fin de match ? Est-ce que nous voulons travailler sur les différentes adaptations nerveuses, la rythmicité, la fréquence et la vitesse gestuelle ? Est-ce que nous voulons développer la qualité de démarrage en corroboration avec une prise d'informations telle que l'anticipation ?

- **VO_2max et la répétition de sprints**. Le VO_2max serait directement liée à la capacité à répéter des sprints et donc à récupérer entre chaque répétition et chaque série (Bangsbo, 2008). Brown et al (2007) avaient même démontré qu'il y avait une corrélation entre la capacité de répétition de sprints et le VO_2max. L'optimisation du VO_2max et son maintien à un niveau optimal permettent de mieux réitérer les sprints (Gaister, 2005), de mieux récupérer entre chaque sprint (Aziz et al, 2007 ; Brown et al, 2007) et donc d'être également plus performant lors d'exercices intermittents.

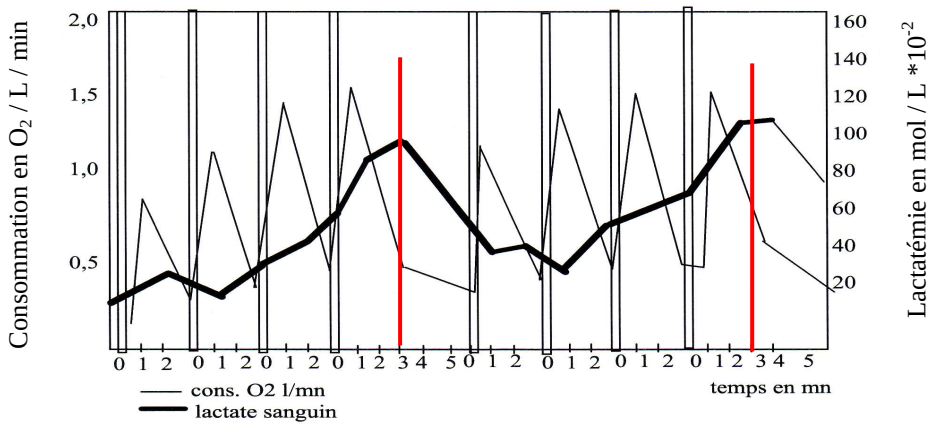
  Bishop et Edge (2006) avaient aussi analysé l'effet du niveau du VO_2max sur la capacité à répéter des sprints. Ils expliquaient que la VO_2max agit directement sur la performance des joueurs de football en permettant de maintenir des temps de sprints à un niveau performant tout au long d'un match. Mac Millan et al (2005), Tomlin et Wenger (2002), Helgerud et al (2001) avaient déjà validé l'effet du VO_2max, de la capacité aérobie sur la performance en sprints et sur la performance à réitérer les sprints. Ainsi, le VO_2max influe directement sur la performance du joueur en match.

- **<u>La récupération entre les répétitions</u>**. Au cours de répétitions de sprints de durrées inférieures à 5 s, l'ATP est resynthétisé majoritairement par le métabolisme anaérobie, c'est-à-dire la dégradation des PCr et la glycolyse anaérobie (Gaitanos et al, 1993). Les PCr sont les substrats énergétiques majoritairement utilisés lors d'exercices de courtes durées de moins de 5 s. Les réserves en ATP ne sont jamais complètement épuisées (Balsom, 1995). Elles sont renouvelées au cours de l'exercice grâce au PCr, à la glycolyse anaérobie et à la phosphorylation oxydative. Concernant la cinétique de récupération des PCr, elle serait de l'ordre de 28 s pour 50% du stock de PCr, 110 s pour 75% du stock de PCr et 400 s pour 95% du stock de PCr (Bangsbo, 1994b ; Balsom, 1995). Selon Di Prampero (2003) le joueur aurait besoin de 17 s de récupération pour que 50% du stock des réserves anaérobies alactiques soient resynthétisées (Figure 30). Pour des exercices de vitesse pure le joueur aurait besoin d'un temps de récupération équivalent à 10 fois le temps de travail (Carminati et Di Salvo, 2003). Une récupération supérieure à 3 min permettrait aux capillaires de se renfermer alors que leurs implications dans le travail de vitesse est essentiel (Carminati et Di Salvo, 2003). Toutefois, les récupérations entre les répétitions lors d'exercices intermittents sont plus courtes pour favoriser d'autres métabolismes.

17 s < **RECUPERATION** **< 3 min**

<u>Figure 30.</u> Temps de récupération nécessaire entre 2 sprints lors d'une séance de vitesse.

- **<u>La récupération entre les séries</u>**. A partir de 4 répétitions nous observons une hausse de la lactatémie (Figure 31). Ainsi, si le joueur effectue plus de 4 répétitions, il faudra au minimum 3.30 min de récupération entre les séries (Carminati et Di Salvo, 2003). Plus la distance de travail est longue plus la récupération entre les séries doit être importante. Considérons que le joueur aura récupéré au bout de 2 à 4 min pour des courtes distances et de 5 à 9 min pour des moyennes distances (Bangsbo, 2007).



<u>Description</u> : Les efforts sont représentés par des bandes verticales. La lactatémie commence à être élevée à partir de la 4ème répétition. Une récupération de 5 min permet de diminuer le taux de lactate sanguin proche de l'état de repos.

<u>Figure 31.</u> Analyse de la lactatémie et de la VO_2 au cours de la répétition de sprints, Volkov (1977).

2.2.3.7. La récupération à la suite d'une séance de vitesse

Tessitore et al (2007) avaient comparé différents moyens de récupération à la suite d'une séance anaérobie à base de sprints de courtes distances, de contre mouvements jump et de squat jump (CMJ et SJ). Entre deux séances de travail anaérobies identiques, ils avaient testé l'effet de l'électrostimulation, d'un effort aérobie de 20 min en piscine, d'un jogging de 20 min et d'une récupération passive. Tessitore et al (2007) trouvèrent que ces 4 moyens de récupération ne présentaient pas de différence significative pour récupérer d'une séance anaérobie et d'efforts explosifs. Toutefois, l'électrostimulation ou un footing de 20 min permettraient de mieux réduire les courbatures et les douleurs qu'une récupération passive ou en piscine (Tessitore et al, 2007).

Concernant une séance de vitesse maximale la récupération doit être également optimale. Le système nerveux central a besoin d'au moins 48h de repos étant donné sa haute sollicitation durant la séance de vitesse maximale. La fatigue nerveuse est présente et court-circuite le fonctionnement classique (Ross et Leveritt, 2001).

En fait, la récupération post exercice d'intensité maximale consiste à restaurer les stocks de glycogène musculaire (Balsom, 1995), de PCr (Bangsbo, 1994a) utilisés lors de cette séance et à éliminer les accumulations plasmatiques de glutamine (Walsh et al, 1998), d'hypoxanthine, de Pi, d'acide urique et de lactate (Balsom et al, 1992). Bien évidemment, l'accumulation de ces déchets métabolites chez les joueurs est directement dépendante du nombre de répétitions de sprints et/ou du temps de récupération entre ces répétitions programmées par le staff technique (Balsom et al, 1992). Enfin Brooks et al (1990) ajoutaient que les réponses hormonales à l'exercice de sprint ne seraient pas des éléments majeurs dans la phase de récupération entre les sprints et post-exercices.

2.2.3.8. Les principaux facteurs limitant de la vitesse spécifique en football

- **Le manque de souplesse, d'élasticité et de relâchement**. Ces manques induisent une baisse de l'amplitude motrice entraînant un autre type de coordination motrice (Cavagna et al, 1971). Le joueur aura compensé naturellement sa gestuelle mais ces facteurs devront tout de même être travaillés, modifiés et adaptés selon le profil de poste (Carminati et Di Salvo, 2003). Les muscles agonistes devront surmonter une résistance plus forte que les antagonistes qui ne sont pas assez souples (Carminati et Di Salvo, 2003). Enfin, un mauvais relâchement musculaire entraîne de plus grands frottements à l'air et un tonus plus élevé. La conséquence en serait une hausse du coût énergétique (Sassi, 2001).

- **Les facteurs anthropométriques**. La variation et la longueur des foulées ne sont pas fortement influencées par la taille et les rapports de leviers (Weineck, 1996). Gil et al (2007) confirmaient ces résultats. Ils relataient que les facteurs anthropométriques tels que la taille et le poids peuvent être spécifiques à un poste donné sans pour autant intervenir sur la capacité de performance en sprint. Toutefois, les petits gabarits sont en général plus performants sur courte distance, sur les démarrages et sur les changements de direction (Gissis et al, 2006).

- **L'état d'échauffement**. L'échauffement permet d'une part de baisser la viscosité musculaire, et d'autre part d'élever l'élasticité et la vitesse de la transmission nerveuse. Une hausse de la température corporelle de 2°C va permettre d'augmenter la vitesse de contraction des muscles de 20% et de 13% l'activité du métabolisme tout en

agissant sur les fibres de collagène (Ranatunga, 1984). Au contraire, la température centrale ne pourra pas augmenter au delà de 2°C, mais cette valeur sera suffisante pour influer les réactions enzymatiques (Joch et Uckert, 2001). Un échauffement actif ou passif aura les mêmes incidences physiologiques (Brown et al, 2008).

Les performances des footballeurs à la répétition de sprints seraient également limitées quand les joueurs n'effectuent pas d'échauffement comparativement à un échauffement passif ou actif (Brown et al, 2008).

- **La fatigue**. Elle est la conséquence de la baisse des réserves énergétiques et de l'accumulation de déchets métaboliques tels que l'acide lactique et l'acide urique (Balsom et al, 1992). La vitesse de transmission nerveuse va être affectée. De même, la libération de Ca^{2+} permettant la formation des ponts d'actine-myosine, la synchronisation des unités motrices et la capacité de sélectionner un maximum de fibres rapides seront également détériorées (Di Prampero, 2003). De ce fait, les contractions musculaires seront de moins bonne qualité. Nous pouvons également parler de fatigue nerveuse. Ces éléments justifient que les exercices de vitesse sont préférables en début de séance, à moins que l'objectif des exercices soit de vouloir travailler la performance de vitesse en état de fatigue (Carminati et Di Salvo, 2003) ou de solliciter l'ensemble des métabolismes énergétiques comme au cours d'exercices intermittents de hautes intensités.

- **L'âge**. La vitesse est la qualité qui décline le plus avec l'âge (Gil et al, 2007). Nos fibres rapides se transformeraient en fibres lentes avec le temps, le schéma inverse serait plus compliqué, et de ce fait les muscles ne permettraient plus d'être performant pour des actions explosives passé la quarantaine (Casajus et Castagne, 2007). Cette performance diminuerait progressivement avec l'avancée de l'âge. Toutefois, nous pouvons toujours gagner en travaillant la qualité gestuelle et la rythmicité (Carminati et Di Salvo, 2003).

- **La coordination, les contractions parasites et l'économie d'énergie**. Une bonne coordination gestuelle permet une économie d'énergie lors d'une accélération. Le joueur doit effectuer un mouvement le plus fluide et le plus efficace possible tout en ayant un relâchement musculaire (Dellal, 2008). Ces éléments permettront de réduire le coût énergétique et donc d'élever les performances en sprints tout en permettant au joueur de répéter des efforts très intenses plus longtemps. Comme le souligne Gacon (1997) : « d'une manière générale, le coût énergétique de la motricité dépend du rendement de la machine musculaire, de l'aptitude du joueur à orienter ses forces dans la bonne direction et à ne pas engendrer des contractions parasites ». Ces notions de *contractions parasites* sont à ne pas négliger. Dans chacun des gestes du sportif la coordination est présente à un degré d'expertise qui peut être très élevé. Nous pouvons toujours noter la présence de contractions parasites qui pourront être gommées ou minimisées afin de réduire le coût énergétique ce qui augmentera l'efficacité et la qualité gestuelles (Weineck, 1998). Le sportif et les éducateurs doivent être perfectionnistes, se remettre en cause systématiquement car l'économie d'énergie permettra d'être plus performant (Dellal, 2008). Tous ces éléments servent à optimiser l'entraînement. Les mouvements, les techniques gestuelles ou autre exercice nécessitent une harmonie d'actions concernant un certain nombre de muscles ou de chaînes musculaires (Meier, 2007). Un muscle isolé permettra très rarement d'effectuer les différentes techniques gestuelles spécifiques au footballeur et c'est pourquoi le staff devra chercher la meilleure coordination intra-musculaire et inter-

musculaire possible afin d'optimiser la qualité gestuelle et d'économiser le maximum d'énergie (e.g. Werchoschanski, 1982).

D'autres facteurs sont des déterminants de la performance lors d'exercices de vitesse :

- Le genre / sexe (Perez-Gomez et al, 2008) ;
- La vitesse de transmission nerveuse (Balsom, 1995) ;
- L'élasticité musculaire (Tofas et al, 2008) ;
- Le temps de réaction (Lemmink et Visscher, 2005) ;
- La vitesse gestuelle (Lemmink et Visscher, 2005) ;
- La fréquence gestuelle (Lees et Nolan, 1998) ;
- La coordination segmentaire (Newman et al, 2004) ;
- Le pourcentage de fibres rapides (Crowther et al, 2002) ;
- La capacité d'anticipation et d'adaptation (Lemmink et al, 2005) ;
- La vitesse de libération du Ca^{2+} influence directement la vitesse de contraction du muscle (Balsom, 1995) ;
- La déplétion du glycogène musculaire et les réserves de glycogène (Balsom, 1995),
- Un faible VO_2max (Brown et al, 2007) ;
- Le taux de phosphagènes, qui ne serait pas la cause directe de la fatigue musculaire. En effet, le taux de PC diminue de respectivement de 50% et 89% à la suite d'un 200 m et d'un 400 m, Hirvonen et al, 1992) ;
- Activité enzymatique (Garry et Mac Shane, 2000) ;
- La température intramusculaire (Brown et al, 2008) ;
- Sa vitesse maximale (Carminati et Di Salvo, 2003).

Photo 4. Hydratation lors d'une phase de récupération au cours d'une séance de vitesse.

Pour résumer les différents propos de la littérature scientifique, nous pourrions déduire qu'une organisation du travail de la vitesse serait proche de celles présentées aux Figures 32 et 33.

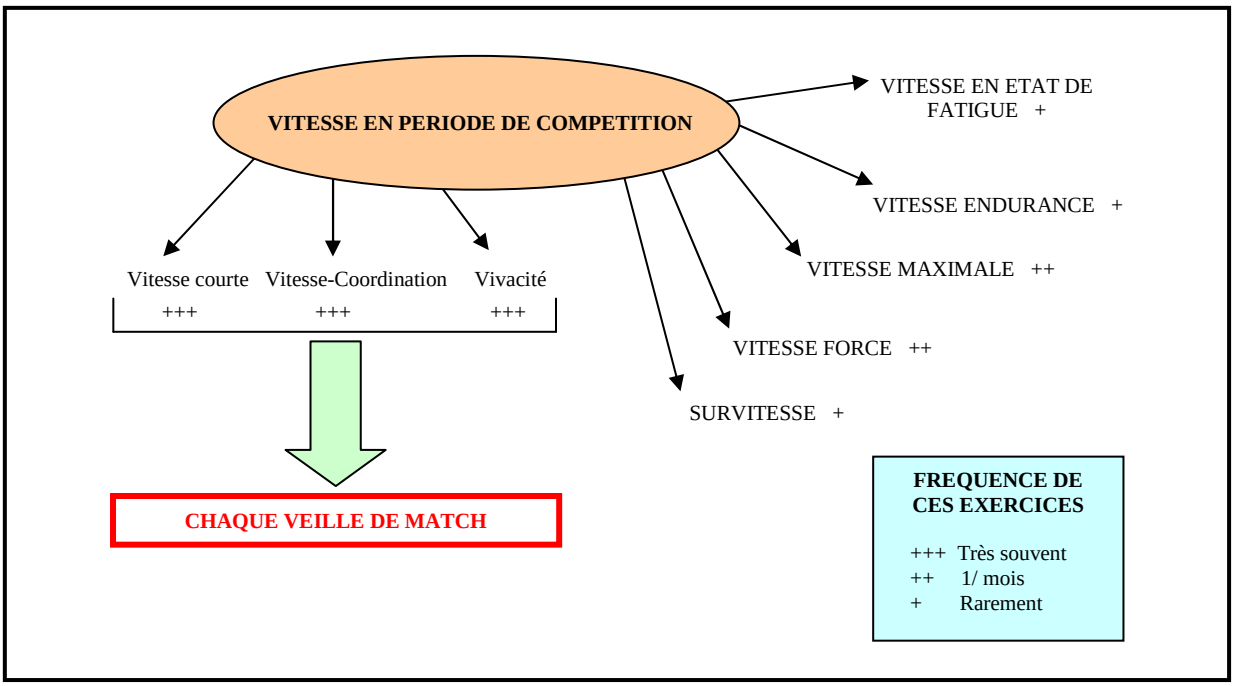


Figure 32. Organisation des différentes formes de vitesse durant la période de compétition.

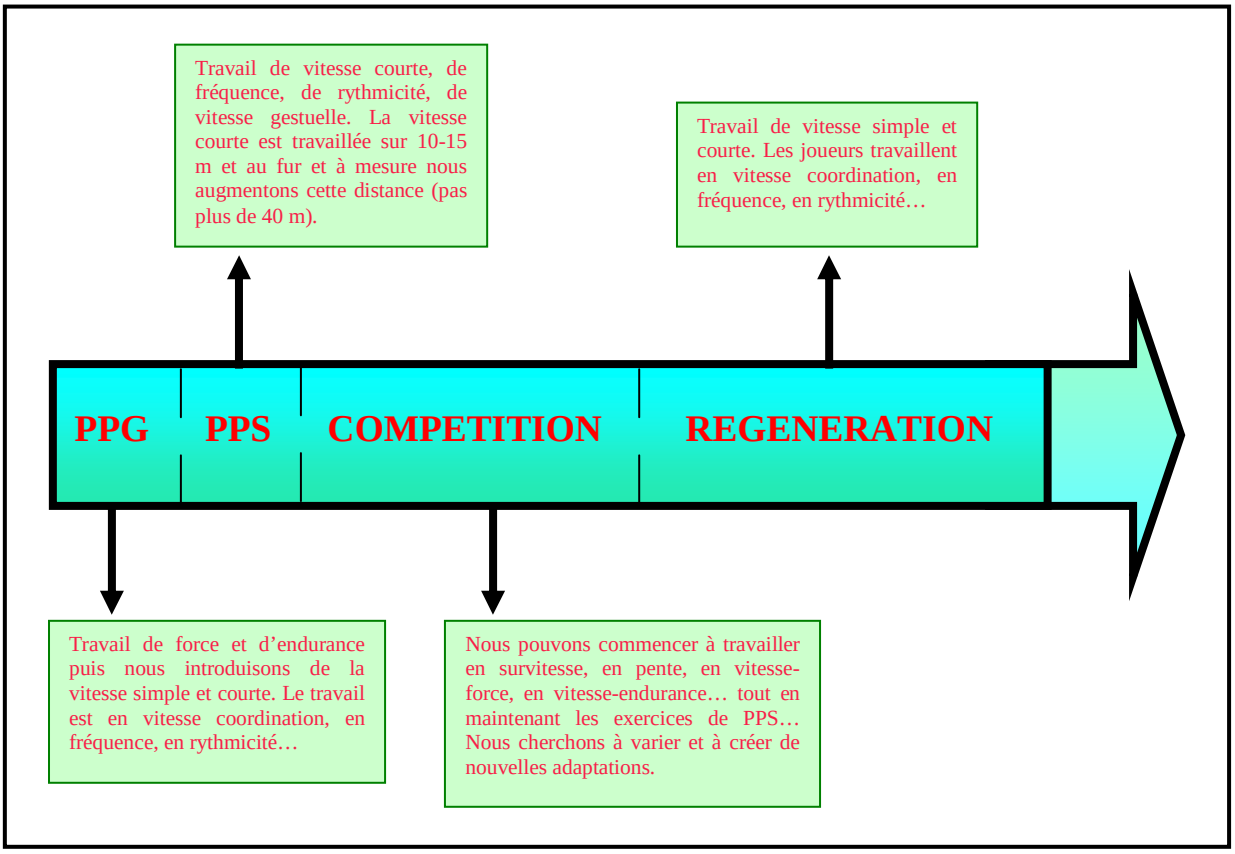


Figure 33. Organisation des différentes formes de vitesse en football durant l'ensemble de la saison.

2.2.4. Les tests et les performances de vitesses spécifiques au football

Les tests de vitesse sont très intéressants afin d'avoir des données des qualités explosives de chaque joueur (Tableau 19). Ils permettent également d'analyser la biomécanique et la technique de course des joueurs. Les tests de vitesse s'effectuent quelques jours ou quelques semaines (2-3 au maximum) après le début de la préparation estivale car les sportifs et leurs muscles doivent être prêts à effectuer ces types d'efforts, les joueurs auront dû faire un travail préalable de force et d'endurance (Dellal, 2008). Concernant l'application des tests, nous pouvons effectuer une multitude de tests :

- vitesse sur 10 m, 15 m, 20 m, 25 m, 30 m, 35 m et 40 m ;
- départ arrêté ou lancé ;
- actions spécifiques préalables (course arrière, tête, passe) avec le sprint ;
- course en ligne droite et en courbe ;
- CMJ, SJ, DJ et CMJB.

Sampaio et Macas (2005) avaient relaté la différence de résultats entre des joueurs amateurs et professionnels lors de tests sur une distance de 37 m. Leur étude démontrait une différence de la capacité à répéter des sprints (37 m, avec des périodes de récupération active de 25 s) selon le niveau de pratique. De ce fait, l'évaluation de la vitesse doit être spécifique. Little et Williams (2005) avaient analysé l'agilité, la vitesse maximale sur 40 m et la capacité d'accélération sur 10 m de 106 footballeurs professionnels. Ils relevaient de très faibles corrélations entre ces trois qualités de vitesse. Ils concluaient que l'orientation de l'entraînement et de l'évaluation en vitesse doit être spécifique à la composante analysée.

Cometti et al (2001), Kollath et Quade (1993), Brewer et Davis (1992) confirmaient cette différence de performance en sprints (5 m, 10 m, 15 m, 20 m, 30 m et 40 m). De même, un entraînement orienté en force permettrait d'augmenter les performances en sprints spécifiques aux footballeurs (Tableau 19 et 20). Ces données sont à corréler avec l'application et les réponses physiologiques au cours d'exercices intermittents de courtes durées.

Tableau 19. Performances en sprints selon le niveau de jeu et le niveau d'entraînement.

		Performance en sprint (secondes)					
Auteurs	**Population**	**5m**	**10m**	**15m**	**20m**	**30m**	**40m**
Dupont et al (2004)	Internationaux français						5,55
	Après entraînements						**5,35**
Gorostiaga et al (2004)	Espoirs espagnols	**0,95**					
Wisloff et al (2004)	Professionnels norvégiens		1,82		**3,00**	**4,00**	
Hoff et Helgerud (2002)	Professionnels norvégiens		**1,91**				5,68
	Après entraînements		1,81				5,55
Helgerud et al (2001)	Juniors norvégiens		1,88				5,58
	Professionnels norvégiens		1,87		3,13		
	Après entraînements		1,81		3,08		
Cometti et al (2001)	Division 1 française	1,80				4,22	
	Division 2 française	1,82				4,25	
	Amateurs français	**1,90**				4,30	
Kollath and Quade (1993)	Professionnels allemands	1,03	**1,79**		3,03	4,19	
	Amateurs allemands	1,07	1,88		**3,15**	**4,33**	
Brewer et Davis (1992)	Professionnels anglais			**2,35**			5,51
	Semi-professionnels anglais			**2,70**			**5,80**

Tableau 20. Tests en contre mouvement jump (CMJ) et squat jump (SJ) de footballeurs, Stolen et al (2005).

Auteurs	Population	CMJ (cm)	SJ (cm)
Arnason et al (2004)	8 équipes de 1ère division Islandaise	39,4	37,8
Casajus (2001)	Joueurs de division 1 espagnols	47,8	39
	Trêve	46,7	39,2
Diallo et al (2001)	Jeunes footballeurs français 12-13 ans	**29,2**	27,3
	Trêve	32,6	**29,3**
Faina et al (1988)	Amateurs italiens	36,9	34,2
	Professionnels italiens	43,5	**40,4**
Garganta et al (1992)	Espoirs portugais	34,7	33,3
Gorostiaga et al (2004)	Jeunes joueurs espagnols	37	-
Hoff et Helgerud (2002)	Professionnels norvégiens	41,1	38,6
Mac Millan et al (2005)	Espoirs écossais	53,4	40,3
Wisloff et al (2004)	Professionnels norvégiens	**56,4**	-

L'évaluation de la capacité de « jump » via des tests tels que le contre mouvement jump (CMJ), le squat jump (SJ) et le drop jump (DJ) serait un bon indicateur de la qualité d'explosivité du joueur (Bazett-Jones et al, 2008) et serait fortement corrélée avec la capacité de vitesse (Gissis et al, 2006 ; Wisloff et al, 2004). Différentes études (Tableau 20) ont analysé ces données de CMJ et de SJ et ont permis d'apporter un aperçu sur les performances réalisées selon les niveaux de jeux, l'âge et la période de la saison.

Ces tests de sauts et de vitesse doivent être utilisés selon les spécificités de chaque poste. Pour être plus précis, ces résultats orienteront directement l'entraînement spécifique d'un joueur évoluant à un poste donné selon les types de sprint qu'il effectue durant un match : nombre, distance, temps de récupération, action préalable au sprint… Ces tests peuvent être couplés à des exercices de coordination et à l'application d'exercices intermittents de hautes intensités (Dellal, 2008).

Enfin, précisons l'importance de l'évaluation de la vitesse au moyen de cellules photoélectriques pour un souci de précision (Carminati et Di Salvo, 2003). Cet outil est indispensable pour éviter les erreurs de saisies lors d'une évaluation manuelle avec la double implication du temps de réaction de l'évaluateur au départ et à l'arrivée.

2.2.5. Les exercices spécifiques de vitesse spécifique au football

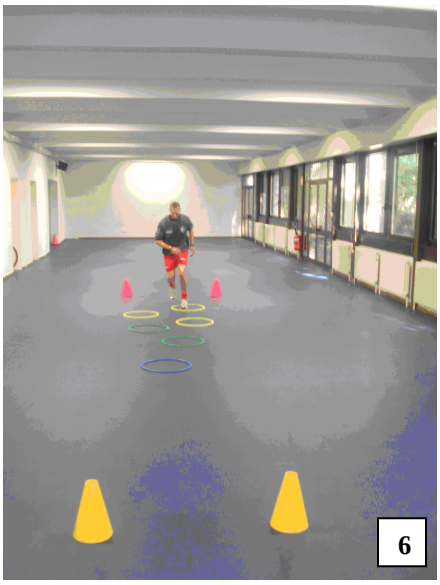
Les exercices de vitesse existent sous une multitude de formes spécifiques. Ces exercices peuvent être sous forme de vitesse pure, de mouvements associés préalablement au sprint, intégrés au sein d'exercices spécifiques ballon ou d'exercices intermittents de courtes durées (Dellal, 2008). Le travail de vitesse permet une variation d'exercices importante tout en sachant que nous devons toujours faire attention au nombre de répétitions, de séries, au contenu de la session d'entraînement et à l'agencement des différents exercices de la séance (Carminati et Di Salvo, 2003).

Divers outils peuvent être utilisés afin de travailler les qualités des différentes composantes de la vitesse sous ses distinctes formes : les harnais, les traîneaux, les élastiques, les cerceaux, les lattes, le parachute, le skipping, les foulées bondissantes, les multibonds, les planches inclinées, les pentes inclinées de 3 à 5%, les cordes à sauter, les escaliers, les plinths, les gilets lestés, les haies et les swiss-balls (Carminati et Di Salvo, 2003). Les exercices de skipping sont très intéressants dans le cadre du développement de la vitesse car ils imposent

un redressement du tronc et une action plus complète de l´appui par une extension quasi complète de la cheville (Sassi, 2001).

Sans oublier que des exercices de renforcement musculaire sans charge de type gainage, abdominaux, dorsaux, psoas, ischio-jambiers et triceps suraux ou avec charges (Newman et al, 2004) sont indispensables afin de compléter l'entraînement permettant d'augmenter la vitesse du joueur (Gissis et al, 2006).

Enfin, nous pouvons relever que des exercices intermittents à hautes intensités sont intéressants pour solliciter la capacité du joueur à répéter des efforts supra-maximaux (Mendez-Villanueva et al, 2008).



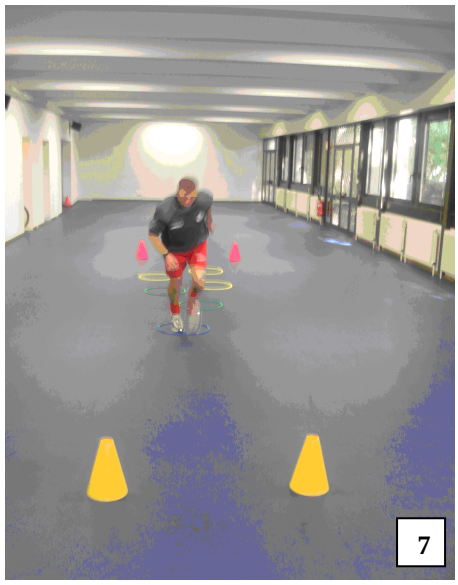


Photo 5-6-7. Exercices initiaux d'appuis latéraux au-dessus de haies (photo 5) ou dans l'axe dans des cerceaux (photo 6) suivis d'une accélération sur courtes distances de 10 m (photo 7).

2.2.6. Synthèse de la partie sur la vitesse

Le joueur de football effectue 4 à 5% de sa distance totale parcourue à très haute intensité et en sprints (Dellal, 2008). Dans les années 1980, Van Gool et al (1988) et Whiters et al (1982) entre autres, décrivaient que les footballeurs effectuaient entre 867 et 946 m de sprints par match. Or, ces données semblent aujourd'hui totalement inexactes car l'ensemble de la littérature scientifique estime que la distance de sprint parcourue se situerait entre 247 m et 400 m (Thatcher et Batterham, 2004 ; Bangsbo, 2007). En fait, ces chiffres dépendraient de la définition de la vitesse de sprint. Rampinini et al (2007a) estimaient un sprint comme toutes courses supérieures à 25.2 km/h afin d'expliquer que les défenseurs centraux, les arrières latéraux, les milieux et les attaquants effectuaient respectivement 18, 31, 24 et 27 sprints par match. Cette qualité de vitesse est directement corrélée à la performance du footballeur et au niveau de pratique. En effet, Verheijen (1998) indiquait une différence entre la performance de sprint d'un joueur amateur et d'un professionnel tandis Gissis et al (2006) démontraient que cette distinction existait aussi entre des joueurs professionnels issus de championnats nationaux et des footballeurs internationaux. De même, la capacité à répéter des sprints serait un élément important dans la performance du footballeur (Brown et al, 2007 ; Lippi, 2007).

Le travail en vitesse nécessite tout d'abord un travail de renforcement musculaire spécifique et un travail d'optimisation du VO_2max. La force et le VO_2max seraient directement liées à la performance en sprint et de RSA (e.g. Aziz et al, 2007 ; Ronnestad et al, 2008). Puis dans un second temps, ces entraînements de force, vitesse et optimisation du VO_2max devraient être combinés afin d'augmenter les réserves énergétiques spécifiques à la vitesse (Gabaldon et al, 2008), d'améliorer l'activité enzymatique (Balsom, 1995), de préparer le muscles à des efforts intenses (Little et Williams, 2007b), d'élever la capacité à répéter des sprints (Brown et al, 2007) et de progresser dans l'utilisation de l'énergie élastique (Tofas et al, 2008). Les efforts intermittents à hautes intensités seraient donc des exercices adéquats. Ils sont même l'outil à privilégier car ils sont spécifiques à l'activité.

Nous pouvons également noter que le joueur devra développer et optimiser le niveau de la fréquence gestuelle, de la vitesse gestuelle, du placement du bassin, du temps de contact au sol, de l'utilisation des segments libres et de la qualité des appuis (Dellal, 2008). Ces caractéristiques font partie de la famille des éléments techniques et biomécaniques de la course de vitesse que les entraîneurs doivent améliorer chez les joueurs (Carminati et Di Salvo, 2003). La non-maîtrise d'un de ces éléments entraîne une dépense énergétique parasite.

Toutefois, ces éléments de la vitesse dépendent directement de l'activité pratiquée. Or, le joueur de football effectue diverses actions nécessitant des sprints avec la charge d'un adversaire, des courses en ligne droite sur des terrains gras, des courses en zigzag et des changements de direction avec des temps de récupérations aléatoires. Ainsi, la vitesse du footballeur est étroitement liée à un travail de vitesse maximale (Bangsbo, 2008), de vitesse courte (Di Salvo et Pigozzi, 1998), de vivacité (Carminati et Di Salvo, 2003), de vitesse-endurance (Hill-Haas et al, 2007), de vitesse-force (Kotzamanidis et al, 2005) et de vitesse en état de fatigue (Cometti, 2002).

Ces qualités de vitesse spécifiques aux footballeurs vont alors permettre de combiner différentes actions avant ou après un sprint tout en conservant un niveau de performance élevé. Un footballeur pourra effectuer un duel au sol, une passe ou un changement de direction et enchaîner un sprint. Cependant, pour associer ces actions spécifiques au football, le joueur doit pouvoir réitérer ses performances en sprints et avoir une coordination fine afin d'exprimer au mieux ses capacités. Les qualités d'endurance et de vitesse sont spécifiques pour la performance du footballeur. Elles peuvent lui permettre d'exploiter l'ensemble de ses possibilités techniques et tactiques car elles occupent également un rôle important dans la réalisation d'exercices intermittents de courtes durées et de hautes intensités.

CHAPITRE I

3. SYNTHESE DE LA LITTERATURE ET HYPOTHESES

3. Synthèse de la littérature et hypothèses

L'analyse de l'activité du joueur de football en match a permis d'identifier des paramètres relatifs à la condition physique et à l'aspect technico-tactique, c'est-à-dire en relation avec la balle, les partenaires et les adversaires. Les footballeurs parcouraient entre 9995 m et 11233 m (Rampinini et al, 2007a) à une intensité comprise entre 80 et 90% de la FCmax (Stolen et al, 2005). Plus précisément, la distance totale parcourue en 2ème mi-temps serait entre 1% et 9% moins importante que celle effectuée en 1ère mi-temps (Mohr et al, 2003 ; Di Salvo et al, 2007) sans pour autant atteindre des valeurs de lactatémie élevées (Bangsbo, 1994a). La littérature scientifique de ces dernières années a également décrit que les joueurs parcouraient 4 à 5% de la distance totale parcourue à une très haute intensité (Dellal, 2008). La distance parcourue en sprint, c'est-à-dire à une intensité supérieure à 25.2 km/h, était présentée entre 247 m et 400 m (Thatcher et Batterham, 2004 ; Bangsbo, 2007). De plus, les joueurs effectueraient entre 114 m et 1301 m de courses arrière (Castagna et al, 2003 ; Thatcher et Batterham, 2004), 49.9 demi-tours, 9.2 sauts (Whiters et al, 1982), 8 têtes et 11 tacles au cours d'un match de football (Bangbo, 1994a).

L'ensemble de ces résultats doit être étudié conjointement avec les données technico-tactiques. Les footballeurs disposeraient de la balle entre 1.12 min et 2.48 min (Van Gool et al, 1988 ; Bangsbo, 2007) ce qui représenterait entre 1.2% et 2.4% de la distance totale parcourue (Di Salvo et al, 2007). Les joueurs ont très peu la balle et ils doivent agir vite. 67% et 88% des buts sont marqués en 1 ou 2 touches de balles (Carling et al, 2007).

Partant de ces constats chiffrés, nous pouvons dégager précisément les différents facteurs de la performance en football et cibler l'impact physique d'un match de football. L'endurance, la vitesse, la coordination, la force, la maîtrise technico-tactique, la capacité de récupération et de répétition des efforts, sont autant de facteurs incontournables dans l'organisation de l'entraînement moderne du footballeur. Dans la méthodologie de l'entraînemnet, le staff technique doit essayer d'harmoniser l'ensemble de ces qualités tout en les spécifiant à l'activité football. Toutefois, l'ensemble des analyses de l'activité du footballeur sont soit peu récentes, soit peu qualitatives, soit peu quantitatives, ou enfin non diversifiées. Il y a lieu dès lors d'apporter de nouvelles données à la fois actualisées sur le plan quantitatif et qualitatif pour mieux appréhender l'activité du footballeur. *Certaines études pourraient dégager un profil de condition physique, plus complet, selon les postes occupés par les joueurs. De même, d'autres études tenteraient de comparer les caractéristiques des footballeurs qui évoluent dans les meilleurs championnats d'Europe afin de dégager des spécificités aux postes. Ces nouvelles données préciséront et spécialiseront la méthodologie de l'entraînement du footballeur.*

Certaines études actuelles tendent vers cette optique d'expérimentation sur le terrain. Elles décrivent l'impact physiologique d'un match de football en rapport avec les postes occupés (e.g. Rampinini et al, 2007a ; Di Salvo et al, 2007). Ainsi les défenseurs seraient ceux qui parcouraient le moins de distance totale et les attaquants effectueraient le plus de sprints. Plus précisément, les défenseurs centraux, les arrières latéraux, les milieux et les attaquants effectueraient 18, 31, 24 et 27 sprints par match (Rampinini et al, 2007a). Le nombre de sprints, la distance des sprints et les temps de récupération seraient totalement différents selon les postes occupés. Cette tendance est identique quant à la sollicitation de l'endurance spécifique mais aussi pour le travail des qualités technico-tactiques. En effet, les défenseurs centraux, les arrières latéraux, les milieux axiaux, les milieux excentrés et les attaquants parcouraient des distances respectives en possession de la balle de 119 m, 220 m, 220 m, 230 m, 286 m et 212 m représentant 1.2%, 1.9%, 1.9%, 2.4% et 1.9% de leurs distances totales parcourues (Di Salvo et al, 2007).

Cette distinction n'existerait pas uniquement en fonction du positionnement sur le terrain mais aussi selon le niveau de pratique (Verheijen, 1998). Les performances en vitesse courte, par exemple, seraient plus élevées chez les professionnels que chez les amateurs (Verheijen, 1998), et cette différence se constaterait également entre joueurs d'un niveau national et international (Gissis et al, 2006).

Ces analyses modernes de l'activité vont affiner l'orientation de l'entraînement des différents facteurs de la performance selon les postes occupés et selon le niveau de jeu car l'implication physique et l'impact physiologique ne sont pas les mêmes. Ainsi, le staff devra mettre en place des exercices permettant d'individualiser les charges de travail selon les caractéristiques des joueurs. Ces deux dernières décennies, les exercices intermittents ont suscité l'intérêt dans l'entraînement du footballeur. En effet, ces exercices représentent bien l'activité football qui est dite « intermittente » (Bangsbo, 2008) et ils peuvent être individualisés selon le niveau de pratique et le poste occupé. Ils constitueraient les séances les plus spécifiques au développement des qualités physiques du footballeur (Bravo et al, 2007). Ils permettent une sollicitation mixte des filières énergétiques aérobie (Gaitanos et al, 1990) et anaérobie (Bangsbo, 2007). Ils présentent aussi la possibilité d'incorporer un travail de répétitions de sprints qui constitue une capacité indispensable de la performance du footballeur lors d'un match. De la même manière, les qualités d'endurance, de vitesse et de coordination pourront être développées simultanément en fonction du choix des différentes caractéristiques de ces exercices intermittents tels que la densité de la charge, la nature de la récupération et le choix de la forme d'exercice (Dellal, 2008). Plus exactement, ils agissent dans l'optimisation et le maintien du VO_2max (Billat et al, 2002 ; Dupont, 2003), dans le développement des enzymes oxydatives (Parolin et al, 1999), dans le développement du temps de réaction (Lemmink et Visscher, 2005) tout en ayant une action sur la composante périphérique (Thompson et al, 1999).

Ce dernier aspect est très important. La sollicitation périphérique musculaire ne doit pas être négligée (Dellal et Grosgeorge, 2006). A ce jour, très peu de travaux se sont intéressés à elle de manière spécifique au football (e.g. Bisciotti et al, 2000). La sollicitation périphérique serait très importante lors de l'utilisation d'une forme d'exercice intermittent course avec des changements de direction (Thompson et al, 1999 ; Zavorsky et al, 1998). Les effets physiologiques et la performance lors d'exercices intermittents avec changements de direction à 180° devraient être comparés lors d'études, avec des exercices intermittents en ligne classique spécifiques au football. Une différence pourrait indiquer une nouvelle orientation plus fine de l'entraînement.

La maîtrise de l'entraînement de la condition physique via des exercices intermittents en ligne ou en navette est indispensable pour optimiser la performance des joueurs (Dellal et Grosgeorge, 2006). Or, certains entraîneurs disposent de très peu de temps d'entraînement au cours de la saison pour travailler idéalement l'aspect physique et technico-tactique (Trapattoni, 1999). Ils préféreraient effectuer des exercices intégrés, c'est à dire avec une sollicitation mixte des qualités techniques et physiques (Eriksson et al, 2001). De nombreux auteurs ont tenté d'apporter des tests sollicitant à la fois la condition athlétique du joueur et sa qualité technique (e.g. Chamari et al, 2005a). Le plus abouti serait le Hoff test (Chamari et al, 2005a). Ils relevaient que la distance parcourue lors de ce test était significativement corrélée au VO_2max. Ils démontraient ainsi que l'aptitude à conduire la balle pourrait bel et bien agir sur la composante centrale, le système cardio-vasculaire et cardio-respiratoire. Malheureusement, ils n'ont pas apporté de possible orientation de l'entraînement à la suite de ce test. Dellal et al (2006) relataient que des circuits en conduites de balle pouvaient permettre d'approcher des intensités de réponses cardiaques similaires à celles d'exercices intermittents de type 30-30 à 105% de la vVO_2max. Toutefois ces exercices ont été l'objet de trop peu

d'études précises à ce jour pour pouvoir les exploiter convenablement. Antonacci et al (2007) constataient que leurs intérêts étaient scientifiquement très faibles étant donné l'interaction de la capacité de technique individuelle.

D'autres méthodologies d'entraînements ont été étudiées mais seuls les jeux réduits sembleraient fiables. Ces séances ont été analysées par un nombre d'études qui ne cesse de s'accroître. Ils permettraient de solliciter la capacité aérobie du joueur (Mallo et Navarro, 2008), d'élever la vVO_2max (Rampinini et al, 2007a et 2007c) tout en impliquant une sollicitation tactique, technique individuelle et collective (Kelly et Drust, 2008). L'impact physiologique de ces exercices serait directement lié à la présence du gardien (Mallo et Navarro, 2008), au nombre des joueurs (Owen et al, 2004), à la taille du terrain (Tessitore et al, 2006) et à la durée des séquences de jeu (Jones et Drust, 2007). La FC et la RPE seraient de bons indicateurs de l'effort effectué lors de jeux réduits (Hoff et al, 2002 ; Impelizzerri et al, 2004 et 2005). *Ces constats nous amènent à nous questionner sur le lien qui existerait entre les jeux réduits, un travail intégré de préparation physique au cours d'une séance avec ballon, et des exercices intermittents courses de courtes durées, un travail physique spécifique au football. Existerait-il des correspondances au niveau des incidences physiologiques ? Serait-il possible de remplacer des séances intermittentes par des jeux réduits au cours de la saison ?*

La littérature sur l'activité du footballeur et sur les facteurs de la performance a permis de :

- mettre en avant le besoin d'une nouvelle base de données plus complète correspondant à l'analyse de l'activité du footballeur ;
- de comparer les incidences physiologiques lors d'exercices intermittents courses de courtes durées réalisées en ligne et en navette ;
- d'analyser le lien qui pourrait exister entre certains exercices intermittents courses de courtes durées et certains jeux réduits.

Nous proposons dans la suite de notre travail de voir ces différents aspects par des études expérimentales. Dans une première étude, nous aborderons de manière descriptive l'analyse de l'activité physique du footballeur moderne à travers des données recueillies de 4 grands championnats européens. Puis nous envisagerons une hypothèse plus fondamentale sur la physiologie du footballeur afin d'évaluer l'impact physiologique des changements de direction au cours d'exercices intermittents spécifiques aux footballeurs et effectués en navette. Enfin, nous essaierons de comparer les réponses cardio-respiratoires durant des jeux réduits, un travail qui est défini comme un effort intégré, et des exercices intermittents de hautes intensités, des efforts définis comme des séances hautement spécifiques au football. L'ensemble de ces études a pour objectif d'apporter des données directement utilisables pour les entraîneurs.

CHAPITRE II. Etude de l'analyse quantitative et qualitative de l'activité physique et technique du footballeur selon les postes occupés dans 4 grands championnats européens (Espagne, Allemagne, France et Angleterre) – Similarités, différences et singularités.

CHAPITRE III. Etude de l'impact physiologique des changements de direction lors d'un exercice intermittent en navette. L'hypothèse est que ces efforts entraîneraient une baisse de la performance comparativement à un exercice intermittent classique effectué en ligne.

CHAPITRE IV. Nous émettons l'hypothèse que des jeux réduits permettraient d'atteindre une sollicitation cardio-vasculaire identique à celle d'exercices intermittents spécifiques au football.

CHAPITRE II

EXPERIMENTATION N°1

Analyse quantitative et qualitative de l'activité du footballeur du très haut niveau.
Similarités, différences et singularités.

EXPERIMENTATION 1. Analyse quantitative et qualitative de l'activité du footballeur du très haut niveau. Similarités, différences et singularités.

1. INTRODUCTION

Les différents facteurs de la performance en football concernent à la fois des aspects tactiques, techniques et physiques. L'entraîneur a besoin de connaître exactement l'impact physiologique occasionné lors d'un match officiel et selon les différents niveaux de pratique afin d'orienter l'entraînement. Pour réunir ces données, il utilise différentes méthodes relatées dans différentes études telles que celles de Toki et Sakurai (2005), Figueroa et al (2006) ou encore Barros et al (2007). L'estimation visuelle (e.g. Bangsbo et al, 2001) ou l'analyse vidéo semi-automatique (e.g. Rienzi e al, 2000) sont les techniques les plus souvent utilisées. L'exploitation de l'analyse vidéo semi-automatique de match permettrait de spécifier la distance totale parcourue à différentes intensités, d'établir un profil de joueur ou encore de préciser le temps de possession de balle plus précisément qu'une estimation visuelle (Dellal, 2008). Di Salvo et al (2006) avaient validé ce système pour l'analyse de la distance totale parcourue en relation directe avec la position du joueur et les actions spécifiques du footballeur sur le terrain. Cet outil d'analyse peut suivre tous les joueurs simultanément avec des paramètres préalablement définis (avec ou sans ballon). Ainsi les entraîneurs reçoivent des données à la fois physiques, techniques et tactiques.

Généralement, les études démontrent que les défenseurs centraux couvrent le moins de distance totale tandis que les attaquants sont ceux qui effectuent le plus de sprints dans le football de haut-niveau (Rampinini et al, 2007b). D'autres analyses décrivent la performance durant chaque mi-temps (Barros et al, 2007, Rampinini et al, 2007d). La distance effectuée en sprint ne diminue pas significativement durant la seconde mi-temps (Di Salvo et al, 2007) mais la distance totale parcourue baisse de 7% à 9% en seconde période (Barros et al, 2007).

Toutes les études utilisant des systèmes d'analyses vidéo semi-automatiques nous donnent des informations issues d'un même championnat. Barros et al (2007) avaient analysé la distance totale parcourue par 112 footballeurs brésiliens de première division. Di Salvo et al (2007) avaient enregistré l'activité de 300 joueurs issus de 20 matchs de la Liga espagnole et de 10 matchs de Champions League durant les saisons 2002-2003 et 2003-2004. Chacune de ces études quantifie le profil du joueur selon le championnat dans lequel il évolue. Ces résultats sont difficilement comparables, voire impossibles, car il y a des catégories d'intensités de courses différentes ou encore des paramètres d'activités enregistrées non homogènes. Cette comparaison entre les championnats est importante pour comprendre comment les études rapportées précédemment peuvent être généralisées et apporter des tendances communes. Cette étude apportera des données précises à une très grande échelle.

Le but de notre travail était d'apporter une analyse quantitative et qualitative complète et commune des joueurs de haut niveau évoluant dans les meilleurs championnats européens (anglais, espagnol, allemand, français) avec une référence spéciale à leurs positions occupées sur le terrain. L'utilisation d'une technique d'analyse et de paramètres communs permettrait de comparer les joueurs selon les postes occupés dans les différents championnats et de faire ressortir des caractéristiques communes.

Ces deux analyses combinées vont éclaircir les entraîneurs et les scientifiques sur les caractéristiques physiques spécifiques aux joueurs et selon les championnats, tout en permettant d'orienter l'entraînement propre aux postes.

2. MATERIELS ET METHODES

11240 analyses de joueurs ayant effectué un match complet ont été enregistrées au sein des premières divisions du championnat de France (n=3540, FR), du championnat d'Espagne (n=1896, SP), du championnat d'Angleterre (n=4704, UK) et du championnat d'Allemagne (n=1762, DE) durant la saison 2005-2006, en utilisant un système d'analyse de match à multiples caméras en collaboration avec la société Amisco Pro® (Nice, France) et validé par Carling et al (2008) ainsi que Di Salvo et al (2006). Cette analyse de match semi-automatique incluait 8 caméras qui étaient synchronisées et placées en hauteur tout autour du stade. L'enregistrement a été opéré à une fréquence de 25 mesures par seconde. Il concernait tous les mouvements des joueurs et de la balle dépendamment et indépendamment, permettant de ce fait une analyse technique, physique et tactique.

Les analyses des footballeurs étaient individuelles et distinguaient les postes et les rôles occupés afin de dégager un profil spécifique. Les joueurs ont été séparés en 6 catégories de postes : les attaquants (A), les milieux défensifs axiaux (MDA), les milieux excentrés (ME), les milieux offensifs (MO), les défenseurs centraux (DC) et les arrières latéraux (AL). La répartition des joueurs au sein de l'analyse des 4 championnats européens était de 1772 attaquants, 3616 milieux défensifs axiaux, 420 milieux excentrés, 338 milieux offensifs, 1196 défenseurs centraux et 3898 arrières latéraux (Tableau 1).

Les vitesses de course analysées étaient spécifiées en 2 catégories avec une référence spéciale aux courses à des hautes intensités : 21-24 km/h (course à haute intensité : HI) et > 24 km/h (sprint). Les paramètres utilisés étaient les suivants : la distance totale parcourue avec ou sans ballon, la distance parcourue en courses haute intensité avec ou sans ballon, la distance parcourue en sprint avec ou sans ballon, le nombre de sprints, les duels aériens gagnés et perdus, les duels au sol gagnés et perdus, une analyse des passes réussies, la possession de balle totale par individu et le nombre de touches de balle par possession.

Tableau 1. Répartition des joueurs analysés selon les championnats et les postes occupés, saison 2005-2006.

	Championnat anglais UK	**Championnat espagnol SP**	**Championnat français FR**	**Championnat allemand DE**	**N=**
Attaquants (A)	724	262	464	322	**1772**
Milieux défensifs axiaux (MDA)	1356	616	952	692	**3616**
Milieux excentrés (ME)	50	100	202	68	**420**
Milieux offensifs (MO)	76	82	166	14	**338**
Arrières latéraux (AL)	132	212	756	96	**1196**
Défenseurs centraux (DC)	1704	624	1000	570	**3898**
N=	**4042**	**1896**	**3540**	**1762**	**11240**

3. ANALYSES STATISTIQUES

Les valeurs ont été exprimées en moyenne ± écart type (moyenne±SD). Nous avons calculé le cœfficient de variation (CV) pour chaque paramètre de toutes les populations étudiées. Dans un souci de protection des riches données Amisco Pro®, de leurs actions de recherches et de leur action marketing, les graphiques de la deuxième partie des résultats ne présentent aucun écart type.

Par conséquent, nous avons analysé statistiquement la normalité des distributions selon le test de Kolmogorov et Smirnov et une analyse statistique de l'homogénéité des variances selon le test de Hartley. Toutes ces analyses nous ont permis de comparer, un à un, chaque paramètre selon les tests statistiques utilisés à chaque comparaison.

Selon les conditions de normalité et d'homogénéité, le test t de Student pour séries appariées et le test de Wilcoxon ont été utilisés pour effectuer l'analyse comparative, le sujet étant son propre témoin. Le seuil de significativité retenu pour l'ensemble de l'analyse comparative était $p \leq 0.05$ pour des différences significatives et $p \leq 0{,}001$ pour hautement significative. Ces données ont été comparées avec celles issues de la littérature. Les résultats ont été analysés et présentés en deux parties.

La première présentation des résultats comparait l'ensemble des joueurs évoluant à un même poste sur les 4 grands championnats. La deuxième partie des résultats relatait les spécifités des postes propres à chaque championnat indépendamment des autres.

4. RESULTATS

L'importance du nombre de paramètres traités et du nombre de données a engendré une organisation de présentation des résultats différente des modèles standards. Les résultats ont été analysés et présentés en deux parties : 4.1- une analyse commune aux différents championnats avec des résultats spécifiques selon les postes occupés ; et 4.2- une analyse spécifique à chaque championnat selon les positions des joueurs.

4.1. COMPARAISON INTER-CHAMPIONNATS DES DIFFERENTS PARAMETRES ANALYSES EN FONCTION DES POSTES

4.1.1. Analyse des possessions de balle : durée moyenne, nombre et touches de balle moyenne

Le plus grand nombre de touches de balle (tdb) par possession a été observé chez les MO avec des durées de possession qui étaient également les plus élevées. Les ME présentaient des résultats identiques sauf en Espagne où le nombre de tdb moyen était significativement inférieur ($p<0.001$) par rapport aux attaquants et aux MO. Ils effectuaient 2.03 tdb tandis que les ME des autres championnats faisaient entre 2.21 et 2.49 tdb par possession ($p<0.001$). Les ME du championnat allemand présentaient le plus de tdb quel que soit les postes et les championnats comparés ($p<0.001$). Les AL en Allemagne réalisaient plus de tdb que les autres AL des autres championnats ($p\leq0.05$). Au contraire, ce sont les DC qui exécutaient le moins de tdb avec des valeurs significativement inférieures ($p<0.001$), oscillant entre 1.74 et 1.92 tdb. Les DC en Espagne et en Angleterre effectuant aussi moins de tdb que leurs compatriotes français et allemand ($p\leq0.05$).

La durée de possession de balle était plus élevée chez les MO et ME ($p<0.001$) tandis que les DC, les AL et les A la conservaient le moins ; excepté en Allemagne où les AL avaient des durées de possession hautement supérieures à celles des AL des autres championnats

($p<0.001$), à des niveaux équivalents des MO et des ME, soit une valeur de 76.23 s. Les DC possédaient moins la balle que l'ensemble des autres postes quels que soit le championnat. Nous relevons aussi une différence significative entre le temps de possession des DC allemands (49.22 s) et ceux d'Espagne ($p<0.01$), d'Angleterre ($p<0.01$), et de France ($p\leq0.05$).

Le plus grand nombre de possessions a été observé chez les MO et les ME tandis que les DC et les A en avaient le moins ($p<0.001$). Toutefois, les AL en Allemagne et en Angleterre présentaient des résultats similaires voire supérieurs à ceux des ME et MO. Ces AL et ceux d'Espagne auraient même significativement plus de possessions que les AL français ($p<0.001$), soit respectivement entre 54.38 et 58.88 possessions contre 41.11 possessions. Après les MO et les ME, c'était les AL qui recevaient le plus de balles (52.85 possessions en moyenne sur les 4 championnats étudiés) qui la conservaient le plus (61.87 s) mais qui jouaient plus vite que tous les autres joueurs (1.90 tdb) excepté les DC.

4.1.2. Analyse des passes

Les AL faisaient le plus de *passes vers l'avant*, 21.68 passes, comparativement à tous les autres postes ($p<0.001$) tandis que les A étaient évidemment les joueurs qui en effectuaient le moins ($p<0.001$) par rapport à toutes les autres positions sur le terrain, 7.87 passes. En Espagne, ces mêmes AL ainsi que les A réalisaient moins de passes vers l'avant par rapport aux autres footballeurs évoluant respectivement aux mêmes postes ($p\leq0.05$).

Le pourcentage des *passes réussies* était le plus faible chez les A quel que soit le championnat et les positions sur le terrain ($p<0.001$) alors que les MO, ME et AL en réussissaient plus de 78.5%. Les DC des championnats allemand, espagnols et anglais avaient des valeurs significativement équivalentes aux MO, ME et AL. Au contraire, les DC de France présentaient des valeurs des passes réussis, 63%, significativement moindres que tous les autres postes dans tous les championnats. Nous notons que les ME présentaient des résultats non homogènes, entre 75% et 84% de passes réussies.

4.1.3. Analyse des duels

Les duels au sol étaient majoritairement gagnés par les DC et les AL comparés à toutes les valeurs des différents championnats ($p<0.001$). Ils gagnaient 5.4 duels au sol sur 10 au minimum. Les A en perdaient le plus. Les MO français en perdaient aussi significativement plus que les autres MO ($p\leq0.05$).

Les duels aériens présentaient des résultats identiques mais dans des proportions plus importantes. En effet, les DC et AL gagnaient entre 59 et 63% de leurs duels aériens alors que les A en perdaient plus que tout le monde quel que soit le championnat ($p<0.001$). Les ME et MO du championnat allemand avaient des valeurs différentes par rapport aux ME et MO des autres pays. Les MO allemand gagnaient plus de duels aériens ($p\leq0.05$) alors que les ME en perdaient plus (i.e. Espagne : $p\leq0.05$; i.e. France-Angleterre : $p<0.01$).

4.1.4. Distance totale parcourue, en possession et en non possession collective de la balle

Les milieux, en l'occurrence les ME-MO-MAD, parcouraient de plus grandes *distances totales* que tous leurs partenaires ($p<0.001$) tandis que, dans un ordre croissant, les DC, les AL et les A en faisaient le moins (Figure 1). Les milieux réalisaient entre 11004 m et 12029 m. Toutefois, nous notons que les ME du championnat français effectuaient plus de 790 m que les ME des autres championnats ($p\leq0.05$). Les DC et AL du championnat allemand parcouraient de manière significative moins de distance que les DC et AL en Angleterre ($p\leq0.05$). Les A effectuaient au minimum 10473 m.

Les données de distance totale parcourue étaient homogènes étant donné qu'elles présentaient des CV inférieurs à 10.35%.

La distance totale parcourue quand l'équipe était en possession de la balle montrait des valeurs plus importantes chez les milieux de terrain pour tous les championnats ($p<0.001$) mais également pour les A d'Allemagne et d'Angleterre par rapport aux AL et aux DC ($p<0.01$). Les AL anglais accomplissaient significativement plus de distances que les autres AL ($p\leq0.05$) à des valeurs équivalentes à celles de certains milieux et attaquants. De la même façon, les ME français parcouraient plus de distance que les autres ME (i.e. Allemagne-Angleterre : $p\leq0.05$; i.e. Espagne : $p<0.01$) mais surtout plus de distances que tous les autres joueurs quels que soient le poste et le championnat avec des valeurs significatives minimum de $p\leq0.05$.

La distance totale parcourue quand l'équipe n'était pas en possession de la balle exprimait bien le fait que les A en réalisaient le moins ($p<0.001$) alors que ce sont les MAD, les ME et les DC (sauf en France) qui en parcouraient le plus. Nous relevons des valeurs moindres au sein des mêmes postes pour les MO (i.e. Angleterre : $p\leq0.05$; i.e. Allemagne-France : $p<0.001$) et les A ($p\leq0.05$) du championnat d'Espagne ; et des valeurs hautes pour les ME du championnat français par rapport à tous les joueurs de tous les championnats avec des valeurs significatives minimum de $p\leq0.05$.

Le ME et les MO parcouraient, sauf en Espagne, significativement la même distance quand l'équipe était en possession de la balle ou ne l'était pas tandis que les MAD, les DC et les AL en effectuaient plus quand l'équipe n'était pas en possession de la balle ($p\leq0.05$). Au contraire, les A en parcouraient significativement plus quand l'équipe avait la balle (3438 m vs. 3881 m).

4.1.5. Distance totale parcourue en sprint, en possession et en non possession collective de la balle

La distance totale parcourue en sprint était significativement la plus haute pour les A (Figure 2) ; excepté en Allemagne où les MO en parcouraient significativement plus que tous les autres joueurs de tous les championnats avec une valeur de 331 m, soit 41 m de plus que la deuxième valeur ($p<0.001$). Nous relevons des valeurs moindres au sein des mêmes postes pour les MO (i.e. France: $p\leq0.05$; i.e. Allemagne-Angleterre : $p<0.001$) du championnat d'Espagne, et pour les DC et AL du championnat allemand ($p<0.001$) ; et des valeurs plus hautes pour les MAD du championnat anglais (i.e. France-Allemagne : $p<0.01$; i.e. Espagne : $p<0.001$) et les ME du championnat allemand (i.e. Angleterre-Espagne : $p\leq0.05$; i.e. France : $p<0.001$).

La distance totale parcourue en sprint quand l'équipe était en possession de la balle montrait bien que les A en parcouraient le plus ($p<0.001$) tandis que les DC et les AL en faisaient le moins. Les DC faisaient de 3.9 à 4.16 fois moins de distance en sprint que les attaquants avec des différences de 120.88 m à 158.48 m. En Angleterre, les MAD, les AL et les ME effectuaient significativement plus de distances comparés aux mêmes postes des autres championnats. Pareillement, les MO du championnat allemand réalisaient au minimum 80 m de plus que les autres MO ($p<0.001$) et ils parcouraient également la plus grande distance quels que soient les postes et les championnats analysés.

La distance totale parcourue en sprint quand l'équipe n'était pas en possession de la balle montrait que les défenseurs en parcouraient le plus ($p<0.001$), environ 131 m et que les MO du championnat anglais étaient significativement proches avec une valeur de 126.56 m.

Les DC réalisaient de 2.2 à 2.84 fois plus de sprints quand l'équipe n'était pas en possession de la balle tandis que les A en parcouraient de 2.16 à 2.93 fois plus quand l'équipe avait la possession. Les MAD ne présentaient pas de différence dans l'analyse des distances

en sprint s'ils avaient ou non la possession, alors qu'elles étaient marquées chez les MO, les A et les ME.

4.1.6. Distance totale parcourue en course haute-intensité, en possession et en non possession collective de la balle

La distance totale parcourue en course HI était la plus grande pour les A et les ME alors que les DC et les AL (sauf en Espagne) présentaient toujours les valeurs les plus faibles ($p<0.001$). Les MAD du championnat anglais et les ME d'Allemagne avaient des valeurs plus élevées que les autres joueurs évoluant aux mêmes postes ($p\leq0.05$) alors que les MO espagnols avaient des valeurs plus basses ($p<0.001$) que les autres MO (Figure 3).

La distance totale parcourue en course HI quand l'équipe était en possession de la balle était plus importante chez le A, et les ME-MO, excepté en Angleterre ($p<0.001$). Les DC puis, les AL et enfin les MAD en réalisaient le moins (respectivement 57.69 m ; 97.50m et 125.93 m). Les DC avaient des valeurs très basses, entre 3 et 4 fois inférieures à celle des A, mais aussi significativement inférieures à celle des AL et MAD ($p<0.001$). En Angleterre, les DC, les AL et les MAD participaient significativement plus que les autres joueurs du même poste. De la même manière, les A français (i.e. Espagne-Angleterre : $p\leq0.05$; i.e. Allemagne : $p<0.01$) ainsi que les ME allemand et français ($p<0.01$) exécutaient plus de distances que leurs confrères des autres championnats.

Les distances totales parcourues en course HI quand l'équipe n'était pas en possession de la balle étaient les plus grandes pour les MAD, les AL et les DC, sauf en Allemagne où les DC étaient significativement inférieurs aux AL et ME ($p<0.001$). En Angleterre, ces données étaient élevées chez les MO soit entre 17.14 m et 66.56 m de plus que les autres MO, proches des valeurs maximums des autres postes quel que soit le championnat étudié.

Chez les DC, 63.7% à 68.5% des courses HI étaient réalisées quand l'équipe n'avait pas la balle alors que chez les A, cette comparaison présentait des chiffres bien inférieurs, entre 30% et 36.24%.

4.1.7. Homogénéité des données

Les CV inter-sujets et inter-championnats étaient très hauts dans la majorité des paramètres analysés. Les CV s'élevaient jusqu'à 83.79% pour les DC espagnols concernant les données de la distance totale parcourue en sprint en possession de la balle. L'analyse des courses à HI (de 15.27% à 60.13%), le nombre de passes vers l'avant (21.08% à 42.49%), le nombre de possessions (15.12% à 23.48%), les durées totales de possessions (21.46% à 36.91%) et le nombre moyen de tdb (17.88% à 27.36%) présentaient des tendances identiques. Les CV moyens des différents paramètres s'étalaient de 17.96% (nombre de possessions) jusqu'à 47.77% pour l'analyse de la distance totale parcourue en sprint.

Les défenseurs et les MAD avaient des CV les plus élevés concernant l'analyse des distances en sprint en possession de balle et en course HI en possession de balle. Les DC présentaient des CV plus importants que les autres postes pour la durée totale de possession et le nombre de possessions. Les A avaient des valeurs de CV bien supérieures pour le nombre de passes vers l'avant, les distances en course HI et sprints en non possession par rapport aux autres postes.

Au contraire, les CV issus des résultats des distances totales parcourues étaient en moyenne de 7.71% et nous pouvons en déduire une homogénéité des données catégorisées comme correcte.

Tableau 2. Relevés des différents paramètres analysés selon les postes occupés par les joueurs et selon les différents championnats.

	Défenseurs centraux					Arrières latéraux					Milieux défensifs axiaux				
	SP N= 624	DE N= 570	UK N= 1704	FR N= 1000	Moyenne ± SD	SP N= 212	DE N= 96	UK N= 132	FR N= 756	Moyenne ± SD	SP N= 616	DE N= 692	UK N= 1356	FR N= 952	Moyenne ± SD
DTP	10496,12	10168,26	10617,28	10425,92	10426,90	10649,74	10252,44	10775,28	10655,50	10583,24	11247,26	11243,14	11555,56	11501,30	11386,82
	772,00	*1052,80*	*857,90*	*808,40*	872,78	*786,20*	*828,20*	*645,90*	*860,00*	780,08	*913,80*	*857,20*	*811,20*	*901,20*	870,85
DTP en possession de la balle	3202,90	3117,28	3328,48	3342,16	3247,71	3390,52	3510,18	3716,06	3498,76	3528,88	3665,24	3758,24	4002,64	3941,26	3841,85
	626,80	*711,40*	*668,60*	*670,80*	669,40	*669,40*	*708,80*	*706,20*	*673,40*	689,45	*700,20*	*788,40*	*727,60*	*759,80*	744,00
DTP en non- possession de la balle	3816,32	3815,96	4012,96	4001,11	3911,59	3836,08	3668,10	3914,98	4048,08	3866,81	4041,62	4034,12	4194,02	4281,28	4137,76
	561,40	*729,80*	*622,20*	*614,50*	631,98	*594,80*	*613,20*	*609,00*	*625,20*	610,55	*788,10*	*853,20*	*763,10*	*804,80*	802,30
DTP en sprint	193,64	169,40	208,48	199,44	192,74	248,86	207,38	263,04	241,28	240,14	203,34	217,16	245,83	220,99	221,83
	64,60	*55,10*	*69,40*	*65,60*	63,68	*77,40*	*48,90*	*69,90*	*69,90*	66,53	*76,40*	*66,40*	*77,90*	*76,20*	74,23
DTP en sprint en possession de la balle	47,02	45,64	62,12	50,02	51,20	99,32	85,66	127,12	100,60	103,18	93,32	110,60	122,18	103,22	107,33
	39,40	*33,80*	*44,40*	*40,50*	39,53	*49,50*	*34,70*	*51,00*	*48,90*	46,03	*58,70*	*49,90*	*59,90*	*59,40*	56,98
DTP en sprint en non-possession de la balle	133,38	117,22	136,66	140,00	131,82	140,71	117,76	129,30	132,64	130,10	103,28	99,80	116,44	110,84	107,59
	44,10	*41,60*	*46,60*	*45,50*	44,45	*50,70*	*37,20*	*41,50*	*44,10*	43,38	*41,50*	*39,20*	*44,30*	*43,80*	42,20
DTP en course HI	226,10	222,32	240,84	230,22	229,87	284,80	262,02	270,12	274,06	272,75	279,61	298,20	319,10	302,30	299,80
	53,80	*58,30*	*63,90*	*55,90*	57,98	*54,70*	*55,80*	*55,00*	*62,90*	57,10	*66,20*	*62,50*	*67,70*	*68,90*	66,33
DTP en course HI en possession de la balle	51,28	55,38	67,50	56,58	57,69	92,96	89,18	106,20	101,66	97,50	106,32	129,98	143,02	124,40	125,93
	29,80	*33,3+C20*	*38,00*	*34,10*	33,97	*35,10*	*37,40*	*38,40*	*40,70*	37,90	*46,40*	*46,10*	*50,10*	*51,50*	48,53
DTP en course HI en non-possession de la balle	144,14	148,52	157,04	157,76	151,87	175,02	160,90	149,92	159,24	161,27	157,44	153,28	162,52	164,01	159,31
	37,80	*39,30*	*40,60*	*39,20*	39,23	*40,00*	*79,40*	*39,40*	*39,90*	49,68	*46,10*	*44,20*	*41,90*	*44,40*	44,15
% de duel aérien gagné	59,00	63,00	62,00	63,00	61,75	61,00	59,00	59,00	61,00	60,00	49,00	50,00	48,00	51,00	49,50
% de duel au sol gagné	56,00	57,00	56,00	57,00	56,50	54,00	58,00	55,00	56,00	55,75	50,00	50,00	50,00	51,00	50,25
% de passe réussi	77,00	79,00	75,00	63,00	73,50	79,00	80,00	81,00	78,00	79,50	78,00	75,00	77,00	78,00	77,00
Nombre de passe vers l'avant	15,32	15,16	15,16	15,56	15,30	18,28	21,44	20,30	21,68	20,43	14,13	15,24	14,52	16,16	15,01
	4,49	*4,39*	*4,52*	*4,53*	4,48	*4,93*	*4,86*	*4,28*	*5,02*	4,77	*4,14*	*4,13*	*3,90*	*4,26*	4,11
Nombre de possession	43,40	39,60	41,22	38,38	40,65	54,38	57,04	58,88	41,11	52,85	53,60	48,66	53,22	51,38	51,72
	9,70	*9,30*	*10,10*	*9,20*	9,58	*10,70*	*8,90*	*8,90*	*9,60*	9,53	*9,80*	*8,80*	*9,50*	*9,30*	9,35
Temps total de possession de la balle	43,89	49,22	41,72	44,58	44,85	54,40	76,23	59,76	57,09	61,87	63,61	57,61	60,76	61,45	60,86
	14,20	*16,90*	*15,40*	*14,70*	15,30	*15,60*	*19,50*	*13,80*	*15,50*	16,10	*17,09*	*15,90*	*16,20*	*16,80*	16,50
Nombre de touche de balle moyen	1,76	1,92	1,74	1,87	1,82	1,79	2,03	1,84	1,92	1,90	2,03	2,01	2,01	2,07	2,03
	0,34	*0,40*	*0,39*	*0,38*	0,38	*0,32*	*0,40*	*0,79*	*0,38*	0,47	*0,45*	*0,41*	*0,41*	*0,43*	0,43

	Milieux offensifs					Milieux excentrés					Attaquants				
	SP N= 82	DE N= 14	UK N= 76	FR N= 166	Moyenne ± SD	SP N= 100	DE N= 68	UK N= 50	FR N= 202	Moyenne ± SD	SP N= 262	DE N= 322	UK N= 724	FR N= 464	Moyenne ± SD
DTP	11004,84	11540,34	11779,46	11726,38	11512,76	11240,84	11092,86	11040,84	12029,54	11351,02	10717,66	10473,62	10802,76	10942,70	10734,19
	1164,20	*479,40*	*705,90*	*984,40*	833,48	*761,80*	*640,10*	*757,00*	*977,52*	784,11	*901,40*	*872,60*	*991,80*	*978,50*	936,08
DTP en possession de la balle	3957,24	4073,08	3912,28	4121,60	4016,05	3642,96	3978,78	3950,03	4357,94	3982,43	3886,18	3729,54	3864,02	4045,62	3881,34
	626,20	*600,60*	*650,20*	*779,00*	664,00	*546,20*	*623,20*	*722,30*	*777,00*	667,18	*607,80*	*615,40*	*645,50*	*635,40*	626,03
DTP en non- possession de la balle	3586,74	4112,64	3895,90	4210,52	3951,45	3894,44	3901,78	3845,81	4302,92	3986,24	3273,74	3482,80	3433,58	3565,12	3438,81
	978,60	*915,40*	*677,60*	*910,00*	870,40	*710,60*	*569,20*	*708,20*	*744,00*	683,00	790,40	848,00	797,70	762,00	799,53
DTP en sprint	222,24	331,00	267,28	234,58	263,78	250,80	272,78	259,22	235,41	254,55	260,04	272,40	278,22	290,38	275,26
	66,50	*104,90*	*64,20*	*71,70*	76,83	*71,50*	*66,70*	*84,90*	*85,00*	77,03	*72,60*	*72,40*	*78,00*	*75,20*	74,55
DTP en sprint en possession de la balle	138,06	219,72	122,68	130,10	152,64	137,48	144,02	169,04	136,48	146,76	181,06	181,80	183,00	208,50	188,59
	52,00	*73,80*	*46,40*	*54,70*	56,73	*51,50*	*49,90*	*78,50*	*61,80*	60,43	*57,40*	*57,90*	*63,30*	*63,80*	60,60
DTP en sprint en non-possession de la balle	71,88	87,42	126,56	96,94	95,70	105,14	119,88	84,32	95,02	101,09	68,06	80,74	84,78	71,08	76,17
	35,00	*36,60*	*40,10*	*42,10*	38,45	*41,90*	*46,00*	*34,80*	*45,50*	42,05	*30,20*	*35,90*	*37,70*	*35,20*	34,75
DTP en course HI	278,04	317,54	334,04	334,54	316,04	310,62	359,08	298,02	335,68	325,85	288,64	293,01	299,82	300,14	295,40
	61,00	*48,50*	*60,70*	*62,30*	58,13	*67,00*	*58,40*	*62,40*	*64,00*	62,95	*56,10*	*53,50*	*63,70*	*57,10*	57,60
DTP en course HI en possession de la balle	170,76	186,16	160,60	178,22	173,94	143,54	173,46	152,70	174,78	161,12	178,22	171,98	180,96	194,38	181,39
	52,70	*49,30*	*45,40*	*46,40*	48,45	*48,20*	*41,00*	*50,90*	*44,90*	46,25	*40,00*	*37,20*	*47,20*	*44,10*	42,13
DTP en course HI en non-possession de la balle	94,24	115,20	160,80	143,66	128,48	152,70	169,90	137,46	149,80	152,47	93,01	106,20	101,44	90,28	97,73
	37,30	*36,40*	*43,50*	*46,90*	41,03	*42,60*	*36,60*	*40,70*	*42,00*	40,48	*32,20*	*36,50*	*37,90*	*34,60*	35,30
% de duel aérien gagné	40,00	45,00	39,00	41,00	41,25	46,00	42,00	49,00	47,00	46,00	39,00	36,00	35,00	38,00	37,00
% de duel au sol gagné	51,00	51,00	51,00	48,00	50,25	50,00	51,00	50,00	50,00	50,25	48,00	46,00	47,00	46,00	46,75
% de passe réussi	78,00	78,00	80,00	76,00	78,00	77,00	84,00	80,00	75,00	79,00	74,00	72,00	70,00	71,00	71,75
Nombre de passe vers l'avant	13,42	15,92	13,06	15,04	14,36	14,44	15,08	14,46	15,14	14,78	6,52	8,52	7,79	8,64	7,87
	3,99	*3,41*	*3,40*	*3,91*	3,68	*4,34*	*4,24*	*4,00*	*3,70*	4,07	*2,60*	*3,62*	*3,05*	*3,65*	3,23
Nombre de possession	60,96	57,70	57,12	56,50	58,07	55,30	55,42	56,24	55,12	55,52	41,52	40,72	43,04	42,78	42,02
	9,20	*8,90*	*8,30*	*8,70*	8,78	*9,70*	*7,60*	*8,90*	*7,70*	8,48	*7,20*	*7,30*	*7,60*	*7,10*	7,30
Temps total de possession de la balle	84,04	78,71	76,09	74,25	78,27	67,23	82,23	77,85	73,64	75,24	55,87	50,13	54,19	55,46	53,91
	17,40	*20,80*	*18,40*	*19,00*	18,90	*18,00*	*15,40*	*22,40*	*15,80*	17,90	*16,30*	*13,80*	*16,00*	*13,80*	14,98
Nombre de touche de balle moyen	2,26	2,28	2,24	2,23	2,25	2,03	2,49	2,24	2,21	2,24	2,16	2,10	2,01	2,17	2,11
	0,43	*0,55*	*0,45*	*0,42*	0,46	*0,55*	*0,51*	*0,54*	*0,43*	0,51	*0,54*	*0,48*	*0,55*	*0,52*	0,52

DTP : distance total parcourue ; *Course HI* : course haute intensité, entre 21-24 km/h ; *Sprint* : course supérieure à 24 km/h

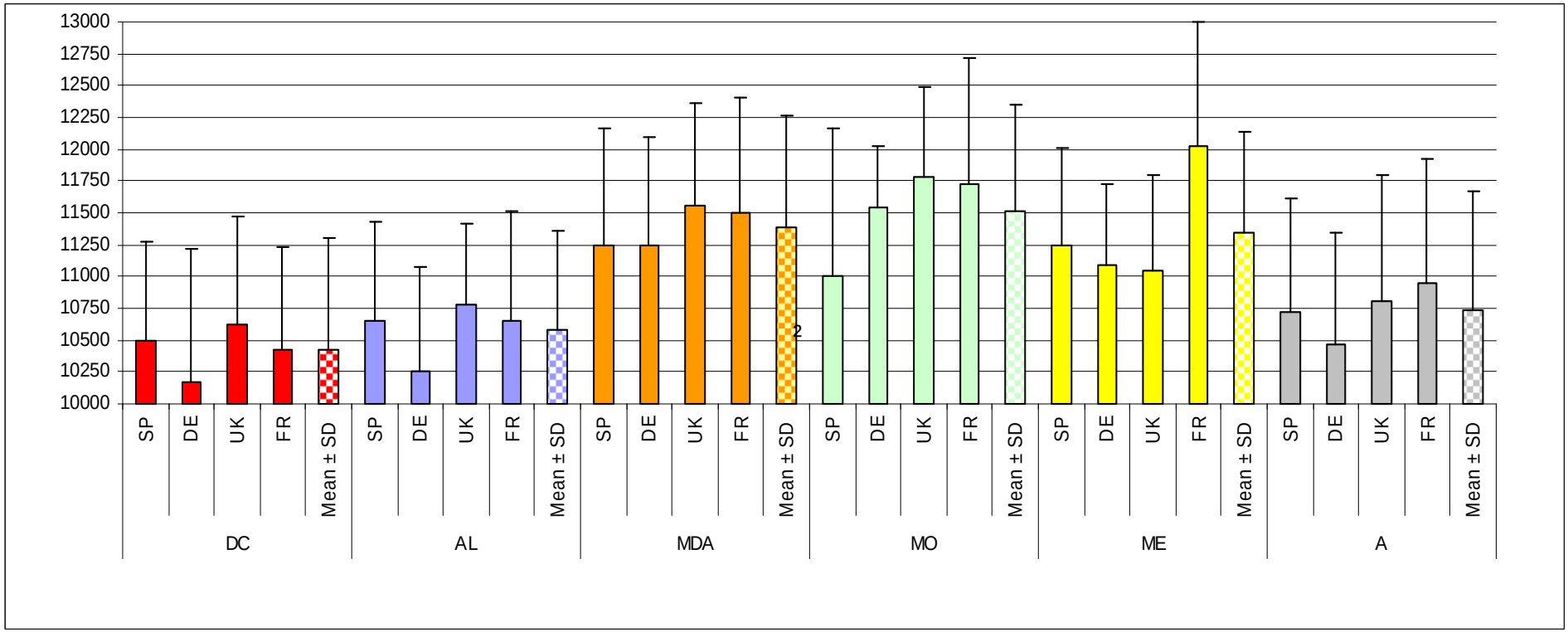


Figure 1. Distance totale parcourue dans les championnats anglais, espagnols, allemands et français selon les postes, données Amisco.

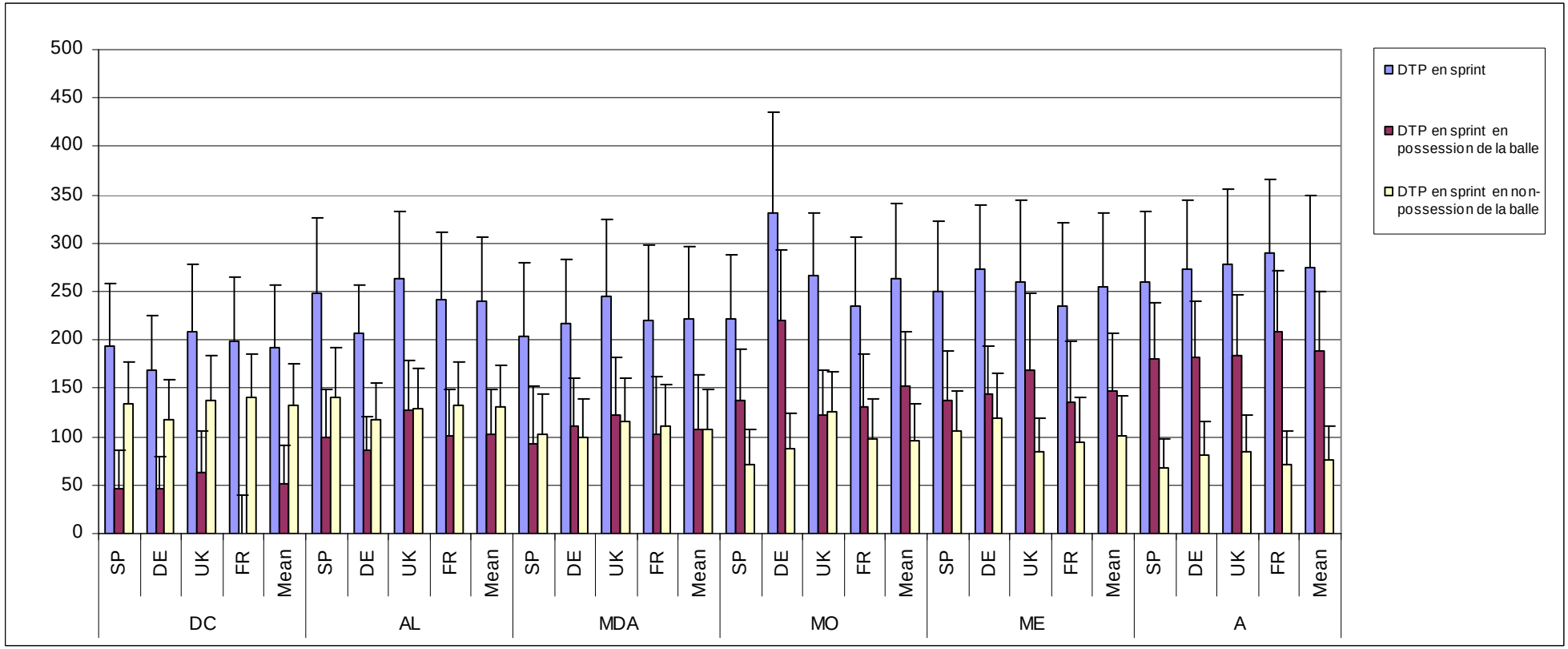


Figure 2. Distance totale parcourue en sprint, en possession et en non possession de la balle dans les championnats anglais, espagnols, allemands et français selon les postes, données Amisco.

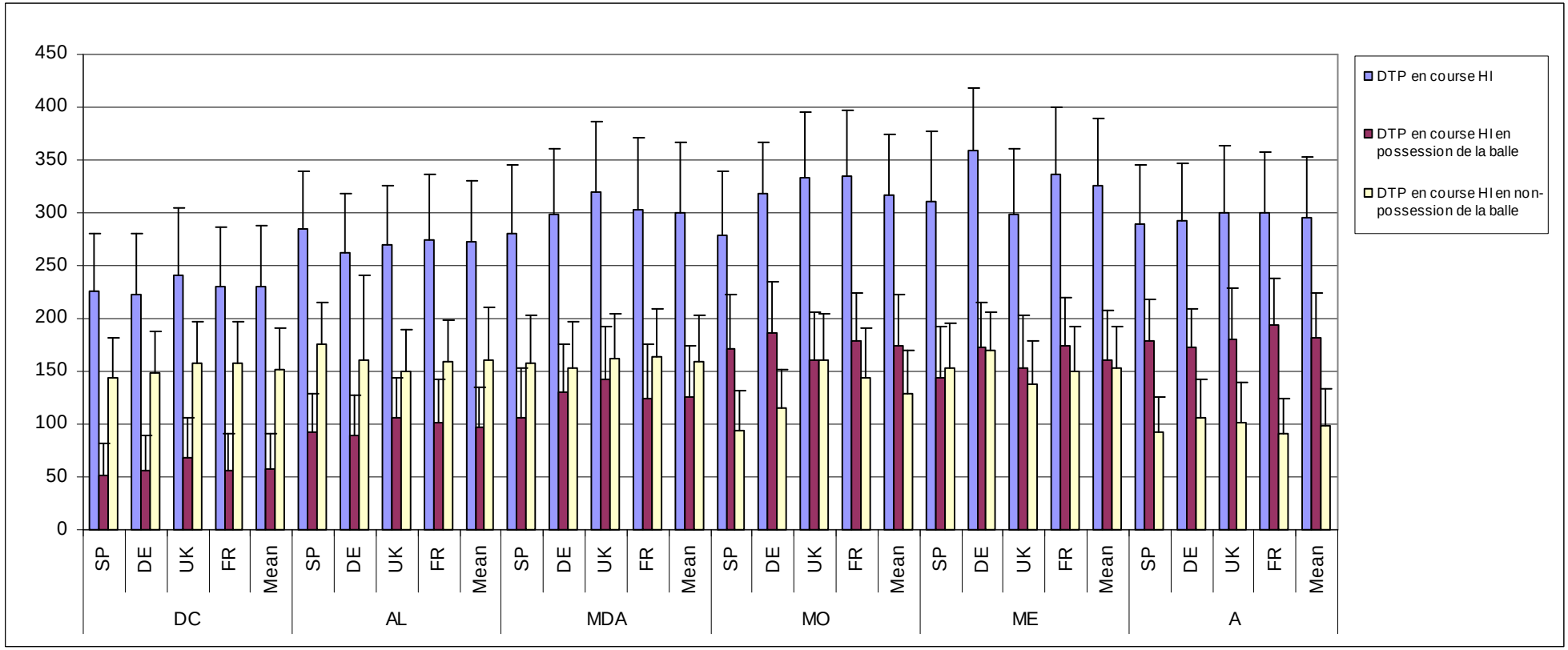


Figure 3. Distance totale parcourue en course HI, en possession et en non possession de la balle dans les championnats anglais, espagnols, allemands et français selon les postes, données Amisco.

4.2. COMPARAISON INTRA-CHAMPIONNAT DES DIFFERENTS PARAMETRES EN FONCTION DES POSTES

4.2.1. Analyse selon les postes occupés dans le championnat anglais

L'analyse quantitative physique démontre que les valeurs des distances totales parcourues varient entre 10617±858 m et 11779±706 m (Figure 4). Les valeurs minimales concernaient les défenseurs centraux et les valeurs maximales concernaient les milieux offensifs et les milieux défensifs centraux. Tous les joueurs évoluant au milieu de terrain atteignaient des distances totales parcourues supérieures à 11000 m (Tableau 3). Quand l'équipe n'est pas en possession de la balle ce sont les défenseurs centraux et les milieux défensifs axiaux qui effectuent la plus grande distance totale (respectivement 4013±622 m et 4194±763 m) tandis que les attaquants sont de loin les joueurs effectuant le moins de distance (3433±798 m). Au contraire, quand l'équipe est en possession de la balle, ce sont les milieux défensifs axiaux et les milieux excentrés (Figure 4 et Tableau 3) qui effectuent la plus grande distance (respectivement 4002±728 m et 3950±722 m) tandis que les défenseurs centraux sont moins actifs (3328±669 m).

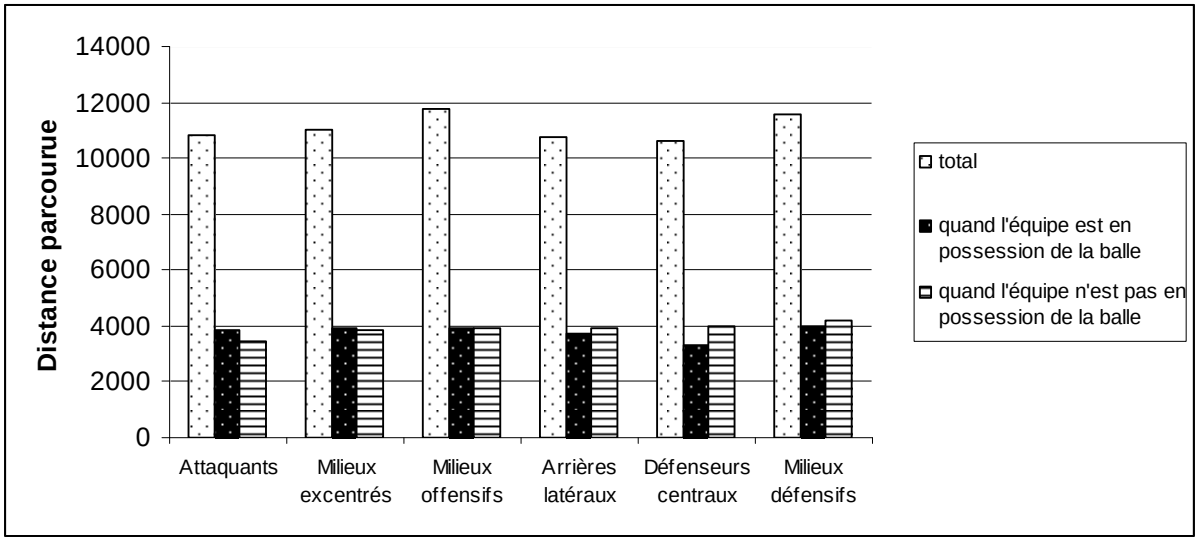


Figure 4. Distance totale parcourue, en possession et en non-possession de la balle dans le championnat anglais selon les postes, données Amisco.

L'analyse qualitative physique de la distance totale parcourue en sprints (≥ 24 km/h) illustre que les attaquants effectuent la plus grande distance en sprints (278±78 m) tandis que les défenseurs centraux effectuent la moins grande distance (208±69 m). La distance en sprint effectuée par les attaquants correspond à 2.6% de leur distance totale parcourue contre 1,8% pour les défenseurs centraux. Quand l'équipe a la balle, les valeurs sont identiques. Cependant, les attaquants effectuent 3 fois plus de distance en sprints qu'un défenseur central et de 15 à 61 m de plus que les autres joueurs (Figure 5 et Tableau 4). Quand l'équipe n'a pas la balle, les chiffres s'inversent, c'est-à-dire que ce sont les défenseurs axiaux qui effectuent la plus grande distance en sprints (137±47 m) tandis que les attaquants en font moins.

Concernant la distance totale parcourue en course haute intensité (21-24 km/h), ce sont les milieux défensifs et les milieux offensifs qui effectuent la distance la plus grande (319±68 m et 334±61 m) ce qui correspondrait plus à leurs intensités d'activité. Les attaquants effectuent 68% de leurs distances totales en course haute intensité quand l'équipe est en possession de la balle.

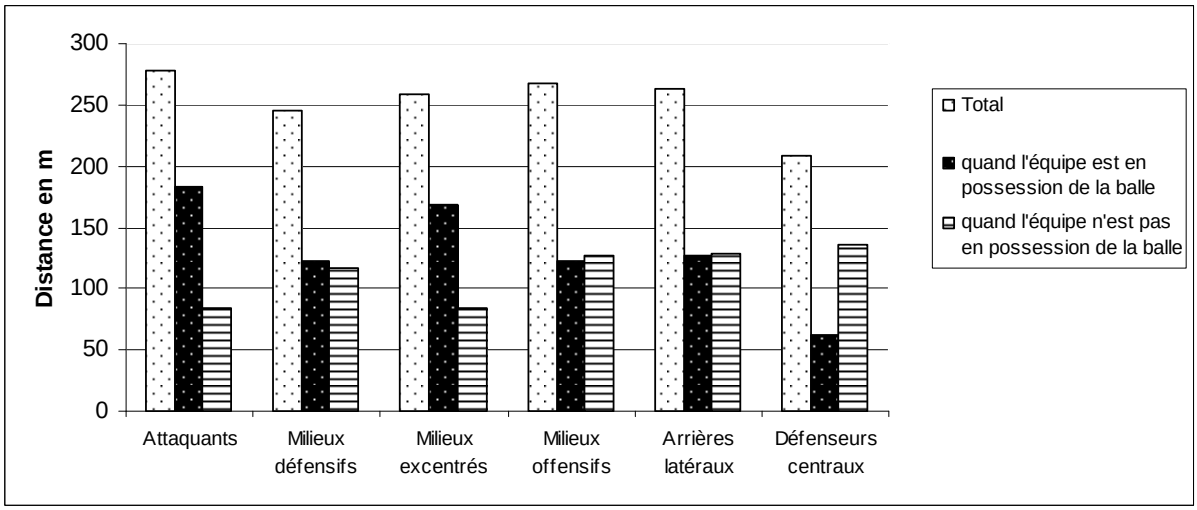


Figure 5. Distance totale parcourue en sprints (≥ 24 km/h), en possession et en non-possession de la balle dans le championnat anglais selon les postes, données Amisco.

Tableau 4. Pourcentage de la distance totale parcourue en sprint et en course haute intensité (21-24 km/h), en possession et en non-possession de la balle dans le championnat anglais selon les postes, données Amisco.

	% de la distance sprint / distance totale parcourue	*% de la distance en courses haute intensité / distance totale parcourue*
Attaquants	2,6	2,8
Milieux défensifs	2,2	2,9
Milieux excentrés	2,2	2,5
Milieux offensifs	2,5	3,1
Arrières latéraux	2,5	2,5
Défenseurs centraux	1,8	2,1

L'analyse qualitative physico-technique montre que les défenseurs sont ceux qui gagnent le plus de duels au sol, ils gagnent plus de 55% de leurs duels au sol (Tableau 4) tandis que les attaquants en perdent le plus (46.61% de duels gagnés). Concernant les dribbles, les attaquants en réussissent le moins (50.87%). Les défenseurs gagnent également le plus de duels aériens (entre 59.41% et 61.89%) et de ce fait, les attaquants et les milieux offensifs axiaux en gagnent très peu, respectivement 34.98% et 39.21% (Tableau 5). Les milieux offensifs axiaux présentent un taux de réussite aux dribbles (60.21%) supérieur aux autres joueurs (excepté les défenseurs latéraux).

Tableau 5. Analyse des duels au sol et des duels aériens dans le championnat anglais selon les postes, données Amisco.

		Nombre de duels aériens			Nombre de duels au sol		
		total	***gagné***	***% duels aériens gagnés***	***total***	***% duels au sol gagnés***	***% dribbles réussis***
Attaquants	**n= 724**	18,52 ± 4,2	6,88 ± 2,1	34,98%	28,8 ± 4,8	46,61%	50,87%
Milieux défensifs	**n= 1356**	8,24 ± 1,9	3,96 ± 1,2	47,55%	30,16 ± 4,9	49,96%	57,31%
Milieux excentrés	**n= 50**	8,64 ± 2,1	4,44 ± 1,4	49,05%	27,2 ± 3,9	49,67%	51,30%
Milieux offensifs axiaux	**n= 76**	6,68 ±2,3	2,48 ± 1,1	39,21%	30,68 ± 4,9	50,74%	60,21%
Arrières latéraux	**n= 132**	10,68 ± 2,2	6,24 ± 1,6	59,41%	24,20 ± 3,6	55,42%	61,96%
Défenseurs centraux	**n= 1704**	14,88 ± 2,8	9,36 ± 2,1	61,89%	19,84 ± 3,5	55,84%	59,07%

Les joueurs réussissent entre 70.12% et 80.58% de leurs passes (Tableau 6). Les attaquants et les défenseurs centraux ont les valeurs les plus basses (70.12% et 74.67%). De manière plus précise concernant les passes, les arrières latéraux effectuent plus de 30% de passes vers l'avant de plus que leurs partenaires et 160% de plus des attaquants.

Le nombre de possessions de balle se situe entre 43.0±7.6 possessions pour les attaquants et 58.9±8.9 possessions pour les arrières latéraux (Tableau 6). Les attaquants et les défenseurs centraux ont des valeurs de possessions en-dessous de 29.9% et 26.8% des possessions des arrières latéraux. Les attaquants sont les joueurs qui perdent le plus de balles, 3.7 ballons perdus sur 10 possessions, tandis que les défenseurs sont les joueurs qui en perdent le moins, soit 2 ballons sur 10 possessions.

Le nombre de touches de balle moyen en possession (tdb) des défenseurs est inférieur à 1.84±0.79 tdb. De ce fait, ils présentent le temps de possession de balle totale (41.7±15.4 s) le plus faible, ce qui correspondait à des valeurs d'un peu plus de 1 seconde par possession. Au contraire, les milieux excentrés et offensifs ont un nombre moyen de 2.24 tdb et donc un temps de possession bien supérieur à celui des défenseurs. En effet, leurs temps de possession de balle moyen sont de 1.40 secondes. Enfin les attaquants ont un nombre de 2.01±0.55 tdb ce qui témoigne du fait qu'un attaquant marque la majorité de ses buts en 1tdb, et donc il frappera en 1 tdb.

Tableau 6. Analyse technique des joueurs dans le championnat anglais selon les postes, données Amisco.

		% passes réussies	Nombre de passes vers l'avant	Possession de la balle			Nombre de touches de balle moyen en possession
				nombre de possessions	*ratio perte possession / nombre de possessions*	*temps de possession de la balle en secondes*	
Attaquants	**n= 724**	70,12%	7,79 ± 3,05	43,04 ± 7,6	0,37 ± 0,13	54,19 ± 16,0	2,01 ± 0,55
Milieux défensifs	**n= 1356**	77,17%	14,52 ± 3,90	53,22 ± 9,5	0,26 ± 0,12	60,76 ± 16,2	2,01 ± 0,46
Milieux excentrés	**n= 50**	79,58%	14,46 ± 4,00	56,24 ± 8,9	0,27 ± 0,13	77,85 ± 22,4	2,24 ± 0,54
Milieux offensifs	**n= 76**	80,40%	13,06 ± 3,40	57,12 ± 8,3	0,26 ± 0,13	76,09 ± 18,4	2,24 ± 0,45
Arrières latéraux	**n= 132**	80,58%	20,30 ± 4,28	58,88 ± 8,9	0,20 ± 011	59,76 ± 13,8	1,84 ± 0,79
Défenseurs centraux	**n= 1704**	74,67%	15,16 ± 4,52	41,22 ± 10,1	0,27 ± 0,16	41,72 ± 15,4	1,74 ± 0,39

Tableau 3. Analyse quantitative et qualitative des distances parcourues dans le championnat anglais selon les postes, données Amisco.

		Distance parcourue en mètres			**Ratio des courses quand l'équipe est en possession de la balle / quand l'équipe n'est pas en possession de la balle**	**Distance parcourue en sprints en mètres (≥ 24 km/h)**			**Distance parcourue en course haute intensité en mètres (21-24 km/h)**			**Nombre de sprints**
		Total	***quand l'équipe est en possession de la balle***	***quand l'équipe n'est pas en possession de la balle***		***total***	***quand l'équipe est en possession de la balle***	***quand l'équipe n'est pas en possession de la balle***	***Total***	***quand l'équipe est en possession de la balle***	***quand l'équipe n'est pas en possession de la balle***	
Attaquants	**n= 724**	10802,76 ± 991,8	3864,02 ± 645,5	3433,58 ± 797,7	1,046	278,22 ± 78,0	183,00 ± 63,3	84,78 ± 37,7	299,82 ± 63,7	180,96 ± 47,2	101,44 ± 37,9	13,06 ± 3,4
Milieux défensifs	**n= 1356**	11555,56 ± 811,2	4002,64 ± 727,6	4194, 02 ± 763,1	1,055	245,83 ± 77,9	122,18 ± 59,9	116,44 ± 44,3	319,10 ± 67,7	143,02 ± 50,1	162,52 ± 41,9	11,52 ± 3,3
Milieux excentrés	**n= 50**	11040,84 ± 757,0	3950,03 ± 722,3	3845,81 ± 708,2	1,151	259,22 ± 84,9	169,04 ± 78,5	84,32 ±34,8	298,02 ± 62,4	152,70 ± 50,9	137,46 ± 40,7	11,60 ± 3,2
Milieux offensifs	**n= 76**	11779,46 ± 705,9	3912,28 ± 650,2	3895,90 ± 677,6	1,122	267,28 ± 64,2	122,68 ± 46,4	126,56 ± 40,1	334,04 ± 60,7	160,60 ± 45,4	160,80 ± 43,5	12,64 ±2,8
Arrières latéraux	**n= 132**	10775,28 ± 645,9	3716,06 ± 706,2	3914,98 ± 609,0	1,164	263,04 ± 69,9	127,12 ± 51,0	129,3 ± 41,5	270,12 ± 55,0	106,2 ± 38,4	149,92 ± 39,4	12,00 ± 2,9
Défenseurs centraux	**n= 1704**	10617,28 ± 857,9	3328,48 ± 668,6	4012,96 ± 622,2	1,006	208,48 ± 69,4	62,12 ± 44,4	136,66 ± 46,6	240,84 ± 63,9	67,50 ± 38,0	157,04 ± 40,6	8,60 ± 3,0

4.2.2. Analyse selon les postes occupés dans le championnat espagnol

L'analyse quantitative physique montre que les distances totales parcourues des défenseurs centraux et des arrières latéraux sont les plus petites, soit respectivement 10496±772 m et 10649±746 m (Figure 6 et Tableau 7). Tous les milieux de terrain arrivent à dépasser les 11000 m, avec la plus grande activité pour les milieux défensifs axiaux. Lorsque l'équipe n'est pas en possession de la balle, les joueurs à vocation offensive parcourent le moins de distance (3273±790 m pour les attaquants et 3586±979 m pour les milieux offensifs axiaux). Au contraire ce sont les joueurs à vocation défensive qui courent le plus (Figure 6 et Tableau 7) et notamment les milieux défensifs qui dépassent les 4000m parcourus. A l'inverse, les joueurs à vocation offensive effectuent la plus grande distance (de 3886m à 3957 m), ils parcourent plus de 494 m à 755 m (Figure 6 et Tableau 7) que les défenseurs.

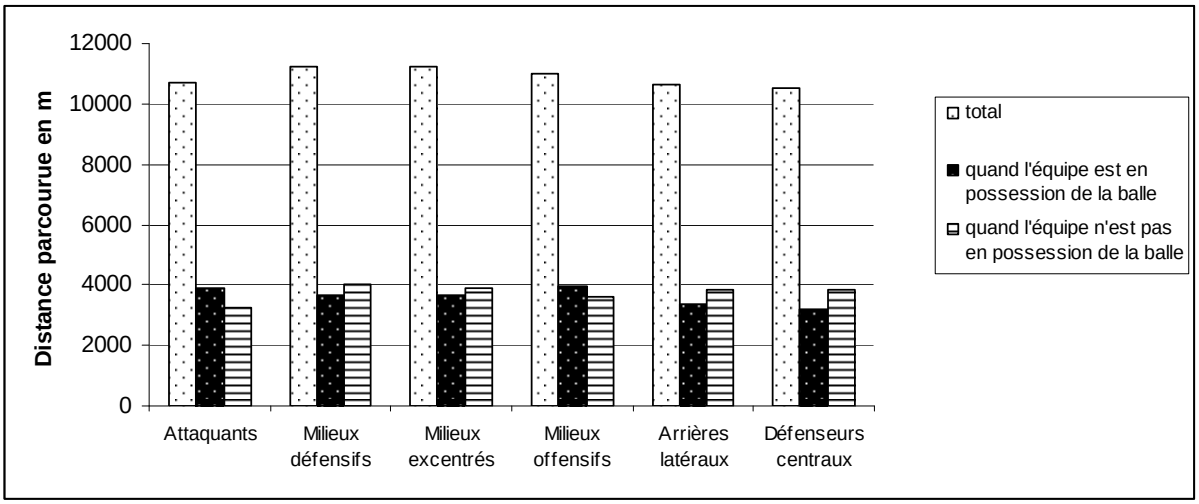


Figure 6. Distance totale parcourue, en possession et en non-possession de la balle dans le championnat espagnol selon les postes, données Amisco.

L'analyse qualitative physique de la distance totale parcourue en sprints (≥ 24 km/h) montre que les attaquants effectuent la plus grande distance en sprints (260.0±72.6 m) tandis que les défenseurs centraux effectuent la moins grande distance (193.6±64.6 m), soit une différence de 67 m. La distance en sprint effectuée par les attaquants représente 2.43% de leur distance totale parcourue (Tableau 8) alors que chez les défenseurs centraux et les milieux défensifs ces valeurs sont de 1.81% à 1.84%. Les attaquants effectuent exactement 4 fois plus de distance en sprints qu'un défenseur central et de 43 m à 88 m de plus que les autres joueurs (Figure 7 et Tableau 7). Quand l'équipe n'a pas la balle, les chiffres s'inversent, c'est-à-dire que ce sont les défenseurs qui effectuent la plus grande distance en sprints tandis que les attaquants en font 2 fois moins.

Concernant la distance totale parcourue en course à haute intensité (21-24 km/h) ce sont les milieux excentrés qui effectuent la distance la plus grande (310±67 m). Quand l'équipe a la balle ce sont les défenseurs centraux qui ont une activité moindre. Ils effectuent 51±29 m à cette allure soit plus de 3 fois moins que les attaquants et de 42 à 121 m de moins que les autres joueurs (Tableau 7). Les attaquants parcourent le plus de distance à cette allure quand l'équipe a la balle (178±22 m).

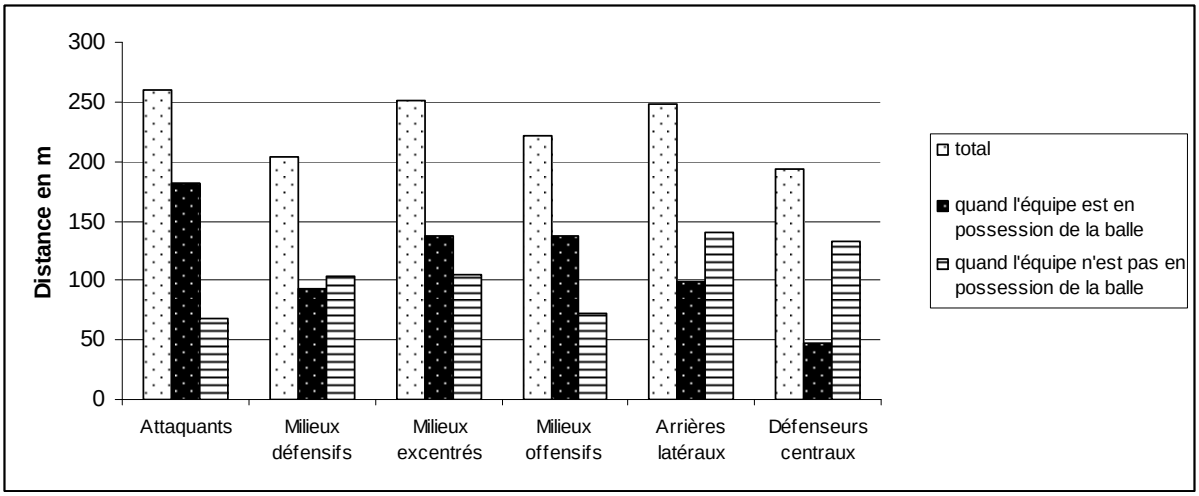


Figure 7. Distance totale parcourue en sprints (≥ 24 km/h), en possession et en non-possession de la balle dans le championnat espagnol selon les postes, données Amisco.

Tableau 8. Pourcentage de la distance totale parcourue en sprint et en course haute intensité (21-24 km/h), en possession et en non-possession de la balle dans le championnat espagnol selon les postes, données Amisco.

	% de la distance sprint / distance totale parcourue	*% de la distance en courses haute intensité / distance totale parcourue*
Attaquants	2,43	2,69
Milieux défensifs	1,81	2,49
Milieux excentrés	2,23	2,76
Milieux offensifs	2,02	2,53
Arrières latéraux	2,34	2,67
Défenseurs centraux	1,84	2,15

L'analyse qualitative physico-technique permet de dire que les défenseurs gagnent le plus de duels au sol, ils en gagnent plus de 55% (Tableau 9) tandis que les attaquants en gagnent le moins (47.70%). Les défenseurs gagnent également le plus de duels aériens (entre 59.44% et 61.48%) et de ce fait les attaquants et les milieux offensifs axiaux en gagnent très peu, respectivement 39.38% et 40.19% (Tableau 9). Concernant les dribbles, les attaquants en réussissent le moins (51.03%) alors que les milieux excentrés présentent un taux de réussite aux dribbles (61.89%) supérieurs à celui des autres joueurs (excepté les défenseurs centraux).

Tableau 9. Analyse des duels au sol et des duels aériens dans le championnat espagnol selon les postes, données Amisco.

		Nombre de duels aériens			Nombre de duels au sol		
		total	***gagnés***	***% duels aériens gagnés***	***total***	***% duels au sol gagnés***	***% dribbles réussis***
Attaquants	**N= 262**	6,28 ± 3,0	2,70 ± 1,8	39,38%	12,40 ± 4,2	47,70%	51,03%
Milieux défensifs	**N= 616**	4,10 ± 1,95	2,04 ± 1,2	48,99%	11,04 ± 4,1	50,13%	55,50%
Milieux excentrés	**N= 100**	2,74 ± 1,6	1,24 ± 0,9	46,46%	8,94 ± 3,5	49,66%	61,89%
Milieux offensifs axiaux	**n= 82**	2,54 ± 1,3	1,02 ± 0,8	40,19%	12,66 ± 4,3	50,75%	52,92%
Arrières latéraux	**N= 212**	3,28 ± 1,6	2,02 ± 1,2	61,48%	6,86 ± 2,9	54,20%	53,10%
Défenseurs centraux	**N= 624**	4,60 ± 1,9	2,80 ± 1,4	59,44%	7,24 ± 2,9	56,04%	67,46%

L'ensemble des joueurs réussit entre 73.56% et 79.11% de leurs passes (Tableau 10). Les attaquants ont la valeur la plus basse (73.56%). Les milieux excentrés ont également un taux de passes réussies plus bas que les autres joueurs (76.60%). Les arrières latéraux effectuent plus de passes vers l'avant que leurs autres partenaires (18.28±4.93).

Le nombre de possessions de balle se situe entre 41.5±7.2 possessions pour les attaquants et 61.0±9.2 possessions pour les arrières latéraux (Tableau 10). Les attaquants et les défenseurs centraux ont des valeurs de possessions en-dessous de 32% et 29% des possessions des milieux offensifs axiaux. De plus, ces attaquants qui ont un nombre de possessions limité, présentent le plus haut taux de perte de balle soit 3.6 ballons perdus sur 10 possessions. Au contraire, les joueurs à vocation défensive sont les joueurs qui prennent le moins de risques quand ils reçoivent la balle, ils ont une perte de 2.6 à 2.8 ballons sur 10 possessions tandis que les milieux perdent entre 2.7 et 3 ballons sur 10 possessions.

Les défenseurs ont un nombre de touches de balle moyen de 1.76 tdb, leur jeu est simple, fait de relances en 1 ou 2 touches de balle. Leur temps de possession totale durant un match est de 43 secondes, soit le plus faible. Pour comparaison, les milieux offensifs ont un temps de possession de balle totale presque 2 fois plus important que les défenseurs centraux. Ces milieux offensifs espagnols, présentent un temps de possession de balle très important comparativement à leurs partenaires, c'est-à-dire qu'ils conservent la balle plus longtemps, soit entre 16.81 et 40.15 secondes de plus que leurs partenaires. Comme dans le championnat anglais, ce sont les attaquants et les milieux offensifs qui ont le plus grand nombre de touches de balle (respectivement 2.32 et 2.26 tdb) car ils dribblent beaucoup et ils doivent garder la balle.

Tableau 10. Analyse technique des joueurs dans le championnat espagnol selon les postes, données Amisco.

		% de passes réussies	Nombre de passes vers l'avant	Possession de la balle			Nombre de touches de balle moyen en possession
				nombre de possessions	*ratio perte possessions / nombre de possessions*	*temps de possession de la balle en secondes*	
Attaquants	**N= 262**	73,56%	6,52 ± 2,60	41,50 ± 7,2	0,36 ± 0,13	55,87 ± 16,3	2,32
Milieux défensifs	**N= 616**	78,05%	14,13 ± 4,14	53,60 ± 9,8	0,27 ± 0,13	63,61 ± 17,9	2,03
Milieux excentrés	**N= 100**	76,60%	14,44 ± 4,34	55,30 ± 9,7	0,30 ± 0,13	67,23 ± 18,0	2,03
Milieux offensifs	**N= 82**	77,62%	13,42 ± 3,99	60,96 ± 9,2	0,30 ± 0,13	84,04 ± 17,4	2,26
Arrières latéraux	**N= 212**	79,11%	18,28 ± 4,93	54,38 ± 10,7	0,26 ±0,13	54,4 ± 15,6	1,79
Défenseurs centraux	**N= 624**	77,40%	15,32 ± 4,49	43,40 ± 9,7	0,28 ± 0,15	43,89 ± 14,2	1,76

Tableau 7. Analyse quantitative et qualitative des distances parcourues dans le championnat espagnol selon les postes, données Amisco.

		Distance parcourue en mètres			**Ratio des course quand l'équipe est en possession de la balle / quand l'équipe n'est pas en possession de la balle**	**Distance parcourue en sprints en mètres (≥ 24 km/h)**			**Distance parcourue en course haute intensité en mètres (21-24 km/h)**			**Nombre de sprints**
		total	***quand l'équipe est en possession de la balle***	***quand l'équipe n'est pas en possession de la balle***		***total***	***quand l'équipe est en possession de la balle***	***quand l'équipe n'est pas en possession de la balle***	***total***	***quand l'équipe est en possession de la balle***	***quand l'équipe n'est pas en possession de la balle***	
Attaquants	**n= 262**	10717,66 ± 901,4	3886,18 ± 607,8	3273,74 ± 790,4	1,08	260,04 ± 72,6	181,06 ± 57,4	68,06 ± 30,2	288,64 ± 56,1	178,22 ± 40,0	93,01 ± 32,2	11,98 ± 3,1
Milieux défensifs	**n= 616**	11247,26 ± 913,8	3665,24 ± 700,2	4041,62 ± 788,1	1,05	203,34 ± 76,4	93,32 ± 58,7	103,28 ± 41,5	279,61 ± 66,2	106,32 ± 46,4	157,44 ± 46,1	9,50 ± 3,3
Milieux excentrés	**n= 100**	11240,84 ± 761,8	3642,96 ± 546,2	3894,44 ± 710,6	1,05	250,8 ± 71,5	137,48 ± 51,5	105,14 ± 41,9	310,62 ± 67,0	143,54 ± 48,2	152,70 ± 42,6	11,70 ± 3,0
Milieux offensifs	**n= 82**	11004,84 ± 1164,2	3957,24 ± 626,2	3586,74 ± 978,6	1,12	222,24 ± 66,5	138,06 ± 52,0	71,88 ± 35,0	278,04 ± 61,0	170,76 ± 52,7	94,24 ± 37,3	10,60 ± 2,9
Arrières latéraux	**n= 212**	10649,74 ± 786,2	3390,52 ± 669,4	3836,08 ± 594,8	1,03	248,86 ± 77,4	99,32 ± 49,5	140,71 ± 50,7	284,80 ± 54,7	92,96 ± 35,1	175,02 ± 40,0	11,04 ± 3,1
Défenseurs centraux	**n= 624**	10496,12 ± 772,0	3202,90 ± 626,8	3816,32 ± 561,4	1,08	193,64 ± 64,6	47,02 ± 39,4	133,38 ± 44,1	226,10 ± 53,8	51,28 ± 29,8	144,14 ± 37,8	8,80 ± 2,7

4.2.3. Analyse selon les postes occupés dans le championnat allemand

L'analyse quantitative physique a permis de montrer que la distance totale parcourue varie entre 10168±1052 m et 11540±479 m (Figure 8). Quand l'équipe n'est pas en possession du ballon, nous remarquons que ce sont les milieux offensifs qui parcourent le plus de distance (4112±915 m), les attaquants en parcourant le moins (3482±848 m). Quand l'équipe est en possession du ballon, ce sont les milieux offensifs qui parcourent le plus de distance (4073±601 m) au contraire des défenseurs centraux qui en parcourent le moins (3117±711 m).

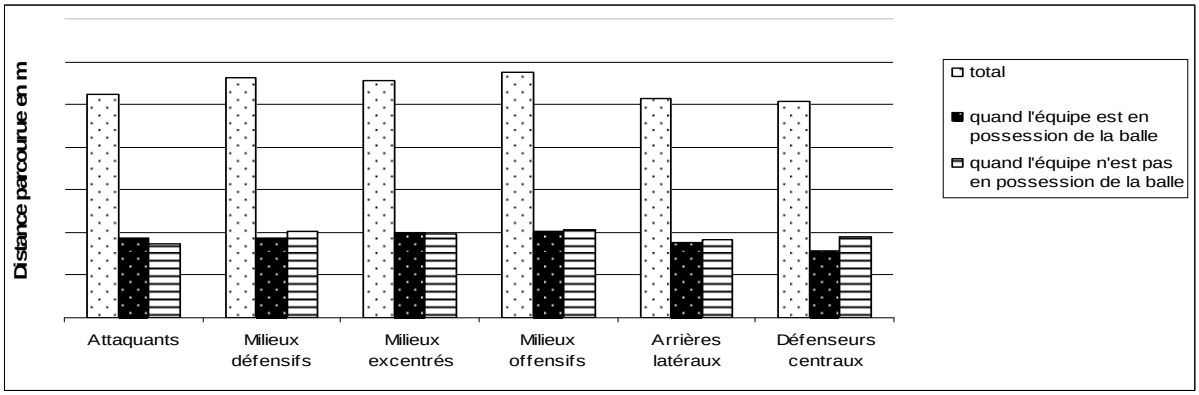


Figure 8. Distance totale parcourue, en possession et en non-possession de la balle dans le championnat allemand selon les postes, données Amisco.

L'analyse qualitative physique relève que les milieux offensifs, les milieux excentrés puis les attaquants sont les joueurs qui parcourent le plus de distance en sprint (Figure 9). Le nombre de sprints varie de 8.04 à 15 sprints par match. De la même façon, en course haute intensité (21-24 km/h), ce sont les milieux excentrés « de couloir » qui font le plus de courses et ceci quelle que soit la situation (défensive ou offensive). Quand l'équipe a le ballon, les joueurs offensifs, quels qu'ils soient, sont ceux qui font le plus de courses hautes intensités au contraire des défenseurs centraux qui en font très peu (55±33 m).

Nous remarquons que le pourcentage de sprints par rapport à la distance totale est maximal chez les arrières latéraux (2.87%), alors qu'il est faible chez le milieu défensif axial et les défenseurs centraux (1.93% et 1.60%). Le pourcentage de courses à haute intensité par rapport à la distance totale est à l'avantage du milieu offensif soit 3.24% de la distance totale (Tableau 11).

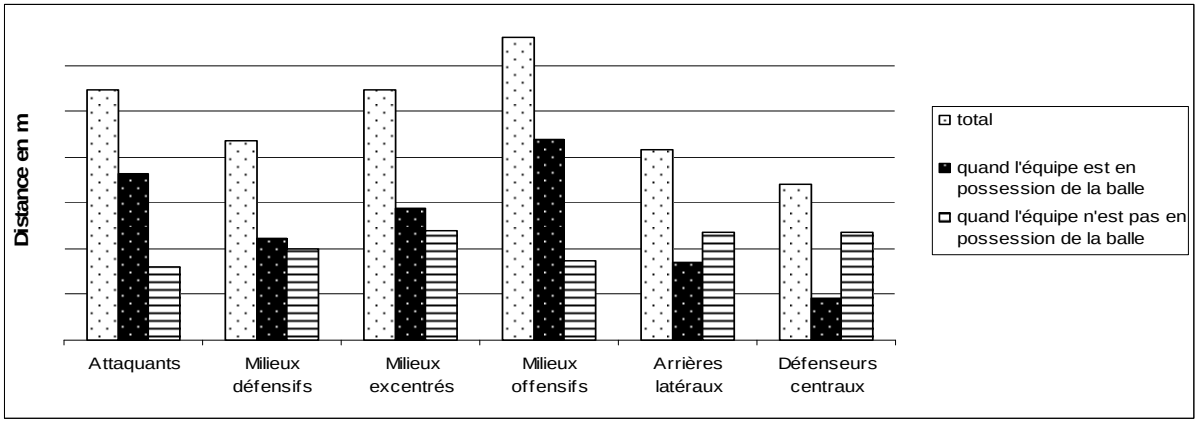


Figure 9. Distance totale parcourue en sprints (≥ 24 km/h), en possession et en non-possession de la balle dans le championnat allemand selon les postes, données Amisco.

Tableau 11. Pourcentage de la distance totale parcourue en sprint et en course haute intensité (21-24 km/h), en possession et en non-possession de la balle dans le championnat allemand selon les postes, données Amisco.

	% de la distance en sprint / distance totale parcourue	*% de la distance en courses haute intensité / distance totale parcourue*
Attaquants	2,60	2,80
Milieux défensifs	1,93	2,65
Milieux excentrés	2,46	3,24
Milieux offensifs	2,87	2,75
Arrières latéraux	2,02	2,56
Défenseurs centraux	1,67	2,19

L'analyse qualitative physico-technique illustre que les arrières centraux et les défenseurs latéraux sont les joueurs qui gagnent le plus de duels au sol respectivement 56% et 57%, alors que les attaquants en gagnent seulement 45% (Figure 10 et 11). De façon identique, les défenseurs axiaux sont ceux qui gagnent le plus de duels aériens, 62% (Figure 10 et 11).

Concernant les passes, les joueurs allemands réussissent plus de 72 % de leurs passes (entre 72% pour les attaquants et 83% pour les milieux excentrés). La fourchette du nombre de possessions de balle est comprise entre 39.6 pour les défenseurs centraux et 57.70 pour les milieux offensifs (Figure 12). Les attaquants présentent un nombre de possessions de balle le plus faible (40.7±7.3) et le plus grand ratio perte / nombre de possessions. En effet, ils perdent 3.2 ballons sur 10 possessions. Nous remarquons également que les défenseurs latéraux réalisent le plus grand nombre de passes vers l'avant (21.4±4.9). Concernant le nombre de touches de balle moyen, les défenseurs centraux sont les joueurs qui effectuent le moins de touches de balle par possession (1.92) d'où un temps de possession total faible de l'ordre de 49.22 s par match (Figure 12 et 13). Au contraire, les milieux excentrés et les milieux offensifs font le plus de touches de balles (2.28 et 2.49) et conservent le plus la balle (respectivement 82.23 s et 78.71 s).

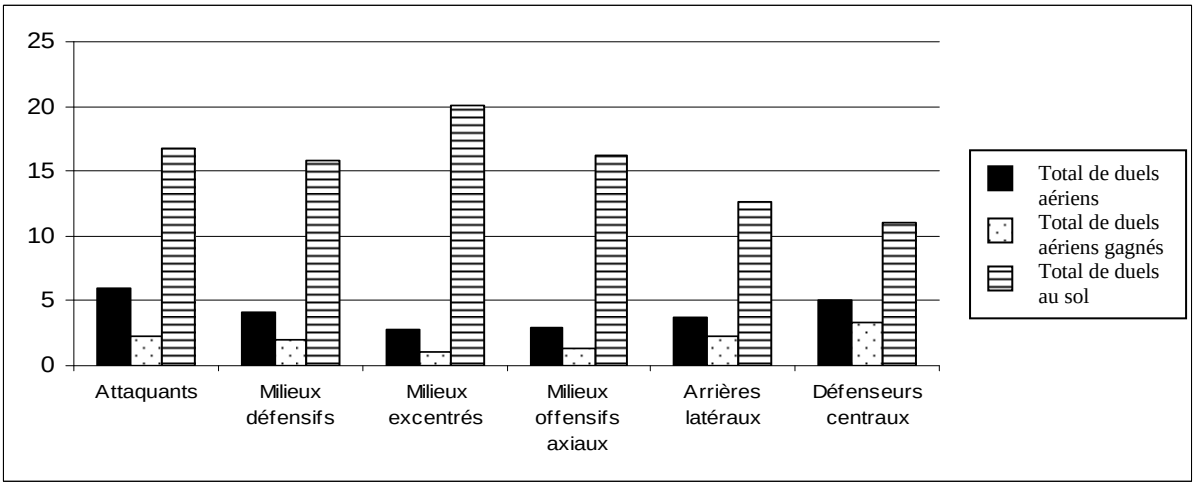


Figure 10. Analyse des duels aériens et au sol dans le championnat allemand selon les postes, données Amisco.

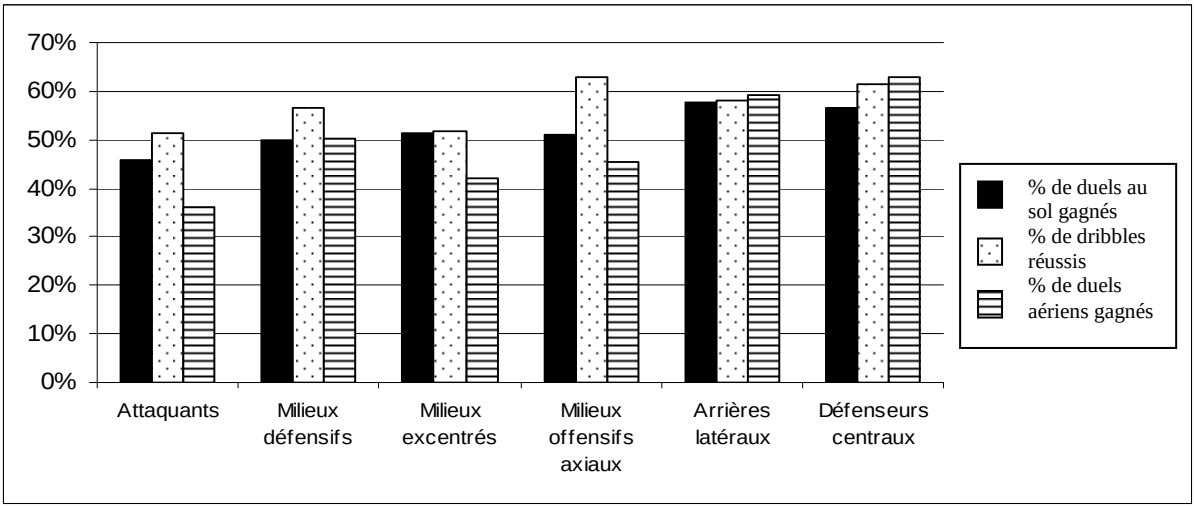


Figure 11. Analyse du pourcentage de réussite lors de duels aériens et au sol dans le championnat allemand selon les postes, données Amisco.

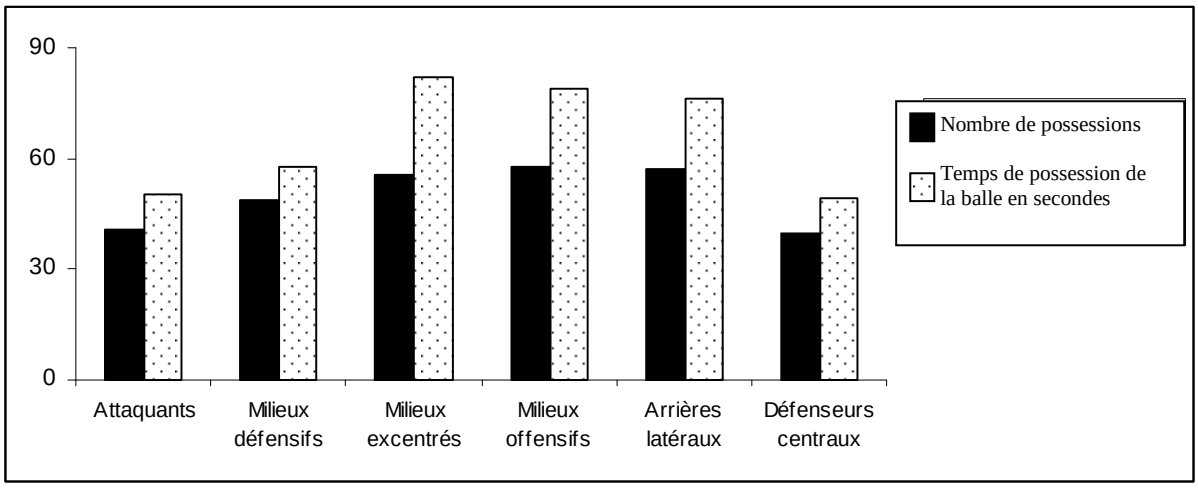


Figure 12. Analyse du nombre de possessions et du temps de possession dans le championnat allemand selon les postes, données Amisco.

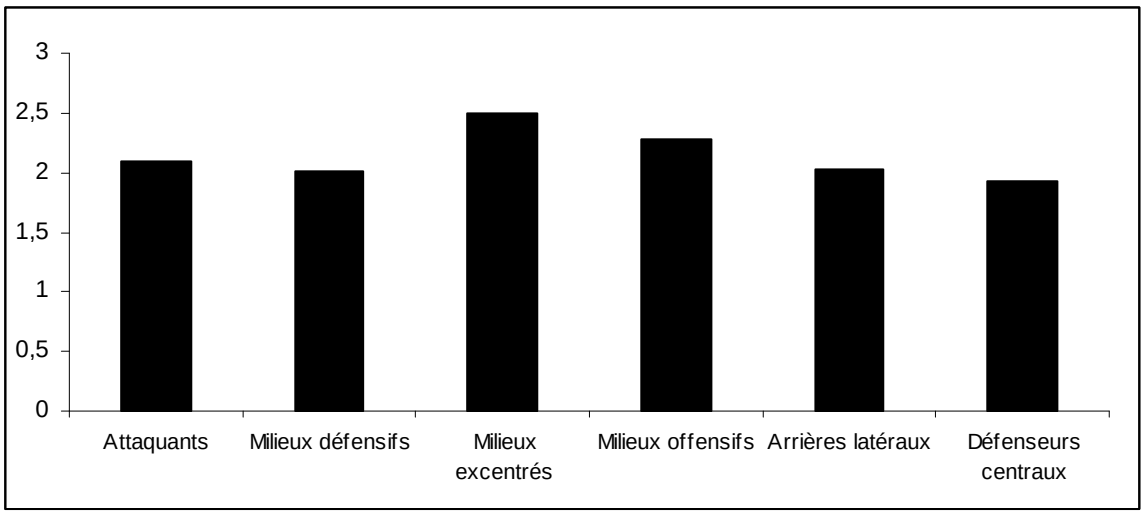


Figure 13. Analyse du nombre de touches de balle moyen dans le championnat allemand selon les postes, données Amisco.

4.2.4 Analyse selon les postes occupés dans le championnat français

L'analyse quantitative physique présente que la distance totale parcourue varie entre 10425±808 m et 12029±979 m (Figure 14). Nous notons que le volume de jeu des milieux de terrain est très important, le joueur fait plus de 110000 m et il peut même atteindre 12000 m. Quand l'équipe n'est pas en possession du ballon, nous remarquons que ce sont les milieux et surtout les excentrés qui parcourent le plus de distance (4302±744 m) au contraire des attaquants qui en font le moins (3565±762 m). Quand l'équipe est en possession du ballon, ce sont les milieux excentrés et offensifs qui parcourent le plus de distance (4398±673 m et 4121±779 m) au contraire des défenseurs centraux qui en parcourent le moins (3342±671 m).

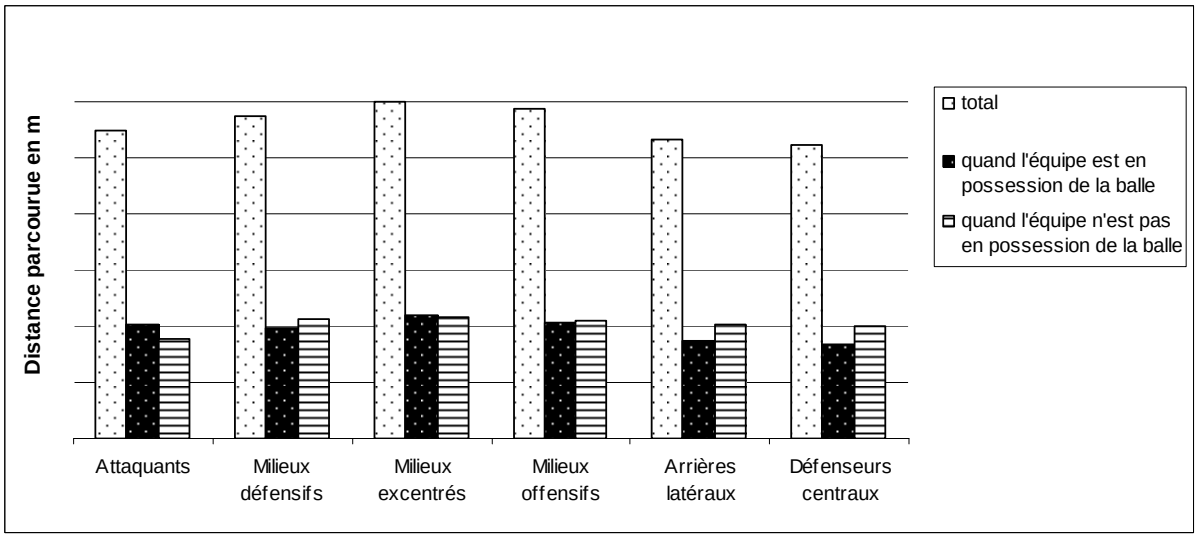


Figure 14. Distance totale parcourue, en possession et en non-possession de la balle dans le championnat français selon les postes, données Amisco.

L'analyse qualitative physique de la distance totale parcourue en sprints (≥ 24 km/h) illustre que les attaquants, les milieux excentrés et les arrières latéraux sont les joueurs qui parcourent le plus de distance en sprint (Figure 15). Ils parcourent entre 235.41 m et 290.38 m. Le nombre de sprints varie de 9.14 à 13.34 sprints par match. En animation offensive, les attaquants réalisent notamment 4 fois plus de distance en sprints que les défenseurs. Nous remarquons que le pourcentage de sprints par rapport à la distance totale est maximal chez les arrières latéraux et les attaquants (2.26% et 2.65%) alors qu'il est faible chez les milieux défensifs axiaux (1.92%).

L'analyse de la distance totale parcourue en course haute intensité (21-24 km/h) confirme que les milieux excentrés « de couloir » et les milieux offensifs font le plus de courses de haute intensité (respectivement 334±62 m et 335±64 m). Quand l'équipe n'a pas le ballon, les milieux excentrés sont ceux qui font le plus de courses de haute intensité (Figure 16). Par contre, quand l'équipe a le ballon, les joueurs offensifs, quels qu'ils soient, sont ceux qui font le plus de courses de haute intensité au contraire des défenseurs centraux qui en font très peu (57±34 m). Le pourcentage de courses de haute intensité/ distance totale est à l'avantage du milieu offensif soit 2.85% de la distance totale (Tableau 12).

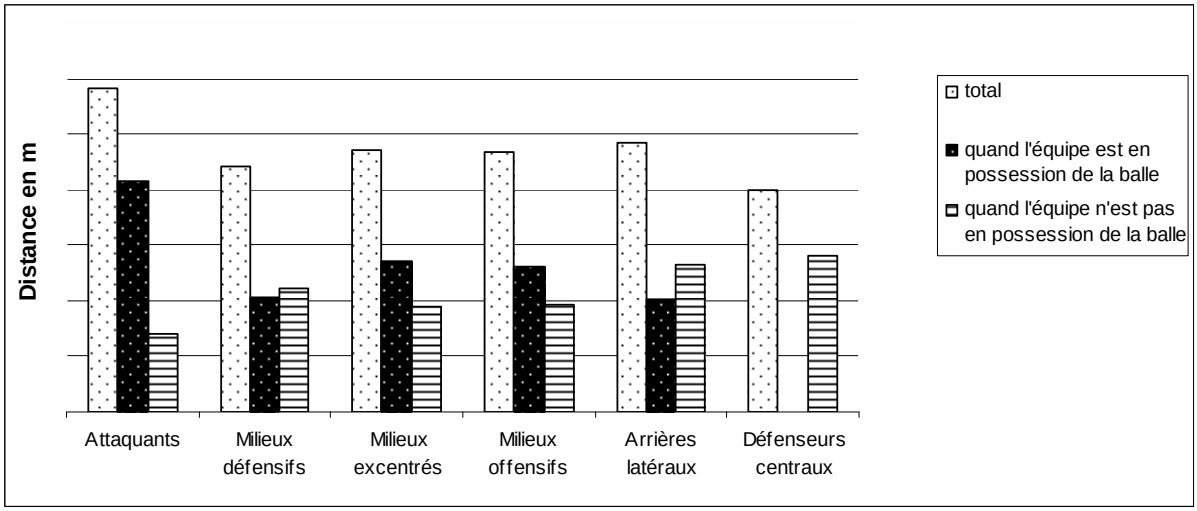


Figure 15. Distance totale parcourue en sprints (≥ 24 km/h), en possession et en non-possession de la balle dans le championnat français selon les postes, données Amisco.

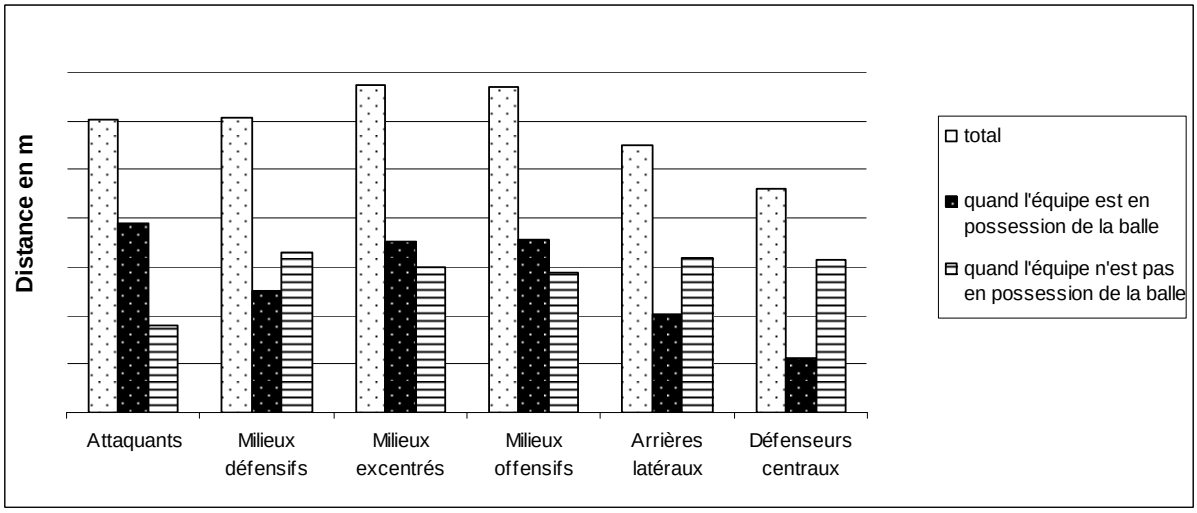


Figure 16. Distance totale parcourue en course haute intensité (21-24 km/h), en possession et en non-possession de la balle dans le championnat français selon les postes, données Amisco.

Tableau 12. Pourcentage de la distance totale parcourue en sprint et en course haute intensité (21-24 km/h), en possession et en non-possession de la balle dans le championnat français selon les postes, données Amisco.

	% de la distance sprint / distance totale parcourue	*% de la distance en courses haute intensité / distance totale parcourue*
Attaquants	2,65	2,74
Milieux défensifs	1,92	2,63
Milieux excentrés	1,96	2,79
Milieux offensifs	2,00	2,85
Arrières latéraux	2,26	2,57
Défenseurs centraux	1,91	2,21

L'analyse qualitative physico-technique confirme que les défenseurs centraux et latéraux sont les joueurs qui gagnent le plus de duels au sol (respectivement 56% et 57.3%), alors que les attaquants en gagnent seulement 46.19% (Figure 17 et 18). Les résultats sont identiques concernant les duels aériens : les défenseurs axiaux sont ceux qui en gagnent le plus, soit 62%.

Les joueurs français réussissent plus de 70% de leurs passes, entre 70% pour les attaquants et 78.37% pour les milieux défensifs et les défenseurs. Les arrières latéraux et les milieux défensifs axiaux sont les joueurs qui font le plus de passes vers l'avant, respectivement 21.68±5.02 et 16.16±4.26.

La fourchette du nombre de possessions de balle est comprise entre 38.4±9.2 pour les défenseurs centraux et 56.5±8.7 pour les milieux offensifs (Figure 19). Les attaquants présentent avec les défenseurs centraux, les temps de possessions de balle les plus faibles (55.5±13.8 s pour les attaquants contre 44.6±14.7 s pour les défenseurs centraux). Les attaquants présentent le plus grand ratio perte par rapport au nombre de possessions, ils perdent 3.4 ballons sur 10 possessions. De même, les défenseurs centraux sont les joueurs qui effectuent le moins de touches de balle par possession (1.87 tdb) d'où un temps de possession total faible de l'ordre de 44.6±14.7 s par match (Figure 20). Le poste exige de jouer rapidement pour mettre du rythme et créer des décalages (contrôle-passe le plus souvent), au contraire des milieux excentrés et des milieux offensifs qui font plus de touches de balles (2.21 et 2.23 tdb) et qui conservent le plus la balle (respectivement 73.6±15.8 s et 74.25±190 s).

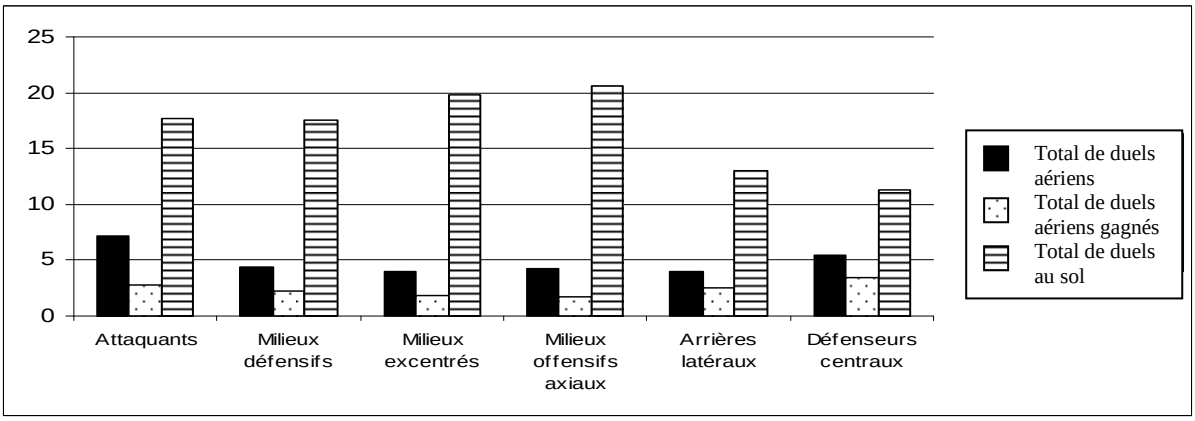


Figure 17. Analyse des duels aériens et au sol dans le championnat français selon les postes, données Amisco.

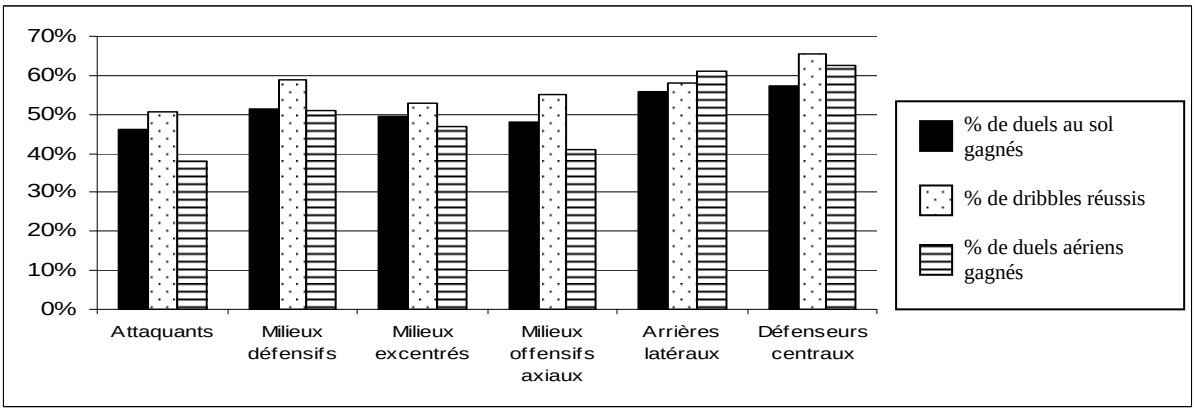


Figure 18. Analyse du pourcentage de réussite lors de duels aériens et au sol dans le championnat français selon les postes, données Amisco.

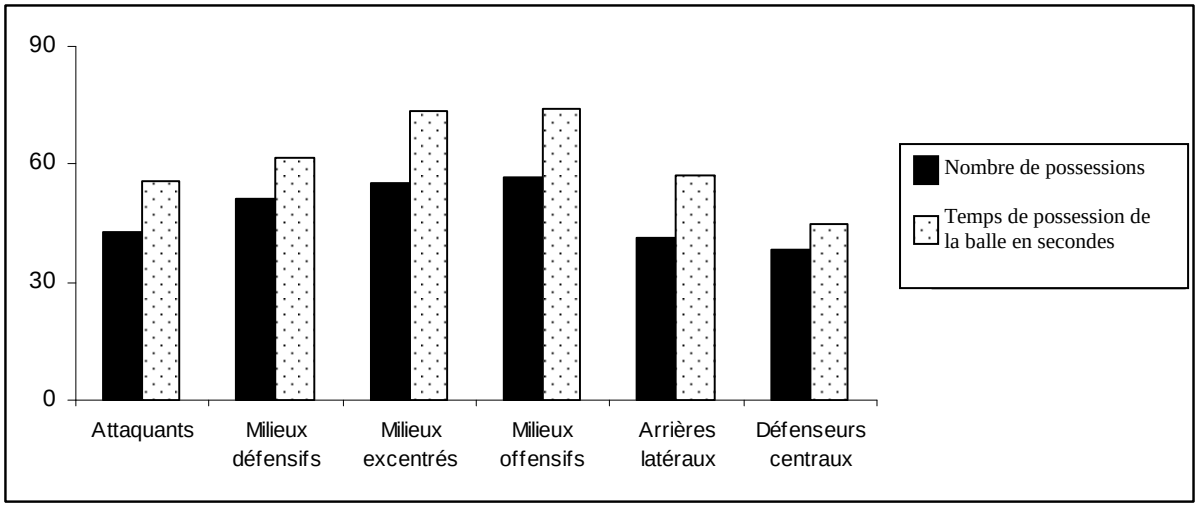


Figure 19. Analyse du nombre de possessions et du temps de possession dans le championnat français selon les postes, données Amisco.

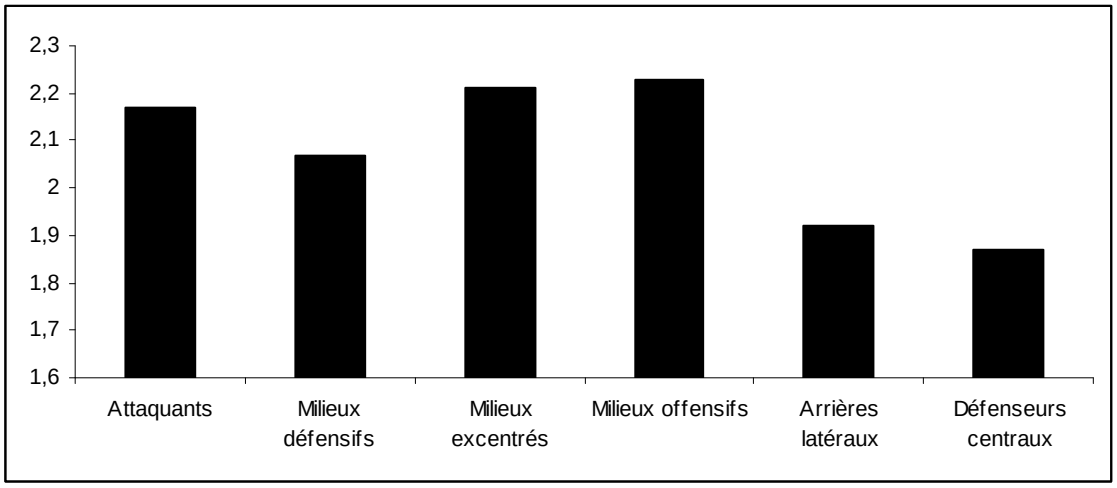


Figure 20. Analyse du nombre de touches balle moyen dans le championnat français selon les postes, données Amisco.

5. DISCUSSION

L'ensemble de ces analyses ont permis d'identifier précisément l'activité inhérente à un poste bien précis quel que soit le championnat. Ces données vont permettre d'orienter l'entraînement spécifique selon les postes. Par exemple, les attaquants effectueront plus de travail de sprint notamment dans l'objectif de leur permettre de pouvoir répéter des sprints sans diminution importante de leur performance (Mendez-Villanueva et al, 2008).

L'analyse de l'activité durant ces 11240 mi-temps de joueurs issus des championnats français, allemand, espagnol et anglais a permis de déduire ou de réaffirmer des orientations spécifiques à adopter collectivement ou individuellement (selon les postes) à l'entraînement.

Sur un plan quantitatif, les joueurs doivent travailler et optimiser leurs capacités aérobies (Bangsbo et al, 2001) quels que soient leurs postes afin d'exprimer au mieux leurs qualités footballistiques (notamment les milieux de terrain, les défenseurs centraux et les joueurs excentrés). Sur un plan qualitatif, les joueurs doivent effectuer un travail à des allures d'intensité maximale et de hautes intensités car elles représentent 4 à 5% de la distance totale

parcourue. Ces données corroborent celles de Rampinini et al (2007a). Ce sont souvent ces facteurs d'explosivité qui permettent de caractériser le haut niveau (Carminati et Di Salvo, 2003). Plus précisément, le facteur physique principal du football moderne réside dans la capacité des joueurs à répéter des sprints courts en ayant une baisse de performance la moins grande possible au fil du match (Bangsbo et al, 2001). Des exercices intermittents courses de courtes durées tels que des 30-30, 20-20, 15-15, 10-10 ou 5-25 permettraient d'améliorer cette capacité (e.g. Bangsbo, 2007). Les exercices intermittents pourraient être individualisés selon les postes. Ainsi, nos résultats suggéreraient qu'un défenseur central puisse réaliser plus de 30-30 ou encore un attaquant effectuera plus de 10-10.

Nos résultats montrent que les charges de travail nécessiteraient d'être rapidement individualisées. Par exemple, un attaquant pourrait accomplir plus de 260 m de sprints aux entraînements avec des distances de 43 m maximum sur un ensemble de minimum 12 ou 13 sprints. Ils devront travailler leurs capacités à répéter des sprints avec une diminution de la performance la plus retardée possible. De même, ils devront effectuer un travail spécifique à des hautes intensités car elles représentent, avec les sprints, leurs allures déterminantes (Carminati et Di Salvo, 2003). Au contraire les défenseurs feront des sprints de distances maximales de 52 m et les milieux feront des sprints de 59 m. Les données sont propres aux joueurs. Pour illustration, la vitesse pourra être analysée au cours même de la séance afin d'en déduire le maintien de la performance de sprints. Il serait intéressant de noter à partir de quel moment ils baisseront leurs performances lors des répétitions de sprints. La capacité à répéter des sprints est une qualité indispensable au footballeur moderne (Mendez-Villanueva et al, 2008 et 2007). Elle orientera directement l'entraînement. Les vitesses maximales atteintes au cours d'un match devront être travaillées lors de l'entraînement comme le préconisait Bangsbo (2008).

De la même manière, la notion du football actuelle réside dans la vitesse de jeu et dans la capacité à gagner des duels (Lippi, 2007). Les défenseurs en gagnent plus de 55.75% au sol et plus de 60% aériens alors que les attaquants en perdent respectivement 38% et 46%. Les défenseurs pourraient entretenir leurs qualités de duels et les attaquants devront les améliorer. Toutefois, n'oublions pas que les joueurs sont positionnés selon leurs qualités. Ainsi, un défenseur central est reconnu pour remporter beaucoup de duels alors que les attaquants sont engagés essentiellement pour leur efficacité (en dehors des notions tactiques). De plus, ces notions de duels sont associées à des qualités de vitesse car elles sont indissociables. Nous devrons travailler en force-vitesse afin de préparer et d'optimiser les performances des joueurs en match (Mendez-Villanueva et al, 2008). Les équipes qui gagnent la majorité des matchs sont celles qui gagnent le plus de duels dans les couloirs (Jacquet et al, 2002) et donc le staff orientera l'entraînement des arrières latéraux et des milieux excentrés à base de jeux réduits, de duels et de force-vitesse afin de mieux les préparer tout en cultivant leurs caractères.

S'il améliore toutes ces qualités physiques (vitesse-endurance, force-vitesse et capacité aérobie), le joueur aura un état de fraîcheur qui lui permettra d'exprimer au mieux ses qualités techniques et tactiques (Dellal, 2008). Il se fatiguera moins vite et il sera plus lucide. Les milieux, quelles que soient leurs positions sur le terrain, doivent être à la fois rapides, forts, endurants et capables de répéter des sprints tout en évoluant et en orientant le jeu le plus propre tactiquement et techniquement possible.

Toutefois, nous voulons porter l'attention sur le fait que ces données sont des généralités et des tendances quantitatives et qualitatives du haut-niveau. Elles sont directement utilisables, mais une comparaison des championnats ne serait pas cohérente étant donné l'absence de l'homogénéité culturelle, du nombre de matchs joués, de l'heure des matchs, etc. En effet, les CV étaient trop importants pour l'ensemble des paramètres analysés (excepté la distance totale parcourue) ce qui exige plus de précisions.

Ce type d'analyse doit directement être confronté à des données technico-tactiques et de tactiques pures. L'idéal serait de disposer d'une analyse de l'activité de nos propres joueurs au moyen de systèmes tel que le propose Amisco afin d'orienter plus précisément l'entraînement aux postes selon les exigences tactiques et technico-tactiques du staff technique. La réalité est qu'il n'est pas toujours possible de disposer d'une telle technique. Cependant, les entraîneurs peuvent utiliser des données non quantitatives propres à des systèmes de jeu, des animations offensives et défensives et des organisations. Les données physiques seront croisées avec les données tactiques. Par exemple, les attaquants effectuent de 70 à 63.76% de leurs sprints lorsque leurs équipes sont en possession de la balle. Par conséquent, ils doivent se déplacer par rapport à leurs partenaires, leurs adversaires et à la balle. Ils ont besoins de faire des sprints de manière très spécifique selon les animations offensives afin de recevoir la balle dans de bonnes conditions.

L'analyse de ces différents championnats sera très utile pour la constitution de nos séances et l'individualisation des charges de travail selon les postes occupés. Toutefois, ces données doivent être complémentaires aux données tactiques et les plus individualisées possibles selon les organisations et les principes de jeux adoptés par le staff technique. Une base de données des différentes incidences physiologiques et physiques des différents systèmes de jeu existant en football serait très intéressante (Ferrario et al, 1999).

De plus, lors de toutes ces expérimentations, les analyses portaient sur des données issues de l'intégralité du match. Un des éléments clés réside dans le temps de jeu effectif, c'est à dire la durée du match hormis les arrêts de jeu. Les temps de jeu effectif n'étaient pas pris en compte. Or, ils influent directement sur l'impact physique. Plus le temps de jeu effectif est important, plus la sollicitation physique pourrait être soutenue. Nous dénotons une augmentation proportionnelle de la distance totale parcourue, du nombre de sprints et des courses hautes intensités effectuées en rapport avec le temps de jeu effectif. Cette durée variait entre 49 et 68 minutes au cours des dernières grandes compétitions internationales et au cours du championnat de France de Ligue 1 2006-2007 (DTN, 2000). De ce fait, nous devrions peut-être analyser l'activité des joueurs selon les temps de jeu effectif. Nous pourrions nous rendre compte que le pourcentage de distances réalisées en sprints et en course haute intensité serait plus important que les données rapportées dans la littérature actuelle (Mohr et al, 2003).

Finalement, il serait intéressant que certaines études complémentaires puissent analyser qualitativement et quantitativement l'activité du joueur en fonction du type du système, d'organisation et d'animation offensive et défensive jouées. L'exploitation de ces chiffres serait plus fine. De même, nous devrions nous orienter dans une analyse fine de l'activité physique durant le temps de jeu effectif tout en la définissant durant les arrêts de jeu.

6. CONCLUSION

Notre analyse de l'activité a permis de spécifier et orienter l'entraînement du footballeur en fonction de leurs positions sur le terrain. Toutefois, elles donnent uniquement des indications globales avec des CV élevé pour invidualiser les séances de travail selon les postes occupés en football. Nous disposons de tendances et non d'outil précis.

Les analyses de l'activité du footballeur devraient donc être effectuées sur un échantillon plus restreint ou sur sa propre équipe. Les entraîneurs ont besoin d'analyses réalisées selon des principes de jeu, des organisations et des animations bien précises afin d'affiner leurs approches de l'entraînement spécifiquement à l'équipe qu'ils ont en charge à un moment donné. Partant de ces constats, ils auront potentialisé leurs connaissances spécifiques aux exigences physiques, techniques et tactiques selon les postes et leur équipe en charge sans pour autant prendre conscience de l'activité des joueurs au cours des arrêts de jeu et pendant les temps de jeu effectifs. L'analyse de l'activité doit prendre un nouveau virage.

CHAPITRE III

EXPERIMENTATION N°2

L’impact physiologique des changements de direction lors d’un exercice intermittent en navette entraînerait une baisse de la performance physique comparativement à un exercice intermittent classique effectué en ligne.

EXPERIMENTATION 2. L'impact physiologique des changements de direction lors d'un exercice intermittent en navette entraînerait une baisse de la performance physique comparativement à un exercice intermittent classique effectué en ligne.

1. INTRODUCTION

Les exercices intermittents constitueraient une méthodologie de l'entraînement très proche de l'activité du joueur enregistrée au cours d'un match (Bansgbo, 2008). Ils servent à alterner des temps de travail et des temps de récupération actifs ou passifs afin d'optimiser la vitesse maximale aérobie (VMA) d'un athlète. Ce type d'exercice permet de travailler plus longtemps qu'un travail continu à une même intensité (e.g. Fox & Mathews, 1977), tout en limitant l'accumulation de lactate (Gaitanos et al, 1993), car une partie est métabolisée lors des temps de récupération (Balsom, 1995). Les qualités d'endurance, de vitesse et de coordination pourront être développées simultanément en fonction du choix des différentes caractéristiques de ces exercices intermittents tels que la densité de la charge, la nature de la récupération et le choix de la forme d'exercice (Dellal, 2008). Plus exactement, ces efforts agissent dans l'optimisation et le maintien du VO_2max (Billat et al, 2002 ; Dupont, 2003), dans le développement des enzymes oxydatives (Parolin et al, 1999). De même pour le développement du temps de réaction (Lemmink et Visscher, 2005) ces exercices sont utiles car ils ont une action sur la composante périphérique (Thompson et al, 1999). Ils permettent aussi une sollicitation mixte des filières énergétiques aérobie (Gaitanos et al, 1990) et anaérobie (Bangsbo, 2007).

Les incidences physiologiques lors d'un exercice intermittent en ligne (IL) de haute intensité sont connues ; en revanche, peu d'auteurs ont étudié des exercices intermittents effectués en navette (IN) avec des reprises d'appuis et des changements de direction à 180° (e.g. Bisciotti et al, 2000). La sollicitation périphérique musculaire ne devrait pas être négligée (Dellal et Grosgeorge, 2006). Cette étude a pour objectif de mettre en évidence l'impact physiologique des changements de direction grâce à une analyse comparative entre des IL et des IN course de haute intensité spécifiques au footballeur.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Sujets

Dix sujets entraînés et pratiquant une activité sportive collective (7 footballeurs et 3 handballeurs) en championat national amateur âgés de 23.8 ± 2.86 ans, pesant 75.5 ± 6.2 kg, mesurant 180 ± 7.1 cm et ayant une vVO_2max en ligne de 17.05 ± 0.76 km/h ont participé à cette étude suite d'un consentement éclairé (Tableau 1). Leurs vVO_2max ont été mesurées au moyen du Léger-Boucher (1980). Ils ont également été évalués sur deux autres tests : le « Yo-Yo intermittent recovery test (IRT)» de Bangsbo (1994a) et l'IFT 30-15 (Buchheit, 2008). Ces deux tests nous permettront de rendre compte de la capacité des athlètes à soutenir des exercices intermittents de hautes intensités et de leurs capacités à récupérer entre ces types d'efforts (Krustrup et al, 2003a ; Krustrup et al, 2003b).

Durant ces tests, nous avons mesuré la FC à l'aide de cardiofréquencemètres Polar S-810 (Polar Electro, Kempele, Finlande). La valeur atteinte à la fin du test « Léger-Boucher » constituait leur FC max. La FC de repos a été également enregistrée. Elle correspond à l'analyse de la FC minimale du joueur. Une différence notable de la FC de repos pourrait

indiquer un déséquilibre hormonal et un état de fatigue (Wilmore et Costill, 2006). Elle permet d'observer l'état physiologique, physique et psychologique dans lequel se trouve le footballeur à un moment donné. Elle a été effectuée dans des conditions standardisées : les joueurs couchés sur un tapis, les yeux fermés, dans un milieu calme, durant une période de 10 minutes (min), au même moment de la journée (12h00) sans qu'ils aient réalisé un exercice préalable. Au bout des 10 min la valeur minimale de FC relevée trois fois consécutivement constituait leurs FC de repos.

Enfin nous avons mesuré leurs explosivités par des Contre Mouvement Jump avec Bras (CMJB) et des Squat Jump (SJ) au moyen du tapis de Bosco.

Tableau 1. Caractéristiques des sujets.

SUJETS	AGE (années)	POIDS (kg)	TAILLE (cm)	VMA ligne	Yo-Yo IRT	VMA « NIB »	FC max	FC repos	FC réserve	SJ (cm)	CMJB (cm)
1	24	73	169	17,5	21:4 920m	17,2	199	58	141	42	55
2	23	80	183	17.1	20:3 560m	16.5	187	51	136	39	47
3	31	73	179	18,3	22:1 1120m	18,8	185	48	0	33	42
4	21	80	190	16,1	19:2 360m	15,9	195	62	133	35	44
5	25	77	181	18,1	21:3 880m	17.5	182	52	130	33	45
6	21	65	174	16,8	20:3 560m	16.5	205	52	153	39	46
7	24	74	178	17,1	20:3 560m	16,4	188	59	129	37	46
8	24	77	184	16,7	20:1 480m	16,3	192	63	129	38	48
9	23	87	190	16,4	20:4 600m	16.5	192	54	138	42	52
10	22	69	172	17,3	20:3 560m	16,8	185	68	117	43	51
MOYENNE	23,8	75,5	180	17,1	660m	16,9	191	56,7	120,6	38,1	47,6
ECART-TYPE	2,859	6,186	7,086	0,763	234,2m	1,031	7,118	6,343	43,393	3,635	3,978

2.2. Protocole

Les sujets ont accompli différents exercices intermittents à différentes intensités (Tableau 2) dans un ordre défini après randomisation manuelle. L'organisation temporelle était composée de 3 blocs randomisés. Le bloc 1 était constitué de l'application du test VMA Léger-Boucher 1 (1980) et d'entraînements intermittents en ligne sur 5 semaines. Le bloc 2 était un bloc de récupération sur 2 semaines. Le bloc 3 consistait en l'application du test VMA Léger-Boucher 2 (1980) et des exercices intermittents en navette sur 5 semaines. Ce deuxième test permettait d'observer si leurs niveaux de VMA n'avaient pas changé entre ces deux blocs.

L'application de ces exercices intermittents s'est toujours exécutée en fonction de la vVO_2max du Léger-Boucher 1 (1980). Les exercices ont toujours été séparés d'au moins deux jours afin de limiter la fatigue. Le bloc 2 permettait de limiter l'effet de l'accoutumance aux exercices intermittents (Dellal et Grosgeorge, 2006).

2.3. Les conditions de réalisation

Nous avons standardisé l'ensemble des conditions de pratique de ces exercices intermittents. Le lieu de pratique des intermittents en ligne était une piste cendrée. Nous avons volontairement choisi de ne pas utiliser une piste d'athlétisme ou un terrain synthétique qui présenteraient des risques de traumatismes pour les articulations, les tendons et les muscles des sujets (e.g. Ekstrand et al, 2006) bien que certains études démontreraient l'absence de risque comparativement à un terrain en herbe (Andersson et al, 2008). Plus précisément, les

sujets effectuaient un échauffement standardisé selon la séance appliquée. Nous avons fait attention au fait que le sujet ne soit ni malade ni fatigué. Dans le cas contraire, l'exercice a été reporté au lendemain et le programme a été réorganisé.

Ces exercices se pratiquaient au même moment de la journée afin de limiter les effets des variations circadiennes sur les variables mesurées et notamment sur la variable de la FC (Reilly et Brooks, 1986 ; Reilly, 1986).

Les exercices intermittents courses de courtes durées

Le choix des intensités de travail ont été défini par le fait qu'un effort intermittent doit s'établir à une intensité supérieure à 100% de la VO_2 max afin d'atteindre et maintenir un niveau de VO_2max (Millet et al, 2003 ; Dupont et al, 2002). De même, Mac Cully et (1994), indiquaient que jusqu'à des intensités d'effort de 29.4 s, les myoglobines et les hémoglobines sont constante, donc les possibilités de fixation et de relation avec l'O_2 sont constantes.

Lorsque les efforts intermittents ont été effectués en ligne, nous avons effectué un calcul permettant de définir la distance entre 2 lignes pour que l'ensemble des sujets effectue le même nombre de changement de directions indépendamment de leurs VMA.

- 30-30 RA : Cet exercice alternait 30 s de travail et 30 s de récupération active (40% de la VMA). L'intensité de travail était de 100%, 105% et 110% de la VMA durant 11.30 min, soit 12 temps de travail conformément à Thévenet et al (2008) et Billat et al (2000b). Les sujets ont effectués les entraînements intermittents en navette en faisant des allers-retours sur 42 m soit 3 changements de direction pour chaque sujet (Tableau 2).
- 15-15 : Cet exercice alterne 15 s de travail et 15 s de récupération passive. L'intensité de travail est de 105%, 110% et 115% de la VMA durant 9.45 min, soit 20 temps de travail, et ceci en référence à Dupont et al (2002). Les sujets ont effectués les entraînements intermittents en navette en faisant des allers-retours sur 30 m soit 2 changements de direction pour chaque sujet (Tableau 2).
- 10-10 : Cet exercice alterne 10 s de travail et 10 s de récupération passive. Il a été établi à des intensités de travail de 110%, 115%, et 120% de la VMA durant 6.45 min, soit 21 temps de travail conformément à Dupont et al (2002). Les sujets ont effectués les entraînements intermittents en navette en faisant des allers-retours sur 21 m soit 2 changements de direction pour chaque sujet (Tableau 2).

Tableau 2. Caractéristiques des différents exercices intermittents de l'expérimentation.

Intermittent	Intensité (en % de la VMA)	Type de récupération	Nombre et durée des blocs (en min)	Nombre de temps de travail	Nombre de temps de récupération	Distance utilisée pour les exercices intermittents en navette
30-30 (1)	100 %, 105 % et 110 %	Active (40% de la VMA)	1 * 11'30	12	11	42 m
15-15 (2)	105 %, 110 % et 115 %	Passive	1 * 9'45	20	19	30 m
10-10 (3)	110 %, 115 %, et 120 %	Passive	1 * 6'50	21	20	21 m

2.4. Les variables mesurées

La fréquence cardiaque (FC). La FC a toujours été relevée par le biais d'un cardiofréquencemètre (Polar S-810, Polar Electro, Kempele, Finlande) que ce soit avant, pendant ou après les exercices intermittents.

La fréquence cardiaque moyenne au cours de l'exercice. Elle prend en compte l'évolution de la FC durant tout l'exercice. Elle est adaptée aux exercices de longues durées. Malgré le

fait qu'elle varie individuellement en fonction des différents évènements qui affectent les joueurs, elle peut permettre la comparaison d'un même athlète sur les différents exercices intermittents (Wilmore et Costill, 2006). Elle a été mesurée au moyen de cardiofréquencemètres Polar S-810 (R-R) étalonnés battement par battement (Polar Electro, Kempele, Finlande). Ces outils technologiques sont très utiles pour estimer la contribution énergétique du métabolisme aérobie tout en tenant compte de la variabilité cardiaque individuelle (Karvonen et Vuorimaa, 1988). Cet appareil consiste à attacher une ceinture thoracique émettrice et un récepteur porté au poignet. Il ne présente aucune gêne durant l'exercice et chaque sujet en possédait un. Ces relevés de FC moyenne au cours de l'exercice ont permis de déduire le pourcentage de la FC de réserve.

La cinétique de la récupération de la fréquence cardiaque post-exercice. Durant les 5 min qui ont suivi chaque exercice nous avons continué à relever la FC. Ces éléments nous ont permis d'analyser la capacité de récupération de l'athlète au niveau de la composante centrale. L'indice technique de récupération (ITR) de Gacon (1997) correspondant au nombre de battements perdus par minute, permettrait d'analyser cette capacité de récupération. Pierpont et al (2000), Shetler et al (2001) ont validé la cinétique de la FC post-exercice durant les premières minutes post-exercice. Dans cette optique d'analyse, les sujets ont dû à la fois rester debout, ne pas se pencher, ne pas s'étirer, ne pas s'hydrater et ne pas s'alimenter. Toutes ces indications permettaient d'éviter une accélération du processus de récupération. Lors de la 1ère minute de récupération une valeur inférieure à 30 battements perdus constitue un sujet récupérant mal après un exercice sous-maximal (Pierpont et al, 2000). Le simple suivi de la FC atteinte après cette minute permettrait de se faire une idée de l'intensité de l'effort enduré par l'athlète, de sa capacité de récupération et de sa forme physique (Noding et Mende, 1979).

Le pourcentage de la fréquence cardiaque de réserve (% FC réserve). Sachant qu'en réponse à une charge de travail identique la FC varie individuellement, la charge circulatoire est mieux exprimée en pourcentage de la FC de réserve du sujet. Il nous a fallu tout d'abord connaître la FC de réserve de l'individu qui est la différence entre la FC maximale et la FC de repos (Karvonen et al, 1957). Puis nous avons calculé le pourcentage de la FC de réserve selon la formule de Karvonen et al (1957) qui a permis d'effectuer une comparaison interindividuelle (Le Gall, 2002).

La lactatémie post-exercice. Le relevé de la lactatémie permettrait d'indiquer la sollicitation périphérique au cours d'un effort. Taoutaou et al (1996), Basset et al (1991) ont relaté que le pic de lactatémie post-exercice se situerait aux alentours de 3 min après l'exercice quand il n'y a pas de récupération active. Les relevés de lactatémie ont été opérés à la 3ème minute post-exercice. Nous avons utilisé un analyseur portable (Lactate Pro, Arkray, Japon). Les prises de lactatémie s'effectuaient aux bouts des doigts après le nettoyage de cette zone (annexe 5). Les mesures données par ce matériel ont été validées par Pyne et al (2000).

Perception de l'effort selon de Foster et al (2001). Dès 1961, Borg a mis en place une échelle de perception de l'effort afin de permettre un retour sur la sensation subjective engendrée par l'application d'un exercice (Borg, 1998). L'échelle de perception de l'effort est communément appelée « the Borg RPE » ou, en d'autres termes, « Ratings of Perceived Exertion ». Borg (1998) a bien relaté le fait que les valeurs de RPE puissent être utilisées pour comparer des mesures physiologiques telles que la FC ou le VO_2. Nous avons expliqué aux athlètes que chaque valeur correspondait à une appréciation subjective de l'effort effectué. Il existe un grand nombre de modifications et d'adaptations de l'échelle de Borg (e.g. Borg 1970 et 1985). Dans le cadre de notre étude, nous avons utilisé la modification apportée par Foster et al (2001) à l'échelle de Borg (Tableau 3). Nous avons relevé chaque estimation de l'effort 2 min après l'exercice sans les informer des valeurs qu'ils avaient déjà données préalablement à d'autres intermittents. Nous avons utilisé la formule « comment était l'exercice » utilisée par un grand nombre d'auteurs dont Mac Guigan et al (2004).

Tableau 3. Adaptation de l'échelle RPE de Borg selon Foster et al (2001).

Estimation = Description	
0	Repos
1	Très, très facile
2	Facile
3	Modéré
4	Quelque peu difficile
5	Difficile
6	*
7	Très difficile
8	*
9	*
10	Maximal

3. ANALYSES STATISTIQUES

Pour comparer statistiquement les données issues des différents exercices intermittents courses de courtes durées effectués en ligne et en navette, nous avons relevé un parangon d'analyse du pourcentage de la FC de réserve, de la lactatémie (3 min post-exercice), des ITR (1 min, 3 min et 5 min post-exercice), et de la RPE modifiée selon Foster et al (2001) au cours des différents exercices.

Puis nous avons analysé statistiquement la normalité des distributions selon le test de Kolmogorov-Smirnov et l'homogénéité des variances selon le test de Hartley. Toutes ces analyses nous ont permis de comparer, une à une, ces formes d'entraînement suivant les tests statistiques adéquats à chaque comparaison.

Selon les conditions de normalité et d'homogénéité, le test t de Student pour séries appariées et le test de Wilcoxon ont été utilisés pour effectuer l'analyse comparative, le sujet étant son propre témoin. Le seuil de significativité retenu pour l'ensemble de l'analyse comparative est de 5% soit $p \leq 0.05$.

4. RESULTATS

Tous les sujets ont participé à l'ensemble du protocole. Aucune apparition de douleurs pouvant biaiser l'activité des joueurs durant ces exercices n'a été déclarée. Tous les sujets ont apprécié les différents exercices intermittents. Les deux Léger-Boucher (1980) test et re-test, établis avant le bloc 1 et avant le bloc 3, n'indiquaient aucune hausse significative de la performance de vVO_2max. En effet, l'écart-type (SD) moyen était de 0,09 km/h entre le test et le re-test. Ainsi les résultats n'étaient pas biaisés.

4.1. Exercices intermittents et composante centrale : %FC de réserve et ITR

Concernant la principale variable de la composante centrale, le % FC de réserve, nous avons noté (Figure 1) une différence significative entre les exercices intermittents en navette et en ligne de type 30-30 à 100%, 105% et à 110% de la vVO_2max ($p<0.01$).

Lors des cinq premières minutes de la phase de récupération post-exercice nous avons relevé des différences significatives pour les ITR des entraînements intermittents à 1 min post-exercice pour les 15-15 à 105% de la vVO_2max ($p<0.01$), 15-15 à 110% de la vVO_2max ($p\leq0.05$) ; à 3 minutes post-exercice pour les 30-30 à 110% de la vVO_2max ($p<0.001$) ; et à 5 minutes post-exercice pour les 15-15 à 105%, 110% et 115% de la vVO_2max ($p\leq0.05$).

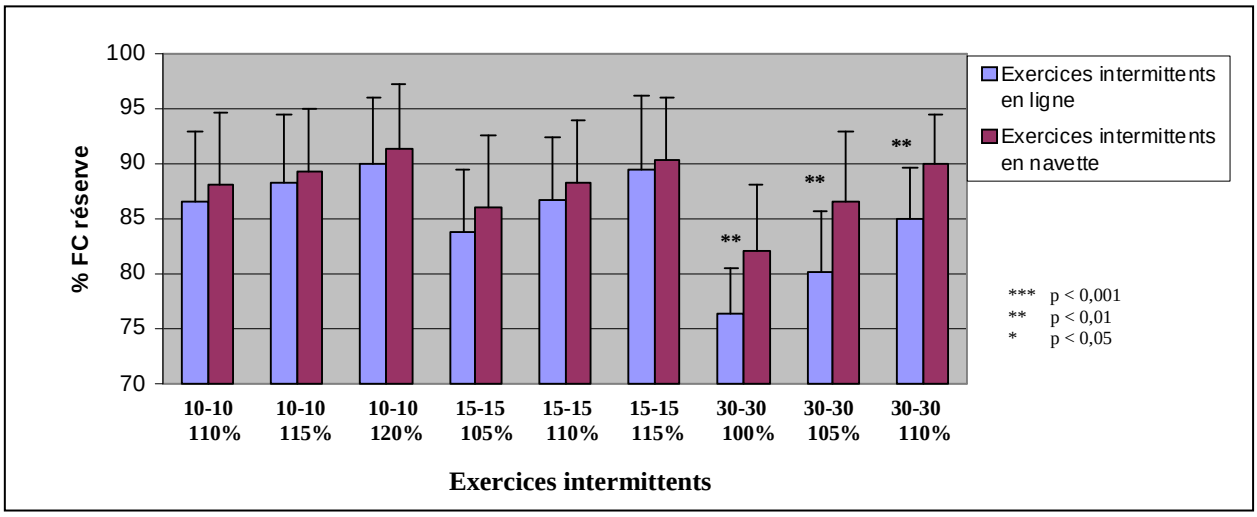


Figure 1. Comparaison du pourcentage de FC réserve (%FCres) durant les différents exercices intermittents.

4.2. Exercices intermittents et composante périphérique : lactatémie et RPE

Concernant la principale variable de la composante périphérique, la lactatémie, les résultats (Figure 2) ont montré une différence significative entre toutes les sessions d'intermittents en ligne et en navette avec notamment p<0.001 pour l'ensemble des 10-10 et des 15-15. Cette constatation était identique avec le relevé de la perception subjective de l'effort post-exercice selon la RPE modifiéee de Foster et al (2001). Les analyses statistiques ont noté une différence significative entre tous les exercices intermittents en ligne et en navette, avec p<0.001 dans la majorité des cas (Figure 3).

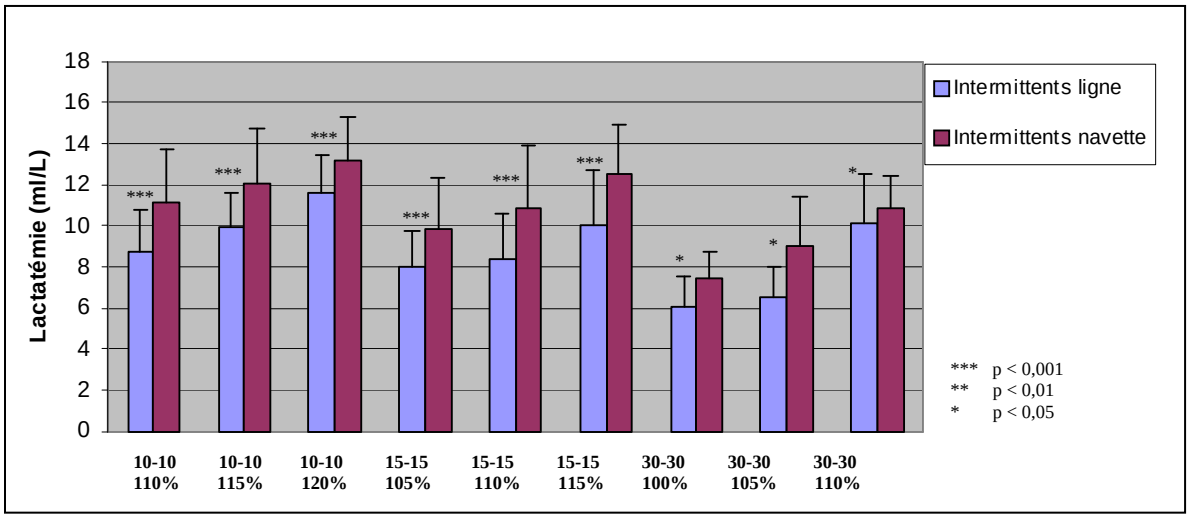


Figure 2. Comparaison de la lactatémie post-exercice (3 min) durant les différents exercices intermittents.

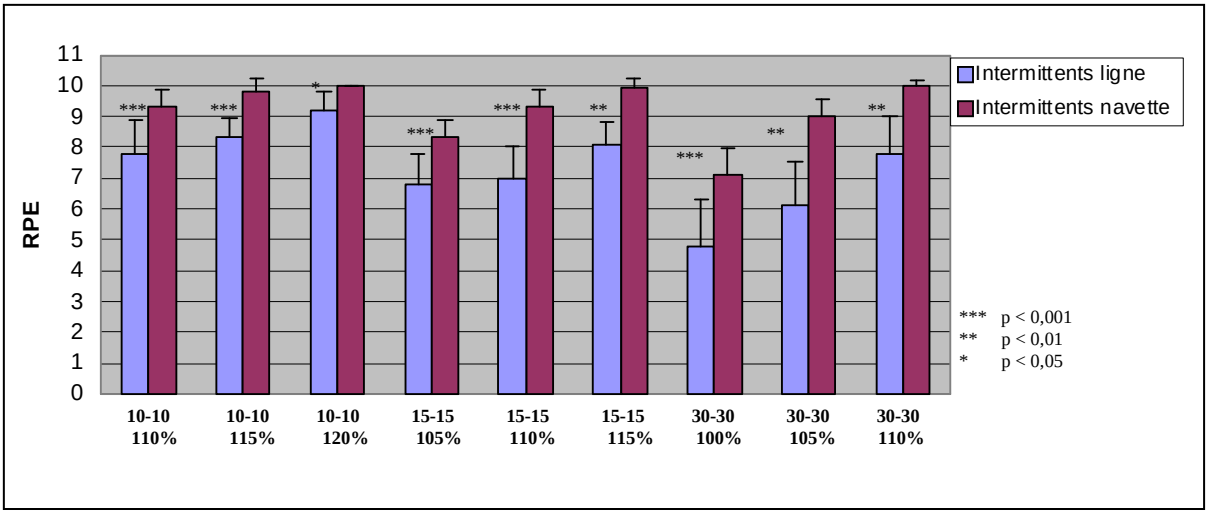


Figure 3. Perception subjective de l'effort post-exercice (2 min) selon la RPE modifiée de Foster et al (2001) durant les différents exercices intermittents.

5. DISCUSSION

L'objectif de notre étude a été de déceler l'impact physiologique engendré par les changements de direction lors d'exercices intermittents en navette. Nous avons réalisé une analyse comparative entre des sessions d'intermittents en navette et en ligne en étudiant à la fois la composante centrale et la composante périphérique. Nos principaux résultats rendent compte de multiples correspondances et différences. D'une part, les variables de la composante centrale, %FC de réserve et les ITR, sont quasi similaires entre tous les exercices intermittents. D'autre part, les variables de la composante périphérique, la lactatémie et la RPE modifiée selon Foster et al (2001), présentent toutes des différences significatives entre les deux modalités d'entraînements intermittents en ligne et en navette.

Nos différents résultats concernant l'analyse comparative des différents intermittents 10-10 à 110%, à 115% et à 120% de la vVO_2max, indiquent une correspondance au niveau de la composante centrale tout en indiquant une différence significative au niveau de la composante périphérique.

L'analyse comparative des exercices intermittents 10-10 n'indiquait aucune différence significative au niveau de la variable du %FC de réserve et de l'ITR. L'activité cardiaque des athlètes pendant et après l'exercice semblerait donc être la même. Le délai de mise en route des mécanismes aérobies étant de l'ordre de 4 à 6 min (Billat et al, 1998), la durée des exercices, soit 6 min 50, serait trop courte pour que l'organisme s'adapte physiologiquement.

Au contraire, tous les entraînements intermittents 10-10 présentent une différence significative en ce qui concerne les paramètres de la composante périphérique. Ces résultats expliqueraient l'impact physiologique engendré par la succession de changements de direction ou en d'autres termes des décélérations et d'accélérations mis en évidence par Thompson et al (1999) et Mac Gregor et al (1999). Bisciotti et al (2000) avaient établi que la distance des navettes influait grandement sur la capacité de performance des athlètes. Toutefois, bien que notre étude utilisait des distances de navettes (21 m) préconisées par ces mêmes auteurs lors des 10-10 afin que l'athlète ne diminue que sensiblement ses performances, leurs impacts physiologiques restaient très élevés.

Les deux changements de direction sembleraient suffisants pour fatiguer rapidement l'organisme des athlètes comparativement à un effort intermittent en ligne : +20.5% de lactatémie et +15.4% sur l'échelle de perception subjective de l'effort selon la RPE modifiée de Foster et al (2001). La grande utilisation des PCr devrait expliquer la hausse de la

lactatémie au cours de ces changements de direction, qui sont des actions explosives (Mendez-Villanueva et al, 2008). La concentration de PCr diminuerait fortement et la déplétion en PCr apparaîtrait rapidement car les changements de direction exigeraient ces PCr. La glycolyse anaérobie participerait plus fortement et plus rapidement à la couverture énergétique et les temps de récupérations seraient trop courts pour métaboliser suffisamment les lactates et pour resynthétiser les PCr. L'enchaînement de changements de direction et des répétitions de course assez élevées (110%, 115% et 120% de la VMA) contribuerait à augmenter la dépense énergétique par rapport aux intermittents en ligne où seuls sont présentes la technique de course et les micro-chocs des appuis (Zavorsky et al, 1998). Les efforts intermittents en navette 10-10 seraient traumatisants pour les tendons, les muscles et les articulations de l'organisme.

Ainsi, bien que les résultats concernant les exercices intermittents 10-10 en navette indiquaient la prédominance de la sollicitation de la composante périphérique, l'activité cardiaque resterait significative et complémentaire comme l'ont également relaté Bisciotti et al (2000), Astrand et Rodhal (1970) ou encore et Christensen et al (1960). Le métabolisme aérobie participerait minoritairement à la contribution énergétique mais de manière indispensable au bon fonctionnement de la fourniture d'énergie par le métabolisme anaérobie.

Nos résultats concernant l'analyse comparative des différents exercices intermittents 15-15 à 105%, à 110% et à 115% de la vVO_2max, indiquent une correspondance au niveau de la composante centrale, % FC réserve, tout en indiquant une différence significative au niveau de la composante périphérique mais également de la récupération post-exercice, la RPE, un paramètre central.

L'analyse comparative des efforts intermittents 15-15 n'indiquait aucune différence significative en ce qui concerne la variable du % de la FC de réserve. L'activité cardiaque serait donc la même pour ces exercices intermittents 15-15 effectués durant 9.45 min. Dupont et al (1999) avaient démontré que les intermittents en ligne 15-15 à 110% et à 115% de la VMA permettaient d'atteindre un pic du VO_2max supérieur à celui trouvé lors d'un test triangulaire classique en laboratoire. De plus, Billat (1998) avait relaté que les 15-15 permettaient une amélioration du débit cardiaque De ce fait ces 15-15 solliciteraient de manière importante les mécanismes du métabolisme aérobie, qu'ils soient exécutés en ligne ou en navette. Les athlètes pourraient concevoir d'augmenter, d'optimiser ou de maintenir leurs VO_2max au moyen des ces intermittents en navette 15-15.

Toutefois, l'activité cardiaque reste plus importante lors de la récupération. Les ITR indiquent bien des différences significatives entre les intermittents en ligne et en navette notamment lors de l'ITR à 1 min post-exercice pour les 15-15 à 105% ($p<0.01$) et à 110% ($p<0.05$) ; et à 5 min post-exercice pour l'ensemble de ces 15-15.

Ces résultats dévoileraient le fait que les athlètes auraient eu plus de mal à récupérer après un exercice intermittent en navette. Ces efforts seraient plus éprouvants physiquement sur le plan musculaire et cela influerait directement sur les réponses cardiaques. Bien que la composante cardiaque demeure importante, la composante périphérique influerait fortement l'organisme.

En effet, concernant la composante périphérique, nous avons relevé uniquement des différences significatives pour l'ensemble des efforts intermittents de type 15-15. Les deux changements de direction sembleraient suffisants pour fatiguer rapidement l'organisme des athlètes comparativement à un exercice intermittent en ligne : +25.8% de lactatémie et +25.6% sur l'échelle de perception subjective de l'effort selon la RPE modifiée de Foster et al (2001). Ces résultats expliqueraient l'impact physiologique engendré par la succession de changements de direction ou, en d'autres termes, les décélérations et accélérations comme

l'avaient relaté Bisciotti et al (2000), Thompson et al (1999) ou encore Mac Gregor et al (1999).

Lors d'intermittents 15-15 en ligne, Essen et al (1977) avaient démontré que le taux de PCr diminuait de 30% à la fin des temps de récupération, la lactatémie restant à un niveau identique à celle d'une course continue. Ainsi les PCr seraient au centre des explications de cette hausse de la lactatémie lors d'exercices intermittents 15-15 en navette. L'utilisation de PCr serait plus importante et la part de la glycolyse anaérobie dans la couverture énergétique augmenterait. L'allongement du temps de travail et de la distance de course traduirait également la difficulté supérieure ressentie par les athlètes lors de ces intermittents en navette de type 15-15 comparativement au 10-10.

Ainsi, bien que les résultats concernant les intermittents 15-15 en navette indiquaient la prédominance de la composante périphérique, l'activité cardiaque resterait significative et complémentaire comme l'ont également relaté Dupont et al (1999).

L'analyse comparative des exercices intermittents 30-30 à 100%, à 105% et à 110% de la vVO_2max avec récupération active, indique une différence significative à la fois au niveau de la composante centrale, % FC réserve, et au niveau de la composante périphérique.

Contrairement aux 10-10 et 15-15, les résultats de notre étude rendaient compte d'une différence significative entre les efforts intermittents 30-30 en ligne et en navette concernant la variable du %FC de réserve ($p<0.01$), c'est à dire la composante centrale. L'activité cardiaque semblerait donc plus importante lors d'un exercice intermittent en navette 30-30 comparée à un effort intermittent en ligne : + 7.1% de la FC de réserve. La durée de ces exercices intermittents 10-10 (6.50 min) et 15-15 (9.45 min) et la durée des temps de travail seraient trop courtes pour que nous notions une différence significative des réponses cardiaques. Au contraire, ces derniers éléments expliqueraient cette différence significative des paramètres de %FC de réserve enregistrée entre les deux méthodologies d'entraînement en ligne et en navette utilisées lors des 30-30.

Bisciotti et al (2000) relataient qu'un exercice intermittent en ligne 30-30 à 100% de la vVO_2max était hautement aérobie. Cependant, l'application du même effort intermittent en navette montrerait la forte implication de la composante périphérique. Bisciotti et al (2000) avaient de même montré qu'un effort intermittent en ligne 30-30 à 105% de la VMA était légèrement anaérobie et qu'un 30-30 à 110% de la VMA était très anaérobie. Ainsi, les changements de direction lors de ces entraînements entraîneraient une participation moindre de la composante centrale à la couverture énergétique.

Ces données confirment les résultats de notre étude. La composante centrale semblerait moins impliquée dans les processus énergétiques lors de ces exercices intermittents en navette. Elle serait même proportionnelle à la hausse de l'intensité des efforts intermittents 30-30.

Ces interprétations expliqueraient que les sessions d'entraînements intermittents 30-30 en navette impliqueraient majoritairement la composante périphérique à un degré supérieur des sessions d'intermittents en ligne. Les changements de direction engendreraient une fatigue plus importante (Thompson et al, 1999 ; Mac Gregor et al, 1999). Au cours de ces 30-30, les trois changements de direction seraient suffisants pour fatiguer plus rapidement et plus fortement l'organisme des athlètes : +20,26% de lactatémie et +39,58% sur l'échelle de perception subjective de l'effort selon la RPE modifiée de Foster et al (2001).

Les durées des temps de travail et du bloc de travail (11.30 min) seraient trop grandes pour que le taux de PCr soit maintenu à un niveau convenable pour diminuer la part de la glycolyse anaérobie dans la couverture énergétique. La récupération active entre les temps de travail ne permettrait pas suffisamment de métaboliser les lactates et de resynthétiser les stocks de PCr comme le préconisaient Balsom (1995) et Gaintanos et al (1993). Taoutaou et

al (1996), Gupta et al (1996) ou encore Bonen et Belcastro (1976) ont montré que la récupération active permettait d'augmenter la diffusion des lactates. Au contraire, dans notre étude, l'organisme ne permettrait pas d'éliminer suffisamment les lactates lors de ces exercices intermittents en navette de type 30-30 avec récupération active. Ainsi, la performance des athlètes lors de ces 30-30 pourrait être améliorée avec une récupération passive plutôt qu'une récupération active (Dupont et al, 2003).

Le type de récupération agirait directement sur la capacité à effectuer des exercices intermittents, qui plus est en navette. De même, un régime alimentaire de Créatine et de CHO en supplémentation permettrait d'améliorer la performance des athlètes lors de ces efforts intermittents en navette spécifiques aux sports collectifs (10-10, 15-15 et 30-30) comme l'ont relaté Welsh et al (2002), Davis et al (1999), Bangsbo (1994b) et Bangsbo et al (1992) concernant la CHO, ou encore Balsom et al (1994) et Balsom et al (1999) concernant la Créatine.

6. CONCLUSION

Cette étude a mis en évidence le fait que les incidences physiologiques lors d'un exercice intermittent course de courte durée effectué en ligne étaient différentes de celles trouvées lors d'un exercice intermittent course de courte durée réalisé en navette. Ainsi « dans le cadre de l'entraînement intermittent, la question qui est posée est de savoir en quoi un effort est influencé par un effort précédent » (Bangsbo, 2008 et 1994b).

La principale distinction se situerait au niveau de la composante périphérique. Comme le démontra notre étude, les efforts intermittents en navette se distinguent des efforts intermittents en ligne par une accumulation plus importante de la lactatémie (Bisciotti et al, 2000) à une même intensité. Lors d'exercices intermittents en ligne, le coût énergétique engendré par la course et mis en évidence par Zavorsky et al (1998) serait fortement inférieur au coût énergétique engendré par des changements de direction (Thompson et al, 1999 ; Mac Gregor et al, 1999 ; Bisciotti et al, 2000) lors d'exercices intermittents en navette.

L'enchaînement des changements de direction et de courses à hautes intensités impliquerait une fatigabilité plus rapide et plus importante tout au long des efforts intermittents en navette en comparaison avec les efforts intermittents en ligne.

Nous supposons que la vVO_2max issue du test Léger-Boucher (1980) ou de Léger et Lambert (1982) ne correspondrait pas à l'application d'exercices intermittents courses de courtes durées en navette (e.g. Flouris et al, 2005). Toutefois, en prenant en compte les données issues de cette étude, les entraîneurs et les préparateurs physiques pourront adapter les intensités de course en fonction des objectifs envisagés. Néanmoins cette méthode semblerait encore difficilement applicable. Les données concernant les effets des exercices intermittents en navette ne seraient pas encore assez nombreuses.

Ces cinq dernières années, nous relevons l'émergence de tests terrains permettant d'évaluer la VMA navette des athlètes. Comme l'ont relaté Cazorla et Léger (1993), il existe une différence notable entre une VMA ligne et une VMA navette. De ce fait le Loughborough Intermittent Shuttle Test (Nicholas et al, 2000) et l'IFT 30-15 de Buchheit (2008) sont apparus. Tous ces tests tiendraient compte du coût énergétique engendré par les changements de direction lors d'exercices intermittents en navette. L'IFT 30-15 permettrait d'orienter l'entraînement intermittent à la fois en ligne et en navette.

Les études à venir pourraient donc s'intéresser à exploiter ces tests intermittents afin de déterminer précisément les caractéristiques d'exercices intermittents avec des changements de direction. De même, sachant qu'une supplémentation de CHO et Créatine influence la performance lors d'un effort intermittent en ligne (Welsh et al, 2002), certaines expérimentations pourrait être effectués des études similaires au cours d'efforts intermittents en navette spécifiques aux sports collectifs.

CHAPITRE IV

EXPERIMENTATION N° 3

Existe-t-il un rapport entre la préparation physique et l'entraînement technico-tactique du footballeur de haut-niveau ? Analyse des réponses cardiaques au cours d'exercices intermittents spécifiques aux footballeurs comparativement à celles au cours de jeux réduits.

EXPERIMENTATION 3. Rapport entre la préparation physique et l'entraînement technico-tactique du footballeur de haut-niveau. Analyse des réponses cardiaques au cours d'exercices intermittents spécifiques aux footballeurs comparativement à celles aux cours de jeux réduits

1. INTRODUCTION

Les effets d'un entraînement en endurance au moyen d'exercices intermittents ont été démontrés chez le sportif de haut-niveau (e.g. Gaitanos et al, 1993) avec notamment une hausse du VO_2max et une apparition retardée de la fatigue comparativement à un exercice continu (Fox et Mathews, 1977). Balsom et al (1993) relataient que cette méthode permettait de limiter la production d'acide lactique et d'augmenter la part d'utilisation des PCr au métabolisme énergétique à l'exercice. Les PCr (e.g. Saltin et al, 1971) et le glycogène musculaire (Bishop et al, 2002) étaient très tôt décrits comme les principaux substrats énergétiques lors d'exercices intermittents. Ces efforts sont intéressants car une capacité aérobie élevée permettrait aux footballeurs d'améliorer leurs performances grâce à une plus grande participation pendant le match : une hausse de la distance totale parcourue et une élévation de l'intensité de l'activité (Helgerud et al, 2001). Ces exercices sont très spécifiques au football mais ils sont définis comme des « efforts dissociés de l'activité en football » car ils ne permettent pas d'intégrer des données techniques et tactiques.

Kirkendall (2001) avait décrit le football comme un ensemble de phases de jeu à 4 contre 4 ou moins, sur des espaces réduits. D'autres auteurs avaient relaté qu'un entraînement par jeu réduit permettait de solliciter la capacité aérobie des joueurs (Rampinini et al, 2007c ; Impelizzerri et al, 2005 ; Hoff et al, 2002) et d'élever la vVO_2max (Mallo et Navarro, 2008). Une des principales différences entres les jeux réduits et les exercices intermittents spécifiques au football est la présence de la balle et l'obligation de se déplacer par rapport aux adversaires (Flanagan et al, 2002). De ce fait, les jeux réduits sollicitent à la fois l'aspect physique, technique et tactique du joueur (Kelly et Drust, 2008). Les joueurs étant relativement libres durant ces exercices, leurs intensités d'efforts vont directement dépendre de leurs niveaux de motivation individuelle. Il a également été suggéré que ce niveau de motivation était augmenté par la présence des gardiens de buts dans le jeu, les joueurs pouvant conclure leurs actions offensives (Allen et al, 1998). Dans ce contexte, plusieurs études ont reporté des résultats contradictoires au niveau de l'impact physiologique de jeux réduits car les conditions de jeu n'étaient pas similaires (Tessitore et al, 2006) et le niveau de motivation était délicat à contrôler.

En comparant l'activité des joueurs durant des 5 vs. 5 et des 11 vs. 11, Allen et al (1998) notaient qu'en dépit d'une distance totale parcourue équivalente, les 5 vs. 5 permettaient d'atteindre des niveaux de FC plus élevés et d'augmenter significativement le nombre de contacts avec la balle. Ces données confirment que le nombre de joueurs, la taille du terrain et la présence des gardiens de buts influent directement sur les impacts physiologiques (Owen et al, 2004 ; Tessitore et al, 2006 ; Jones et Drust, 2007).

Durant les jeux réduits, les entraîneurs ne peuvent pas convenablement contrôler l'activité des joueurs et il n'est pas vraiment clair que ces exercices ont une incidence physiologique équivalente à celle d'exercices intermittents courses de courtes durées. Dans cette optique, Hoff et al (2002) avaient rapporté que l'enregistrement de la FC au cours de différents jeux réduits était un indicateur valide de l'intensité de l'activité des footballeurs.

De ce fait, le but de cette étude était de comparer les réponses cardiaques lors d'exercices à charges physiques contrôlées (exercices intermittents courses de courtes durées) et lors d'exercices physiques intégrés (jeux réduits) chez des footballeurs de haut-niveau. Tout d'abord, nous avons émis l'hypothèse que les réponses cardiaques étaient similaires entre certains exercices intermittents spécifiques au football et certains jeux réduits. Puis, nous avons testé l'hypothèse que l'homogénéité inter-sujets des FC était moins importante durant les jeux réduits comparativement aux exercices intermittents. Enfin, nous avons voulu confirmer la littérature scientifique sur le fait que la présence de gardiens de buts influençait l'activité du joueur lors de jeux réduits.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Approche expérimentale du problème

Durant la période d'expérimentation, il y avait 2 sessions d'entraînements spécifiques à l'étude par semaine : un entraînement à base d'exercices intermittents courses de courtes durées et un relatif aux jeux réduits. Les sessions d'entraînements ont été randomisées comme cela est mentionné au tableau 1. L'étude a été faite juste après la mi-saison, i.e. aux 6ème et 7ème mois consécutifs au commencement de l'entraînement de début de saison.

Chaque semaine, le staff médical effectuait un dosage hormonal, un relevé du poids corporel, une évaluation du pourcentage de masse grasse et un suivi des FC de repos. Ces éléments permettraient d'observer des modifications physiologiques pouvant influencer les résultats.

Les sujets ont tout d'abord effectué un test de terrain spécifique afin de terminer vVO_2max et FCmax. Chaque joueur était verbalement encouragé afin de donner sa performance maximale durant l'ensemble du protocole. Les joueurs continuaient à s'entraîner normalement, i.e. 5 à 7 sessions d'entraînements et un match par semaine (Tableau 1), durant la période de l'étude. Le test de terrain vVO_2max et les sessions d'entraînement expérimentales les plus difficiles ont été incorporés le mardi ou le mercredi afin d'être assez éloignés du jour de match, en général le week-end. Le lundi, l'entraînement consistait en une séance de récupération par un jogging à 12 km.h^{-1} durant 20 min et par des actions thérapeutiques telles que des massages, des séances de sauna ou des thermoactions. Le mardi, ils s'entraînaient deux fois : une séance de renforcement musculaire le matin (avec et sans charges) et une séance technico-tactique l'après midi. Le mercredi, l'entraînement était mixte avec un travail aérobie par jeux réduits ou des exercices intermittents, et avec des exercices technico-tactiques. Le jeudi aucun entraînement n'était au programme pour que les joueurs soient en bonne condition physique et musculaire 48h après, soit le jour du match. Le vendredi, nous dénotions deux séances technico-tactiques avec des exercices de réactivité par sprint et des ateliers de vivacité. Un échauffement standardisé était appliqué en début de chaque entraînement. Cette mise en route consistait en une activation cardio-respiratoire et en une mobilisation articulaire.

2.2. Sujets

Dix footballeurs professionnels jouant en Ligue 1 française ont participé à cette étude. Les caractéristiques physiques des joueurs sont présentées au tableau 2. Les joueurs pouvaient se retirer à tout moment de l'étude et tous les sujets ont été informés de l'expérimentation sans être renseignés sur le but de cette étude. Ils étaient tous en bonne santé et leurs dernières blessures remontaient à plus d'une année.

Tableau 1. Protocole expérimental.

SEMAINE 1						
Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
	Test VAMEVAL		Repos		Match	
SEMAINE 2						
Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
	2 vs. 2	10-10'' à 110% *v*VO_2max	Repos			Match
SEMAINE 3						
Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
	30-30'' à 100% *v*VO_2max AR	10 vs. 10 GK	Repos		Match	
SEMAINE 4						
Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
		30-30'' à 100% *v*VO_2max PR	Repos	8 vs. 8 GK	Match	
SEMAINE 5						
Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
		1 vs. 1	Repos	5-20'' à 120% *v*VO_2max	Match	
SEMAINE 6						
Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
	8 vs. 8		Repos			
SEMAINE 7						
Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
15-15'' à 100% *v*VO_2max		4 vs. 4 GK			Match	

GK: présence de gardiens de buts. *x vs. y*: jeux réduits avec x contre y joueurs. *v*VO_2max: vitesse minimale associée au VO_2max. *PR*: récupération passive. *AR*: récupération active, le joueur devait courir à 9 km.h^{-1}.

Tableau 2. Caractéristiques des sujets (moyenne ± SD).

SUJETS n=10	**Âge** (années)	**Poids corporel** (kg)	**Taille** (cm)	***v*VO_2max** (km.h^{-1})	**FC max** (bpm)	**FC de repos** (bpm)	**FCres** (bpm)
Valeurs S±D	26.0 ± 2.9	78.3 ± 4.4	181.4 ± 5.9	17.1 ± 0.8	195.4 ± 4.9	52 ± 3.75	144.3 ± 5.6

vVO_2max: la vitesse minimale associée au VO_2max. *FC max*: la plus haute valeur observée 3 fois consécutivement lors du test VAMEVAL. *FC de repos*: valeur de FC minimale observée à la suite d'une position couché maintenue 10 min à 10h30 du matin. *FCres*: différence entre la FC max et la FC de repos.

2.3. Procédures

2.3.1. Le test de terrain de VMA ou vVO_2max: le VAMEVAL

Le *VAMEVAL* test (Cazorla et Léger, 1993) a été réalisé dans la même après midi entre 17h et 18h30 par tous les sujets dans une ambiance environnementale de 16°C, de pression atmosphérique de 1019 mm Hg et avec une humidité relative de 46%. Le test a été effectué sur un terrain de football en herbe et les joueurs étaient habillés avec des équipements de footballeurs classiques. Les sujets étaient familiarisés avec le test étant donné qu'ils l'ont déjà utilisé à plusieurs reprises au cours des saisons précédentes.

Le *VAMEVAL* est un test maximal à incrémentation progressive validé par l'université de Montréal (Cazorla et Léger, 1993). Il débute à une allure de 8 km.h^{-1} avec une augmentation

de l'allure imposée de l'ordre de 0.5 km h^{-1} chaque minute, jusqu'à l'épuisement du sujet. Les sujets devaient, grâce à des signaux auditifs, ajuster leurs intensités de course au niveau de plots situés tous les 20 m autour de la piste circulaire de 200 m. Ce test permet d'estimer la vVO_2max et la FC max des sujets. Le test s'arrête lorsque le sujet ne se situe plus deux fois consécutivement aux plots lors des signaux auditifs (coups de sifflets). La vVO_2max correspond à la vitesse atteinte lors de l'arrêt à un palier ou une proportion de palier donnée.

2.3.2. Les exercices intermittents courses de courtes durées

Tous les sujets ont accompli l'ensemble des exercices intermittents courses de courtes durées présenté au tableau 3. Chaque exercice intermittent était individuellement pratiqué selon les résultats du test *VAMEVAL*. Lors d'une récupération active, les joueurs couraient à une allure de 9 km.h^{-1}. Chaque exercice a été effectué à des semaines différentes et sur le même terrain de football en herbe. Nous avons fait attention que le terrain soit en bonne condition. Un terrain boueux ou en mauvais état entraînait l'annulation de la session d'expérimentation.

2.3.3. Les jeux réduits

Tous les sujets ont réalisé l'ensemble des sessions de jeux réduits présenté au tableau 4. Les différents jeux réduits ont été établis sur le même terrain en herbe et avec ou sans gardien. Avec les gardiens, les jeux réduits étaient des matchs tandis que sans les gardiens, les exercices consistaient à conserver la balle et de ce fait, plusieurs ballons étaient disposés tout autour de l'aire de jeu afin d'éviter « les temps morts ». Un terrain boueux ou en mauvais état entraînait l'annulation de la session d'expérimentation.

2.3.4. Les mesures de FC et les calculs

La FC des joueurs (interval de 5-s) a été enregistrée continuellement par des cardioréquencemètres (Polar S-810, Polar-Electro, Kempele, Finlande) durant chaque modalité d'entraînement. La FC a été analysée du début à la fin de chaque exercice. La FC de repos correspondait à la valeur la plus basse enregistrée à la suite d'une station couchée de 10 min à 10h30 le matin (3 jours après un match). Durant le VAMEVAL, la FC la plus haute observée 3 fois consécutivement correspondait à la FCmax, en général à la fin du test. Le pourcentage de la FC réserve était calculé par la formule suivante (Karvonen et al, 1957) :
% FCres = (FC moyen au cours de l'exercice - FC de repos) / (FCmax – FC de repos) * 100
Pour chaque exercice intermittent et chaque jeu réduit, le %FCres a été calculé, ainsi que les coefficients de variations inters-sujets (CV).

Tableau 3. Caractéristiques des exercices intermittents.

Entraînement intermittent (temps de travail/temps de récupération) en s	Intensité de travail	Nombre * Durée des séries (min)	Récupération intra-séries	Récupération inter-séries	Durée totale des sessions
30-30 PR	100% vVO_2max	2 * 10'	passive	10' (passive)	30'
30-30 AR	100% vVO_2max	2 * 10'	active	10' (passive)	30'
15-15	100% vVO_2max	2 * 10'	passive	8' (passive)	28'
10-10	110% vVO_2max	2 * 7'	passive	6' (passive)	20'
5-20	120% vVO_2max	1 * 7'05	passive	-	7'

vVO_2max: la vitesse minimale associée au VO_2max. *Durée totale des sessions*: durée totale à la fin de la dernière série de jeux réduits. *PR*: récupération passive. *AR*: récupération active, le footballeur devait courir à 9 km.h^{-1}.

Tableau 4. Caractéristiques des jeux réduits.

Jeux réduits	Nombre de gardiens de but	Mesure de l'aire de jeu (m)	Nombre * Durée des séries (min)	Récupération inter-séries	Durée totale des sessions
1 vs. 1	0	10 * 10	4 * 1'30	1'30 (passive)	10'30
2 vs. 2	0	20 * 20	6 * 2'30	2'30 (passive)	27'30
4 vs. 4 GK	2	30 * 25	2 * 4'	3' (passive)	11'
8 vs. 8	2	60 * 45	2 * 10'	5' (passive et ad-libitum)	25'
8 vs. 8 GK	0	60 * 45	4 * 4'	3' (passive et ad-libitum)	25'
10 vs. 10 GK	2	90 * 45	3 * 20'	5' (passive et ad-libitum)	70'

Durée totale des sessions: durée totale à la fin de la dernière série de jeu réduit. *GK*: présence de gardiens de buts. *x vs. y*: jeux réduits avec x contre y joueurs.

3. ANALYSES STATISTIQUES

Les valeurs ont été exprimées en moyenne ± écart type (moyenne±SD). La normalité de la distribution a été établie avec le test de Kolmogorov-Smirnov test. Après la confirmation de la distribution normale, une ANOVA à un facteur avec mesures répétées a été utilisée afin d'évaluer la différence de %FCres avec et entre les modalités d'entraînements de jeux réduits et d'exercices intermittents. $P \leq 0.05$ a été considéré comme statistiquement significatif.

4. RESULTATS

4.1. Comparaison intra exercices intermittents et intra jeux réduits

Comparé aux exercices intermittents de type 30-30 à 100% de la vVO_2max avec une récupération passive (PR), une hausse significative ($p \leq 0.05$) de 9.1% du %FCres a été relevée avec le même exercice intermittent mais avec une récupération active (AR).

Nous ne notions pas de différence significative entre les exercices intermittents de type 30-30 et 15-15 à caractéristiques égales du type de récupération (i.e. passive), intensité de travail, durée des séries et durée totale de l'exercice.

Avec les mêmes caractéristiques, l'intensité des 8 vs. 8 augmentait significativement avec la présence de gardiens (+ 10.7% de %FCres). Cependant, l'homogénéité de l'activité des joueurs lors de ces 8 vs. 8 avec gardiens était significativement moins importante que sans la présence de gardiens (Tableau 5).

Tableau 5. Pourcentage de fréquence cardiaque de réserve (%FCres) durant les différents jeux réduits et les différents exercices intermittents courses de courtes durées.

	JEUX REDUITS						INTERMITTENTS				
Méthode d'entraînement	**1 vs. 1**	**2 vs. 2**	**4 vs. 4 + GK**	**8 vs. 8 + GK**	**8 vs. 8**	**10 vs. 10 + GK**	**10-10 110% vVO_2max PR**	**30-30 100% vVO_2max PR**	**30-30 100% vVO_2max AR**	**15-15 100% vVO_2max PR**	**5-20 120% vVO_2max PR**
%FCres	77.6 ± 8.6	80.1 ± 8.7	77.1 ± 10.7	80.3 ± 12.5	71.7 ± 6.3	75.7 ± 7.9	85.8 ± 3.9	77.2 ± 4.6	85.7 ± 4.5	76.8 ± 4	80.2 ± 6.8
CV inter sujets	11.12%	10.83%	13.87%	15.60%	8.79%	10.40%	4.50%	5.97%	5.27%	5.20%	8.50%

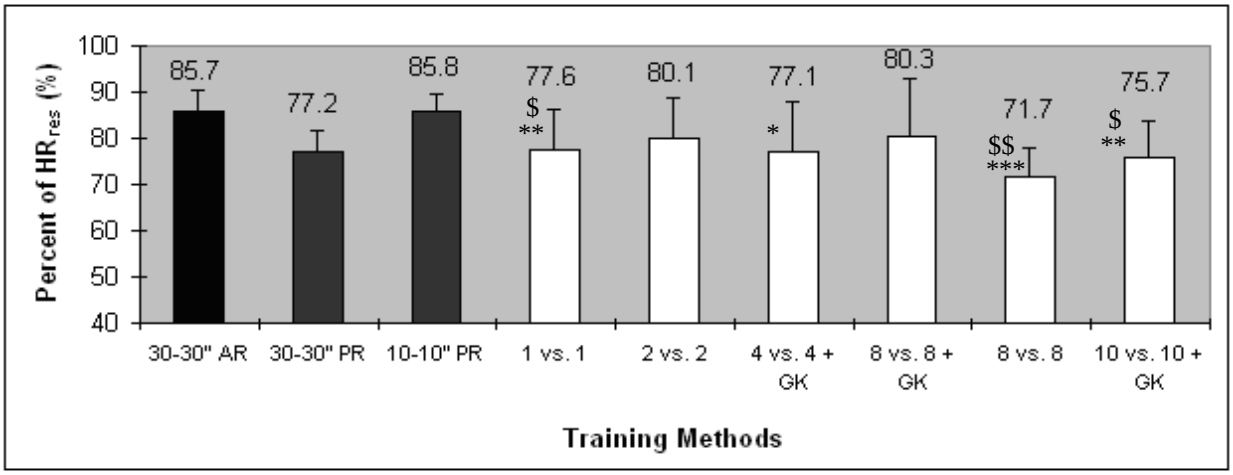
GK: présence de gardiens de buts. *x vs. y*: jeux réduits avec x contre y joueurs. *vVO_2max*: la vitesse minimale associée au VO_2max. *PR*: récupération passive. *AR*: récupération active, le footballeur devait courir à une allure de 9 km.h-1. *CV inter-sujets*: cœfficient de variation inter-sujet.

4.2. Comparaison entre les exercices intermittents et les jeux réduits

L'ensemble des réponses cardiaques des footballeurs était deux fois moins homogène durant les jeux réduits (coefficient de variation inter sujets : 11.8%) comparativement aux exercices intermittents courses étudiés (coefficient variation inter sujets : 5.9%).

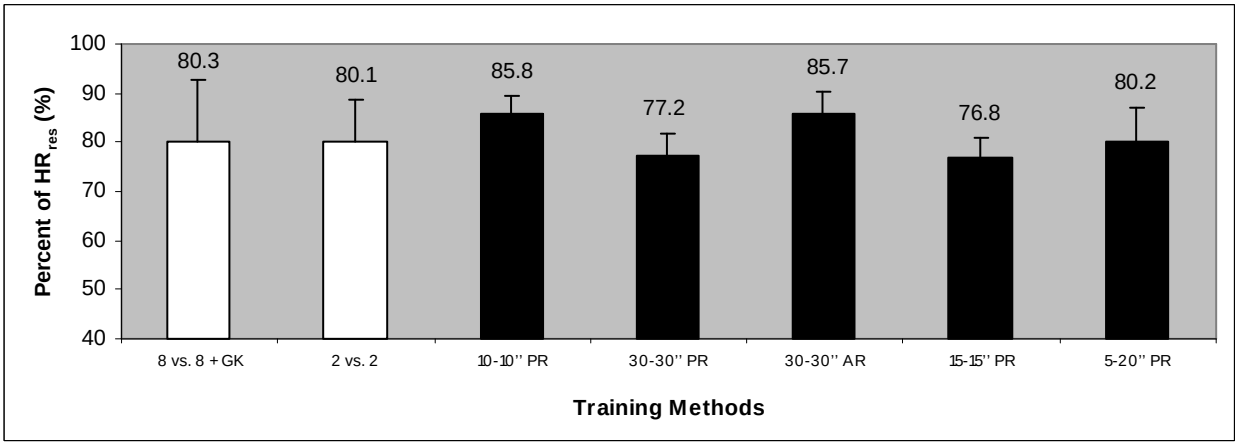
Les réponses cardiaques étaient plus élevées durant les efforts intermittents de type 30-30 à récupération active comparativement aux jeux réduits 1 vs. 1 ($p<0.01$), 4 vs. 4 ($p\leq0.05$), 8 vs. 8 ($p<0.001$) et 10 vs. 10 ($p<0.01$); tandis qu'avec une récupération passive, nous ne dénotions aucune différence significative avec tous les jeux réduits (Figure 1). Les exercices intermittents de type 10-10 à récupération passive, les %FCres étaient également plus élevés que lors des jeux réduits 1 vs. 1 ($p\leq0.05$), 8 vs. 8 ($p<0.01$) et 10 vs. 10 ($p\leq0.05$) alors que les 2 vs. 2 et les 8 vs. 8 avec gardiens ne présentaient aucune différence significative avec l'ensemble des efforts intermittents testé pour ce paramètre de FC données (Figure 2).

Figure 1. Comparaison du %FCres durant les exercices intermittents de type 30-30-sec à 100% *v*VO_2max à récupération active et passive, 10-10-sec à 110% *v*VO_2max et durant les différents jeux réduits.



*: différence significative entre les efforts intermittents 30-30 AR et les jeux réduits. *: $p\leq0.05$. **: $p<0.01$. ***: $p<0.001$. $: différence significative entre les efforts intermittents 10-10 et les jeux réduits. $: $p\leq0.05$. $$: $p<0.01$. *GK*: présence de gardiens de buts. *x vs. y*: jeux réduits avec x contre y joueurs. *vVO_2max*: la vitesse minimale associée au VO_2max. *PR*: récupération passive. *AR*: récupération active, le footballeur devait courir à 9 $km.h^{-1}$.

Figure 2. Comparaison du pourcentage de fréquence cardiaque de réserve (%FCres) durant les jeux réduits à 8 vs. 8 avec gardiens, 2 vs. 2 et durant les différents exercices intermittents.



GK: présence de gardiens de buts. *x vs. y*: jeux réduits avec x contre y joueurs. *vVO_2max*: la vitesse minimale associée au VO_2max. *PR*: récupération passive. *AR*: récupération active, le footballeur devait courir à 9 $km.h^{-1}$.

5. DISCUSSION

Le but de cette étude était de comparer les réponses cardiaques lors d'exercices à charges physiques contrôlées (exercices intermittents courses de courtes durées) et lors d'exercices physiques intégrés (jeux réduits) chez des footballeurs de haut-niveau.

Bien que plusieurs auteurs (Dupont et al, 2004 ; Helgerud et al, 2001 ; Bangsbo, 1998) aient démontré l'efficacité des efforts intermittents courses de courtes durées, d'autres chercheurs avaient suggéré que les jeux réduits pouvaient constituer un entraînement aérobie spécifique au football (Mallo et Navarro, 2008 ; Hoff et al, 2002 ; Balsom, 1999). Cette étude montre que les 2 vs. 2 et les 8 vs. 8 avec gardiens induisaient des réponses cardiaques similaires à celles de plusieurs exercices intermittents, i.e. 5-20 à 120% vVO$_2$max, 10-10 à 110% vVO$_2$max, 15-15 à 110% vVO$_2$max et 30-30 à 100% vVO$_2$max avec AR ou PR. Le Gall (2002) et Balsom (1999) trouvaient des résultats similaires entre ces 30-30 à 100% vVO$_2$max et les 6 vs. 6 et 8 vs. 8. Ainsi, nous pouvons argumenter que ces jeux réduits pourraient être exploités pour un entraînement en endurance aérobie spécifique au football tout en présentant l'avantage d'un entraînement multi-factoriel.

Les autres jeux réduits, i.e. les 1 vs. 1, les 4 vs. 4 et 10 vs. 10 engendraient les mêmes réponses cardiaques que lors des exercices intermittents 15-15 à 110% vVO$_2$max et 30-30 à 100% vVO$_2$max avec PR. Ces résultats suggèrent que tous les jeux réduits pourraient permettre d'effectuer un entraînement physique intégré aérobie avec un minimum d'intensité d'exercice requis.

Balsom (1999), avait trouvé des données équivalentes concernant des 3 vs. 3 sur une surface de jeu de 33 X 22 m chez des footballeurs de haut-niveau. Il rapportait que des exercices continus sans ballon, en l'occurrence un 30-30 à 100% vVO$_2$max, et des 3 vs. 3 imposaient des stress cardiovasculaires identiques. En effet, Rampinini et al (2007b) relevaient que ces 3 vs. 3 permettaient d'atteindre 91% de la FCmax. Ils concluaient que ces jeux réduits pourraient améliorer l'endurance des joueurs. Tous ces résultats confirment les recommandations faites aux coachs d'utiliser des entraînements avec des exercices physiques spécifiques, les entraînements intégrés. En effet, ils produisent un stress cardiovasculaire semblable à celui provoqué par des exercices intermittents courses spécifiques aux footballeurs. Une des différences entre ces deux méthodologies d'entraînements serait la présence de la balle qui imposerait une activité plus spécifique en développant de manière concomitante les aspects techniques et tactiques avec une grande motivation des joueurs. Owen et al (2004), Reilly (2005), Jones et Drust (2007), Kelly et Drust (2008) avaient indiqué que les 4 vs. 4 seraient les meilleurs jeux réduits car ils permettraient un maximum de contacts avec la balle tout en développant la capacité aérobie du joueur.

Néanmoins, les réponses cardiaques des footballeurs étaient moins homogènes durant les jeux réduits que lors des efforts intermittents ; leurs coefficients de variations inter-sujets étaient respectivement de 11.8% et 5.9%. L'activité des footballeurs n'était pas totalement contrôlable lors des jeux réduits. Leurs mouvements et l'intensité de leur participation dépendraient de leurs expériences, des postes occupés, du déplacement des adversaires et de leur motivation (Spalding et al, 2004).

Les coachs peuvent utiliser les jeux réduits comme un exercice sollicitant à la fois l'aspect physique, technique et tactique dans des conditions très proches de celles des matchs sans que l'intensité de match soit exactement reproduite par ces jeux réduits (Antonacci et al, 2007). Les incidences physiques seraient variables exactement comme au cours d'un match. Cependant, une modification des caractéristiques des jeux réduits entraînerait une incidence physiologique différente. La taille des terrains (Tessitore et al, 2006), le nombre des joueurs (Owen et al, 2004), les instructions de jeu, le nombre et la durée des séries, la durée totale de la session (Jones et Drust, 2007) et la présence de gardiens de buts (Mallo et Navarro, 2008) influeraient directement sur l'impact physique de l'activité des joueurs. Allen et al (1998)

avaient comparé l'activité de footballeurs durant un 5 vs. 5 et un 11 vs. 11. En dépit d'une distance totale parcourue identique, ces auteurs avaient montré que l'activité des joueurs durant les 5 vs. 5 était significativement plus élevé que durant un 11 vs. 11. De plus, ils trouvaient que le nombre de contacts avec la balle était également plus important lors de ces 5 vs. 5. Le nombre de joueurs influencerait directement l'impact physique et la sollicitation technico-tactique comme le démontre l'étude d'Allen et al (1998). De même, le nombre de l'opposition serait directement responsable de l'activité des joueurs. Plus nous réduisons l'espace de jeu et le nombre de joueurs et plus les joueurs seront sollicités techniquement et physiquement (Jones et Drust, 2007). Au contraire, plus nous augmentons la taille du terrain et le nombre de joueurs, plus les footballeurs intégreront des données tactiques et moins la sollicitation physique sera intense (Kelly et Drust, 2008).

La présence des gardiens de buts augmentait également l'impact cardiaque durant les jeux réduits 8 vs. 8. Dans cette étude, nous notions une hausse de 12% du %FCres avec la présence de gardiens de buts comparativement au même jeu réduit avec des caractéristiques identiques mais sans gardiens de buts. L'objectif de marquer des buts et de protéger son camp pourrait imposer une hausse de l'activité du footballeur par une probable motivation plus grande (Spalding et al, 2004). Toutefois, ces résultats sont contraires si nous diminuons le nombre de joueurs et le rapport d'opposition. Mallo et Navarro (2008) avaient relevé la FC lors de 3 vs. 3 sur des terrains 33 X 20 m. Ils avaient trouvé qu'en l'absence de gardiens de buts, les joueurs avaient une FC moyenne qui montait plus haut (173 bpm vs. 166 bpm) pour des conditions de jeux identiques. Ils démontraient en plus que la distance parcourue était plus grande quand il n'y avait pas de gardiens (748 m vs. 638 m). Au-delà de la présence des gardiens de buts, Little et Williams (2007a) relataient même que la taille des buts influençait l'impact physiologique chez les joueurs de champ.

L'activité des footballeurs était moins homogène durant les jeux réduits 8 vs. 8 avec gardien que sans gardien (CV inter sujet respectivement de 15.6% vs. 8.8%). Pour expliquer une telle différence, il serait possible que certains joueurs soient plus motivés que d'autres en présence de gardiens de buts. L'impact physiologique des jeux réduits est moins homogène que lors d'exercices intermittents. Cette différence est augmentée avec la présence de gardiens de buts, la modification du nombre de joueurs et la réduction des espaces. Les caractéristiques des jeux réduits doivent être choisies avec attention car chaque élément pourrait influencer l'activité des joueurs.

Ainsi, si le staff veut contrôler les effets physiques de l'entraînement de l'ensemble des joueurs, ils devront choisir un exercice de type effort intermittent course. Plusieurs auteurs avaient reporté que les exercices intermittents de hautes intensités augmentaient la vVO_2max et la performance des joueurs (Mendez-Villanueva et al, 2008 ; Impellizzerri et al, 2005). Dans cette étude, l'effort intermittent le plus intense était les 10-10 à 110% de la vVO_2max et le moins intense était les 15-15 à 100% de la vVO_2max. Ces types d'exercices intermittents de courtes durées permettraient de solliciter simultanément les mécanismes anaérobie et aérobie (Bangsbo, 2008 ; Dupont, 2003 ; Gaitanos et al, 1993). De plus, Dupont et al (2002) ont montré que les exercices intermittents 15-15 à 120% de la vVO_2max étaient les meilleurs intermittents pour augmenter la vVO_2max. Nous avons démontré que les exercices intermittents 15-15 à des intensités inférieures à 100% vVO_2max, étaient insuffisants pour induire une réponse cardiaque élevée, justifiant ainsi l'importance de l'intensité de l'effort intermittent. Ces résultats confirment le fait que le développement de la vVO_2max requiert une intensité d'exercice supérieure à 100% de la vVO_2max (Rampinini et al, 2007b) et que celle-ci n'est pas garantie avec la pratique des jeux réduits.

Millet et al (2003) démontraient qu'un exercice intermittent 30-30 à récupération passive permettait d'atteindre durant 54 s plus de 95% de la VO_2max et durant ~150 s plus de 90% de la VO_2max. Un 30-30 à 100% de la VO_2max avec une récupération active serait probablement

un entraînement spécifique du footballeur qui pourrait améliorer la VO_2max des joueurs (Dupont et al, 2004). Il permettrait une sollicitation mixte aérobie et anaérobie au même titre que les jeux réduits (Bangsbo, 2008). Cependant, dans cette étude, avec des modalités d'entraînement identiques concernant les 30-30 à 100% *v*VO_2max, la différence de %FCres était de 9.1% entre une récupération passive et active. Ces éléments indiquent que le type de récupération détermine fortement les réponses physiologiques d'un joueur. Dupont et Berthoin (2004) avaient démontré que la récupération active pourrait être moins efficace que la récupération passive pour optimiser la *v*VO_2max même si la récupération active augmente la métabolisation du lactate sanguin (Bonen et Belcastro, 1976 ; Millet et al, 2003). De plus, la récupération passive pourrait permettre une meilleure ré-oxygénation de la myoglobine et de l'hémoglobine par rapport à une récupération active (Dupont et al, 2004 ; Dupont et al, 2002).

Les résultats des ces dernières études démontraient qu'il n'y avait pas de différence significative entre les récupérations passive et active concernant la concentration de lactatémie (12.6±1 vs. 13.1±2.7 $mmol.l^{-1}$), le pic de FC (183.3±13.9 vs. 182.5±15 bpm) et la FC moyenne (166.6±11.9 ; 165.6±14.6 bpm, respective). Mais ces auteurs relataient qu'il y avait une différence significative entre ces deux types de récupération concernant la puissance métabolique générale.

Un des soucis de cette étude résidait dans le fait que le coach ne souhaitait pas utiliser la randomisation des exercices initialement prévu. Le fait que les sujets appartenaient à une équipe de Ligue 1 du championnat de France pourrait expliquer cette impossibilité. Le staff technique souhaitait rester maître des séances. Cette randomisation est possible dans certaines études et pas dans d'autres. Dans notre cas, elle a été effectuée en collaboration avec le staff technique avec une organisation qui respectait les entraînements habituels. Concernant les éventuels biais dut aux variations de FC journalières, un checking quotidien de la FC de repos était réalisé afin d'anticiper et d'argumenter certains résultats. Or, nous n'avons noté aucune modification de la FC de repos durant les 7 semaines de cette expérimentation. De même, le pourcentage de masse grasse et le poids corporels ont été des valeurs stables chez l'ensemble des footballeurs ayant participé à l'étude.

Toutefois, l'analyse des jeux réduits au moyen du suivi de la FC devrait être accompagnée de la perception subjective de l'effort (Coutts et al, 2007a et b) afin d'augmenter le contrôle des charges de travail.

6. CONCLUSION

Nos résultats confirment l'idée que certains jeux réduits permettraient d'élever les réponses de FC à un niveau équivalent à celui de certains exercices intermittents courses de courtes durées. Les jeux réduits peuvent alors être utilisés comme une méthode d'entraînement intégrant l'aspect tactique, l'aspect technique mais aussi l'aspect physique en approchant des intensités semblables à celles d'exercices intermittents courts.

Néanmoins, ces jeux réduits présentent une variabilité plus importante que celle des exercices intermittents. Cette forme de travail ne permet pas un contrôle rigoureux de l'activité des joueurs. Ainsi, en accord avec les objectifs de l'entraînement, le coach devra choisir entre un entraînement physique contrôlé (exercices intermittents) et un entraînement physique intégré plus difficilement contrôlable (jeux réduits). D'autres études ont besoin de comparer les effets de ces deux méthodes d'entraînements sur la performance avec d'autres outils de contrôle de la charge.

CHAPITRE V

DISCUSSION GENERALE

DISCUSSION GENERALE

L'entraînement du footballeur a été toujours été la cible d'une optimisation fine des exercices, dans l'unique but d'être performant lors de chaque match officiel. Les entraîneurs recherchent une adéquation entre les séances mises en place et l'activité du joueur en compétition. De nombreuses études avaient relaté l'activité du footballeur en compétition. Nous en avons déduit les différents facteurs de la performance en football, notions indispensables à développer, perfectionner, ajuster, contrôler et entretenir (Bangsbo, 2008 ; Dellal, 2008). Ces données concernent à la fois des paramètres physiques, techniques, tactiques, psychologiques et d'hygiène de vie. Les staffs techniques ont un impact considérable sur les composantes de la condition physique et technico-tactique, sans négliger les autres aspects de la performance. Une des problématiques réside dans la gestion indépendante ou simultanée de ces différents facteurs. Leurs interactions sont à la fois directes ou/et indirectes et de ce fait, la connaissance approfondie de chacun des facteurs et des relations qu'ils entretiennent, sont à étudier et à considérer avec la plus grande attention.

A travers l'utilisation de différentes technologies dont la plus précise est aujourd'hui l'analyse vidéo semi-automatique telle que le conçoivent les sociétés Amisco© et ProZone©, l'analyse de l'activité du footballeur durant des matchs officiels contribue à élaborer des données fondamentales pour l'entraînement (Rampinini et al, 2007a). Les différentes recherches montrent que les joueurs parcourent entre 9995 m et 11233 m à une intensité de 80-90% de la FCmax avec une diminution de la distance totale parcourue de 1 à 9% en seconde mi-temps (Rampinini et al, 2007a ; Stolen et al, 2005 ; Di Salvo et al, 2007 ; Mohr et al 2003) sans pour autant atteindre des valeurs de lactatémie maximales (Bangbso, 1994a). De manière plus précise, 4 à 5% de leurs activités sont effectuées en courses maximales ou supra maximales (Dellal, 2008) dont 247 à 400 m sont exécutés en sprint, c'est-à-dire à plus de 25.2 km/h (Bangsbo, 2007 ; Thatcher et Batterham, 2004). Ces courses sont à associer avec de nombreux changements de direction, des courses arrière, des demi-tours, des sauts, des tirs, des passes, des duels et toutes autres actions tout aussi spécifiques aux footballeurs. Sur le plan technico-tactique, les joueurs ont très peu la balle, entre 1.12 min et 2.48 min de possession par match (e.g. Dellal, 2008), soit 1.2 à 2.4% de leurs distances totales parcourues

(Di Salvo et al, 2007). De plus, il y a perte de la performance technique et tactique entre la 1ère mi-temps et la 2ème mi-temps (Rampinini et al, 2007d).

Toutes ces données sont très intéressantes mais elles manquent de lisibilité dans leur objectif initial : orienter l'entraînement. Une des réflexions sine qua non à cette spécification des séances concernerait la possibilité de dresser une cartographie des efforts spécifiques à chaque poste quel que soit le championnat ou l'équipe d'appartenance.

Notre étude N°1, au moyen d'une analyse quantitative et qualitative de 11240 mi-temps de joueurs issus de 4 grands championnats européens, a défini ou confirmé des tendances communes à la fois générales et spécifiques selon les positions occupées sur le terrain.

D'un point de vue général et quantitatif, tous les joueurs parcourent plus de 10252.44 m et par conséquent, ils ont besoin de présenter de bonnes qualités d'endurance quel que soit le poste occupé. Cette qualité de capacité aérobie est indispensable à l'expression des qualités à la fois footballistiques et physiques (Bangsbo, 2007). Elle permet de retarder la fatigue et d'optimiser les autres facteurs de la condition physique. Cependant, elle doit être menée progressivement vers un reflet plus spécifique de l'activité du joueur.

Plus précisément, de 1.67 à 2.87% des distances totales parcourues en match sont réalisées en sprint et de 2.1 à 3.24% en courses de hautes intensités. En d'autres termes, les actions explosives représentent entre 3.77 et 6.11% de l'activité course du footballeur. Elles sont déterminantes dans le football moderne et les exigences de vitesse, sous toutes ses formes, sont devenues incontournables (Lippi, 2007). Tous les joueurs doivent être capables d'exprimer leurs qualités de vélocité au maximum de leurs possibilités. Toutefois, le footballeur n'est pas un athlète. L'entraîneur ne pourra pas augmenter de manière importante les performances en sprint des joueurs car l'amélioration de la technique de course est limitée et soumise à des variations perpétuelles des conditions de jeu. Le staff pourra associer le travail de vitesse avec des exercices de force (duels), de coordination (travail d'appui-vivacité), de séances d'animations offensives (vitesse spécifique avec ballon en condition de match) et d'endurance. Au vu des nombreuses études récentes sur le sujet (e.g. Mendez-Villanueva et al, 2008), cette combinaison s'avère être un facteur de la performance en football. Elle se traduit par la capacité du joueur à réitérer des sprints sans diminution de la performance de vitesse lors du match. Ils exploiteront leurs qualités footballistiques.

Le joueur doit être performant physiquement afin de l'être techniquement et tactiquement. Concernant ces aspects technico-tactiques, notre étude a relevé d'une part, qu'un pourcentage élevé de passes réussies désignerait une tendance commune du haut niveau. Entre 71.75 et

79.5% de leurs passes sont bonnes, c'est à dire qu'elles arrivent à un partenaire. Ces données devraient être fonction du niveau de jeu. Plus le championnat ou la division est faible, plus ces valeurs seront petites. D'autre part, le nombre de touches de balle moyen par possession est relativement faible. Il se situe entre 1.82 tdb et 2.25 tdb par possession. Il serait une caractéristique du football de haut niveau car plus le niveau des joueurs diminue, plus ils effectueront de contacts avec la balle, sans pour autant avoir de données de comparaisons scientifiques. Cette affirmation se justifie par l'importance de la qualité technique et tactique pour pouvoir jouer vite et juste. Jacquet et al (2002), définissaient le football de haut niveau par la vitesse de jeu.

Ainsi, cette étude a confirmé les tendances communes des exigences physiques du football relatives aux capacités d'endurance générale, de vitesse et de répétition d'actions explosives. Elle a également démontré scientifiquement que le nombre de touches de balle moyen par possession et le pourcentage de passes réussies étaient des caractéristiques techniques du football de haut niveau malgré le manque de données comparatives. Ces éléments vont orienter la méthodologie générale de l'entraînement. Toutefois, une analyse qualitative permettra de trouver des analogies selon les postes occupés et par conséquent de spécifier les exercices.

Les défenseurs gagnent plus de 55.75% de leurs duels au sol et plus de 60% de leurs duels aériens tandis que les attaquants en gagnent moins, respectivement 38% et 46%. Les défenseurs doivent être performants dans leurs duels. Ils parcourent les distances totales les plus faibles, entre 10426.90 m et 10583.24 m mais celles-ci sont réparties différemment entre les AL et les DC. Les arrières excentrés effectuent plus de sprints que les DC à un niveau équivalent à celui des autres milieux de terrain quelle que soit l'équipe en possession ou non de la balle. L'entraînement des AL devra alors se différencier par de longues courses à intensité maximale et avec un travail spécifique pour répéter les sprints. Ce dernier point est essentiel. Les AL qui effectuent beaucoup de sprints, doivent conserver leurs performances de vitesse le plus longtemps possible durant le match. D'un point de vue technique, les défenseurs centraux présentent un pourcentage de passes réussies plus faible que celui de l'ensemble des milieux et arrières latéraux ($p \leq 0.05$). Au-delà des résultats de notre étude, le rôle des DC pourrait être corroboré plus spécifiquement dans le comportement tactique de l'équipe que ce soit en animation défensive ou offensive. Ils voient le jeu et l'influencent par leurs directives.

Concernant les attaquants, ce sont les joueurs qui perdent le plus la balle à la suite d'une passe. Ils devront travailler leurs jeux de passes et leurs enchaînements. Comparativement aux

défenseurs, les attaquants conservent la balle plus longtemps, en effectuant notamment plus de touches de balle. Ces données pourraient s'expliquer par le fait qu'ils évoluent souvent dos au but, esseulés et/ou excentrés et par conséquent ils gardent la balle avant de trouver du soutien. Ils devront s'entraîner à être « tactiquement » rapides pour prendre de vitesse les défenseurs et recevoir la balle dans un espace libre, être forts pour la conserver face à la pression adverse et être techniquement habiles pour ne pas la perdre. Outre l'efficacité devant le but, leurs qualités de vitesse constituent la clef de leurs performances. En effet, notre analyse a montré qu'ils effectuent les plus hautes distances totales en sprints ($p<0.001$). Les entraîneurs proposeront alors des exercices permettant d'améliorer leurs capacités à répéter des sprints. Ils seront réalisés dans une séance d'environ 275 m de sprint sur des distances de 43 m maximum. Ils travailleront leurs qualités de vitesse dans l'objectif de retarder l'apparition de la fatigue. Cependant, l'importance de la qualité de vitesse s'élève dans des proportions plus importantes quand l'équipe est en possession de la balle. Les exercices de sprints devront être coordonnés avec les différentes animations offensives collectives mises en place par le staff technique. Les attaquants doivent associer leurs actions explosives en fonction de la tactique de l'équipe, de leurs partenaires et de leurs adversaires. Ils utilisent et créent des espaces libres.

Les milieux de terrains parcourent tous plus de 11386.82 m et doivent donc tous présenter de bonnes capacités aérobies. Ces distances ne sont pas réalisées aux mêmes allures selon les postes. En effet, les MAD effectuent significativement moins de distances en sprint et en course haute intensité que les MO et les ME ($p\leq0.05$) mais elles restent dans des proportions importantes, ce qui impliquera un travail de vitesse et de répétition de sprint non négligeable. Ils effectuent essentiellement des sprints de courtes distances, inférieures à 25 m. Leurs distances parcourues en sprints sont équivalentes quand leurs équipes possèdent ou non la balle. Ils devront travailler la qualité de vitesse courte sous la pression d'un adversaire, en duel, et selon les animations offensives. Les MAD sont également nommés les relayeurs, c'est-à-dire qu'ils sont les relais privilégiés des défenseurs et des autres milieux. Ils orientent le jeu, donnent le rythme au match, doivent toujours être disponibles quand leur équipe est en possession de balle et ont un rôle d'harcèlement du porteur adverse quand leur équipe ne la possède pas. Les MO et ME devront effectuer des séances de vitesse avec des distances plus longues que les MAD car leurs courses sont plus longues, ils ont plus d'espaces. Ils effectueront également des sessions de répétitions de sprints sur un volume plus important, respectivement à des valeurs minimales de 263.78 m et 254.55 m. Toutefois, 57.87% et 57.67% de leurs distances totales en sprints sont réalisés en animation offensive. En

possession de la balle, leurs sprints sont orientés dans la prise d'espaces libres, dans des longs appels et selon les adversaires et leurs partenaires. Des courses en situations offensives devront être mises en place. Un des éléments clés de l'activité des milieux réside dans les duels au sol. Ils présentent chacun des valeurs proches de 50% ce qui signifie qu'une valeur plus haute lors d'un match pourrait être corrélée à un résultat positif. Or Jacquet et al (2000), avaient relaté que l'équipe dont les milieux gagnaient le plus de duels au sol aura plus de chances de gagner le match. Les milieux de terrains ont des durées de possession de balle totales et un nombre de possessions importants même si les MO et les ME présentent les valeurs les plus hautes ($p<0.001$) par rapport aux autres postes. Ils doivent être techniquement habiles afin d'exploiter au mieux les possessions du ballon. Cette nécessité d'adresse technique s'explique également par le fait qu'ils évoluent dans des zones où ils doivent prendre des risques, dribbler ou tenter des choses (Lippi, 2007). Leurs valeurs de touches de balle moyennes par possession, 2.25 tdb et 2.24 tdb, significativement supérieures à l'ensemble des autres positions sur le terrain ($p<0.001$), confirment ces explications. Au contraire, les MAD ne peuvent pas prendre de risques. Ils évoluent dans des zones de terrains plus denses en adversaires et doivent donc jouer plus vite, 2.03 tdb. L'activité des MAD est distincte de celle des MO et des ME. Ils effectuent beaucoup plus de sprints courts indépendamment de la possession collective de la balle et jouent plus vite. Le travail de répétition de sprints sera différencié.

L'ensemble de notre étude N°1 a permis d'identifier les tendances communes du footballeur de haut niveau et les aptitudes spécifiques à chaque poste occupé sur le terrain afin d'orienter l'entraînement. Néanmoins, nous avons noté de grandes valeurs de CV pour l'ensemble des paramètres mesurés, excepté la distance totale parcourue. Ces variations s'expliqueraient par des différences au niveau des horaires de match, de l'état des terrains, des conditions climatiques, de l'enchaînement des matchs, de la culture du jeu ou encore des animations préconisées par les coachs. Cette étude attribue des tendances spécifiques aux postes et au football de haut niveau mais l'individualisation des charges de travail devrait encore être plus fine en fonction des exigences des animations mises en place par les coachs. Chaque organisation de jeu et chaque système entraînent des exigences spécifiques à chaque poste. L'entraîneur devra affiner nos données par rapport à ses données tactiques.

De même, un autre point important est à relever. L'ensemble de nos résultats et de la littérature fait état d'analyse de l'activité effectuée selon le temps de jeu total. Or, le temps de jeu effectif se situerait entre 49 et 68 min (DTN, 2000). Que font les joueurs durant les arrêts de jeu ? Ne doit-on pas analyser leurs activités en fonction du temps de jeu effectif ?

Ces dernières réflexions réévalueraient l'impact physique et physiologique d'un match de football. Quoiqu'il en soit, les données issues de cette étude permettent d'individualiser convenablement les charges d'entraînement. D'un point de vue strictement physique, les joueurs doivent tous être endurants et capables de répéter des sprints avec une apparition retardée de la fatigue. Les exercices intermittents développent, optimisent et entretiennent ces qualités. Ils sont définis comme les exercices les plus spécifiques du football (Bravo et al, 2007). Ils sont le reflet de l'activité des joueurs. Ils permettent une sollicitation mixte des filières énergétiques aérobie (Gaitanos et al, 1990) et anaérobie (Bangsbo, 2007). Les qualités d'endurance, de vitesse et de coordination pourront être développées simultanément en fonction du choix des différentes caractéristiques de ces exercices intermittents tels que la densité de la charge, la nature de la récupération et le choix de la forme de travail (Dellal, 2008). Plus exactement, ils agissent dans l'optimisation et le maintien du VO_2max (Billat et al, 2002 ; Ronnestad et al, 2008), dans le développement des enzymes oxydatives (Parolin et al, 1999), dans le développement du temps de réaction (Lemmink et Visscher, 2005) tout en ayant une action sur la composante périphérique (Thompson et al, 1999). Cet entraînement permet également d'augmenter les réserves énergétiques spécifiques à la vitesse (Gabaldon et al, 2008) et de préparer les muscles à des efforts brutaux (Little et Williams, 2007b).

A la suite d'un travail en endurance classique, les entraîneurs utiliseraient ces exercices intermittents en ligne classique afin d'améliorer la capacité de répétition de courses en allure haute intensité et en sprint (Brown et al, 2007). La qualité des courses notamment à hautes intensités sont importantes chez le footballeur moderne étant donné qu'il possède au au mieux 1min18 la balle et que son nombre de touche de balle moyen est au mamimum de 2.3.

Toutefois, les exercices intermittents courses de hautes intensités en navette seraient encore plus spécifiques au footballeur (Bisciotti et al, 2000). Très peu de travaux ont étudié les incidences physiologiques de changements de direction au cours de ces séances. Les études de Thompson et al (1999), Zavorsky et al (1998) décrivaient un impact physiologique non négligeable sur la composante périphérique mais les exercices qui étaient appliqués, i.e. 10 X 400 m avec une récupération entre 60 à 180 s selon la randomisation, ne correspondaient pas à l'activité football.

Notre étude N°2 a permis d'analyser les incidences physiologiques des changements de direction à 180°, au cours d'exercices intermittents spécifiques au football : des 10-10, 15-15 et 30-30. L'application de ces entraînements à la fois en navette et en ligne a démontré l'impact de ces demi-tours sur la composante périphérique. Chacune de ces comparaisons a

relevé une différence significative de la lactatémie post exercice (entre +20.5% et +25.8%) et de la RPE sur l'échelle modifiée de Foster et al (2001). La haute utilisation des PCr devrait expliquer la hausse de la lactatémie au cours de ces changements de direction, qui sont des actions explosives (Mendez-Villanueva et al, 2008). La concentration de PCr diminuerait fortement et la déplétion en PCr apparaîtrait rapidement. La participation de la glycolyse anaérobie à la couverture énergétique serait plus grande et plus rapide, et les temps de récupération seraient trop courts pour métaboliser suffisamment les lactates et pour resynthétiser les PCr. L'enchaînement de changements de direction et des répétitions de courses assez élevées contribueraient à augmenter la dépense énergétique par rapport aux intermittents en ligne où seuls sont présents la technique de course et les micro-chocs des appuis (Zavorsky et al, 1998).

Les exercices intermittents en navette entraînent également une pénibilité à l'effort significativement plus élevée par rapport aux mêmes exercices réalisés en ligne ($p<0,001$). De la même manière, en comparant les réponses de RPE à la suite des différents exercices intermittents en navette, nous notons que plus le temps de travail et la distance inhérente sont grands, plus les perceptions subjectives de l'effort étaient significativement plus élevées ($p<0.001$). L'allongement du temps de travail et de la distance de course traduirait la difficulté supérieure ressentie par les athlètes lors de ces exercices intermittents en navette. Cependant, la grande différence des données de la RPE issue des 30-30 par rapport à celle des 10-10 et 15-15 pourrait s'expliquer par le fait que le nombre de demi-tours influerait sur la capacité de performance des athlètes, comme le préconisaient Bisciotti et al (2000). Dans notre étude, les sujets effectuaient 3 changements de direction à 180° lors des 30-30 tandis qu'ils en effectuaient 2 lors des 10-10 et des 15-15.

Au niveau des réponses cardiaques des sujets, nous n'avions pas relevé de différence entre les 15-15 et les 10-10. Au contraire, les réponses cardiaques lors des 30-30 en navette augmentaient de 7.1%. Ces résultats n'indiquent pas pour autant que les exercices intermittents en navette développeraient et optimiseraient le VO_2max au même titre que les entraînements intermittents en ligne. Dupont et al (1999) suggéraient que les 15-15 en ligne permettaient d'atteindre des pics du VO_2max au cours de l'exercice. Les mêmes exercices de type 15-15 effectués cependant en navette, ne garantiraient pas de retrouver ce pic de données.

Ainsi, cette étude N°2 a démontré que les changements de direction ont une incidence physiologique sur la composante périphérique lors d'exercices intermittents en navette. Ces entraînements doivent être utilisés pour « hyper individualiser » les charges de travail et

« hyper spécifier » les séances par rapport aux données de match. Ils seront préconisés quand le staff technique détectera une accoutumance aux exercices intermittents classiques à l'entraînement. Toutefois, le choix des différentes caractéristiques des exercices intermittents en navette tels que le type et le nombre de changements de direction ou encore les distances doivent être minutieusement choisis. Le manque d'étude à ce sujet constitue un vide scientifique à combler. Le test IFT 30-15 (Buchheit, 2008) proposerait de tester de manière intermittente et en navette le VO_2max des joueurs, ce qui permettrait d'orienter leurs entraînements à la fois en ligne et en navette. Mais ce test n'est pas encore validé pour des sportifs seniors et des footballeurs.

La maîtrise de l'entraînement de la condition physique via des exercices intermittents en ligne ou en navette est indispensable pour optimiser la performance des joueurs (Dellal et Grosgeorge, 2006). Or, certains entraîneurs disposent de très peu de temps d'entraînement au cours de la saison pour travailler idéalement l'aspect physique et technico-tactique (Trapattoni, 1999). Ils préféreraient effectuer des exercices intégrés, c'est à dire avec une sollicitation mixte des qualités techniques et physiques (Eriksson et al, 2001). De nombreux auteurs ont tenté d'apporter des tests sollicitant à la fois la condition athlétique du joueur et sa qualité technique (e.g. Chamari et al, 2005a). Le plus abouti serait celui du Hoff test (Chamari et al, 2005a) qui indiquait que la distance parcourue lors de ce test était significativement corrélée avec VO_2max. Ils montraient ainsi que l'aptitude à conduire la balle pourrait bel et bien agir sur la composante centrale, le système cardio-vasculaire et cardio-respiratoire. Malheureusement, ils n'ont pas apporté de possible orientation de l'entraînement à la suite de ce test. Dellal et al (2006) relataient que des circuits en conduite de balle pouvaient permettre d'approcher des intensités cardio-respiratoires équivalentes au cours d'exercices intermittents de type 30-30 à 105% de la vVO_2max. Malgré cela, ces exercices ont été l'objet de trop peu d'études précises à ce jour pour pouvoir les exploiter convenablement. Antonacci et al (2007) constataient que leurs intérêts étaient scientifiquement très pauvres étant donné l'interaction avec la capacité de la technique individuelle.

D'autres méthodologies d'entraînements ont été étudiées mais les jeux réduits représenteraient les exercices les plus proches de l'activité du joueur en match. Ce type de séances a été analysé par un nombre d'études qui ne cesse de s'accroître. Elles solliciteraient la capacité aérobie du joueur (Mallo et Navarro, 2008), élèveraient la vVO_2max (Rampinini et al, 2007a et 2007c) tout en impliquant une sollicitation technico-tactique individuelle et collective (Kelly et Drust, 2008). La FC et la RPE seraient de bons indicateurs de l'effort effectué lors de jeux réduits (Hoff et al, 2002 ; Impelizzerri et al, 2005).

Notre étude N°3 a montré des effets similaires entre les jeux réduits, un travail intégré, et des exercices intermittents courses de courtes durées, un travail physique spécifique au football. D'une part, les 2 vs. 2 et les 8 vs. 8 avec gardiens induisaient des réponses cardiaques similaires à l'ensemble des exercices intermittents spécifiques au football testés, i.e. 5-20 à 120% vVO_2max, 10-10 à 110% vVO_2max, 15-15 à 110% vVO_2max et 30-30 à 100% vVO_2max avec AR ou PR. D'autre part, les 1 vs. 1, les 4 vs. 4 et 10 vs. 10 engendraient les mêmes réponses cardiaques que lors des exercices intermittents 15-15 à 110% vVO_2max et 30-30 à 100% vVO_2max avec PR. Ces résultats suggèrent que tous les jeux réduits testés permettraient d'effectuer un entraînement physique intégré aérobie équivalent aux exercices intermittents de hautes intensités tout en présentant l'avantage d'un entraînement multi-factoriel. Ils sollicitent à la fois la condition physique du joueur d'un point de vue aérobie et anaérobie, la technique et la tactique.

Toutefois, différents auteurs avaient relevé que les meilleurs jeux réduits seraient ceux qui auraient un nombre de joueurs limité. Les 3 vs. 3 permettraient à la fois d'atteindre un niveau de réponse cardiaque élevé, 91% de la FCmax, et de permettre aux joueurs de posséder plus souvent et plus longtemps la balle (Rampinini et al, 2007b). De la même façon, Owen et al (2004), Reilly (2005), Jones et Drust (2007), Kelly et Drust (2008) avaient indiqué que les 4 vs. 4 seraient les meilleurs jeux réduits car ils permettraient un maximum de contacts avec la balle tout en sollicitant le développement de la capacité aérobie du joueur.

Ces résultats confirment l'intérêt porté aux entraînements intégrés. Ils produisent un stress cardiovasculaire semblable à celui des exercices intermittents courses spécifiques aux footballeurs. Néanmoins, nous notons que les réponses cardiaques des footballeurs étaient moins homogènes durant les jeux réduits que lors des efforts intermittents ; leurs coefficients de variation inter sujets étaient respectivement de 11.8 et 5.9%. L'activité des footballeurs n'est pas totalement contrôlable lors des jeux réduits. Leurs mouvements et l'intensité de leur participation dépendraient de leurs expériences, des postes occupés, des mouvements des adversaires et de leur motivation (Spalding et al, 2004).

Les coachs peuvent utiliser les jeux réduits comme un exercice sollicitant à la fois l'aspect physique, technique et tactique dans des conditions très proches de celles des matchs sans que l'intensité de match soit exactement reproduite (Antonacci et al, 2007). Les incidences physiques seraient variables de la même manière qu'elles le sont au cours d'un match. Cependant, une modification des caractéristiques des jeux réduits entraînerait une incidence physiologique différente. La taille des terrains (Tessitore et al, 2006), le nombre des joueurs (Owen et al, 2004), les instructions de jeu, le nombre et la durée des séries, la durée totale de

la session (Jones et Drust, 2007) et la présence de gardiens de buts (Mallo et Navarro, 2008) influeraient directement sur l'impact physique de l'activité des joueurs.

Les résultats de notre étude N°3 confirmaient ces tendances. La présence des gardiens de buts augmentait l'impact cardiaque durant les jeux réduits 8 vs. 8. Nous notions une hausse de 12% du %FCres avec la présence de gardiens de buts comparativement au même jeu réduit avec des caractéristiques identiques mais sans gardiens de buts. L'objectif de marquer des buts et de protéger son camp pourrait imposer une hausse de l'activité du footballeur par une probable motivation plus grande (Spalding et al, 2004). Toutefois, ces résultats seraient contraires si nous diminuons le nombre de joueurs et le rapport d'opposition. Mallo et Navarro (2008) avaient relevé la FC lors de 3 vs. 3 sur des terrains 33 X 20 m. Ils avaient trouvé qu'en l'absence de gardiens de buts les joueurs avaient une FC moyenne qui montait plus haut (173 bpm vs. 166 bpm) pour des conditions de jeu identiques. Ils démontraient en plus que la distance parcourue était plus grande quand il n'y avait pas de gardiens (748 m vs. 638 m). Au delà de la présence des gardiens de buts, Little et Williams (2007a) relataient même que la taille des buts influençait l'impact physiologique chez les joueurs de champ.

De plus, l'activité des footballeurs était moins homogène durant les jeux réduits 8 vs. 8 avec gardiens que sans gardien (CV inter-sujets respectivement de 15.6% vs. 8.8%). Pour expliquer une telle différence, il serait possible que certains joueurs soient plus motivés que d'autres en présence de gardiens de buts. L'impact physiologique des jeux réduits est moins homogène que lors d'exercices intermittents. Cette différence est augmentée avec la présence de gardiens de buts, la modification du nombre de joueurs et la réduction des espaces. Les caractéristiques des jeux réduits doivent être choisies avec attention car chaque élément pourrait influencer l'activité des joueurs.

Les résultats de cette étude N°3 supportent l'idée que certains jeux réduits permettraient d'élever les réponses de FC à un niveau équivalent à celui de certains exercices intermittents courses de courtes durées. Les jeux réduits peuvent alors être utilisés comme une méthode d'entraînement intégrant l'aspect tactique, l'aspect technique mais aussi l'aspect physique en approchant des intensités semblables à celles d'exercices intermittents courts.

Cependant, ces jeux réduits présentent une variabilité plus importante que celle des exercices intermittents. Cette forme de travail ne permettrait pas un contrôle rigoureux de l'activité des joueurs. Ainsi, en accord avec les objectifs de l'entraînement, le coach devra choisir entre un entraînement physique contrôlé (exercices intermittents) et un entraînement physique intégré plus difficilement contrôlable (jeux réduits). D'autres études ont besoin de comparer les effets de ces deux méthodes d'entraînements sur la performance avec d'autres

outils de contrôle de la charge. L'utilisation de la RPE (Coutts et al, 2007a ; Impellizzerri et al, 2005) et une mesure de la lactatémie pourraient apporter des éléments complémentaires afin d'affiner l'analyse des incidences physiologiques de jeux réduits. De même, des études comparatives du 4 vs. 4 au 10 vs. 10 sur des petits buts, avec gardiens sur buts A7, sur grands buts, avec des appuis, sans appuis seraient intéressantes pour analyser et comparer leurs impacts physiologiques et technico-tactiques sur des joueurs professionnels et des amateurs (Rampinini et al, 2007b).

CHAPITRE VI

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION

L'ensemble de ce travail de thèse a permis d'affiner la méthodologie de l'entraînement spécifique du footballeur. Les différents facteurs de la performance ont été approchés avec une référence spéciale à la condition physique et aux aspects technico-tactiques.

D'une part nous avons apporté une nouvelle base de données quantitative et qualitative sur l'activité du footballeur en match officiel issue de 4 grands championnats européens. Des tendances communes indépendamment des postes ont été fournies. Les joueurs doivent avoir de bonnes qualités aérobies car ils parcourent au minimum 10252.44 m, et une capacité à répéter les courses à hautes intensités sans la perte de performance. Ces dernières représentent entre 3.77% et 6.11% de leurs distances totales parcourues. Sur le plan technique, les footballeurs de haut niveau avaient un pourcentage élevé de passes réussies, entre 71.75% et 79.5%, et un nombre de tdb moyen par possession limité, c'est-à-dire de 1.82 tdb à 2.25 tdb, mais ces performance diminueraient entre la 1ère et la 2ème mi-temps (Rampinini et al, 2007d).

D'autre part, cette thèse a également permis de présenter des exigences spécifiques selon les positions occupées sur le terrain et de ce fait d'affiner l'orientation de l'entraînement. Les défenseurs doivent être performants dans les duels tandis que le travail des AL et des A serait basé sur la répétition de sprints et de courses hautes intensités. Les milieux de terrains réunissent ces deux aptitudes. Les exercices de réitération des efforts sont très importants en football (e.g. Mendez-Villanueva et al, 2008). Les distances de courses seront individualisées selon les postes. Les MAD feront des distances plus courtes alors que les ME, les MO, les AL et les A réaliseront des courses plus longues. Le staff essaiera de les rapprocher le plus possible des choix tactiques, en d'autres termes en fonction des animations offensives et défensives. Plus précisément, les ME et les MO sont les joueurs qui reçoivent le plus la balle et qui créent le déséquilibre adverse grâce à leurs percussions, leurs dribbles et leurs prises de risques.

Cependant, nos résultats ont bien montré que les CV étaient très élevés et que ces tendances communes générales ou spécifiques au poste demeurent des généralités. Elles ne différencient pas l'activité des joueurs lors des temps de jeu effectif et lors des temps morts. Des études complémentaires devront être apportées. De la même manière, les entraîneurs adapteront ces données en accord avec leurs principes de jeu et leurs animations tactiques. D'autres protocoles pourront aussi affiner l'orientation de l'entraînement par une analyse de

l'activité selon les postes occupés en fonction des systèmes, des organisations footballistiques, en relation avec le temps de jeu effectif (Dellal et al, *in press*) ou encore avec des analyses de distances totales parcourues en fonctions des VMA des joueurs.

Cette analyse de l'activité confirme l'intérêt de l'individualisation des charges en fonction des positions sur le terrain. Les exercices intermittents courses de hautes intensités le permettent et sont définis comme les efforts les plus spécifiques du football (Bravo et al, 2007). Ils sont le reflet de l'activité des joueurs. Ils permettent une sollicitation mixte des filières énergétiques aérobie (Gaitanos et al, 1990) et anaérobie (Bangsbo, 2007), tout en permettant d'entraîner la capacité de répétitions d'effort maximal et supra maximal des joueurs. Toutefois, l'utilisation classique de ces types d'exercices s'opère en ligne. Or en football, les joueurs réalisent un grand nombre de changements de direction (Dellal, 2008 ; Bangsbo, 2007). Nos travaux de recherches ont démontré que des exercices intermittents courses spécifiques au football effectués avec des changements de direction à 180° impliqueraient des élévations de la sollicitation périphérique. La lactatémie et la perception de l'effort seraient significativement plus élevées. Ces données sont en accord avec les données de Bisciotti et al (2000). Les entraîneurs disposeront de ces exercices quand les joueurs se seront adaptés au travail intermittent classique et quand ils souhaiteront affiner le reflet de leurs séances par rapport aux matchs.

Cependant, les exigences cardio-respiratoires de cette méthodologie de travail ne sont pas encore définies. Le pic du VO_2max atteint lors d'un exercice intermittent de type 15-15 en ligne (Dupont et al, 1999) ne serait pas atteint si cet effort était réalisé en navette. La cinétique du VO_2max n'est pas encore indiquée à ce jour. De la même façon, des études complémentaires pourront à la fois valider l'utilisation du test IFT 30-15 (Buchheit, 2008) pour définir une *v*VO_2max spécifique aux exercices intermittents en navette et orienter leurs entraînements, c'est à dire les distances, les durées totales, le nombre et la nature des changements de direction.

En attendant ces études complémentaires, l'entraînement du footballeur au moyen de jeux réduits permettrait d'élever les réponses de FC à un niveau équivalent à celui de certains exercices intermittents courses de courtes durées tout en réalisant des changements de direction et en sollicitant la technique et la tactique du joueur.

Nos résultats confirment également que l'impact physiologique des jeux réduits est moins homogène que lors d'exercices intermittents. Cette différence est augmentée avec la présence de gardiens de buts, la modification du nombre de joueurs et la réduction des espaces. Les caractéristiques des jeux réduits doivent être choisies avec attention car chaque élément

pourrait influencer l'activité des joueurs (e.g. Mallo et Navarro, 2008).

Toutefois, aucune étude n'a comparé l'ensemble des différentes conditions de jeux sur les 4 vs. 4, qui sont définis comme les exercices les plus spécifiques au football car ils combinent parfaitement la tactique, la technique et la condition physique (Kelly et Drust, 2008 ; Jones et Drust, 2007 ; Reilly, 2005 ; Owen et al, 2004). Par conséquent, un travail de recherche pourrait analyser des 4 vs. 4, 3 vs. 3, 5 vs. 5 et des 6 vs. 6 sur des terrains identiques mais avec des conditions qui diffèrent : des petits buts, avec gardiens sur buts A7, sur grands buts, avec des appuis et sans appuis pour des footballeurs de haut-niveau. Les impacts physiques, physiologiques et technico-tactique pourront être comparés avec l'étude de Rampinini et al (2007b) qui testait des joueurs amateurs. Les entraîneurs choisiront les conditions de jeu souhaitées en fonction des objectifs physiologiques de la séance et du public concerné.

Au terme de notre analyse nous pouvons conclure que cette thèse a apporté des outils spécifiques pour orienter l'entraînement physique du footballeur à la fois de manière dissociée et intégrée. Les perspectives de travaux de recherches sont nombreuses et leurs intérêts seraient de systématiquement présenter une application pratique immédiate. Elles devraient apporter des données précises permettant d'optimiser l'analyse qualitative de l'activité du footballeur en fonction des temps de jeu effectif et des organisations de jeu ; spécifier comment appliquer les exercices intermittents avec des changements de directions ; et fournir des outils et des données permettant d'augmenter le contrôle des variabilités de l'activité des joueurs lors de jeux réduits Les entraîneurs et les chercheurs doivent joindre leurs connaisances afin d'améliorer les méthodologies de l'entraînement du footballeur.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Agnevik G. Fotboll Rapport. Idrottsfysiology, Trygg-Hansa, Stockholm, 1970

Ahmaidi S, Granier P, Taoutaou Z, Mercier J, Dubouchaud H, Prefaut C. Effects of active recovery on plasma lactate and anaerobic power following repeated intensive exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1996, 28(4): 450-6

Ahmaidi S, Collomp K, Caillaud C, Préfaut C. Maximal and functional aerobic capacity as assessed by two graduated field methods in comparison to laboratory exercise testing in moderately trained subjects. *Int. J. Sports Med.* 1992, 13(3): 243-8

Ahmaidi S, Collomp K, Préfaut C. The effect of shuttle test protocol and the resulting lactacidaemia on maximal velocity and maximal oxygen uptake during the shuttle exercise test. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 1992, 65(5): 475-9

Ali A, Farrally M. A computer-video aided time motion analysis technique for match analysis. *J. Sports Med. Phys. Fitness*. 1991, 31(1): 82-88

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

Allen D, Westerblad H. Lactic acid the latest performance-enhancing drug. *Science* 2004, 305(5687): 1112-1113

Allen JD, Butterfly R, Welsh MA, Wood R. The physical and physiological value of 5-a-side soccer training to 11-a-side match play. *J. Human Movement Studies* 1998, 34(1): 1-11

Andersson H, Ekblom B, Krustrup P. Elite football on artificial turf versus natural grass: movement patterns, technical standards, and player impressions. *J. Sports Sci.* 2008, 26(2): 113-22

Antonacci L, Mortimer LF, Rodrigues VM, Coelho DB, Soares DD, Silami-Garcia E. Competition, estimated, and test maximum heart rate. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 2007, 47(4): 418-21

Arnason A, Gudmundsson A, Dahl HA, Johannsson E. Soccer injuries in Iceland. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 1996, 6: 40-45

Arnason A, **Sigurdsson SB**, **Gudmundsson A**, **Holme I**, **Engebretsen L**, **Bahr R**. Physical fitness, injuries, and team performance in soccer. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2004, 36: 278-285

Arnason A, Sigurdsson SB, Gudmundsson A, Holme I, Engebretsen L, Bahr R. Risk factors for injuries in football. *Am. J. Sports Med.* 2004, 32: 5S-16S

Askling C, Karlsson J, Thorstensson A. Hamstring injury occurrence in elite soccer players after peseason strength training with eccentric overload. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 2003, 13: 244-250

Asmussen E, Böje O. Body temperature in muscular work. *Acta Physiol. Scand*. 1945, 10: 1-16

Astrand I, Astrand PO, Christensen EH, Hedman R. Intermittent muscular work. *Acta Physiol. Scand.* 1960, 48: 448-453

Astrand PO, Rodahl K, Dahl HA et al. Texbook of work physiology: physiological bases of exercise. Windsor (Canada). Eds Human Kinetics, 2003

Astrand PO, Rodhal K. Textbook of work physiology. New York : Mc Graw Hill, 1970

Aziz AR, Mukherjee S, Chia MY, Teh KC. Relationship between measured maximal oxygen uptake and aerobic endurance performance with running repeated sprint ability in young elite soccer players. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 2007, 47(4): 401-7

Baechle TR, Earle RW. Essentials of Strength Training and Conditioning. Champaign, IL: Human Kinetics, 2000

Bahr R. Excess post exercise oxygen consumption – magnitude, mechanisms and practical implications. *Acta Physiol. Scand.* 1992, 605(144): 36

Bailey DM, Davies B. Physiological implications of altitude training for endurance performance at sea level: a review. *Br. J. Sports Med.* 1997, 31(3): 183-90

Baldari C, Videira M, Madeira F, Sergio J, Guidetti L. Blood lactate removal during recovery at various intensities below the individual anaerobic threshold in triathletes. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 2005, 45(4): 460-6

Baldari C, Videira M, Madeira F, Sergio J, Guidetti L. Lactate removal during active recovery related to the individual anaerobic and ventilatory thresholds in soccer players. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2004, 93(1-2): 224-30

Balsom PD Gaitanos GC, Söderlund K, Ekblom B. High-intensity exercise and muscle glycogen availability in humans. *Acta Physiol. Scand.* 1999, 165(4): 337-345

Balsom PD, Söderlund K, Christensen EH, Hedman R. Creatine in humans with special reference to creatine supplementation. *Sports Med.* 1994, 18: 268-280

Balsom PD, Seger JY, Sjödin B, Ekblom B. Maximal-intensity intermittent exercise: effect of recovery duration.*Int. J. Sports Med.* 1992, 13(7): 528-33

Balsom PD, Segger JY, Ekblom B. A physiological evaluation of high intensity intermittent exercise. Abstract from the 2nd World Congress on Science and Football, 22-25, Veldhoven, 1991

Balsom PD. Guide de l'entraînement du footballeur. Editions Polar librairie, 1999

Balsom PD. High intensity intermittent exercise, performance and metabolic reponses with very high intensity short duration works periods [*Thèse de médecine*]. Université de Karolinska, Stockholm, Suède, 1995

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

Bangsbo J, Graham TE, Kiens B, Saltin B. Elevated muscle glycogen an anaerobic energy production during exhaustive exercise in man. *J. Physiol.* 1992, 451: 205-222

Bangsbo J, Juel C. Counterpoint: lactic acid accumulation is a disadvantage during muscle activity. *J. Appl. Physiol.* 2006, 100(4): 1412-1413

Bangsbo J, Michalsik L. Assessment of the physiological capacity of elite soccers players. In Spinks W, Reilly T et Murphy WJ (eds), *Science and Football IV*, 53-62. Routledge eds, Great Britain, 2002

Bangsbo J, Mizuno M. Morphological and metabolic alterations in soccer players with detraining and retraining and their relation to performance. In Reilly T, Lees A, Davids K et Murphy WJ (eds), *Science and Football*, pp114-124. E & FN Spon, London/New York, 1988

Bangsbo J. Fŭtbol : entrenamiento de la condición fisica en el fŭtbo. Eds Paidotrivo, 2008

Bangsbo J. Aerobic and anerobic training in soccer. Eds Stormtryk Bagsvaerd, 2007

Bangsbo J. Fitness Training in football: a scientific approach. Eds Bagsvaerd, Danemark: HO + Storm, 1994a

Bangsbo J. Energy demands in competitive soccer. *J. Sports Sci.* 1994b, 12:5-12

Bangsbo J. The physiology of soccer. With special reference to intense intermittent exercise, [*Thèse de physiologie de l'exercice*]. Université de Copenhague, 1994

Barros RML, Misuta1 MS, Menezes RP, Figueroa PJ, Moura FA, Cunha SA, Anido R, Leite NJ. Analysis of the distances covered by first division brazilian soccer players obtained with an automatic tracking method. *J. Sports Sci.* 2007, 6: 233-242

Basset DR, Merill PW, Nagle FJ et al. Rate of decline in blood lactate after cycling exercise in endurance-trained and untrained subjects. *J. Appl. Physiol.* 1991, 70: 1816-20

Bauer E. Humanbiologie. Verhagen und klassing, Berlin, 1981

Bazett-Jones DM, Gibson MH, McBride JM. Sprint and vertical jump performances are not affected by six weeks of static hamstring stretching. *J. Strength Cond. Res.* 2008, 22(1): 25-31

Behm DG, Sale DG. Intended rather tan actual movement velocity determines velocity-specific training response. *J. Appl. Physiol.*1993, 74(1): 359-368

Behm DG. Neuromusuclar implications and applications of resistance training. *J. Strength Cond. Res.* 1995, 9(4): 264-274

Bemben MG, Lamont HS. Creatine supplementation and exercise performance: recent findings. *Sports Med*. 2005, 35(2): 107-25

Bentley DJ, Newell J, Bishop D. Incremental exercise test design and analysis: implications for performance diagnostics in endurance athletes. *Sports Med.* 2007, 37(7): 575-86

Berg K. Endurance training and performance in runners: research limitations and unanswered questions. *Sport Med.* 2003, 33(1): 59-73

Berger M, Prioux J, Potiron-Josse M. Réponses cardiorespiratoire et métabolique lors d'un exercice intermittent : comparaison de deux intensités d'exercices, Université de Nantes

Bergh U, Ekblom B. Physical performance and peak aerobic power at different body temperatures. *J. Appl. Physiol.* 1979, 846: 885

Bergh U, Sjødin B, Forsberg A, Svendenhag J. The relationship between body mass and oxygen uptake during running in humans. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1991, 23: 205-211

Bergstrom J, Harris RC, Hultman E, Nordesjo LO. Energy rich phosphagens in dynamic and static work. In : Pernow B et Saltin B (eds). Muscle metabolim during exercise, 341-355. Plenum, New York, 1970

Bhambhani YN. Muscle oxygenation trends during dynamic exercise measured by near infrared spectroscopy. *Can. J. Appl. Physiol.* 2004, 29(4): 504-23

Billat V, Lepretre PM, Heugas AM, Laurence MH, Salim D, Koralsztein JP. Training and bioenergetic characteristics in elite male and female Kenyan runners. *Med. Sci. Sports Exerc*. 2003, 35(2): 297-304; discussion 305-6

Billat VL, Hamard L, Koralsztein JP. The influence of exercise duration at VO2 max on the off-transient pulmonary oxygen uptake phase during high intensity running activity. *Arch. Physiol. Biochem*. 2002, 110(5): 383-92

Billat V, Bocquet V, Slawinski J, Laffite L, Demarle A, Chassaing P, Koralsztein JP. Effect of a prior intermittent run at vVO2max on oxygen kinetics during an all-out severe run in humans. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 2000a, 40(3): 185-194

Billat VL, Slawinski J, Bocquet V, Demarle A, Lafitte L, Chassaing P, Koralsztein JP. Intermittent runs at the velocity associated with maximal oxygen uptake enables subjects to remain at maximal oxygen uptake for a longer time than intense but submaximal runs. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2000b, 81(3): 188-96

Billat V, Flechet B, Petit B, Muriaux G, Koralsztein JP. Interval training at VO_2max: effects on aerobic performance and overtraining markers. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1999, 31(1): 156-163

Billat V, Petit B, Koralsztein JP. Calibration de la durée des répétitions d'une séance d'interval training à la vitesse associée à VO_2max en référence au temps limite continu : effet sur les réponses physiologiques et la distance parcourue. *Science et Motricité* 1996a, 28: 13-20

Billat V, Beillot J, Jan J, Rochcongar P, Carre F. Gender effect on the relationship of time limit at 100% VO_2max with other bioenergetic characteristics. *Med. Sci. Sports Exerc*. 1996b, 28: 1049-1055

Billat VL, Hill DW, Pinoteau J, Petit B, Koralsztein JP. Effect of protocol on determination of velocity at VO2 max and on its time to exhaustion. *Arch. Physiol. Biochem.* 1996c, 104: 313-321

Billat V, Pinoteau J, Petit B, Renoux JC, Koralsztein JP. Reproducibility of runnig time to exhaustion at VO_2max in sub-elite runners, *Med. Sci. Sports Exerc*. 1994, 26: 254-257

Billat V, Koralsztein JP. Significance of the velocity at VO_2max and time to exhaustion at this velocity. *Sports Med.* 1996, 22: 90-108

Billat V. Physiologie et méthodologie de l'entraînement, de la théorie à la pratique. Eds De Boeck, 2ème édition, 2003

Billat V. Physiologie et méthodologie de l'entraînement, de la théorie à la pratique. Eds De Boeck, 1998

Billeter R, Hoppeler H. Muscular basis of strength. in: Komi P. V., Kraft und Schnellkraft im Sport, Colonia, 1994, 39-63

Bisciotti GN, Iodice PP, Arcelli E, Filaire E, Sagnol M. Un test de terrain simple pour la détermination du seuil anaérobie = A simple test for the determination of anaerobic threshold. *Sci. Sports* 2003, 18(1): 46-7

Bisciotti GN, Sagnol JM, Filaire E. Aspetti bioenergetici della corsa frazionata nel calcio. *Scuola dello sport*. Italie, 2000, n° 50

Bishop D, Edge J. Determinants of repeated-sprint ability in females matched for single-sprint performance. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2006, 97(4): 373-379

Bishop D, Edge J. The effects of a 10-day taper on repeated-sprint performance in females. *J.l Sci. Med. Sport* 2005, 8(2): 200-209

Bishop DJ. Warm Up 1 Potential Mechanisms and the Effects of Passive Warm Up on Exercise Performance, *Sports Med. Aus*. 2003, 33(6): 439-454

Bishop NC, Gleeson M, Nicholas CW, Ali A. Influence of carbohydrate supplementation on plasma cytokine and neutrophil degranulation responses to high intensity intermittent exercise. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2002, 12(2): 145-156

Bloomfield J, Polman R, O'Donoghue P, McNaughton L. Effective speed and agility conditioning methodology for random intermittent dynamic type sports. *J. Strength Cond. Res.* 2007, 21(4): 1093-100

Bogdanis GC, Nevill ME, Boobis LH, Lakomy HKA. Recovery of power output and muscle metabolites following 30s of maximal sprint cycling. *J. Physiol.* 1995, 482 (15): 467-480

Bompa TO. Theory and Methodology of Training (4th ed.). Toronto, Ontario Canada: Kendall/Hunt Publishing Company,1996

Bonen A, Belcastro AN. Comparison of self-selected recovery methods on lactic-acid removal rates. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1976, 8(3): 176-178

Böning D, Klarholz C, Himmelsbach B, Hütler M, Maassen N. Extracellular bicarbonate and non-bicarbonate buffering against lactic acid during and after exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2007, 100(4): 457-67

Boobis LH, Williams C, Wootton S. Human muscle metabolism during brief maximal exercise. *J. Physiol.* 1982, 338: 21-22

Borg G. Borg's perceived exertion and pain scales. Champaign IL : Eds Human Kinetics, 1998

Borg G. An introduction to Borg's RPE-scale. Eds Ithaca, New York, 1985

Borg G. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1982, 14: 377-381

Borg G. Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand. J. Rehabil. Med.* 1970, 2: 92-98

Bravo DF, Impellizzeri FM, Rampinini E, Castagna C, Bishop D, Wisloff U. Sprint vs. Interval Training in Football. *Int. J. Sports Med.* 2007, 17

Brewer J, Davis J. The female player. In: Ekblom B, Eds Football (soccer). London: Blackwell Scientific, 95-99, 1994

Brooke JD, Knowles JE. Part II: Training Methods. *Br. J. Sports Med.* 1974, 8(2-3): 148–155

Brooks GA, Henderson GC, Hashimoto T, Mau T, Fattor JA, Horning MA et al. Lactic acid accumulation is an advantage/disadvantage during muscle activity. *J. Appl. Physiol.* 2006, 100(6): 2100

Brooks S, Nevill ME, Meleagros L, Lakomy HK, Hall GM, Bloom SR, Williams C. The hormonal responses to repetitive brief maximal exercise in humans. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 1990, 60(2): 144-8

Brooks GA. Lactate shuttles in nature. *Biochem. Soc. Trans.* 2002, 30(2): 258-264

Brown PI, Hughes MG, Tong RJ. The effect of warm-up on high-intensity, intermittent running using nonmotorized treadmill ergometry. *J. Strength Cond. Res.* 2008, 22(3): 801-8

Brown PI, Hughes MG, Tong RJ. Relationship between VO_2max and repeated sprint ability using non-motorised treadmill ergometry. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 2007, 47(2): 186-190

Buchheit M. The 30-15 intermittent fitness test: accuracy for individualizing interval training of young intermittent sport players. *J. Strength Cond. Res*. 2008, 22(2): 365-74

Buchheit M. The 30-15 intermittent fitness test: reliability and implication for interval training of intermittent sport players. *ECSS proceedings*, Belgrade, 2005

Bührle M, Schmidtbleicher D. Influence of maximum strength training on the speed of movement. *Leistungssport* 1977, 7(1): 3-10

Bunc V, Hofmann P, Leitner H, Gaisl G. Verification of the heart rate threshold. *Eur. J. Appl. Physiol.* 1981,72(3): 283-284

Burnley M, Wilkerson DP, Jones AM. Lactic acid accumulation is an advantage/ disadvantage during muscle activity. *J. Appl. Physiol.* 2006, 101(2): 683

Carling C, Bloomfield J, Nelsen L, Reilly T. The role of motion analysis in elite soccer – contemporary performance measurement techniques and work rate data. *Sport Med.* 2008, 38(10): 839-62

Carling C, Williams MA, Reilly T. Handbook of soccer match analysis – a systematic approach to improving performance. Eds Routledge, 2007

Carminati Y, Di Salvo V. L'allenamento della velocita nel calciotore. Eds Calzetti Mariucci, Perouse, Italie, 2003

Casajus JA, Castagna C. Aerobic fitness and field test performance in elite Spanish soccer referees of different ages. *J. Sci. Med. Sport.* 2007, 10(6): 382-9

Casajus JA. Seasonal variation in fitness variables in professional soccer players. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 2001, 41(4): 463-469

Castagna C, Impellizzeri FM, Chamari K, Carlomagno D, Rampinini E. Aerobic fitness and Yo-Yo continuous and intermittent tests performances in soccer players: a correlation study. *J. Strength Cond. Res.* 2006, 20(2): 320-5

Castagna C, D'Ottavio S. Abt G. Activity profile of young soccer players during actual match-play. *J. Strength Cond. Res*. 2003, 17(4): 775-780

Cavagna GA, Komarek L, Mazzoleni S. The mechanics of sprint running. *J. Physiol.* 1971, 217(3): 709-21

Cavagna GA, Dusman B, Margaria R. Positive work done by a previously stretched muscle. *J. Appl. Physiol.* 1968, 24: 21-32

Cazorla G, Léger L. Comment évaluer et développer vos capacités aérobies. Epreuves de course navette et épreuve Vameval. Eds AREAPS : 123, 1993

Cazorla G, Petitbois C, Bosquet L, Léger L. Lactate et exercice….mythes et réalités. *STAPS* 2001, 54: 63-76

Cazorla G, Benezzeddine-Boussaidi L. Tests de terrain pour évaluer l'aptitude aérobie et utilisation de leurs résultats dans l'entraînement. 1999

Cazorla G. Test de terrain pour évaluer la capacité aérobie et la vitesse aérobie maximale. Dans : « Actes du colloque international de la Guadeloupe ». Eds : ACTSCHNG & AREAPS : 151-173, 23 novembre 1990

Cesari E, Laigret. Les fondamentaux de l'athlétisme. Eds Amphora, 1999

Chamari K, Ahmaidi S, Blum JY, Hue O, Temfemo A, Hertogh C, Mercier B, Prefaut C, Mercier J. Venous blood lactate increase after vertical jumping in volleyball athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2001, 85: 191-194

Chamari K, Hachana Y, Kaouech F, Jeddi R, Moussa-Chamari I, Wisloff U. Endurance training and testing with the ball in young elite soccer players. *Br. J. Sports Med*. 2005a, 39:24-8

Chamari K, Moussa-Chamar I, Boussaïdi L, Hachana Y, Kouach F, Wisløff U. Appropriate interpretation of aerobic capacity: Allometric scaling in adult and young soccer players. *Br. J. Sports Med*. 2005b, 39(2): 97-101

Chatard JC. Aptitude physique du footballeur. Eds Brucosport, Brugge, Belgique

Christensen EH, Hedman R, Saltin B. Intermittent and continuous running. *Acta Physiol. Scand.* 1960, 50: 269-286

Chtara M, Chamari K, Chaouachi M, Chaouachi A, Koubaa D, Feki Y, Millet GP, Amri M. Effects of intra-session concurrent endurance and strength training sequence on aerobic performance and capacity. *Br. J. Sports Med*. 2005, 39(8): 555-60

Clausen T. Role of Na+,K+-pumps and transmembrane Na+,K+-distribution in muscle function. The FEPS lecture - Bratislava 2007. *Acta Physiol (Oxf).* 2008 March, 192(3): 339-49

Coburn JW, Housh TJ, Malek MH, Weir JP, Cramer JT, Beck TW, Johnson GO. Neuromuscular responses to three days of velocity-specific isokinetic training. *J. Strength Cond. Res.* 2006, 20(4): 892-8

Cometti G, Jaffiol T, Chalopin C, Rappeneau N, Devillairs J, Lanchais P, Garapon C, Bertogli R, Laly A, Trinh T, Paizis C. Etudes des effets des différentes séquences de travail de type intermittent. CEP, Dijon, 2003

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

Cometti G. Les limites du stretching pour la performance sportive. Partie 1: Intérêt des étirements avant et après la performance, 2004

Cometti G. La préparation physique en football. Eds Chiron, 2002

Cometi G. Football et musculation. Eds Maury, 1993

Cometti, G. Les méthodes modernes de musculation, compte rendu du colloque de novembre 1988 à l'UFR STAPS de Dijon, eds : Université de Bourgogne. Tome 1 données théoriques, 1988

Conconi F, Ferrari M, Ziglio PG, Droghetti P, Codeca L. Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners. *J. Appl. Physiol.* 1982, 52: 869-873

Cottin F, Médigue C, Lopes P, Leprêtre PM, Heubert R, Billat V. Ventilatory thresholds assessment from heart rate variability during an incremental exhaustive running test. *Int. J. Sports Med.* 2007, 28(4): 287-94

Coutts AJ, Rampinini E, Marcora SM, Castagna C, Impellizzeri FM. Heart rate and blood lactate correlates of perceived exertion during small-sided soccer games. *J. Sci. Med. Sport.* 2007a, 6

Coutts AJ, Rampinini E, Castagna C, Marcora, S, Impellizzeri F.M. Physiological correlates of perceived exertion during soccer-specific exercise. *J. Sci. Med. Sport* 2007b, 6

Covell B, El Din IV, Passmore K. Energy expenditure of young men in during the week-end. *Lancet* 1965, 1:727-728

Cronin JB, Hansen KT. Strength and power predictors of sports speed. *J. Strength Cond. Res.* 2005, 19(2): 349-357

Crowther GJ, Jubrias SA, Gronka RK, Conley KE. A "functional biopsy" of muscle properties in sprinters and distance runners. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2002, 34(1 1): 1719-24

Davies CT, Di Prampero PE, Cerretelli P. Kinetics of cardiac output and respiratory gas exchange during exercise and recovery. *J. Appl. Physiol.* 1972, 32: 618-625

Davis JM, Bailey SP. Possible mechanisms of central nervous system fatigue during exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1996, 29: 45-57

Davis JM, Welsh RS, Alerson NA. Effects of carbohydrate and chromium ingestion during intermittent high-intensity exercise to fatigue. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2000, 10(4): 476-485

Davis JM, Welsh RS, De Volve KL, Alerson NA. Effects of branched-chain amino acids and carbohydrate on fatigue during intermittent, high-intensity running. *Int. J. Sports Med.* 1999, 20(5): 309-314

Dawson B. Periodisation of speed and endurance training. In P. R. J. Reaburn & D. G. Jenkins (Eds.), Training for Speed and Endurance (pp. 76-96). Sydney: Allen & Unwin, 1996

De Sousa MV, Simões HG, Oshiiwa M, Rogero MM, Tirapegui J. Effects of acute carbohydrate supplementation during sessions of high-intensity intermittent exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2007, 99(1): 57-63

Dellal A, Ignatowicz L, Dyon N. Analyse de l'activité du footballeur de haut-niveau : rapport entre la distance parcourue durant le temps de jeu total et le temps de jeu effectif – Etude préliminaire. In « Actes du colloques Football et Recherches », aux éditions PUF, Janvier 2009

Dellal A (Eds). Barrieu P, Castagna C, Chamari K, Chaouachi A, Chinelli S, Coutts AJ, Dyon N, Hagist L, Impellizzeri F, Moalla W, Monkam Tchokonte SA, Pintus A, Rampinini E, Reiss D. De l'entraînement à la performance en football. Eds De Boeck, 2008

Dellal A, Grosgeorge B. Développement de l'endurance chez le basketteur. analyse d'une méthode d'entraînement spécifique : les exercices intermittents en navette. *Médi Basket*, N°23, février 2006, 6-9

Dellal A, Ougulshi M, Al Ghari MA. The field use of the ball to improve the cardiovascular aspect in rehabilitation and re-training – Application for high level soccer players of national Saudia Arabia team. *Congress of Sport Sciences Act*, novembre 2006, 6-19, Dubai; Emirats Arabe Unis

Demarie S, Koralsztein JP, Billat V. Time limit and time at VO_2max' during a continuous and an intermittent run. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 2000, 40(2): 96-102

Desgorces FD, Sénégas X, Garcia J, Decker L, Noirez P. Methods to quantify intermittent exercises. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 2007, 32(4): 762-9

Di Prampero PE, Mahler PB, Giezendanner D, Cerretelli P. Effects of priming exercise on VO2 kinetics and O2 deficit at the onset of stepping and cycling. *J. Appl. Physiol*. 1989, 66: 2023-31

Di Prampero PE. Factors limiting maximal performance in humans. *Eur. J. Appl. Physiol*. 2003, 90(3-4): 420-9

Di Salvo V, Baron R, Tschan H, Calderon Montero F, Bachl N, Pigozzi F. Performance Characteristics According to Playing Position in Elite Soccer. *Int. J. Sports Med.* 2007, 28(3): 222-227

Di Salvo V, Collins A, McNeill B, Cardinale M. Validation of Prozone® : a new video-based performance analysis system. *Int. J. Perf. Analysis Sport.* 2006, 6:108-119

Di Salvo V, Pigozzi F. Physical training of football players based on their positional rules in the team. Effects on performance-related factors. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 1998, 38(4): 294-7

Diallo O, Dore E, Duche P, Van Praagh E. Effects of plyometric training followed by a reduced training programme on physical performance in prepubescent soccer players. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 2001, 41(3): 342-348

Dintiman GB. Effects of various training programs on running speed. *Res. Quaterly* 1964, 35: 456-463

Direction Technique Nationale et Fédération Française de Football. Analyses et enseignements de l'Euro 200. CTNFS, Marszalek et Maingot, 2000

Docherty D, Sporer B. A proposed model for examining the interference phenomenon between concurrent aerobic and strength training. *Sports Med*. 2000, 30(6): 385-394

Draper V, Ballart L. Electricalstimulation versus electromyographic beedback in the recovery of quadriceps femoris muscle function following anterior cruciate ligament surgery. *Phys. Ther*. 1991, 71: 455-464

Drust B, Cable NT, Reilly T. Investigation of the effects of the pre-cooling on the physiological responses to soccer-specific intermittent exercise. *Eur. J. Appl Physiol.* 2000, 81(1-2): 11-7

Dufour M. La vitesse. Cours de DESS, Strasbourg, France

Dupont G, Moalla W, Matran R, Berthoin S. Effect of short recovery intensities on the performance during two Wingate tests. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2007a,39(7): 1170-6

Dupont G, Bosquet L, Laure P, Millet G. Méthodologie de l'entraînement. Eds Ellipses marketing, 2007b

Dupont G, **Millet GP**, **Guinhouya C**, **Berthoin S.** Relationship between oxygen uptake kinetics and performance in repeated running sprints. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2005, 95(1): 27-34

Dupont G, Berthoin S. Time spent at a high percentage of VO_2max for short intermittent runs: active recovery vs. passive recovery. *Can. J. Appl. Physiol*. 2004, 29: Suppl: S3-S16

Dupont G, Akakpo K, Berthoin S. The effect of in-season, high-intensity interval training in soccer players. *J. Strength Cond. Res.* 2004, 18(3): 584-589

Dupont G, Blondel N, Berthoin S. Performance for short intermittent runs : active versus passive recovery. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2003, 89: 548-554

Dupont G, Blondel N, Billat V. Relation entre distance limite et temps limite de course pour des exercices intermittents brefs (15s) à allures supramaximales. VIIIéme Congrès international de l'Association des chercheurs en activités physiques et sportives (ACAPS). Macolin : ACAPS, 1999 SUISSE, 346-347, Notes bibliographiques

Dupont G. Exercices intermittents brefs à hautes intensités : influence de la modalité de récupération sur le temps limite d'exercice et le temps passé à un haut pourcentage de VO_2max. [Thèse de Science et Technique des Activités Physiques et Sportives]. Université de Lille 2, 2003

Edgecomb SJ, Norton KI. Comparison of global positioning and computer-based tracking systems for measuring player movement distance during Australian football. *J. Sci. Med. Sport.* 2006,9(1-2): 25-32

Edwards RH, Melcher A, Hesser CM, Wigertz O, Ekelund LG. Physiological correlates of perceived exertion in continuous and intermittent exercise with the same average power output. *Eur. J. Clinb. Invest.* 1972, 2(2): 108-114

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

Ekstrand J, Timpka T, Hägglund M. Risk of injury in elite football played on artificial turf versus natural grass: a prospective two-cohort study. *Br. J. Sports Med.* 2006, 40(12): 975-80

Ekstrand J, Walden M, Hägglund M. 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 the world cup. *Br. J. Sports Med*. 2004, 38: 493-497

Ekstrand J, Gillquist J, Moller M, Oberg B, Liljedahl SO. Incidence of soccer injuries and their relation to training and team success. *Am. J. Sports Med.* 1983, 11: 63-67

Ekstrand J, Gillquist J. Soccer injuries and their mechanisms: a prospective study. *Med. Sci. Spors Exerc.* 1983, 15: 267-270

Eriksson SG, Railo W, Matson H. Sven-Göran Eriksson on soccer – The inner game and improving performance. Eds Reedswain INC, 2001

Ernwein V. Le surentraînement et les marqueurs biologiques. Cours de Master de Préparation Physique et de Management des Equipes sportives, Strasbourg II

Essen B, Hagenfeldt L, Kaijser L. Utilization of blood-borne and intramuscular substrates during continuous and intermittent exercise in man. *J. Physiol*. 1977, 265(2): 489-506

Faina M, Gallozzi C, Lupo S et al. Definition of physiological profile of the soccer players. In: Reilly T, Lees A, Davids K et al, Editors. Science and FootballI? Londres: E&FN Spon, 1988:158-163

Favano A, Santos-Silva PR, Nakano EY, Pedrinelli A, Hernandez AJ, Greve JM. Peptide glutamine supplementation for tolerance of intermittent exercise in soccer players. *Clinics*. 2008, 63(1): 27-32

Ferrari M, Mottola L, Quaresima V. Principles, techniques, and limitations of near Infrared spectroscopy. *Appl. Physiol. Nutr. Metab*. 2004, 29(4): 463-87

Ferrario VF, Sforza C, Dugnani S, Michielon G, Mauro F. Morphological variation analysis of the repeatability of soccer offensive schemes. *J. Sports Sci.* 1999, 17(2): 89-95

FIFA 2006 World Cup technical Report. Eds FIFAnd, 2006

FIFA 2002 World Cup technical Report. Eds FIFAnd, 2002

Figueroa PJ, Leite NJ, Barros RML. Tracking soccer players aiming their kinematical motion analysis. *Computer Vision and Image Understanding* 2006, 101(2): 122-135

Flanagan T, Merrick E. Holistic training : quantifying the work-load of soccer players. In *Science and Football IV*. Spinks, W., Reilly, T., Murphy, A. (Eds), London: Routledge, 341-349, 2002

Florida-James G, Reilly T. The physiological demands of Gaelic football. *Br. J. Sports Med.* 1995, 29: 41–45

Flouris AD, Metsios GS, Koutedakis Y. Enhancing the efficacy of the 20 m multistage shuttle run test.*Br. J. Sports Med.* 2005, 39(3): 166-70

Ford KR, Manson NA, Evans BJ, Myer GD, Gwin RC, Heidt RS, Hewett TE. Comparison of in-shoe foot loading patterns on natural grass and synthetic turf. *J. Sci. Med. Sport* 2006, 42: 8-15

Foster C, Florhaug JA, Franklin J, Gottschall L, Hrovatin L, Parker S, Doleshal P, Dodge C. A new approach to monitoring exercise testing. *J. Strength Cond. Res*. 2001, 15: 109-115

Fox EL, Mathews DK. Bases physiologiques de l'activité physique, traduit et adapté par François Peronnet.Eds Vigot et Décarie, 1981

Fox EL, Mathews DK. Interval Training. Eds Vigot, 1977

Frey G. Zur terminologie und struktur physisher leistungsfaktoren und motorischer fähigkeiten. Leistungssport 1977, 7 : 339-362

Friden J, Lieber RL. Structural and mechanical basis of exercise-induced muscle injury *Med. Sci. Sports. Exerc* 1992, 24(5): 521-530

Gabaldón AM, Nelson FE, Roberts TJ. Relative shortening velocity in locomotor muscles: turkey ankle extensors operate at low V/V(max). *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 2008, 294(1): R200-10

Gabbe B, Finch C, Waisweiner H, Benneli K. Australian football : injury profile at the community level. *J. Sci. Med. Sport* 2002, 5: 149-160

Gacon G. Amélioration de la force de l'appui et entraînement chez le coureur de demi-fond. *AEFA* 1997 ; 146 : 19-25

Gaitanos G. Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise [Thèse de médecine], Loughborough University, 1990

Gaitanos GC, Williams C, Boobis LH, Brooks S. Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *J. Appl. Physiol.* 1993, 75: 712-719

Gambetta V. Les principes de l'entrainement pliométrique. Insep n° 579, 1987

Gaesser GA, Brooks GA. 1984. Metabolic bases of excess post-exercise oxygen consumption : A review. *Med. Sci. Sports.* 16:29-43

Gamblin L, Winterbottom W. Tout le football. 1952

Garry JP, McShane JM. Postcompetition elevation of muscle enzyme levels in professional football players. *Med. Gen. Med.* 2000, 32(1): E4

Gerisch G, Ruttemöller E, Weber K. Sportsmedical measurements performance in soccer. In Reilly T, Lees A., Davids K & Murphy WJ (eds), Science and football, 60-67, London/ New York, 1988

Gil SM, Gil J, Ruiz F, Irazusta A, Irazusta J. Physiological and anthropometric characteristics of young soccer players according to their playing position: relevance for the selection process. *J. Strength Cond. Res.* 2007, 21(2): 438-45

Gissis I, Papadopoulos C, Kalapotharakos VI, Sotiropoulos A, Komsis G, Manolopoulos E. Strength and speed characteristics of elite, subelite, and recreational young soccer players. *Res. Sports Med.* 2006, 14(3): 205-14

Glaister M. Multiple sprint work: physiological responses, mechanisms of fatigue and the influence of aerobic fitness. *Sports Med*. 2005, 35(9): 757-77

Goriot G. Les fondamentaux de l'athlétisme. Eds Vigot, 1984

Gorostiaga EM, Izquierdo M, Ruesta M, Iribarren J, González-Badillo JJ, Ibáñez J. Strength training effects on physical performance and serum hormones in young soccer players. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2004, 91(5-6): 698-707

Grosgeorge B, Dellal A. Exploration des qualités de récupération au cours d'un test de vitesse maximale aérobie (VMA). *Médi Basket*, N°21, février 2005, 10-14

Gupta S, Goswami A, Sadhukan AK, Mathur DN. Comparative study of lactate removal in short massage of extremities, active recovery and a passive recovery period after supramaximal exercise sessions. *Int. J. Sports Med.* 1996, 17(2): 106-110

Hamaoka T, Katsumura T, Murase N, Sako T, Higuchi H, Murakami M, Esaki K, Kime R, Homma T, Sugeta A, Kurosawa Y, Shimomitsu T, Chance B. Muscle oxygen consumption at onset of exercise by near infrared spectroscopy in humans. *Adv Exp Med Biol.* 2003, 530: 475-83

Hamilton B. Usage des produits sanguins autologues en athlétisme. Congrès de l'IAAF, Symposium mondial antidopage, 2006

Harland MJ, Steele JR. Biomechanics of the sprint start. *Sports Med.* 1997, 23(1): 11-20

Harris RC, Edwards RH, Hultman E, Nordesjö LO, Nylind B, Sahlin K. The time course of phosphorylcreatine resynthesis during recovery of the quadriceps muscle in man. *Pflugers Arch.* 1976, 367(2): 137–142

Harris RC, Hultman E, Kaijser L, Nordesjö LO. The effect of circulatory occlusion on isometric exercise capacity and energy metabolism of the quadriceps muscle in man. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* 1975, 35: 87-95

Haseler LJ, Hogan MC, Richardson RC. Skeletal muscle phosphocreatine recovery in exercise-trained humansis dependent on O_2 availibility. *J. Appl. Physiol.* 1999, 86(6): 2013-20118

Hawkins R. The official FA guide to success on and off the pitch : Fitness for football. The FA learning (fédération anglaise de football), Eds Hodder Arnold, 2004

Hawkins RD, Fukker CW. A prospective epidemiological study of injuries in four english professional football clubs. *Br. J. Sports Med.* 1999, 33: 196-203

Hawkins RD, Hulse MA, Wilkinson C, Hodson A, Gibson M. The association football medical research programme: an audit of injuries in professional football. *Br. J. Sports Med*. 2001, 35: 43-47

Helgerud J, Engen LC, Wisløff U, Hoff J. Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2001, 33: 1925-1931

Helsen W, Bultynck JB. Physical and perceptual-cognitive demands of top-class refereeing in association football. *J. Sports Sci.* 2004, 22: 179-189

Hennig E, Briehle R. Game analysis by GPS satellite tracking of soccer players. XI Congress of the Canadian Society for Biomechanics 2000, Montreal-Canada. Book of Abstract, 44

Hermansen L. Oxygen transport during exercise in human subjects. *Acta Physiol. Scand.* 1973, 399: 1-104

Hill AV. The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. Proceedings of the Royal Society of London, 1938, B126:136-195

Hill-Haas S, Coutts A, Rowsell G, Dawson B. Variability of acute physiological responses and performance profiles of youth soccer players in small-sided games. *J. Sci. Med. Sport.* 2007, 10(6): 83

Hirvonen J, Nummela A, Rusko H, Rehunen S, Harkonen M. Fatigue and changes of ATP, creatine phosphate and lactate during 400-m sprint. *Can. J. Sport Sci.* 1992, 17: 141-144

Hirvonen J, Rehunen S, Rusko H, Harkonen M. Breackdown of high energy phosphate compounds and lactate accumulation during short supramaximal exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 1987, 56: 253-259

Hoff J, Helgerud J. Maximal strength training enhance running economy and aerobic endurance performance. In: Hoff J, Helgerud J, editors. Football (soccer). Trondheim, Norvège, university of science and technology, 2002

Hoff J, Wisløff U, Engen LC, Kemi OJ, Helgerud J. Soccer specific aerobic endurance training. *Br. J. Sports Med.* 2002, 36: 218-221

Hoff J. Training and testing physical capacities for elite soccer players. *J. Sports Sci.* 2005, 23(6): 573-582

Holmyard DJ, Cheetham ME, Lakomy HKA, Williams C. Effect of recovery duration on performance during multiple treadmill sprints. In "Science and Football" 1988. 133-144, E and FN Spon, London

Hultman E, Sjoholm H. Energy metabolism and contraction force of human skeletal muscle in situ during electrical stimulation. *J. Physiol.* 1983, 345: 525-532

Hunter I, Smith GA. Preferred and optimal stride frequency, stiffness and economy: changes with fatigue during a 1-h high-intensity run. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2007, 100(6): 653-61

Hunter JP, Marshall RN, Mac Nair P. Reliability of biomechanical variables of sprint running. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2004, 36(5): 850-61

Impellizzeri FM, Rampinini E, Castagna C, Martino F, Fiorini S, Wisloff U. Effect of plyometric training on sand versus grass on muscle soreness and jumping and sprinting ability in soccer players. *Br. J. Sports Med.* 2008, 42(1): 42-6

Impellizzeri FM, Marcora SM, Castagna C, Reilly T, Sassi A, Iaia FM, Rampinini E. Physiological and performance effects of generic versus specific aerobic training in soccer players. *Int. J. Sports Med.* 2006, 27(6): 483-92

Impellizzeri FM, Rampinini E, Marcora SM. Physiological assessment of aerobic training in soccer. *J. Sports Sci.* 2005, 23(6): 583-592

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

Jacquet A, Morlans JP, Blaquart F, Domenech R, Doyen J, Dusseau C, Mankowski P, Martini B, Rabat L. Analyses et enseignements de la coupe du monde 2002. Direction Technique Nationale de la Fédération Française de Football, CTNFS et FFF, Marszalek et Le Guillard, 2000

Joch W, Uckert S. Aufwärm effekte : kriteren für ein wirkungsvolles aufwärmen im sport. *Leistungssport* 2001, 31(3): 15-19

Jones S, Drust B. Physiological and technical demands of 4 vs. 4 and 8 vs.8 in elite youth soccer players. *Kinesiology* 2007, 39(2): 150-6

Kachouri M, Vandewalle H, Billat V, Huet M, Thomaïdis M, Jousselin E, Monod H. Critical velocity of continuous and intermittent running exercise. An example of the limits of the critical power concept. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol*. 1996, 73(5): 484-7

Karvonen J, Vuorimaa T. Heart rate and exercise intensity during sports activities. Practical application. *Sports Med*. 1988, 5(5): 303-11

Karnoven MJ, Kentala E, Mustala O. The effect of training on heart rate. A longitudinal study. *Ann. Med. Exp. Biol. Fenn.* 1957, 35: 307-315

Katch VL, Weltman A. Interrelationship between anaerobic power output, anaerobic capacity and aerobic power. *Ergonomics*, 1979, 22: 325-32

Keller D. Ajustements préparatoires en activités physiques et sportives" Thèse de 3e cycle en neurosciences, Université Louis Pasteur de Strasbourg, 151p., 1984

Kelly DM, Drust B. The effect of pitch dimensions on heart rate responses and technical demands of small-sided soccer games in elite players. *J. Sci. Med. Sport.* 2008, 18

Kelly VG, Coutts AJ. Planning and monitoring training loads during the competition phase in team sports. *Strength Cond. J.* 2007, 29(4): 2-7

Kemi OJ, Hoff J, Engen LC, Helgerud J, Wisloff U. Soccer specific testing of maximal oxygen uptake. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 2003, 43:139-44

Kindermann W. Regeneration und trainingsprozeB. In den ausdauer-sportarten aus medizinischer sicht. *Leistungsport* 1978, 8: 348-357

Kirkendall DT. Training to mimic the game: in praise of 4 v 4. University of North Carolina at Chapel Hill, 2001

Kollath E, Quade K. Measurement of sprinting speed of professional and amateur soccer players. In: Reilly T, Clarys J, Stibbe 1, editors. Science and Football II, Londres: E&FN Spon, 1993: 31-36

Kotzamanidis C, Chatzopoulos D, Michailidis C, Papaiakovou G, Patikas D. The effect of a combined high-intensity strength and speed training program on the running and jumping ability of soccer players. *J. Strength Cond. Res.* 2005, 19(2): 369-375

Kraan GA, van Veen J, Snijders CJ, Storm J. Starting from standing; why step backwards? *J. Biomech.* 2001, 34(2): 211-5

Krustrup P, Mohr M, Steensberg A, Bencke J, Kjaer M, Bangsbo J. Muscle and blood metabolites during a soccer game: implications for sprint performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2006a, 38(6): 1165-1174

Krustrup P, Mohr M, Nybo L, Jensen JM, Nielsen JJ, Bangsbo J. The Yo-Yo IR2 test: physiological response, reliability, and application to elite soccer. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2006b, 38(9): 1666-73

Krustrup P, Mohr M, Ellingsgaard H, Bangsbo J. Physical demands during an elite female soccer game: importance of training status. *Med. Sci. Sports Exerc*. 2005, 37(7): 1242-1248

Krustrup P, Mohr M, Amstrup P, Rysgarrd D, Johansen J, Steensberg A, Pedersen PK, Bangsbo J. The Yo-Yo intermittent recovery test: physiological response, reliability, and validity. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2003a, 35(4): 697-705

Krustrup P, Mohr M, Amstrup T, Rysgaard T, Johansen J, Steensberg A, Pedersen PK, Bangsbo J. The Yo-Yo intermittent recovery test is highly reproducible, sensitive, and valid. *Med. Sci. Sports. Exerc.* 2003b, 35(12): 2120

Krustrup P, Mohr M, Bangsbo J. Activity profile and physiological demands of top-class soccer assistant refereeing in relation to training status. *J. Sports Sci.* 2002, 20: 861-871

Krustrup P, Bangsbo J. Physiological demands of top-class soccer refereeing in relation to physical capacity: effect of intense intermittent exercise training. *J. Sports Sci.* 2001, 19(11): 881-891

Lacour JR, Coudert J, Fellmann N, Flandrois R, Hyacinthe R, Therminarias H, Vandewalle H. Biologie de l'exercice musculaire. Eds Masson, 1992

Lacour JR, Padilla-Magunacelaya S, Barthelemy JC, Dormois D. The energetics of middle-distance running. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 1990, 60(1): 38-43

Lacour JR, Flandrois R. Role of aerobic metabolism in prolonged intensive exercise] *J. Physiol.* (Paris), 1977, 73: 89-130

LaForgia J, Withers RT, Gore CJ. Effects of exercise intensity and duration on the excess post-exercise oxygen consumption. *J. Sports Sci*. 2006, 24(12): 1247-64

Lakomy J, **Haydon DT.** The effects of enforced, rapid deceleration on performance in a multiple sprint test. *J. Strength Cond. Res.* 2004, 18(3): 579-83

Le Gall F. INF : suivi médical et physiologique. Eds INF ; 2002

Le Gallais D, Millet G. La Preparation Physique - Optimisation et limites de la performance sportive. Eds Masson, 2007

Leatt P, Shepard RJ, Plyley MJ. Specific muscular development in under-18 soccer players. *J. Sports Sci.* 1987, 5(2): 165-175

Lees A, Nolan L. The biomechanics of soccer: a review. *J. Sports Sci.* 1998, 16(3): 211-34

Léger L, Boucher R. An indirect continuous running multistage field test. The university of Montréal Track Test. *Can. J. Appl. Sports Sci.* 1980, 6: 77-84

Léger L, Lambert J. A maximal multistage 20m shuttle run test to predict VO_2 max. *Eur. J. Appl. Physiol.* 1982, 49: 1-12

Leigh S, Gross MT, Li L, Yu B. The relationship between discus throwing performance and combinations of selected technical parameters. *Sports Biomech.* 2008, 7(2): 173-93

Lemmink KA, Dijkstra B, Visscher C. Effects of limited peripheral vision on shuttle sprint performance of soccer players. *Percept. Mot. Skills.* 2005, 100(1): 167-75

Lemmink KA, Visscher C. Effect of intermittent exercise on multiple-choice reaction times of soccer players. *Percept. Mot. Skills.* 2005, 100(1): 85-95

Lippi M. Interview of Marcelo Lippi. The Technician – UEFA newsletters for coaches, N°35, Janvier 2007

Little T, Williams AG. Measures of exercise intensity during soccer training drills with professional soccer players. *J. Strength Cond. Res*. 2007a, 21(2): 367-71

Little T, Williams AG. Effects of sprint duration and exercise: rest ratio on repeated sprint performance and physiological responses in professional soccer players. *J. Strength Cond. Res.* 2007b, 21(2): 646-8

Little T, Williams AG. Effects of differential stretching protocols during warm-ups on high-speed motor capacities in professional soccer players. *J Strength Cond Res.* 2006, 20(1): 203-7

Little T, Williams AG. Specificity of acceleration, maximum speed, and agility in professional soccer players. *J. Strength Cond. Res.* 2005, 19(1): 76-8

Mac Ardle WD, Katch FI, Katch VL. Nutrition et performances sportives. Eds De Boeck, 2004

Mac Ardle WD, Katch F, Katch V. Physiologie de l'activité physique. Eds Maloine, 2001

Mac Gregor SJ, Nicholas CW, Lakomy HKA, Williams C. The influence of intermittent high-intensity shuttle running and fluid ingestion on the performance of a soccer skill. *J. Sports Sci.* 1999, 17: 895-903

Mac Cully KK, Iotti S, Kendrick K, Wang Z, Posner JD, Leigh J, Chance B. Simultaneous in vivo measurements of HbO_2 saturation and PCr kinetcs after exercises in normal humans. *J. Appl. Physiol.* 1994, 77(1): 5-10

Mac Gregor JC, Rae A. A review of injuries to professional footballers in a premier football team. *Scot. Med. J.* 1995, 40: 16-18

Mac Guigan MR, Egan AD, Foster C. Salivary cortisol responses and perceived exertion during high intensity and low intensity bouts of resistance exercise. *J. Sports Sci. Med.* 2004, 3: 8-15

Mac Mahon C, Helsen WF, Starkes JL, Weston M. Decision-making skills and deliberate practice in elite association football referees. *J. Sports Sci.* 2007, 25: 65-78

Mac Mahon S, Jenkins D. Factors affecting the rate of phosphocreatine resynthesis following intense exercise. *Sports Med*. 2002, 32(12): 761-84

Mac Mahon S, Wenger HA. The relationship between aerobic fitness and both power output and subsequent recovery during maximal intermittent exercise. *J. Sci. Med. Sport* 1998, 1(4): 219-227

Mac Millan K, Helgerud J, Mac Donald R, Hoff J. Physiological adaptations to soccer specific endurance training in professional youth soccer players. *Br. J. Sports Med.* 2005, 39(5): 273-277

Mallo J, Navarro E. Physical load imposed on soccer players during small-sided training games. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 2008, 48(2): 166-71

Marcora SM, Bosio A. Effect of exercise-induced muscle damage on endurance running performance in humans. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 2007

Margaria R, Olivia RD Di Prampero PE, Cerretelli P. Energy utilisation in intermittent exercise of supramaximal intensity. *J. Appl. Physiol.* 1969, 26: 752-756

Martin JC. Muscle power: the interaction of cycle frequency and shortening velocity. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 2007, 35(2): 74-81

Matveyev L. Fundamentals of Sports Training. (Translated from Russian). Moscow: Progress Publishers, 1982

Meier R. Entrenamiento de la fuerza en fŭtbol. Eds Tutor, 2007

Meinel KG. Bewegungslehre - Sportmotorik 8. Eds Volk et Wissen, 1987

Mendez-Villanueva A, Hamer P, Bishop D. Fatigue in repeated-sprint exercise is related to muscle power factors and reduced neuromuscular activity. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2008, 27

Mendez-Villanueva A, Hamer P, Bishop D. Physical fitness and performance. Fatigue responses during repeated sprints matched for initial mechanical output. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2007, 39(12): 2219-25

Mercier J, Mercier B, Prefaut C. Participation of lactic anaerobic metabolism during short and intense repeated exercises. *Soc. Biol. Fil.* 1989, 183(1): 60-66

Mester J, Kleinoder H, Yue Z. Vibration training: benefits and risks. *J. Biomech*. 2005, 30

Meyers MC, Barnhill BS. Inicidence, causes and severity of high school football injuriespn fieldturf versus natural grass : a 5-year prospective study. *Am. J. Sports Med.* 2004, 32: 1626-1638

Millet G. L'endurance : sport de haut niveau, éducation physique. Eds revue EPS, Paris, France, 2006

Millet GP, Candau R, Fattori P, Bignet F, Varrav A. VO2 responses to different intermittent runs at velocity associated with VO_2max. *Can. J. Appl. Physiol*. 2003, 28: 410-423

Mohr M, Krustrup P, Bangsbo J. Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J. Sports Sci*. 2003, 21(7): 519-528

Mohr M, Krustrup P, Nybo L, Nielsen JJ, Bangsbo J. Muscle temperature and sprint performance during soccer matches--beneficial effect of re-warm-up at half-time. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 2004, 14(3): 156-162

Monkam Tchokonté SA, Keller D, Cometti G, Dellal A. Quantifications et analyses temporelles des paramètres physiques de l'entraînement d'une équipe professionnelle de football en période pré-compétitive. *3ème colloque internationale « Football et recherches »*, 19-20 mai 2008, Valenciennes, France

Mourinho J. Interview of José Mourinho. The Technician – UEFA newsletters for coaches, N°27, Janvier 2005

Neary JP. Application of near infrared spectroscopy to exercise sports science. *Can. J. Appl. Physiol.* 2004, 29(4): 488-503

Nevill ME, Williams C, Ropper D, Slater C, Nevill AM. Effect of diet on performance during recovery from intermittent sprint exercise. *J. Sports Sci.* 1993, 11: 119-126

Newman MA, Tarpenning KM, Marino FE. Relationships between isokinetic knee strength, single-sprint performance, and repeated-sprint ability in football players. *J. Strength Cond. Res.* 2004, 18(4): 867-72

Nicholas CW, Nutall FE, Williams C. The loughborough Intermittent Shuttle Test: a field test taht simulates the activity pattern of soccer. *J. Sports Sci.* 2000, 18: 97-104

Nielsen HB, Bredmose PP, Strømstad M, Volianitis S, Quistorff B, Secher NH. Bicarbonate attenuates arterial desaturation during maximal exercise in humans. *J. Appl. Physiol.* 2002, 93(2): 724-31

Nielsen OB, de Paoli F, Overgaard K. Protective effects of lactic acid on force production in rat skeletal muscle. *J. Physiol.* 2001, 536(Pt 1): 161-166

Noakes TD. The Lore of Running (4th ed.). Eds Oxford University Press, 2003

Nodin R, Mende R. Uber Erfahrungen bein Einsatz der Nachbelastungherfrequenz zum Diagnostik von Veränderung der Ausdauerleistungsfahigkeit im obligatorischen Studentensport. *Med. U. Sport.* 1979, 7: 212-216

Ogushi T, Ohashi J, Nagahama H et al. Work intensity during soccer match-play. In Reilly T, Clarys J, Stibbe A (eds), Science and football 1993, 121-123, London

Ohashi j, Togari H, Isokawa M et al. Measuring movement speeds and distance covered during soccer match-play. In Reilly T, Lees A., Davids K & Murphy WJ (eds), Science and football, 51-59, London/ New York, 1988

Owen A, Twist C, Ford P. Small sided games: the physiological and technical effect oof altering pitch size and player numbers. *Insight : The F.A. Coaches Association Journal* 2004, 7(2): 50-53

Parienté R. La fabuleuse histoire de l'athlétisme. Eds la Martinière, 1996

Parolin ML, Chesley A, Matsos MP, Spriet LL, Jones NL, Heigenhauser GJ. Regulation of skeletal muscle glycogen phosphorylase and PDH during maximal intermittent exercise. *Am. J. Physiol.* 1999, 277(5 Pt 1): E890-900

Patterson SD, Gray SC. Carbohydrate-gel supplementation and endurance performance during intermittent high-intensity shuttle running. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab*. 2007, 17(5): 445-55

Peñas CL. La préparación fisica en el fŭtbol. Eds Biblioteca nueva, 2002

Perez-Gomez J, Rodriguez GV, Ara I, Olmedillas H, Chavarren J, González-Henriquez JJ, Dorado C, Calbet JA. Role of muscle mass on sprint performance: gender differences? *Eur. J. Appl? Physiol.* 2008, 102(6): 685-94

Péronnet F, Thibeault G. Analyse physiologique de la performance en course à pied: révision du modèle hyperbolique. *J. Physiol.* 1987, 82: 56-60

Pette D, Staron RS. Myosin isoforms, muscle fiber types, and transitions. *Microsc. Res. Tech*. 2000, 50(6): 500-509

Pette D, Staron RS. Cellular and molecular diversities of mammalian skeletal muscle fibers. *Rev. Physiol. Biochem. Pharmacol.* 1990, 116: 1-76

Pierpont GL, Stolpman DR, Gornick CC. Heart rate recovery post-exercise as an index of parasympathetic activity. *J. Auton. Nerv. Syst.* 2000, 80(3): 169-74

Pradet M. La préparation physique, 6ème éditions. Paris : INSEP publications, 2002

Preen D, Dawson B, Goodman C, Lawrence S, Beilby J, Ching S. Pre-exercise oral creatine ingestion does not improve prolonged intermittent sprint exercise in humans. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 2002, 42(3): 320-9

Prommer N, Heinicke K, Viola T, Cajigal J, Behn C, Schmidt WF. Long-term intermittent hypoxia increases O2-transport capacity but not VO_2max. *High Alt. Med. Biol.* 2007, 8(3): 225-35

Puga N, Ramos J, Agostinho J, Lomba I, Costa 0, De Freitas F. Physical profile of a first division portuguese professional soccer team. In science and football II (eds T. Reilly, J. Clarys and A. Stibbe), E. and F.N. Spon, London, 1993, 40-42

Pyne DB, Boston T, Martin DT, Logan A. Evaluation of the Lactate Pro blood lactate analyser. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2000, 82(1-2): 112-6

Rahnama N, Reilly T, Lees A. Injury risk associated with playing actions during competitive soccer. *Br. J. Sports Med.* 2002, 36: 354-359

Rampinini E, Coutts AJ, Castagna C, Sassi R, Impellizzeri FM. Variation in Top Level Soccer Match Performance. *Int. J. Sports Med.* 2007a, 11

Rampinini E, **Impellizzeri FM**, **Castagna C**, **Abt G**, **Chamari K**, **Sassi A**, **Marcora SM.** Factors influencing physiological responses to small-sided soccer games. *J. Sports Sci.* 2007b, 25(6): 659-666

Rampinini E, Bishop D, Marcora SM, Ferrari Bravo D, Sassi R, Impellizzeri FM. Validity of simple field tests as indicators of match-related physical performance in top-level professional soccer players. *Int. J. Sports Med.* 2007c, 28(3): 228-35

Rampinini E, Impellizzeri FM, Castagna C, Coutts AJ, Wisløff U. Technical performance during soccer matches of the Italian Serie A league: Effect of fatigue and competitive level. *J. Sci. Med. Sport.* 2007d, Dec 14

Ramsbottom R, Brewer J, Williams C. A progressive shuttle run test to estimate maximal oxygen uptake. *Br. J. Sports Med.* 1988, 22: 141-144

Ranatunga WK. The force-velocity relation of rats fast- and slow-twitch muscles examined at different temperature. *J. Physiol.* 1984, 351: 517-529

Reilly T, Brooks GA. Exercise and the circadian variation in body temperature measures. *Int. J. Sports Med.* 1986, 7: 358-362

Reilly T, Gregson W. Special populations: the referee and assistant referee. *J. Sports Sci.* 2006, 24: 795-801

Reilly T, Thomas V. Estimated daily energy expenditures of professional association footballers. *Ergonomics*. 1979, 22: 541-548

Reilly T. An ergonomics model of the soccer training process. *J. Sports Sci*. 2005, 23(6): 561-72

Reilly T. Energetics of high intensity exercise (soccer): With particular reference to fatigue. *J. Sports Sci.* 1997, 5: 257-263

Reilly T. Motion analysis and physiological demands. In Reilly T (eds), Science and football, 65-81, London, 1996

Reilly T. Physiological aspects of soccer. *Biol. Sport* 1994, 11: 3-20

Reilly T. Fundamental studies on soccer. *Sportwissenschaft und sportpraxis* 1986, 114-121, Ingrid Czwalina Verlag Hambourg

Reindell H, Roskamm H, Gerschler W. Das intervalltraining. Barth Munchen, Johann Ambrosius, p107, 1962

Reindell H, Roskamm H. Ein beitrag zu den physiologischen grundlagen des interval trainings unter besonderer berücksichtiging des kreislaufes. *Schweiz Z Sportmed* 1959, 7: 1-8

Rhodes HC, Espersen T. Work intensity during soccer training and math play. In Reilly T, Lees A, Davids K & Murphy WJ (eds), Science and football 1988. 68-75, London/New York

Richardson RS, Newcomer SC, Noyszewski EA. Skeletal muscle intracellular PO(2) assessed by myoglobin desaturation: response to graded exercise. *J. Appl. Physiol.* 2001, 91: 2679-85

Rienzi E, Drust B, Reilly T, Carter JE, Martin A. Investigation of anthropometric and work-rate profiles of elite South American international soccer players. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 2000, 40(2): 162-169

Rieu M, Duvallet A, Scharapan L, Thieulart L, Ferry A. Blood lactate accumulation in intermittent supramaximal exercise. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 1998, 57(2): 235-242

Rodas G, Ventura JL, Cadefau JA, Cusso R, Parra J. A short training programme for the rapid improvement of both aerobic and anaerobic metabolism. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2000, 82(5-6): 480-6

Romanova N. The sprint: nontraditinal means of training (a review of scientific studies). *Soviet Sports Rev.* 1990, 25: 99-104

Ross A, Leveritt M. Long-term metabolic and skeletal muscle adaptations to short-sprint training: implications for sprint training and tapering. *Sports Med.* 2001, 31(15): 1063-82

Rostgaard T, Iaia FM, Simonsen DS, Bangsbo J. A test to evaluate the physical impact on technical performance in soccer. *J. Strength Cond. Res.* 2008, 22(1): 283-92

Sahlin K, Henriksson J. Buffer capacity and lactate accumulation in skeletal muscle of trained and untrained men. *Acta Physiol. Scand.* 1984, 122: 331-339

Sahlin K. Point: Counterpoint authors respond to commentaries on "Lactic acid accumulation is an advantage/disadvantage during muscle activity". *J. Appl. Physiol.* 2006, 101(1): 367-368

Saltin B, Essén B. Muscle glycogen, lactate, ATP and PCr in intermittent exercise. In: B Pernow and B Saltin (eds), Muscle metabolism during exercise: Advances in experimental medicine and biology 1971, 419-424, Plenum press, New York

Saltin B, Pedersen K, Essén B. Intermittent exercise: its physiology and some practical implications. In: E. Jokl (eds), Advances in exercise Physiology, *Med Sports* 1976, 9: 23-51

Saltin B, Gollnick PD, Eriksson BO, Piehl K. Metabolic and circulatory adjustments at onset of maximal work. In: Onset of Exercise, edited by Gibert A, Guille P. Toulouse, France: Université de Toulouse, 1971, 63-76

Saltin B. Human skeletal muscle fibers, properties and function. *Lakartidningen* 1977, 74: 3878-83

Saltin B. Oxygen transport by the circulatory system during exercise in man. In: Keul, J. (Eds), Limiting factors of physical performance. Stuttgart: 235-252, 1973

Saltin B. Metabolic fundamentals in exercise. *Med. Sci. Sports*. 1973, 5(3):137-146

Sampaio J, Macas V. Differences between football players' sprint test performance across different levels of competition. In Reilly T, Cabri J et Araujo D (eds), *Science and Football V*, 122-128. Routledge eds, Great Britain, 2005

Santos-Silva PR, Fonseca AJ, Castro AW, Greve JM, Hernandez AJ. Reproducibility of maximum aerobic power (VO_2max) among soccer players using a modified heck protocol. *Clinics*. 2007, 62(4): 391-6

Sassi R. La preparazione atletica nel calcio – 20 anni di esperienze. Eds Calzetti Mariucci, 2001

Schnabel A, Kindermann W. Assessment of anaerobic capacity in runners. *Eur. J. Appl. Physiol.* 1983, 52: 42-46

Seliger V. Heart rate as an index of physical load in exercise. Scripta medica, medical faculty, Brno university, 41: 231-240, 1968

Shetler K, Marcus R, Froelicher VF, Vora S, Kalisetti D, Prakash M, Do D, Myers J. Heart rate recovery: validation and methodologic issues. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2001, 38(7): 1980-7

Shroubridge EA, Radda GK. A gate 31P NMR study of titanic contraction in rat muscle depleted of phosphocréatine. *Am. J. Physiol.* 1987, 252: C532-C542

Smaros G. Energy usage during football match. In: L. Vecchiet (edit.). Proceedings 1st, International Congress on Sports Medicine Applied to Football. 1980, Ganello D., Roma, 11

Smodlaka VJ. Cardiovascular aspects on soccer. *Physiol. Sport Med.* 1978, 18: 9-16

Snyder AC. Overtraining and glycogen depletion hypothesis. *Med. Sci. Sports Exerc* 1998, 30(7): 1146-1150

Spalding TW, Lyon LA, Steel DH, Hatfield BD. Aerobic exercise training and cardiovascular reactivity to psychological stress in sedentary young normotensive men and women. *Psychophysiology* 2004, 41: 552-562

Spencer M, **Bishop D**, **Dawson B**, **Goodman C.** Physiological and metabolic responses of repeated-sprint activities:specific to field-based team sports. *Sports Med.* 2005, 35(12): 1025-44

Stegmann H, Kindermann W, Schnabel A. Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. *Int. J. Sport Med.* 1981, 2:160-5

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

Taoutaou Z, Granier P, Mercier B, et al. Lactate kinetics during passive and partially active recovery in endurance and sprint athletes. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 1996, 73: 465-470

Tessitore A, Meeusen R, Cortis C, Capranica L. Effects of different recovery interventions on anaerobic performances following preseason soccer training. *J. Strength Cond. Res*. 2007, 21 (3): 745-750

Tessitore A, Meeusen R, Piacentini MF, Demarie S, Capranica L. Physiological and technical aspects of "6-a-side" soccer drills. *J. Sports Med. Phys. Fitness*. 2006, 46(1): 36-43

Thatcher R, Batterham AM. Development and validation of a sport-specific exercise protocol for elite youth soccer players. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 2004, 44(1): 15-22

Thibault G. L'entraînement intermittent, un modèle graphique simple et pratique. Revue EPS 1999, 279: 23-26

Thibault G. Effects of moderate intensity endurance and high intensity intermittent training on anaerobie capacity and VO_2max. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1996, 28: 1327-1330

Thomas V, Reilly T. Changes in fitness profiles during a season of track and field training and competition. *Br. J. Sports Med.* 1976, 10(4): 217-222

Thomas V, Reilly T. Fitness assessment of English league soccer players through the competitive season. *Br. J. Sports Med.* 1979, 13(3): 103-109

Thompson D, Nicholas CW, Williams C. Muscular soreness following prolonged intermittent high-intensity shuttle running. *J. Sports Sci.* 1999, 17: 387-395

Tofas T, Jamurtas AZ, Fatouros I, Nikolaidis MG, Koutedakis Y, Sinouris EA, Papageorgakopoulou N, Theocharis DA. Plyometric exercise increases serum indices of muscle damage and collagen breakdown. *J. Strength Cond. Res*. 2008, 22(2): 490-6

Toji H, Suei K, Kaneko M. Effects of combined training loads on relations among force, velocity, and power development. *Can. J. Appl. Physiol.* 1997, 22(4): 328-336

Toki S, Sakurai S. Quantitative match analysis of soccer games with two dimensional DLT procedures. XXth Congress International Society of Biomechanics 2005, Cleveland, 911

Tomlin DL, Wenger HA. The relationships between aerobic fitness, power maintenance and oxygen consumption during intense intermittent exercise. *J. Sci. Med. Sport.* 2002, 5(3): 194-203

Tomlin DL, Wenger HA. The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Med.* 2001, 31(1):1-11

Trapattoni G. Coaching high performance soccer. Eds Reedswain INC, mai 1999

Tyriaki G, Tuncel F, Yamaner F, Agaoglu SA, Gumuda H, Acar MF. Comparison of the physiological characteristics of the first, second and third league Turkish soccer. In Science and Football III, eds by T. Reilly, J. Bangsbo and M. Hughes, London:E et F.N. Spon, 1997, 32-36

Utter AC, Kang J, Nieman DC, Dumke CL, McAnulty SR, McAnulty LS. Carbohydrate attenuates perceived exertion during intermittent exercise and recovery. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2007, 39(5): 880-5

Valquer W, Barros TL, Sant'anna M. High intensity motion pattern analyses of Brazilian elite soccer players. In: Tavares F, editors. IV World Congress of notational Analysis of Sport, Porto, 1998 (80): 23-27

Van Gool D, Van Gerven D, Boutmans J. The physiological load imposed on soccer players during match play. In Reilly T, Lees A, Davids K & Murphy WJ (eds), Science and football, 51-59, London/ New York, 1988

Verheijen R. Conditioning for soccer. Eds Reedswain, 1998

Verheijen R. La condition physique du footballeur. Eds Eisma bv, 1998

Vescovi JD, McGuigan MR. Relationships between sprinting, agility, and jump ability in female athletes. *J. Sports Sci.* 2008, 26(1): 97-107

Vescovi JD, MacGuigan MR. Relationships between sprinting, agility, and jump ability in female athletes. *J. Sports. Sci.* 2007, 3: 1-11

Vock R, Hoppeler H, Claassen H, Wu DX, Billeter R, Weber JM, Taylor CR, Weibel ER. Design of the oxygen and substrate pathways. VI. structural basis of intracellular substrate supply to mitochondria in muscle cells. *J. Exp. Biol*. 1996, 199(8): 1689-1697

Volkov VM. Processus de récupération en sport. Moscou: F.I.S, 1977

Walsh NP, Blannin AK, Clark AM, Cook L, Robson PJ, Gleeson M. The effects of high-intensity intermittent exercise on the plasma concentrations of glutamine and organic acids. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 1998, 77(5): 434-8

Walsh S, Frank C, Shrive N, Hart D. Knee immobilization inhibits biomechanical maturation of the rabbit medial collateral ligement. *Clin. Orhtop*. 1993, 253-261

Wasserman K, Whipp BJ, Casaburi R, Golden M, Beaver WL. Ventilatory control during exercise in man. *Bull. Eur. Physiopathol Respir*. 1979, 15(1): 27-51

Wasserman K. The anaerobic threshold measurement to evaluate exercise performance. *Am. Rev. Respir. Dis.* 1984, 129: 535-540

Weineck J. La preparazione fisica ottimale del calciatore. Eds Calzetti Mariucci, 1998

Weineck J. Manuel d'entraînement. Eds Vigot, 1997

Weineck J. Biologie du sport. Eds Vigot, 1992

Welsh RS, Davis JM, Burke JR, Williams HG. Carbohydrates and physical/mental performance during intermittent exercise to fatigue. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2002, 34(4): 723-731

Werchoschanski JW. L'entraînement efficace. Eds PUF, 1982

Whitehead N. Conditioning for sport. EdsWakefield EP Publishing, 1975

Williams C. Short term activity. In: Macleod D, Maughan R, Nimmo M, Reilly T, Williams C (eds) Exercise: benefits, limits and adaptations. E and FN Spon, London, 1987, 59–62

Willams AM, Hodges NJ, North JS, Barton G. Perceiving patterns of play in dynamic sport tasks: investigating the essential information underlying skilled performance. *Perception*. 2006, 35(3): 317-32

Williams AM, Davids K, Burwitz L, Williams JG. Visual search strategies in experienced and inexperienced soccer players. *Res. Q. Exerc. Sport.* 1994, 65(2): 127-3

Williams PE, Goldspink G. Longitudinal growth of striated muscle fibres. *J. Cell. Sci.* 1971, 9(3): 751-767

Wilmore JH, Costill DL. Physiologie du sport et de l'exercice. Adaptations physiologiques à l'exercice physique. Eds De Boeck, 3ème éditions, 2006

Wisløff U, Castagna C, Helgerud J, Jones R, Hoff J. Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Br. J. Sports Med.* 2004, 38(3): 285-8

Wisløff U, Helgerud J, Hoff J. Strength and endurance of elite soccer players. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1998, 30(3): 462-467

Withers RT, Maricic Z, Wasilewski S, Kelly L. Match analyses of Australian professional soccer players. *J. Hum. Mov. Stud*. 1982, 8: 159-176

Wootton SA, Williams C. The influence of recovery duration on repeated maximal sprints. In : H.G. Knuttgen, J.A. Vogel and J. Poortmans (eds). *Biochemistry of exercise* 1983, 13 : 269-273, Human Kinetics, Champaign, I1

Young W, Pryor JF, Wilson GJ. Effects of instructions on characteristics of countermovement and drop jump performance. *J. Strength Cond.* 1995, 9: 232-236

Young WB, Farrow D. A review of agility: practical applications for strength and conditioning. *National Strength and Conditioning Association* 2006, 28 (5): 24-29

Zauli A. Soccer modern’s tactics: Italy's Top Coaches Analyze Game Formations Through 180 Situations. Eds Reedswain INC, 2002

Zavorsky GS, Montgomery DL, Pearsall DJ. Effect of intense interval workouts on running economy using three recovery durations. *Eur. J. Appl. Physiol.* 1998, 77: 224-230

Zhongfan L, Inomata K, Takeda T. Soccer player's and closed-skill athletes' execution of a complex motor skill. *Percept. Mot. Skills.* 2002, 95(1): 213-8

PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS

OUVRAGES

- Dellal A (Eds). Avec la participation de Barrieu P, Castagna C, Chamari K, Chaouachi A, Chinelli S, Coutts AJ, Dyon N, Hagist L, Impellizzeri F, Moalla W, Monkam Tchokonte SA, Pintus A, Rampinini E, Reiss D. « *De l'entraînement à la performance en football* », Editions De Boeck, août 2008, 512 pages.

- Actes du 3ème colloque « Football et Recherches », Eds Presse Universitaire de Valenciennes (P.U.V.), février 2009.

ARTICLES SCIENTIFIQUES

- Dellal A, Chamari K, Pintus A, Girard O, Cotte T, Keller D. Heart rate responses during small sided-games and short intermittent running training methods in elite soccer players: a comparative study. *J. Strenght Cond. Res.* 2008, 22(5): 1449-57 (I.F. 1.336).

- Dellal A, Chamari K, Pintus A, Girard O, Cotte T, Keller D. Les jeux réduits en football : un moyen d'atteindre un niveau d'intensité de travail équivalent aux exercices intermittents de courte durée spécifiques au football. Insep, septembre 2008, Fiche scientifique S537, www.savoir-sport.org.

- Dellal A, Drus B, Keller D, Carling C, Chaouachi A, Wong PL, Chamari K. The effects of directional changes in shuttle intermittent running exercise on central and peripheral physiological parameters – special reference to soccer fitness training. Soumis au *J. Sports Sci.* (I.F. 1.797).

- Dellal A, Ougulshi M, Al Ghari MA. The field use of the ball to improve the cardiovascular aspect in rehabilitation and re-training – Application for high level soccer players of national Saudia Arabia team. *Congress of Sport Sciences Act*, novembre 2006, 6-19, Dubai; Emirats Arabe Unis.

- Dellal A, Grosgeorge B. Développement de l'endurance chez le basketteur. analyse d'une méthode d'entraînement spécifique : les exercices intermittents en navette. *Médi Basket*, N°23, février 2006, page 6-9.

- Grosgeorge B, Dellal A. Exploration des qualités de récupération au cours d'un test de vitesse maximale aérobie (VMA). *Médi Basket*, N°21, février 2005, page 10-14.

- Impellizzeri FM, Maffiuletti NA, Bizzini M, Wisløff U, Carlomagno D, Dellal A, Castagna C. Cardiovascular risk factors in recreational footballers: a matched case-control study. Soumis au *J. Sports Sci.* (I.F. 1.797).

- Wong PL, Chamari K, Dellal A, Wisloff U. U14 soccer players with different playing positions are characterized by different anthropometrical but not physiological performances. Soumis au *J. Strength Cond. Res.* (I.F. 1.336).

- Wong PL, Chamari K, Dellal A, Lau PWC, Chaouachi A, Wisloff U. Relationships between RPE, HR, and VO2 during treadmill running to maximal in young soccer players: effect of 12-week training. A soumettre au *Int. J. Sports Med.* (I.F. 1.2).

CONGRES AVEC PUBLICATIONS D'ACTES

2008

- Dellal A, Chamari K, Pintus P. Analyse de l'activité de footballeurs de Ligue 1 française. *3ème colloque internationale « Football et recherches »*, 19-20 mai, Valenciennes, France
- Dellal A, Chamari K. Analyse de l'activité du footballeur de haut-niveau : rapport entre la distance parcourue durant le temps de jeu total et le temps de jeu effectif. *3ème colloque internationale « Football et recherches »*, 19-20 mai, Valenciennes, France
- Dellal A, Chamari K, Pintus A, Girard O, Cotte T, Keller D. Evolution de la FC lors de jeux réduits et d'exercices intermittents chez des footballeurs de haut-niveau. *3ème colloque internationale « Football et recherches »*, 19-20 mai, Valenciennes, France
- Dellal A, Keller D. Incidences physiologiques des changements de directions lors d'exercices intermittents en navette. *3ème colloque internationale « Football et recherches »*, 19-20 mai, Valenciennes, France

2007

- Dellal A, Chamari K, Pintus A, Girard O, Cotte T, Keller D. Evolution de la FC lors de jeux réduits et d'exercices intermittents chez des footballeurs de haut-niveau. *12ème journée internationale des sciences du sport, ACAPS*, novembre 2007, Leuven, Belgique
- Dellal A, Chaouachi A Moussa-Chamari I, Chaouachi M, Hue O, Chamari K. Effet aigue et chronique du stretching sur la performance de sprint. *12ème journée internationale des sciences du sport, ACAPS*, novembre 2007, Leuven, Belgique
- Dellal A, Chamari K. Analyse de l'activité du footballeur de haut-niveau : rapport entre la distance parcourue durant le temps de jeu total et le temps de jeu effectif. *Congrès des 50 ans de formation, d'enseignement et de recherche en sport.* Tunis, Tunisie, novembre 2007
- Dellal A, Chamari K, Castagna C, Pintus A, Ambassa S, Girard O, Cotte T, Keller D. Evolution de la FC lors de jeux réduits et d'exercices intermittents chez des footballeurs de haut-niveau. *Congrès des 50 ans de formation, d'enseignement et de recherche en sport*. Tunis, Tunisie, novembre 2007

2006 et 2005

- Dellal A, Monkam Tchokonté SA, Keller D, Cometti G. Quantifications et analyses temporelles des paramètres physiques de l'entraînement d'une équipe professionnelle de football en période pré-compétitive. *4ème journée internationale des Sciences du Sport, Colloque de l'INSEP* Paris, novembre 2006.

- Dellal A et Keller D. Exercices intermittents en navette : définition, objectifs et intérêts. *4ème journée internationale des Sciences du Sport, Colloque de l'INSEP* Paris, novembre 2006.
- Dellal A, Keller D, Chamari K. Incidences physiologiques des changements de direction lors d'exercices intermittents effectués en navette. *25ème congrès national de la société française de médecine de sport*, Décembre 2005, St-Etienne, France

GLOSSAIRE

[La]	**:**	Concentration de lactate
[PCr]	**:**	Concentration de PhosphorylCréatine
10-10	**:**	Exercice intermittent qui alterne 10s de temps de travail avec 10s de
15-15	**:**	Exercice intermittent qui alterne 15s de temps de travail avec 15s de
30-30	**:**	Exercice intermittent qui alterne 30s de temps de travail avec 30s de
ADN	**:**	Acide désoxyribonucléique
ADP	**:**	Adénosine Di Phosphate
AMP	**:**	Adénosine Mono Phosphate
ATP	**:**	Adénosine Tri Phosphate
bpm	**:**	Battements par minute
CA	**:**	Capacité Aérobie
Ca^{2+}	**:**	Ion Calcium
CC	**:**	Composante Contractile
CE	**:**	Charge d'entraînement
CES	**:**	Composante Elastique Série
CEP	**:**	Composante Elastique Parallèle
CG	**:**	Centre de gravité
CHO	**:**	Hydrate de Carbone
cm	**:**	Centimètre
CMJ	**:**	Contre Mouvement Jump
CMJB	**:**	Contre Mouvement Jump avec l'aide des Bras
CP	**:**	Créatine Phosphate
CPK	**:**	Créatine PhosphoKinase
CTE	:	Chaîne de Transporteur des Electrons
DJ	**:**	Drop Jump
EF	**:**	Endurance Fondamentale
EPOC	**:**	Consommation d'oxygène en excès post-exercice
ES	**:**	Elasticité série
FAD	:	Flavine Adénine Dinucléotide
FB	**:**	Football
FC	**:**	Fréquence Cardiaque
FCmax	**:**	Fréquence Cardiaque maximale
FCr	**:**	Fréquence Cardiaque de Réserve
FT	**:**	Fast twitch, Fibres rapides
FMV	**:**	Force maximale volontaire
g	**:**	Grammes
HI	**:**	Haute Intensité
HRV	**:**	Heart Rate Variability, variabilité cardiaque
IE	**:**	Index d'Endurance
ITR	**:**	Indice Technique de Récupération
K^{+}	**:**	Ion Potassium
kg	**:**	Kilogrammes
km/h	**:**	kilomètre par heure
MDH	**:**	Malate dehydrogenase

min	**:**	Minutes
MK	**:**	MyoKinase
ml	**:**	Millilitre
MPO	**:**	Maximal Power Output
NAD	**:**	Nicotinamide Adénine Dinucléotide
NIRS	**:**	Near Infrared Spectroscopy
O_2	**:**	Oxygène
PA	**:**	Puissance Aérobie
PCr	**:**	PhosphorylCréatine
PFK	**:**	Phosphofructokinase
Pi	**:**	Phosphate inorganique
$PI0_2$	**:**	Pression partielle en oxygène de l'air que nous inspirons
PNF	**:**	Proprioceptive Neuromuscular Facilitation
Qr	**:**	Quotient respiratoire
r	**:**	Récupération, temps de repos
R	**:**	Répétition
R	**:**	Temps de Récupération
RM	**:**	Répétition maximale
RM	**:**	Répétition Maximal
RPE	**:**	Ratings of Perceived Exertion
RSA	**:**	Repeated Sprint Ability
S	**:**	Série
s	**:**	Secondes
SDH	**:**	Succinate dehydrogenase
SJ	**:**	Squat Jump
ST	**:**	Slow twitch, Fibres lentes
tdb/TDB	**:**	Touche de balle
TDMA	:	Threshold of decompensated Metabolic acidosis
UM	**:**	Unité motrice
VCO_2	**:**	Rejet de dioxyde de carbone
VE	**:**	Ventilation minute
VEMS	**:**	Volume Expiratoire Maximum seconde
VMA	**:**	Vitesse Maximale Aérobie
VO_{2max}	**:**	Consommation maximale d'oxygène
vVO_{2max}	**:**	Vitesse maximale associée à la consommation maximale d'oxygène
W	**:**	Watts

TABLES ET FIGURES

CHAPITRE I

Tableau 1. Les différentes distances totales moyennes par équipe relevées au cours d'un match dans la littérature.
Tableau 2. Distance totale parcourue aux différentes allures, selon le poste occupé et le niveau, Verheijen (1998).
Tableau 3. Distance totale parcourue aux différentes allures et selon le niveau de jeu, Bangsbo (1994a).
Tableau 4. Distances parcourues durant un match selon les postes et l'intensité de course, Rampinini et al (2007a).
Tableau 5. Distances parcourues en course arrière durant un match.
Tableau 6. Distance totale parcourue en sprint au cours d'un match.
Tableau 7. Comparaison de l'activité des joueurs selon les postes occupés, les allures de courses et durant chaque mi-temps (en mètres), Di Salvo et al (2007).
Tableau 8. Comparaison de la distance totale parcourue durant chaque mi-temps (en mètre).
Tableau 9. FC moyenne au cours d'un match de football selon différents auteurs (Bangsbo, 1994a)
Tableau 10. Valeurs de lactatémie durant les différentes mi-temps d'un match.
Tableau 11. Le VO_2max des footballeurs de haut-niveau.
Tableau 12. Les autres termes qui ont été proposés pour définir l'intermittent de haute intensité, Balsom (1995)
Tableau 13. Les caractéristiques des actions permettant le développement du processus aérobie, Pradet (2002).
Tableau 14. Caractéristiques des principaux exercices intermittents en football.
Tableau 15. Adaptation de l'échelle RPE de Borg selon Foster et al (2001).
Tableau 16. Comparaison des seuils ventilatoires chez des sédentaires et des sportifs de haut-niveau.
Tableau 17. Les différents paramètres lors de différents jeux réduits et d'exercices intermittents (Le Gall, 2002).
Tableau 18. Analyse de la course de Ben Johnson et Carl Lewis lors de leurs records du monde sur 100 m (celui de Ben Johnson a été annulé pour cause de dopage), International Athletic Foundation (1990), cf Weinek (1997).
Tableau 19. Performances en sprints selon le niveau de jeu et le niveau d'entraînement.
Tableau 20. Performance des footballeurs en CMJ et SJ, Stolen et al (2005).

Figure 1. Cinétique de la FC au cours d'un match de football, Balsom (1999).
Figure 2. Cinétique de la FC et de la lactatémie de joueurs professionnels au cours d'un match et d'un exercice spécifique, Bangsbo (1994b).
Figure 3. Cinétique de la lactatémie de joueurs professionnels au cours d'un match, Bangsbo (1994a).
Figure 4. Répartition des buts selon les postes occupés lors de la coupe du monde 2002 en Corée du Sud et au Japon, Jacquet et al (2002).
Figure 5. Répartition des actions amenant à des buts lors de la coupe du monde 2002, DTN et FFF (2002).
Figure 6. Evolution des charges de travail au cours de la préparation physique d'avant saison.
Figure 7. Progressivité du développement de l'endurance en football, Dellal et Grosgeorge (2006).
Figure 8. Effets des répétitions de sprints à 15, 30 et 40 m. Le temps est pris pour le 1er sprint, Balsom (1995).
Figure 9. La FC lors d'un effort continu superposée à la FC d'un effort intermittent 30-30, Cometti (2002).
Figure 10. Relation entre FC et la consommation d'oxygène, Balsom (1999).
Figure 11. Présentation du modèle de l'entraînement en intermittent proposé par Thibault (1999).
Figure 12. Relation entre le pourcentage de PCr resynthétisé durant les 3 min de la récupération et le rendement de la puissance moyenne (MPO) développé durant les temps de travail de 6 s de « all-outs » qui suivent, Bogdanis et al (1995).
Figure 13. Concentration du lactate sanguin durant et après la répétition de sprints, Balsom (1995).
Figure 14. Evolution de la lactatémie lors d'un travail intermittent et continu, Fox et Mathews (1977).
Figure 15. Les allures d'entraînements en endurance.
Figure 16. Comparaison d'un travail continu sans ballon et d'un jeu réduit de même proportion, Balsom (1999).
Figure 17. Comparaison d'un travail intermittent course et d'un jeu réduit de même proportion, Balsom (1999).
Figure 18. Comparaison d'un travail de course par intervalles et d'un jeu réduit de même proportion, Balsom (1999).
Figure 19. Le Hoff test, Chamari et al (2005a).
Figure 20. Circuit technique de conduite de balle et de dribble.

Figure 21. Réponses cardiaques d'un joueur international N°1 doté d'un VO_2max de 69 ml/kg/min et d'une bonne technique lors d'un circuit technique de conduite de balle/dribble et un 30-30 à 105%de la *v*VO_2max (Dellal et al, 2006).
Figure 22. Réponses cardiaques d'un joueur international N°2 doté d'un VO_2max de 71 ml/kg/min et d'une technique plus faible, lors d'un circuit technique de conduite de balle/dribble et 30-30 à 105% de la *v*VO_2max (Dellal et al, 2006).
Figure 23. Les capacités psychophysiques de la vitesse, Bauer (1981).
Figure 24. Pente du centre d'entraînement de la Juventus de Turin, Vinovo (Italie).
Figure 25. Les différentes formes de la vitesse.
Figure 26. Bases physiologiques de la vitesse (Dellal, 2008).
Figure 27. Analyse de l'activité musculaire durant 3 types de courses : lente, à allure moyenne et à allure maximale, Kunz et Unold (1988).
Figure 28. Analyse de la foulée en course.
Figure 29. Les facteurs de développement de la vitesse.
Figure 30. Temps de récupération nécessaire entre 2 sprints lors d'une séance de vitesse.
Figure 31. Analyse de la lactatémie et de la VO_2 au cours de la répétition de sprints, Volkov (1977).
Figure 32. Organisation des différentes formes de vitesse durant la période de compétition.
Figure 33. Organisation des différentes formes de vitesse en football durant l'ensemble de la saison.

Photo 1. Matériel d'enregistrement de la FC au cours d'un exercice.
Photo 2. Matériel de relevé de la lactatémie.
Photo 3. Séances d'entraînements physiques intégrés.
Photo 4. Hydratation lors d'une phase de récupération au cours d'une séance de vitesse.
Photo 5-6-7. Exercices initiaux d'appuis latéraux au-dessus de haies (photo 5) ou dans l'axe dans des cerceaux (photo 6) suivi d'une accélération sur courtes distances de 10 m (photo 7).

CHAPITRE II

Tableau 1. Répartition des joueurs analysés selon les championnats et les postes occupés, saison 2005-2006.
Tableau 2. Relevés des différents paramètres analysés selon les postes occupés par les joueurs et selon les différents championnats.
Tableau 3. Analyse quantitative et qualitative des distances parcourues dans le championnat anglais selon les postes, données Amisco.
Tableau 4. Pourcentage de la distance totale parcourue en sprint et en course haute intensité (21-24 km/h), en possession et en non-possession de la balle dans le championnat anglais selon les postes, données Amisco.
Tableau 5. Analyse des duels au sol et des duels aériens dans le championnat anglais selon les postes, données Amisco.
Tableau 6. Analyse technique des joueurs dans le championnat anglais selon les postes, données Amisco.
Tableau 7. Analyse quantitative et qualitative des distances parcourues dans le championnat espagnol selon les postes, données Amisco.
Tableau 8. Pourcentage de la distance totale parcourue en sprint et en course haute intensité (21-24 km/h), en possession et en non-possession de la balle dans le championnat espagnol selon les postes, données Amisco.
Tableau 9. Analyse des duels au sol et des duels aériens dans le championnat espagnol selon les postes, données Amisco.
Tableau 10. Analyse technique des joueurs dans le championnat espagnol selon les postes, données Amisco.
Tableau 11. Pourcentage de la distance totale parcourue en sprint et en course haute intensité (21-24 km/h), en possession et en non-possession de la balle dans le championnat allemand selon les postes, données Amisco.
Tableau 12. Pourcentage de la distance totale parcourue en sprint et en course haute intensité (21-24 km/h), en possession et en non-possession de la balle dans le championnat français selon les postes, données Amisco.

Figure 1. Distance totale parcourue dans les championnats anglais, espagnols, allemands et français selon les postes, données Amisco.
Figure 2. Distance totale parcourue en sprint, en possession et en non possession de la balle dans les championnats anglais, espagnols, allemands et français selon les postes, données Amisco.
Figure 3. Distance totale parcourue en course HI, en possession et en non possession de la balle dans les championnats anglais, espagnols, allemands et français selon les postes, données Amisco.
Figure 4. Distance totale parcourue, en possession et en non-possession de la balle dans le championnat anglais selon les postes, données Amisco.

Figure 5. Distance totale parcourue en sprints (≥ 24 km/h), en possession et en non-possession de la balle dans le championnat anglais selon les postes, données Amisco.
Figure 6. Distance totale parcourue, en possession et en non-possession de la balle dans le championnat espagnol selon les postes, données Amisco.
Figure 7. Distance totale parcourue en sprints (≥ 24 km/h), en possession et en non-possession de la balle dans le championnat espagnol selon les postes, données Amisco.
Figure 8. Distance totale parcourue, en possession et en non-possession de la balle dans le championnat allemand selon les postes, données Amisco.
Figure 9. Distance totale parcourue en sprints (≥ 24 km/h), en possession et en non-possession de la balle dans le championnat allemand selon les postes, données Amisco.
Figure 10. Analyse des duels aériens et au sol dans le championnat allemand selon les postes, données Amisco.
Figure 11. Analyse du pourcentage de réussite lors de duels aériens et au sol dans le championnat allemand selon les postes, données Amisco.
Figure 12. Analyse du nombre de possessions et du temps de possession dans le championnat allemand selon les postes, données Amisco.
Figure 13. Analyse du nombre de touches de balle moyen dans le championnat allemand selon les postes, données Amisco.
Figure 14. Distance totale parcourue, en possession et en non-possession de la balle dans le championnat français selon les postes, données Amisco.
Figure 15. Distance totale parcourue en sprints (≥ 24 km/h), en possession et en non-possession de la balle dans le championnat français selon les postes, données Amisco.
Figure 16. Distance totale parcourue en course haute intensité (21-24 km/h), en possession et en non-possession de la balle dans le championnat français selon les postes, données Amisco.
Figure 17. Analyse des duels aériens et au sol dans le championnat français selon les postes, données Amisco.
Figure 18. Analyse du pourcentage de réussite lors de duels aériens et au sol dans le championnat français selon les postes, données Amisco.
Figure 19. Analyse du nombre de possessions et du temps de possession dans le championnat français selon les postes, données Amisco.
Figure 20. Analyse du nombre de touches balle moyen dans le championnat français selon les postes, données Amisco.

CHAPITRE III

Tableau 1. Caractéristiques des sujets.
Tableau 2. Caractéristiques des différents exercices intermittents de l'expérimentation.
Tableau 3. Adaptation de l'échelle RPE de Borg selon Foster et al (2001).

Figure 1. Comparaison du pourcentage de FC réserve (%FCres) durant les différents exercices intermittents.
Figure 2. Comparaison de la lactatémie post-exercice (3 min) durant les différents exercices intermittents.
Figure 3. Perception subjective de l'effort post-exercice (2 min) selon la RPE modifiée de Foster et al (2001) durant les différents exercices intermittents.

CHAPITRE IV

Tableau 1. Protocole expérimental.
Tableau 2. Caractéristiques des sujets (moyenne ± SD).
Tableau 3. Caractéristiques des exercices intermittents.
Tableau 4. Caractéristiques des jeux réduits.
Tableau 5. Pourcentage de fréquence cardiaque de réserve (%FCres) durant les différents jeux réduits et les différents exercices intermittents courses de courtes durées.

Figure 1. Comparaison du %FCres durant les exercices intermittents de type 30-30-sec à 100% vVO_2max à récupération active et passive, 10-10-sec à 110% vVO_2max et durant les différents jeux réduits.
Figure 2. Comparaison du pourcentage de fréquence cardiaque de réserve (%FCres) durant les jeux réduits à 8 vs. 8 avec gardiens, 2 vs. 2 et durant les différents exercices intermittents.

ANNEXES

1- « De l'entraînement à la performance en football », Eds De Boeck, août 2008. Sous la direction de Dellal Alexandre et avec la collaboration de Barrieu P, Castagna C, Chamari K, Chaouachi A, Chinelli S, Coutts AJ, Dyon N, Hagist L, Impellizzeri F, Moalla W, Monkam Tchokonte SA, Pintus A, Rampinini E, Reiss D.

2- Dellal A, Chamari K, Pintus A, Girard O, Cotte T, Keller D. Heart rate responses during small sided-games and short intermittent running training methods in elite soccer players: a comparative study. *J. Strength Cond. Res.* 2008, 22(5): 1449-57 (I.F. 1.336).

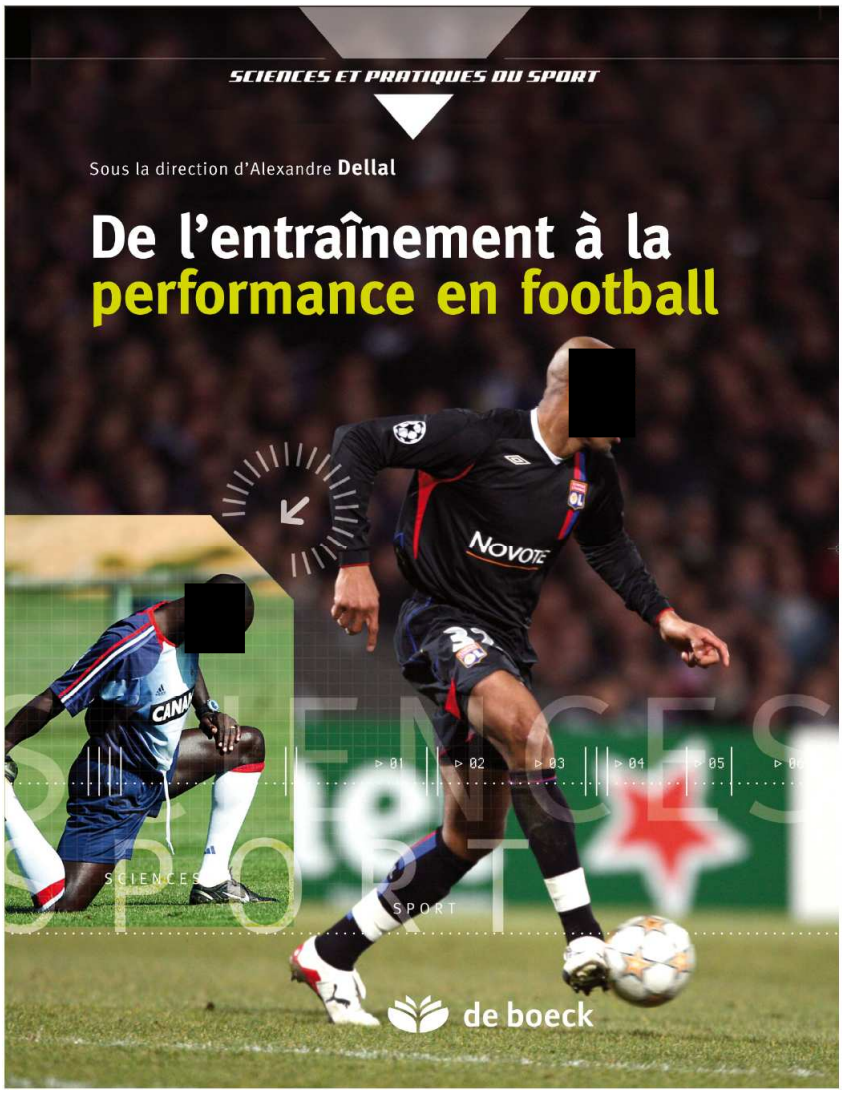
3- Dellal A. Les jeux réduits en football : un moyen d'atteindre un niveau d'intensité de travail equivalent aux exercices intermittents de courte durée spécifique. www.savoir-sport.org, Fiche scientifique S537, septembre 2008.

4- Dellal A, Drust B, Keller D, Carling C, Chaouachi A, Wong PL, Chamari K. The effects of directional changes in shuttle intermittent running exercise on central and peripheral physiological parameters – special reference to soccer fitness training. Soumis au *J. Sports Sci.* (I.F. 1.797).

5- Wong PL, Chamari K, Dellal A, Wisloff U. U14 soccer players with different playing positions are characterized by different anthropometrical but not physiological performances. Soumis au *J. Strength Cond. Res.* (I.F. 1.336).

ANNEXE 1

« De l'entraînement à la performance en football », Eds De Boeck, août 2008, 512 pages. Sous la direction de Dellal Alexandre et avec la collaboration de Barrieu P, Castagna C, Chamari K, Chaouachi A, Chinelli S, Coutts AJ, Dyon N, Hagist L, Impellizzeri F, Moalla W, Monkam Tchokonte SA, Pintus A, Rampinini E, Reiss D.


SCIENCES ET PRATIQUES DU SPORT
Sous la direction d'Alexandre Dellal
De l'entraînement à la performance en football
NOVOTE
SCIENCES
SPORT
de boeck

La préparation physique est un domaine qui est régit par une connaissance approfondie des différents facteurs de la performance en football. Dellal Alexandre et ses collègues, tous praticiens, ont souhaité présenter les différents principes fondamentaux de l'entraînement de la condition physique en association avec leurs applications pratiques. Cet ouvrage est précis, complet, scientifique et accessible à tous, de l'amateur au professionnel. Il présente :

- Une analyse de l'activité du footballeur de haut niveau spécifique au poste (plus de 300 matchs analysé dans les plus grands championnats européens) ;
- Une analyse des différents facteurs de la performance (vitesse, endurance, stretching, coordination, force, échauffement) ;
- Une étude sur les différents moyens de gestions et de contrôle des charges d'entraînement,
- Une analyse de l'évaluation spécifique au football ;
- Une présentation des différentes blessures du footballeur (origine, description et moyens de rééducations) ;
- Une approche spécifique de la préparation physique en équipe nationale ;
- Une présentation des exigences d'entraînement et de condition physique des arbitres ;
- Un dictionnaire du football en 6 langues.

Chacune des parties est spécifiquement accompagnée d'avis d'experts du football de haut-niveau. José Mourinho, Jürgen Klinsmann, Vahid Halilhodzic, Didier Deschamps, Claude Puel, Bruce Arena, Christian Gross, Jean-Marc Furlan, Frédéric Antonetti, Philippe Lambert, Philippe Delgove, Pr Jaeger, Dr Jean-Marcel Ferret, Frédéric Mankowski, Robert Duverne, Georges Gacon ont contribué à cet ouvrage.

Ainsi, ce livre permet d'affiner vos connaissances afin d'élaborer vos charges d'entraînement (intensité, durée, forme) avec plus de précisions, en ayant pris conscience des réponses physiologiques qu'elles occasionnent sur le plan métabolique, cardiorespiratoire et musculaire. Il vous servira à construire ou à étoffer votre méthodologie d'entraînement conformément à votre cohérence et votre logique. La science est accessible à tous, mais la réussite de vos entraînements et de la gestion de votre équipe ne tient qu'à vous, qu'à votre ressentit, à votre capacité à sans cesse vous adapter et à votre réflexion.

Cet ouvrage collectif intéressera l'ensemble des entraîneurs, préparateurs physiques, kiné du sport, médecin du sport, joueurs, étudiants, chercheurs, universitaires en STAPS, formateurs au BE football… tout ce qui touche au domaine de la condition physique du football que l'on soit amateur ou professionnel.

Une partie des fonds est directement reversée à l'association Diambars au Sénégal et en Afrique du Sud. Son objectif est de former des footballeurs de haut niveau et de faire du pouvoir d'attraction du football, <u>un véritable levier pour l'éducation</u>.

ANNEXE 2

Dellal A, Chamari K, Pintus A, Girard O, Cotte T, Keller D. Heart rate responses during small sided-games and short intermittent running training methods in elite soccer players: a comparative study. *J. Strength Cond. Res.* 2008, 22(5): 1449-57 (I.F. 1.336).

Heart Rate Responses During Small-Sided Games and Short Intermittent Running Training in Elite Soccer Players: A Comparative Study

Alexandre Dellal,[1,2,3] Karim Chamari,[3] Antonio Pintus,[4] Olivier Girard,[5] Thierry Cotte,[6] and Dominique Keller[1,2]

[1]*Psychophysiology of Motor Behaviour and Sports Laboratory, Science and Exercise University, Strasbourg, France;* [2]*Applied Physiology Center, CNRS (National Scientific Research Organization), Strasbourg, France;* [3]*Research Unit of Evaluation, Sport, and Health, National Centre of Medicine and Science in Sport, El Menzah, Tunisia;* [4]*Facoltà di scienze motorie di Torino, Torino, Italy;* [5]*ASPETAR, Qatar Orthopaedic and Sports Medicine Hospital, Doha, Qatar;* [6]*Physiology Research Unit, Faculty of Medicine, Saint Etienne, France*

Abstract

Dellal, A, Chamari, K, Pintus, A, Girard, O, Cotte, T, and Keller, D. Heart rate responses during small-sided games and short intermittent running training in elite soccer players: a comparative study. *J Strength Cond Res* 22(5): 1449–1457, 2008—The purpose of this study was to compare heart rate (HR) responses within and between physical controlled (short-duration intermittent running) and physical integrated (sided games) training methods in elite soccer players. Ten adult male elite soccer players (age, 26 ± 2.9 years; body mass, 78.3 ± 4.4 kg; maximum HR [HRmax], 195.4 ± 4.9 $b \cdot min^{-1}$ and velocity at maximal aerobic speed (MAS), 17.1 ± 0.8 $km \cdot h^{-1}$) performed different short-duration intermittent runs, e.g., 30–30 (30 seconds of exercise interspersed with 30 seconds of recovery) with active recovery, and 30–30, 15–15, 10–10, and 5–20 seconds with passive recovery, and different sided games (1 versus 1, 2 versus 2, 4 versus 4, 8 versus 8 with and without a goalkeeper, and 10 versus 10). In both training methods, HR was measured and expressed as a mean percentage of HR reserve (%HRres). The %HRres in the 30–30-second intermittent run at 100% MAS with active recovery (at 9 $km \cdot h^{-1}$ with corresponding distance) was significantly higher than that with passive recovery (85.7% versus 77.2% HRres, respectively, $p < 0.001$) but also higher than the 1 versus 1 ($p < 0.01$), 4 versus 4 ($p \leq 0.05$), 8 versus 8 ($p < 0.001$), and 10 versus 10 ($p < 0.01$) small-sided games. The %HRres was 2-fold less homogeneous during the different small-sided games than during the short-duration intermittent running (intersubjects coefficient of variation [CV] = 11.8% versus 5.9%, respectively). During the 8 versus 8 sided game, the presence of goalkeepers induced an ~11% increase in %HRres and reduced homogeneity when compared to games without goalkeepers (intersubject CV = 15.6% versus 8.8%). In conclusion, these findings showed that some small-sided games allow the HR to increase to the same level as that in short-duration intermittent running. The sided game method can be used to bring more variety during training, mixing physical, technical, and tactical training approaching the intensity of short-duration intermittent running but with higher intersubject variability.

Key Words interval training, reduced games, physical integrated training, performance

Introduction

Endurance training effects of short-duration intermittent runs have been reported in athletes (3,9,23) with improved maximal oxygen consumption ($\dot{V}o_2max$) and delayed fatigue compared to continuous running methods (10,15). Balsom et al. (5,8) have shown that short-duration intermittent training allows limited lactate production and increased creatine phosphate metabolism during intermittent exercise. Creatine phosphate (5,21,32,37) and muscle glycogen (8,12,34) were described as the most important energy substances for this type of training. The effects of training with short-duration intermittent running in elite soccer players have been analyzed for years (6,11). These studies have shown that this type of training method has the potential to improve the players' endurance. A high level of aerobic capacity in elite soccer allows improved field performance, i.e., greater

Address correspondence to Alexandre Dellal, alexandredellal@gmail.com.

22(5)/1449–1457

Journal of Strength and Conditioning Research
© *2008 National Strength and Conditioning Association*

participation in the game through greater covered distance, involvement with the ball, and playing intensity (2,25,41).

Kirkendall (29) described soccer as the amount of game phases at 4 versus 4 or less, on reduced areas. Other authors have shown that during specific aerobic training, it is possible to reach heart rates (HRs) similar to running interval training (26,27). One of the main differences between these 2 training methods is that the presence of the ball during small-sided games allows the concomitant improvement of technical and tactical skills with greater motivation of the players (20). Nevertheless, the players are relatively free during the sided games and their effort is highly dependent on their level of individual motivation. It is also suggested that this level of motivation is generally increased in soccer when goalkeepers are included, inducing the players to play to score (1). In this context, recent studies have reported conflicting results concerning the physiological impact of different small-sided games. Comparing the activity of soccer players during two reduced games (5 versus 5 and 11 versus 11), Allen et al. (1) noted that despite an equal distance jogged, changes in HR during the activity and the number of ball contacts during the 5 versus 5 game was significantly greater than those during the 11 versus 11 game. The number of players, player activity, and the presence of goalkeepers have an impact on HR responses (1). During sided games, coaches cannot accurately control the activity of their players, and it is not very clear to what extent this training modality has the potential to produce the same physiological responses as does short-duration intermittent running training. In this context, it was reported that HR monitoring during various sided games was considered valid to reflect the intensity of the soccer players' activity (26).

Therefore, the purpose of the present study was to compare HR responses within and between generic physical (short-duration intermittent running) and integrated physical (sided games) training in elite soccer players. First, it is hypothesized that HR responses are similar during some sided games and short-duration intermittent runs. Then, it is hypothesized that the intersubject homogeneity of HR responses during sided games is less than during intermittent running and that the presence of goalkeepers increases game intensity.

Methods

Experimental Approach to the Problem

During the experimental period, 2 study-related sessions were implemented per week: 1 short-duration intermittent running and 1 sided game session. Sessions and exercises were scheduled as shown in Table 1 (as commonly used in high-level soccer players). The experiment was performed just after mid-season (7 days of rest), i.e., during the sixth and the seventh months after the beginning of the season. Each week the medical staff checked the players' hormone levels, body mass, and HR activity (variability in resting HR). The players were healthy and did not have any recent injury. Subjects

Table 1. Experimental set-up.

Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
		Week 1				
	VAMEVAL test		Rest		Official game	
		Week 2				
	2 vs. 2	10–10-s at 110% $\dot{V}O_2max$	Rest			Official game
		Week 3				
	30–30-s at 100% $\dot{V}O_2max$ AR	10 vs. 10 GK	Rest		Official game	
		Week 4				
		30–30-s at 100% $\dot{V}O_2max$ PR	Rest	8 vs. 8 GK	Official game	
		Week 5				
		1 vs. 1	Rest	5–20-s at 120% $\dot{V}O_2max$	Official game	
		Week 6				
	8 vs. 8		Rest			
		Week 7				
15–15-s at 100% $\dot{V}O_2max$		4 vs. 4 GK			Official game	

VAMEVAL; $\dot{V}O_2max$ = lowest velocity associated with maximum oxygen consumption or maximum aerobic speed; *x* versus *y* = sided games with *x* against *y* players; GK = presence of goalkeepers; PR = passive recovery; AR = active recovery (the soccer players had to jog at 9 km·h^{-1}).

were first tested with a maximal field test in order to measure maximal aerobic speed or the velocity at maximum oxygen consumption ($\dot{V}O_2max$) and maximum HR (HRmax). Each player was verbally encouraged to maximally perform during the overall protocol during which players continued to train normally, i.e., 5–7 training sessions and 1 competition match per week (Table 1). The maximal field test and the most difficult experimental training sessions took place on Tuesday or Wednesday in order to be far enough away from the official games on Sunday. Generally the players played an official game on Saturday or Sunday. On Monday, the training consisted of recovery sessions consisting of jogging at 12 $km \cdot h^{-1}$ for 20 minutes and therapeutic actions (e.g., massage, sauna, thermoaction). On Tuesday, 2 training sessions were performed: muscle strengthening in the morning (e.g., general muscle work) and a technical-tactical (e.g., technical circuit) training session in the afternoon. On Wednesday, there was a mixed session with an aerobic power session (interval training and sided games) and a technical-tactical workout. On Thursday, no training was performed. On Friday, 2 technical-tactical training sessions with a reactivity session (e.g., multiple short-burst sprints) were performed. An appropriate standardized warm-up (e.g., general physical preparation with articular and muscular mobilization) was performed before each training session.

Subjects

Ten male elite soccer players belonging to a French first league senior team volunteered to participate in the study. Players' physical characteristics are presented in Table 2. The protocol was approved by the local university ethics committee, and all subjects gave written informed consent before participating. The subjects could withdraw from the study at any time and were informed about the protocol details without being informed about the aim of the study.

Procedures

Field Testing: The VAMEVAL Test. The VAMEVAL field test (14) was performed in the same afternoon for all subjects from 5:00 to 6:30 PM in ambient conditions of 16°C, 1019 mm Hg atmospheric pressure, and 46% relative humidity. The test was performed on a natural grass soccer field, and subjects wore soccer uniforms. Subjects were familiar with this testing procedure as it was often used to set the training pace during training sessions.

The VAMEVAL maximal incremental running test is very similar to the University of Montreal Field Test (14). It begins with a running speed of 8 $km \cdot h^{-1}$ with consecutive speed increases of 0.5 $km \cdot h^{-1}$ each minute until exhaustion. The subjects adjusted their running velocity to auditory signals at 20-m intervals, delineated by visual marks along a 200-m long track. This test estimated the subjects' maximal aerobic speed (MAS) and measured the HRmax. The MAS is the velocity in $km \cdot h^{-1}$ of the last 1-minute stage completed by the subject. The uncompleted 1-minute stages were not taken into account (30).

Short-Duration Intermittent Running. All subjects completed all the short duration intermittent running sessions presented in Table 3. During these sessions, running distances were individualized based on the subject's measured MAS. In case of active recovery, players had to jog at 9 $km \cdot h^{-1}$ (with corresponding distance). Each exercise protocol was performed in different weeks and on a natural grass field.

Small-Sided Games. All subjects performed all the different sided games presented in Table 4. The different sided games were performed with or without a goalkeeper in smaller areas on a natural grass field. With goalkeepers, the sided games consisted of playing a match, whereas without goalkeepers, the sided games consisted of keeping the ball despite the opponents' efforts to take the ball. Several balls were placed all around the area of the sided games for immediate availability in order to avoid stopping the game. In both modes of training, players were allowed hydration ad libitum.

HR Measurements and Calculations. The athletes' HR (recorded in 5-second intervals) was continuously recorded using HR monitors (Polar S-810; Polar-Electro, Kempele, Finland) during each training modality. The HR time course was

TABLE 2. Characteristics of the subjects (mean ± *SD*).

Subjects (N = 10)	Age (y)	Body mass (kg)	Body height (cm)	MAS ($km \cdot h^{-1}$)	HRmax, ($b \cdot min^{-1}$)	HRrest ($b \cdot min^{-1}$)	HRres ($b \cdot min^{-1}$)
Values	26.0 ± 2.9	78.3 ± 4.4	181.4 ± 5.9	17.1 ± 0.8	195.4 ± 4.9	52.0 ± 3.8	144.3 ± 5.6

MAS = maximal aerobic speed; HRmax = maximum heart rate observed at the end of the VAMEVAL test; HRrest = minimum HR observed when the athletes laid on a bed for 10 minutes at 10:30 AM; HRres = heart rate reserve, i.e., difference between the maximum and resting heart rate.

TABLE 3. Short-duration intermittent running characteristics.

Intermittent training (working time–recovery time) (s)	Work intensity	No. × duration of series	Intraseries recovery	Interseries recovery (min)	Total duration of the session (min)
30–30 PR	100% $\dot{V}O_2max$	2 × 10 min	Passive	10 (passive)	30
30–30 AR	100% $\dot{V}O_2max$	2 × 10 min	Active	10 (passive)	30
15–15	100% $\dot{V}O_2max$	2 × 10 min	Passive	8 (passive)	28
10–10	110% $\dot{V}O_2max$	2 × 7 min	Passive	6 (passive)	20
5–20	120% $\dot{V}O_2max$	1 × 7 min, 5 s	Passive	–	7

PR = passive recovery; $\dot{V}O_2max$ = lowest velocity associated with maximum oxygen consumption or maximum aerobic speed; AR = active recovery (the soccer players had to jog at 9 $km \cdot h^{-1}$).

analyzed from the beginning to the end of each short-duration intermittent running session and each sided game. Concerning the resting HR, the athletes laid on a bed for 10 minutes at 10:30 AM. The resting HR value corresponded to the minimal HR observed during this 10-minute period. During the VAMEVAL field test, the highest averaged value of 3 consecutively recorded HRs (15 seconds) was considered the HRmax. The percentage of HR reserve (%HRres) was calculated by the following formula (28): %HRres = (exercise mean HR − resting HR)/(HRmax − resting HR) × 100.

For each short-duration intermittent running session and each sided game, the %HRres and the intersubject coefficient of variation (CV) were calculated.

Statistical Analyses

Values are expressed as mean ± *SD*. The normality distribution of the data was checked with the Kolmogorov-Smirnov test. After confirming normal distribution, a 1-way repeated-measures analysis of variance was used to evaluate the differences in %HRres within and between sided games and short-duration intermittent running training modalities. A p value ≤ 0.05 was considered as statistically significant.

RESULTS

Within Intermittent Exercise and Within Sided Game Comparison

Compared to the 30–30-s intermittent exercise at 100% $\dot{V}O_2max$ with passive recovery (PR), a significant 9.1% increase ($p \leq 0.05$) of the %HRres was noted with respect to the same exercise with active recovery (AR).

There was no significant difference between the 30–30-s and 15–15-s intermittent exercise performed with the same characteristics of interseries type of recovery (i.e., passive), work intensity, series duration, and total duration of the session.

With the same characteristics, the intensity of the 8 versus 8 significantly increased with the presence of goalkeepers (+10.7%HRres). However, the game intensity of the soccer players during the 8 versus 8 sided game with goalkeepers was less homogeneous than without goalkeepers (Table 5).

Intermittent Exercise and Sided Game Comparison

The overall soccer players' HR response was 2-fold less homogeneous during sided games (intersubject CV = 11.8%)

TABLE 4. Characteristics of sided games.

Sided game	No. of goalkeepers	Game area (m)	No. × duration of series	Interseries recovery	Total duration of the session
1 vs. 1	0	10 × 10	4 × 1 min, 30 s	1 min, 30 s (passive)	10 min, 30 s
2 vs. 2	0	20 × 20	6 × 2 min, 30 s	2 min, 30 s (passive)	27 min, 30 s
4 vs. 4 GK	2	30 × 25	2 × 4 min	3 min (passive)	11 min
8 vs. 8 GK	2	60 × 45	2 × 10 min	5 min (passive)	25 min
8 vs. 8	0	60 × 45	4 × 4 min	3 min (passive)	25 min
10 vs. 10 GK	2	90 × 45	3 × 20 min	5 min (passive)	70 min

Total duration of the session = the end of this duration corresponded to the end of the last series of the reduced game; GK = presence of goalkeepers.

Table 5. Percentage of heart rate reserve (%HRres) during the different sided games and during the different short-duration intermittent running sessions.

	Training method										
	Sided games					Intermittent					
	1 vs. 1	2 vs. 2	4 vs. 4 + GK	8 vs. 8 + GK	8 vs. 8	10 vs. 10 + GK	10–10 110% $\dot{V}O_2$max PR	30–30 100% $\dot{V}O_2$max PR	30–30 100% $\dot{V}O_2$max AR	15–15 100% $\dot{V}O_2$max PR	5–20 120% $\dot{V}O_2$max PR
%HRres	77.6 ± 8.6	80.1 ± 8.7	77.1 ± 10.7	80.3 ± 12.5	71.7 ± 6.3	75.7 ± 7.9	85.8 ± 3.9	77.2 ± 4.6	85.7 ± 4.5	76.8 ± 4	80.2 ± 6.8
Intersubject CV (%)	11.12	10.83	13.87	15.60	8.79	10.40	4.50	5.97	5.27	5.20	8.50

GK = presence of goalkeepers; $\dot{V}O_2$max = lowest velocity associated with maximum oxygen consumption; PR = passive recovery; AR = active recovery (the soccer players had to jog at 9 km·h^{-1}); %HRres = percentage of heart rate reserve; CV = coefficient of variation.

compared to intermittent running training methods (intersubject CV = 5.9%).

The HR response was significantly greater during the 30–30-s intermittent exercise with AR than during the 1 versus 1 ($p < 0.01$), 4 versus 4 ($p \leq 0.05$), 8 versus 8 ($p < 0.001$), and 10 versus 10 ($p < 0.01$) sided games, whereas with PR, the HR response was not significantly different during all the sided games (Figure 1). Concerning the 10–10-s intermittent exercise with PR, the HR response was also significantly greater than during the 1 versus 1 ($p \leq 0.05$), the 8 versus 8 ($p < 0.01$), and the 10 versus 10 ($p \leq 0.05$) sided games (Figure 1), whereas during the 2 versus 2 and the 8 versus 8 sided games with goalkeepers, the HR response was not significantly different during all the different short-duration intermittent running sessions (Figure 2).

Discussion

The purpose of this study was to compare HR responses within and between controlled generic (short-duration intermittent running) and integrated (sided games) training methods in elite soccer players.

Although some authors (6,16,25) demonstrated the effectiveness of short-duration intermittent running, others have suggested sided games as soccer-specific aerobic endurance training (4,7,26,27). This study shows that the 2 versus 2 and 8 versus 8 sided games with goalkeepers induced similar HR responses than did several intermittent exercise sessions, i.e., 5–20-s at 120% $\dot{V}O_2$max, 10–10-s at 110% $\dot{V}O_2$max, 15–15-s at 110% $\dot{V}O_2$max, and 30–30-s at 100% $\dot{V}O_2$max with AR or PR. Thus, one may argue that these 2 sided games can be used for soccer-specific aerobic endurance training with the advantages of multifactorial training.

The other sided games, i.e., the 1 versus 1, 4 versus 4, and 10 versus 10 induced the same HR responses as the 15–15-s at 110% $\dot{V}O_2$max and 30–30-s at 100% $\dot{V}O_2$max with PR intermittent runs. These results suggest that all sided games cannot allow practicing specific aerobic endurance training with a minimum of required exercise intensity. Concerning the 10–10-s intermittent exercise at 110% $\dot{V}O_2$max with PR, HR was also significantly higher than during the 1 versus 1. Balsom (4) found similar results with different 3 versus 3 sided games on an area of 33 × 22 m in elite soccer players. He reported that the continuous exercise without a ball, the intermittent exercise (30–30-s intermittent exercise at 100% $\dot{V}O_2$max), and the 3 versus 3 sided game imposed similar cardiovascular stress. Thus, Balsom (4) concluded that these sided games could improve soccer players' endurance. All these results confirm the recommendation made to coaches to use this training method as a specific physical training, also called integrated training. Indeed, sided games produce similar cardiovascular stress as other intermittent exercises specifically designed to improve athletes' endurance. One of the differences between sided games and short-duration intermittent running training methods is the presence of the

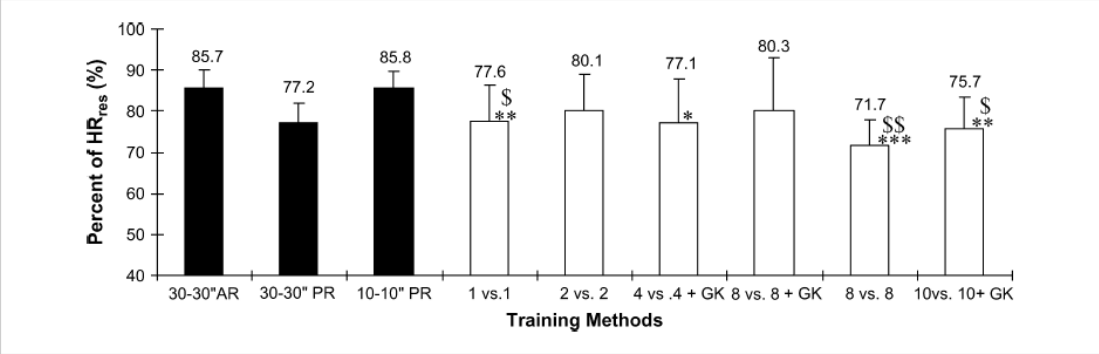


Figure 1. Comparison of the percentage of heart rate reserve (%HRres) during the 30–30-s intermittent running at 100% of the lowest velocity at the maximum oxygen consumption ($\dot{V}O_2max$) with active recovery (AR) (the soccer players had to jog at 9 km·h^{-1}) and passive recovery (PR), the 10–10-s intermittent running at 110% $\dot{V}O_2max$, and the different sided games. *Significant difference between the 30–30-s intermittent exercise with AR and the sided games. *$p \leq 0.05$; **$p < 0.01$; ***$p < 0.001$. $Significant difference between the 10–10-s intermittent exercise with PR and the sided games. $$p \leq 0.05$; $$$p < 0.01$; GK = presence of goalkeepers; *x* versus *y* = sided games with *x* against *y* players.

ball, which imposes a specific activity and allows the concomitant improvement of technical and tactical skills with high player motivation.

Nevertheless, the soccer players' HR response was less homogeneous during the different sided games compared to intermittent running (intersubject CV = 11.8% versus 5.9%, respectively). Indeed, the activity of the soccer players was not totally controlled by the staff because the moves of soccer players were different depending on their experience, their position during the competition game, the movements of the opponents, and/or their motivation (38,39).

Coaches may use sided game training, which requires technical, tactical, and physical aspects at the same time, making it very similar to the soccer game itself. Therefore, the physical effect was variable according to the game. A sided game change in characteristics implies a change in physiological impact. The game area, the number of players, game instructions, the number and duration of the series, the total duration of the session, and the presence of goalkeepers directly influence the activity of the players and the physiological impact (4). Allen et al. (1) compared the activity of soccer players during 2 sided games (5 versus 5 and 11 versus 11). Despite an equal distance jogged, these authors showed that the players' activity during the 5 versus 5 was significantly greater than that during the 11 versus 11. In addition, they found that the number of ball contacts was also significantly higher with the smallest number of players, i.e., 5 versus 5. The number of players is important for physically

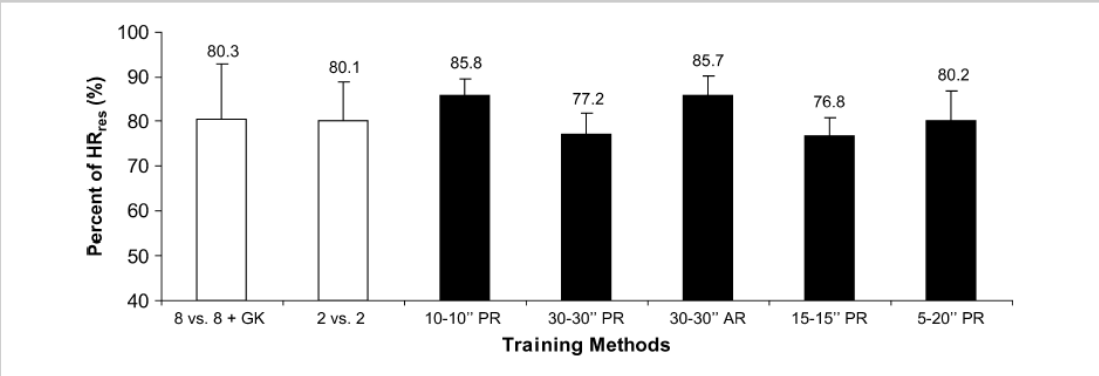


Figure 2. Comparison of the percentage of heart rate reserve (%HRres) during the 8 versus 8 with goalkeepers sided game, the 2 versus 2 sided game, and the different short-duration intermittent running. GK = presence of goalkeepers; *x* versus *y* = sided games with *x* against *y* players; $\dot{V}O_2max$ = the lowest velocity at the maximum oxygen consumption or maximum aerobic speed.

specific integrated training. Indeed, Rampinini et al. (35) showed that the intensity of sided games increases while the number of players decreases. Nevertheless, this is also dependent on the playing area, with the game intensity decreasing when the available game area is decreased (35).

Another key factor in influencing the sided games is the presence of the goalkeepers, which increases the HR of the soccer players during sided games. In the present study, the 8 versus 8 sided games with goalkeepers showed a 12% increase in the %HRres compared to the same game without goalkeepers. The aims of scoring and protecting their own goalkeepers may have imposed greater activity on the soccer players probably because of higher motivation (38,39). The activity of the soccer player was less homogeneous during 8 versus 8 sided game with goalkeepers than without goalkeepers (intersubject CV = 15.6% versus 8.8%, respectively). It is possible that some players are more motivated than others by the presence of goalkeepers, explaining such a difference.

The physiological impacts of sided games were less homogeneous than those of intermittent running. This difference was increased with the presence of goalkeepers, the modification of the number of players, and the decrease in area. The sided games characteristics and rules have to be chosen with care because each element can influence the activity of the soccer players (35).

Thus, if the staff aims to totally control the physical training effects for the majority of the players involved and thus reduce interplayer variability, they have to use intermittent running sessions. Some authors have reported that high-intensity intermittent exercise can both improve the $\dot{V}O_2max$ and the performance of the soccer players (7,28). In this study, the most intensive intermittent exercise was the 10–10-s (110% of $\dot{V}O_2max$) and the least intensive was the 15–15-s intermittent exercise (100% of $\dot{V}O_2max$). This type of short-duration intermittent exercise solicits the anaerobic and aerobic mechanisms at the same time (23,40). In addition, Dupont and Berthoin (17) have shown that the 15–15-s intermittent exercise at 120% $\dot{V}O_2max$ was the best intermittent exercise to improve $\dot{V}O_2max$. The present study showed that the 15–15-s intermittent exercise at a lower intensity, i.e., 100% $\dot{V}O_2max$, was insufficient to induce a high HR response, showing the importance of the choice of exercise intensity in intermittent training. These results confirm the fact that the development of $\dot{V}O_2max$ requires an exercise intensity higher than 100% of $\dot{V}O_2max$ when short-duration intermittent running is considered (22,31,36).

Millet et al. (33) showed that a 30–30-s (at 100% $\dot{V}O_2max$ for 10 minutes) intermittent exercise with PR allows 54 seconds more than 95% of $\dot{V}O_2max$) and ~150-s more than 90% of $\dot{V}O_2max$. A 30–30-s intermittent exercise at 100% $\dot{V}O_2max$ with AR is probably a training design that could produce improvement in $\dot{V}O_2max$ in soccer players (16). It could solicit the anaerobic and aerobic mechanisms at the same time (33). However, according to the data from the present study, for the same intermittent running training modality—30–30-s intermittent exercise at 100% $\dot{V}O_2max$, the difference in %HRres was about 9.1% between the PR and AR. This indicates that the type of recovery greatly determines the physiological responses of an athlete during a 30–30-s intermittent exercise at 100% $\dot{V}O_2max$. Dupont and Berthoin (17) have shown that the AR could be less efficient than the PR to optimize $\dot{V}O_2max$, because of the fact that AR enhances blood lactate removal in comparison with PR (13,24,33). Moreover, PR could allow greater reoxygenation of myoglobin and hemoglobin than AR (18,19). The results of this latter study showed that there were no significant differences between AR and PR concerning blood lactate concentration (12.6 ± 1 versus 13.1 ± 2.7 $mmol \cdot L^{-1}$), peak HR (183.3 ± 13.9 versus 182.5 ± 15 $b \cdot min^{-1}$) and average HR (66.6 ± 11.9; 165.6 ± 14.6 $b \cdot min^{-1}$, respectively). However, these authors have shown that there was a significant difference between AR and PR with regard to overall metabolic power.

Some of the limitations of the present study are the absence of randomization and the stability of the day-to-day HR response. Because the subjects were elite first division players, it was not possible to randomize the order of the sided games and intermittent runs performed. Randomization would have avoided any order effect of any exercise on any other one. Nevertheless, randomizing is much easy to implement in some studies and almost impossible in others. The proposal of randomization was rejected by the team coach as this would have imposed too much organization concerns and would have disturbed the regular training schedule of the staff. Concerning the potential bias of an eventual day-to-day HR variability, players were regularly checked for their resting HR variability and were coming back from a week of intraseason recovery. This does not impede the day-to-day HR variability bias, but might limit it. In this context, several other studies were conducted on soccer player training using HR as a physiological variable to control exercise intensity. Despite that, HR variability has to be taken into consideration when interpreting the results of the present study.

To summarize, our findings support the idea that some small-sided games enable HR responses to increase, similarly to some short-duration intermittent runs shown to be effective in enhancing player endurance. Nevertheless, some other sided games cannot increase the HR responses at the same level as the described intermittent exercises methods. Sided games show greater interplayer HR variability, and the presence of goalkeepers during sided games increases the physiological impact. Further studies are needed to compare the effects of these 2 training methods on the enhancement of soccer player endurance.

Practical Applications

Previous studies demonstrated the fact that intermittent exercise can be used to improve $\dot{V}O_2max$, but few studies have compared these training methods with specific ball training

like sided games. The results of this study show that it is possible to use some sided games for physically integrated training approaching the intensity of the player's activity during short-duration intermittent running. However, the main difficulty during the sided games is to control the activity of the players. The choice of the number of players, the presence of goalkeepers, the playing area, and game instructions directly affect HR responses. According to the training objectives, the choice is between controlled physical training (short-duration intermittent running) and physically integrated training (sided games) in which the group activity varies more.

Acknowledgments

The authors gratefully acknowledge Michel Dufour at the Faculty of Sports Science, Strasbourg French University of Sports Science for his help in determining this protocol and for his valuable assistance. We also thank Carlo Castagna for his advice. The authors have no conflicts of interest that are directly relevant to the content of this article.

References

1. Allen, JD, Butterfly, R, Welsh, MA, and Wood, R. The physical and physiological value of 5-a-side soccer training to 11-a-side match play. *J Hum Movement Stud* 34: 1–11, 1998.
2. Apor, P. Successful formulae for fitness training. In:*Science and Football.* Reilly, T, Lees, A, Davids, K, and Murphy, WJ, eds. London: E. & F.N. Spon, 1988. pp. 95–107.
3. Astrand, I, Astrand, PO, Christensen, EH, and Hedman, R. Intermittent muscular work. *Acta Physiol Scand* 48: 448–453, 1960.
4. Balsom, PD. *Precision Football.* Kempele, Finland: Polar Electro Oy, 1999.
5. Balsom, PD, Ekblom, B, Söderlund, K, Sjödin, B, and Hultman, E. Creatine supplementation and dynamic high-intensity intermittent exercise. *Scand J Med Sci Sports* 3: 143–149, 1993.
6. Bangsbo, J. The physiology of soccer— with special reference to intense intermittent exercise. *Acta Physiol Scand* 15(Suppl. 619): 1–156, 1994.
7. Bangsbo, J. Optimal preparation for the World Cup in soccer. *Clin Sports Med* 17: 697–709, 1998.
8. Bangsbo, J and Mizuno, M. Morphological and metabolic alterations in soccer players with detraining and retraining and their relation to performance. In: *Science and Football.* Reilly, T, Lees, A, Davids, K. and Murphy, WJ, eds. London: E. & F.N. Spon, 1988. pp. 114–124.
9. Billat, V, Flechet, B, Petit, B, Muriaux, G, and Koralsztein, JP. Interval training at VO_2max: effects on aerobic performance and overtraining markers. *Med Sci Sports Exerc* 31: 156–163, 1999.
10. Billat, V, Petit, B, and Koralsztein, JP. Calibration of the duration of the repetitions of a meeting of interval training at the speed associated with VO_2max in reference to the continuous time limits: effect on the physiological answers and the distance covered. *Sci Mot* 28: 13–20, 1996.
11. Bisciotti, NG, Sagnol, JM, and Filaire, E. Aspetti bioenergeticci della corsa frazionata [Bioenergetic aspects of interval training in soccer]. *Scuola Sport* 50: 21–27, 2000.
12. Bishop, NC, Gleeson, M, Nicholas, CW, and Ali, A. Influence of carbohydrate supplementation on plasma cytokine and neutrophil degranulation responses to high intensity intermittent exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 12: 145–156, 2002.
13. Bonen, A and Belcastro, AN. Comparison of self-selected recovery methods on lactic-acid removal rates. *Med Sci Sports Exerc* 8: 176–178, 1976.
14. Cazorla, G and Léger, L. *How to Evaluate and Develop Your Aerobic Capacities. Tests of Race Shuttle and Test VAMEVAL.* Cestas, France: AREAPS, 1993. p. 123.
15. Christensen, EH, Hedman, R, and Saltin, B. Intermittent and continuous running. *Acta Physiol Scand* 50: 269–286, 1960.
16. Dupont, G, Akakpo, K, and Berthoin, S. The effect of in-season, high-intensity interval training in soccer players. *J Strength Cond Res* 18: 584–589, 2004.
17. Dupont, G and Berthoin, S. Time spent at a high percentage of VO_2max for short intermittent runs: active recovery versus passive recovery. *Can J Appl Physiol* 29:(Suppl.): S3–S16, 2004.
18. Dupont, G, Blondel, N, and Berthoin, S. Performance for short intermittent runs: active versus passive recovery. *Eur J Appl Physiol* 89: 548–554, 2003.
19. Dupont, G, Moalla, W, Guinhouya, C, Ahmaidi, S, and Berthoin, S. Passive versus active recovery during high intensity intermittent exercises. *Med Sci Sports Exerc* 36: 302–308, 2004.
20. Flanagan, T and Merrick, E. Holistic training: quantifying the work-load of soccer players. In: *Science and Football IV.* Spinks, W, Reilly, T, and Murphy, A, eds. London: Routledge, 2002. pp. 341–349.
21. Fox, EL and Mathews, DK. *Interval Training.* Paris: Vigot, 1977.
22. Gaiga, MC and Docherty, D. The effect of an aerobic interval training program on intermittent anaerobic performance. *Can J Appl Physiol* 20: 452–464, 1995.
23. Gaitanos, GC, Williams, C, Boobis, LH, and Brooks, S. Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *J Appl Physiol* 75: 712–719, 1993.
24. Gupta, S, Goswami, A, Sadhukhan, AK, and Mathur, DN. Comparative study of lactate removal in short massage of extremities, active recovery and a passive recovery period after supramaximal exercise sessions. *Int J Sports Med* 17: 106–110, 1996.
25. Helgerud, J, Engen, LC, Wisløff, U, and Hoff, J. Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med Sci Sports Exerc* 33: 1925–1931, 2001.
26. Hoff, J, Wisløff, U, Engen, LC, Kemi, OJ, and Helgerud, J. Soccer specific aerobic endurance training. *Br J Sports Med* 36: 218–221, 2002.
27. Impellizzeri, FM, Rampinini, E, and Marcora, SM. Physiological assessment of aerobic training in soccer. *J Sports Sci* 23: 583–592, 2005.
28. Karnoven, MJ, Kentala, E, and Mustala, O. The effect of training on heart rate, a longitudinal study. *Ann Med Exp Biol Fenn* 35: 307–315, 1957.
29. Kirkendall, DT. Training to mimic the game: in praise of 4 v 4. Master's thesis, University of North Carolina, Chapel Hill, 2001.
30. Léger, L and Boucher, R. An indirect continuous running multistage field test. The University of Montréal Track Test. *Can J Appl Sports Sci* 6: 77–84, 1980.
31. Mac Dougall, JD, Hicks, AL, MacDonald, JR, McKelvie, RS, Green, HJ, and Smith, KM. Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training. *J Appl Physiol* 84: 2138–2142, 1998.
32. Margaria, R, Olivia, RD, Di Prampero, PE, and Cerretelli, P. Energy utilisation in intermittent exercise of supramaximal intensity. *J Appl Physiol* 26: 752–756, 1969.
33. Millet, GP, Candau, R, Fattori, P, Bignet, F, and Varrav, A. VO_2 responses to different intermittent runs at velocity associated with VO_2max. *Can J Appl Physiol* 28: 410–423, 2003.
34. Nevill, ME, Williams, C, Ropper, D, Slater, C, and Nevill, AM. Effect of diet on performance during recovery from intermittent sprint exercise. *J Sports Sci.* 11: 119–126, 1993.

35. Rampinini, E, Impellizzerri, FM, Castagna, C, Abt, G, Chamari, K, Sassi, A, and Marcora, SM. Factors influencing physiological responses to small-sided games. *J Sports Sci* 25: 650–666, 2007.

36. Rodas, G, Ventura, JL, Cadefau, JA, Cusso, R, and Parra, J. A short training programme for the rapid improvement of both aerobic and anaerobic metabolism. *Eur J Appl Physiol* 82: 480–486, 2000.

37. Saltin, B and Essén, B. Muscle glycogen, lactate, ATP and PCr in intermittent exercise. In: Muscle Metabolism During Exercise: Advances in Experimental Medicine and Biology. Pernow, B and Saltin, B, eds. New York: Plenum Press, 1971. pp. 419–424.

38. Spalding, TW, Lyon, LA, Steel, DH, and Hatfield, BD. Aerobic exercise training and cardiovascular reactivity to psychological stress in sedentary young normotensive men and women. *Psychophysiology* 41: 552–562, 2004.

39. Stolen, T, Chamari, K, Castagna, C, and Wisløff, U. Physiology of soccer. An update. *Sports Med* 35: 501–536, 2005.

40. Thibault, G. Effects of moderate intensity endurance and high intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO_2max. *Med Sci Sports Exerc* 28: 1327–1330, 1996.

41. Wisløff, U, Helgerud, J, and Hoff, J. Strength and endurance of elite soccer players. *Med Sci Sports Exerc* 30: 462–467, 1998.

ANNEXE 3

Dellal A. Les jeux réduits en football : un moyen d'atteindre un niveau d'intensité de travail equivalent aux exercices intermittents de courte durée spécifique. www.savoir-sport.org, Fiche scientifique S537, septembre 2008.

Les jeux réduits en football : un moyen d'atteindre un niveau d'intensité de travail équivalent aux exercices intermittents de courte durée spécifique.

L'analyse des différents facteurs de la performance en football met en évidence l'importance de l'aspect physique au même titre que la technique, la tactique et le psychologique (Dellal et al, 2008). Les entraîneurs doivent optimiser la condition physique des joueurs afin qu'ils puissent exprimer au mieux leurs qualités footballistiques. Durant la période de compétition, les entraîneurs de sports collectifs n'ont pas le temps de développer parfaitement et spécifiquement un facteur de la performance. Nous devons alors trouver des exercices permettant de travailler simultanément plusieurs qualités tout en acceptant que le travail effectué ne soit pas optimal. L'endurance, qualité qui constitue la base du footballeur, est développée ou maintenue au moyen d'exercices intermittents de courtes durées (30 – 30, 15 – 15, 10 – 10, 10 – 20, 5 – 25…). Ce type de travail permettrait de solliciter à la fois la capacité aérobie, de maintenir le VO_2max et d'effectuer un travail en explosivité. Nous avons donc un travail physique mixte. Toutefois, certaines méthodes de travail permettraient également de maintenir un niveau d'endurance spécifique au moyen d'exercices intégrés avec ballon.

Cadre théorique

Les effets d'un entraînement en endurance au moyen d'exercices intermittents ont été démontrés chez le sportif de haut niveau avec notamment une hausse du VO_2max et une apparition retardée de la fatigue comparativement à un exercice continu. De nombreuses études relataient que cette méthode permettait de limiter la production d'acide lactique et d'augmenter la part d'utilisation des phosphocréatines (PCr) au métabolisme énergétique à l'exercice. Les PCr et le glycogène musculaire sont décrits comme les principaux substrats énergétiques lors d'exercices intermittents. Ces exercices sont intéressants car une capacité aérobie élevée permet aux footballeurs d'améliorer leurs performances grâce à une plus grande participation pendant le match par une hausse de la distance totale parcourue (Wisløff et al, 1998) et de l'intensité de l'activité.

Certains auteurs avaient décrit le football comme un ensemble de phases de jeu à 4 contre 4 ou moins, sur des espaces réduits. Or Hoff et al (2002) montraient qu'un entraînement spécifique à base de jeux réduits (5 *vs* 5) permettait d'approcher des valeurs de FC équivalentes à celles obtenues lors d'exercices intermittents de courte durée. Une des principales différences entres ces deux méthodes d'entraînement est la présence de la balle lors des jeux réduits et l'obligation de se déplacer par rapport aux adversaires.

Conséquences pratiques et questions

Les jeux réduits et les exercices intermittents de courte durée font partie intégrante de tout entraînement du footballeur. Ces deux méthodes de travail sont très souvent différenciées alors qu'elles peuvent agir à un même niveau sur le plan physiologique. Il serait ainsi intéressant de donner des outils scientifiquement valides afin de comparer ces deux méthodes. Un des moyens les plus simples serait d'analyser les réponses cardiaques lors de ces exercices à charges physiques contrôlés (exercices intermittents de courte durée) et lors de ces exercices physiques intégrés (jeux réduits) tout en analysant l'homogénéité inter-sujets.

Étude

Dix footballeurs de la Ligue 1 française (âge : 26 ± 2,9 ans ; masse corporelle : 78 ± 4,4 kg ; FCmax : 195,4 ± 4,9 bpm ; vVO_2max : 17,1 ± 0,8 km.h^{-1}) ont effectué différents exercices intermittents (30 – 30 à récupération active et passive, 15 – 15 à récupération passive, 10 – 10 à récupération passive et 5 – 20 à récupération passive) et différents jeux réduits (1 *vs* 1, 2 *vs* 2, 4 *vs* 4, 8 *vs* 8 avec et sans gardiens et des 10 *vs* 10) au cours de leurs périodes de compétition. Lors de chacune de ces méthodes

d'entraînements, nous avons relevé la FC au moyen d'un cardiofréquencemètre (Polar S-810, Kempele, Finlande) étalonné battement par battement afin d'analyser la FC de réserve (FCr) selon la formule de Karvonen : FCr = (FC moyenne au cours de l'exercice – FC de repos)/(FCmax – FC de repos) * 100. Cette valeur de FCr, qui sera exprimée en pourcentage (%FCr), permet d'effectuer des comparaisons entre différents joueurs.

Résultats

Les résultats de cette expérimentation démontrent que le pourcentage moyen de la FC de réserve lors d'exercices intermittents 30 – 30 à 100 % de la vVO2max à récupération active est significativement plus grand (tableau 1) que lors des jeux réduits 1 *vs* 1 ($p < 0.01$), 4 *vs* 4 ($p < 0.05$), 8 *vs* 8 ($p < 0.001$) et 10 *vs* 10 ($p < 0.01$). Le 10 – 10 à 110 % de la vVO_2max présente une différence significative avec les 1 *vs* 1 ($p < 0.05$), 8 *vs* 8 ($p < 0.01$) et avec le 10 vs 10 ($p < 0.05$).

Les réponses cardiaques lors d'exercices intermittents 30 – 30 à 100 % de la vVO_2max et d'exercices intermittents 10 – 10 à 110 % de la vVO_2max à récupération passive ne présentent aucune différence significative avec l'ensemble des jeux réduits (figure 1) ; tout comme les 2 *vs* 2 et le 8 *vs* 8 ne présentent aucune différence significative avec l'ensemble des exercices intermittents (figure 2). Enfin, l'homogénéité des réponses cardiaques est deux fois moins importante lors des jeux réduits, comparé aux réponses cardiaques durant les exercices intermittents avec respectivement des valeurs moyennes de coefficient de variation inter-sujets de 11,8 % vs 5,9 %.

Conclusion

Certains jeux réduits, notamment les 2 *vs* 2 et les 8 *vs* 8 avec gardiens, permettraient d'atteindre un niveau de FCr équivalent à celui obtenu au cours d'exercices intermittents de courte durée. Ces jeux réduits peuvent alors être utilisés comme une méthode d'entraînement intégrant l'aspect tactique, l'aspect technique mais aussi l'aspect physique, en approchant des intensités semblables à celles d'exercices intermittents courts (Dellal et al, 2008). Néanmoins, ces jeux réduits présentent une variabilité physiologique plus importante que celle des exercices intermittents et la FC ne serait pas son meilleur indicateur physiologique. Enfin, récemment, Rampinini et al (2007) avait rapporté que les réponses physiologiques durant ces jeux réduits étaient influencées par différents facteurs tels que la taille du terrain, la température extérieure, des changements de directions permanents... Cette forme de travail ne permet pas un contrôle rigoureux de l'activité des joueurs. Ainsi, en accord avec les objectifs de l'entraînement, le coach devra choisir entre un entraînement physique contrôlé (exercices intermittents) et un entraînement physique intégré plus difficilement contrôlable (jeux réduits).

Source primaire

Dellal A, Chamari K, Impellizzeri F, Pintus A, Girard O, Cotte T, Keller D. Heart rate responses during small-sided games and short intermittent running training in elite soccer players: a comparative study. Journal of Strength Conditional Research 2008;22(5):1449-57.

Rédacteur

Alexandre Dellal (alexandredellal@gmail.com), doctorant en physiologie de l'exercice, laboratoire de psychophysiologie du comportement moteur et des sports, Strasbourg (France), unité de recherche « Évaluation, Sport, Santé », Centre national de la médecine et des sciences du sport, Tunis (Tunisie).

Editeurs

Chantalle Mathieu, doctorat en sciences (mention neurophysiologie). Karim Chamari (karimchamari@gmx.net), doctorat en physiologie de l'effort, chef du service de physiologie du Centre national de médecine sportive de Tunis.

Mots clés

Jeux réduits, exercice intermittent course de courte durée, entraînement physique intégré, footballeurs de haut niveau.

Sports ciblés

Football et sports collectifs

Lectures suggérées

Dellal A et coll. De l'entraînement à la performance en football. Editions De Boeck, coll. « Sciences et pratiques du sport », 2008.

Hoff J, Wisløff U & al. Soccer specific aerobic endurance training. British Journal of Sports Medicine 2002;36:218-221.

Rampinini E, Impellizzeri FM & al. Factors influencing physiological responses to small-sided soccer games. Journal of Sports Sciences 2007;25(6):659-666.

Wisløff U, Helgerud J & al. Strength and endurance of elite soccer players. Medicine Science in Sports and Exercise 1998;30:462-467.

ANNEXE 4

Dellal A, Drust B, Keller D, Carling C, Chaouachi A, Wong PL, Chamari K. The effects of directional changes in shuttle intermittent running exercise on central and peripheral physiological parameters – special reference to soccer fitness training. Soumi au *J. Sports Sci.* (I.F. 1.797).

The effects of directional changes in intermittent exercise on central and peripheral physiological parameters – special reference to soccer fitness training

Running title: Intermittent shuttle running training in soccer

Key words: Classical intermittent exercise / Interval training with shuttle / Physiological impact / Anaerobic metabolism / Specific soccer players training

The effects of directional changes in intermittent training on central and peripheral physiological parameters – special reference to soccer fitness training

Alexandre Dellal[1, 2, 3], Barry Drust, Dominique Keller[1], Christopher Carling[4], Anis Chaouachi[2], Pui-Lam Wong[5, 6], Karim Chamari[2]

1 - Psychophysiology of the motor behaviour and sports laboratory, University of sports science and exercise, Strasbourg, France

2 - Research Unit "Evaluation, Sport, Health" - National Centre of Medicine and Science in Sport (CNMSS) - El Menzah, Tunisia

3 - Ivory Coast national football team

4 - LOSC Lille Métropole Football Club, Centre de Formation, Domaine de Luchin, Camphin-en-Pévèle, France

5 - Department of Physical Education, Hong Kong Baptist University, Hong Kong.

6 - Asia Football Fitness, Hong Kong

Address for correspondence:

Alexandre Dellal, Psychophysiology of the motor behaviour and sports laboratory, French University of sports and exercises, 14b rue Descartes, 67084 Strasbourg, France

alexandredellal@gmail.com

Abstract

The aim of the present study was to compare the physiological impact of two forms of exercise: high-intensity intermittent shuttle exercise which requires 180° directional changes (IS) versus traditional forward-run intermittent exercise (IL). Ten elite male adult soccer players (age: 23.8±2.86 yrs, body mass: 75.5±6.2 kg, height: 180±7.1 cm), with a velocity associated to maximal oxygen uptake (vVO_2max) of 17.05±0.76 $km.h^{-1}$ participated in the study. Participants performed IS and IL at several intensities. Percentage of HR reserve (%HRres), post-exercise blood lactate concentration [La] and the rating of perceived exertion (RPE) were recorded. Significant differences in % HRres were observed between the IL and the IS of 30-30-sec at 100% vVO_2max ($p<0.01$), at 105% vVO_2max ($p<0.01$), and at 110% vVO_2max ($p<0.01$). The results of the [La] and RPE, have presented a significant difference between the two forms of 10-10-sec, 15-15-sec and 30-30-sec intermittent exercise. The physiological impact of traditional IL is substantially lower than that of IS incorporating changes of direction. The main physiological difference is observed at peripheral levels. A greater accumulation of the blood lactate and RPE is observed at the same intensity showing the increase of the metabolism anaerobic energy expenditure and the energy cost.

Introduction

Activity profiles in competitive team sports incorporate intermittent high-intensity bouts of exercise that may have to be repeated many times during the course of a match with little recovery time between efforts (Carling & *al.*, 2008). Intermittent exercise training interventions are therefore commonly used to recreate the actual demands of match play (Bangsbo, 2008). This type of exercise involves alternating work and recovery periods (using active and passive recovery intervals) with the aim of optimizing the maximal aerobic speed (MAS or vVO_2max) of an athlete. Undertaking this type of exercise allows athletes to work for longer durations than continuous exercise at the same intensity (e.g. Fox & Mathews, 1977) through reduced lactate accumulation (Gaitanos & *al.*, 1993) because a part of it is metabolized during recovery periods (Balsom, 1995).

Game-related qualities such as endurance, speed, and coordination can be developed simultaneously according to the characteristics of the chosen intermittent exercise training such as the density of the workload, the nature of recovery periods and the choice of the exercise form: straight-line or in shuttle running (Dellal & al, 2008). More precisely, this interval-training acts in optimizing and maintaining VO_2max (Billat & *al*., 2002 ; Dupont, 2003), in the development of the oxidative enzymes (Parolin & *al.*, 1999), in the improvement of reactions' time (Lemmink & Visscher, 2005) while impacting on the peripheral component (Thompson & *al.*, 1999). This type of exercise training allows a simultaneous and a mixed solicitation of the aerobic (Gaitanos, 1990) and anaerobic metabolisms (Bangsbo, 2007).

The physiological responses to forward high intensity in-line intermittent exercise (IL) are well-known (e.g. Billat & *al.*, 2002). In contrast, few authors have studied the physiological responses to intermittent shuttle running exercise (IS) where players must frequently decelerate and undertake 180° changes of direction before re-accelerating (e.g. Bisciotti & *al.*, 2000). This type of effort is largely performed by soccer players during

matches and training sessions. Shuttle running energy utilization depends largely on the muscle mass being employed and variations between musculature activated during different exercise forms will probably result in physiological responses' discrepancies (Flouris & *al.*, 2005). As such, the different turning and stopping actions involved in shuttle running will influence the musculature involved and therefore energy utilisation will be affected and result in discrepancies in performances and physiological responses when compared to data obtained from forward running (Carling & *al.*, 2008, Dellal & Grosgeorge, 2006). The aim of the present study was then to investigate the physiological impact in soccer players of two types of training exercises: intermittent running with directional changes compared to in-line forward intermittent exercise.

Methods

Subjects

Ten high level soccer players volunteered to participate in the present study. All of them practised soccer at amateur national level championship. The anthropometric and fitness characteristics of the subjects' are presented in Table 1. The protocol was approved by the local University ethic committee. The subjects could withdraw from the study at any time and were informed about the protocol methodology but did not receive any information on the objective of the study.

****** Table 1 near here ******

Testing

The velocity associated to maximal oxygen uptake defined by Billat & Koralsztein (1996) (vVO_2max) of each athlete was measured by the way of the Leger-Boucher field test (1980). The vVO_2max values served as reference to the application of all intermittent

exercises intensities. The Leger-Boucher test was performed twice according to table 3. During these field-tests, the athletes' heart rate (HR) was monitored continuously (5-s intervals) using portable HR monitors (Polar S-810, Polar-Electro, Whodunnit, Kempele, Finland). The highest value recorded at the end of the Leger-Boucher test was considered as the subject's maximal heart rate (HRmax). All athletes were verbally encouraged to perform maximally during each assessment.

The participants' resting HR was also recorded at the same time of the day: ~12h00. The procedure was carried out under standardized conditions. In a quiet room, the players were instructed to lay down on a mat for 10mins, close their eyes, without performing any prior exercise. At the end of the 10mins, the minimal value of HR measured for three consecutive interval times (15 sec) constituted their resting HR.

Procedures and data collection

The subjects carried out various intermittent exercises at various intensities in-line (IL) and in shuttle (IS) (Table 2) in an order defined after manual randomization. All sessions were separated by at least 48-h in order to minimize the effects of fatigue. The intermittent exercise conditions were standardized and the practices were performed on an ash running track. We voluntarily chose not to use a traditional athletic running track or a synthetic football pitch which have been linked to an increased risk of strain in the joints, tendons and muscles of players (Ekstrand & *al.*, 2006), even though there are contrasting information on the mentioned increased risk (Andersson & *al.*, 2008).

All subjects carried out a standardized warm-up that included prescribed jogging and dynamic stretching. The subjects were allowed to take part in testing if they presented no signs of illness/injury or fatigue; otherwise exercise was deferred to the following day. All the exercise protocols were undertaken at the same time of the day in order to limit the effects of

the circadian variations on the measured variables, particularly on HR (Drust & *al.*, 2005 ; Reilly & Brooks, 1986 ; Reilly, 1986).

The chronological organization of testing involved 3 randomized blocks (Table 3). Block 1 involved the measurement of vVO_2max using the Leger-Boucher test (LB test 1) and a five-week period involving in-line and shuttle intermittent running exercises.

Block 2 involved a period in which no specific fitness exercise was undertaken but including classical soccer training. The purpose of the second block was to limit the effects of habituation to the intermittent exercises (Dellal & Grosgeorge, 2006).

Block 3 included a re-test Leger-Boucher (LB 2) and a five-week period in which the athletes undertook again in-line and shuttle forward intermittent running exercises. The aim of the second test was to detect if the vVO_2max value had changed between Blocks 1 and 3. As the vVO_2max did not change significantly, and in order to be reproducible, the intermittent exercises in Block 3 were still performed according to the vVO_2max obtained in the first Leger-Boucher test.

****** Table 2 near here ******

****** Table 3 near here ******

Soccer specific high-intensity intermittent exercise

All intermittent exercises were performed in according to a percentage of the vVO_2max of the Léger-Boucher test (1980). The intensity of each intermittent exercise was applied in equal or higher value of 100% of the vVO_2max in the purpose to reach a time spent at a high percentage of VO_2max (Millet & *al.*, 2003 ; Billat & *al.*, 2000). All subjects performed each intermittent exercise in the two experimental conditions: in-line and with directional changes by the way of 180° shuttle. More precisely, concerning the intermittent exercise in shuttle, the

calculation of the distance (42m, 30m, 21m) allowed to define an identical number of directional changes during all shuttle training sessions for all subjects, taking in consideration the different work intensities, the different work duration periods and all the subjects' *v*VO_2max. The calculation considered that the *v*VO_2max of the subjects were between 16.1km/h and 18.3km/h. For example, during the 30-30-sec intermittent exercise, the soccer players had to run between 134.2m and 152.6m at 100% *v*VO_2max, and between 147.6m and 167.8m at 110% *v*VO_2max. Consequently, the application of the 30-30-sec IS was performed between two lines separated by 42m which had permit to each athletes to cover theirs proper distance in reference to theirs *v*VO_2max and with the same number of 180° directional changes.

- 30-30-sec AR. Alternate 30sec work and 30sec active recovery periods (at 40% of the *v*VO_2max). The work periods were based on three intensities: 100%, 105% and 110% of the *v*VO_2max for a total duration of 11.30min and 12 working bouts according to Billat & al (2000) and Millet & *al.* (2003). When the intermittent exercise was carried out in shuttle format, the subjects performed runs back and forth over 42m and 3 including three 180° directional changes.
- 15-15-sec PR. Alternate 15sec work and 15sec passive recovery periods. The work periods were based on three intensities: 105%, 110% and 115% of the *v*VO_2max for a total duration of 9.45 min and 20 working bouts according to Dupont & *al.* (2002). When the intermittent exercise was carried out in shuttle format, the subjects performed runs back and forth over 30m and 2 including three 180° directional changes.
- 10-10-sec PR. Alternated 10sec work and 10sec passive recovery periods. The work periods were based on three intensities: 110%, 115% and 120% of the *v*VO_2max for a total duration of 6.45min and 21 working bouts (Dupont & *al.*, 2002). When the

intermittent exercise was carried out in shuttle format, the subjects performed runs back and forth over 21m and 2 including three 180° directional changes.

Physiological measures

The HRreserve percentage. Measurements have shown that HR responses to a similar workload vary between individuals (Karvonen & *al.*, 1957); therefore circulatory load is better expressed as a HRreserve percentage of the individual subject (%HRres). The %HRres was calculated using the formula proposed by Karvonen & *al.* (1957): % HRres = (mean exercise HR - resting HR) / (HRmax - resting HR) * 100

The post-exercise blood lactate concentration. Taoutaou & *al.* (1996) and Basset & *al.* (1991) reported that the post-exercise peak blood lactate concentration is attained around 3min after exercise is ceased when there is no active recovery. Blood lactate samples were therefore taken at the 3rd post-exercise minute and analysed by a validated portable analyzer (Lactate Pro, Arkray, Japan). Blood samples were collected from the fingertip after cleaning it by alcohol. The validity of measurements obtained when employing this device has previously been demonstrated by Pyne & *al.* (2000).

Borg's (1998) post-effort perception scale. The Borg Scale method is a method using the rating of perceived exertion (RPE) and is used to subjectively gauge an athlete's level of intensity in testing, training and competition. The scale of effort perception is commonly named "the Borg RPE" or in other words "Ratings of Perceived Exertion". Borg (1998) reported that the values of RPE can be used to compare physiological measurements such as the HR or the oxygen uptake (VO_2). The experimenters in the present study provided explanations to each participants on how each value corresponded to a subjective appreciation of the effort performed. In the present study, we used the RPE scale proposed by Foster & *al.* (2001) which had shown specific to the global internal load soccer training and to the

supramaximal intermittent exercises (Impellizzerri & *al.*, 2004 ; Coutts & *al.*, 2003) (Table 4). Each estimation was recorded 2min after the effort for each athlete. No information was provided on previously recorded values obtained in the other intermittent exercise. We employed the formula "how was, and how do you feel the exercise" used in previous studies such as that of Mac Guigan & *al.* (2004). The RPE method was used several weeks before the experiment during normal training in order to adapt to the method.

****** Table 4 near here ******

Statistical analyses

All values are expressed as means ± standard deviation (means±SD). The normality distribution of the data was checked using the Kolmogorov-Smirnov test and the statistical analysis variance homogeneity was provided by the Hartley test. After confirming normal distribution, a one-way ANOVA with repeated measures was used to evaluate and to compare %HRres, post-exercise blood lactate and post-effort RPE difference across training sessions. A Student's *t*-test, for paired data, was used to compare the central, the peripheral and the RPE responses to the 2 intermittent exercise protocols. Statistical significance was set at $P \leq 0.05$.

Results

All the participants took part in the whole protocol and coped well with the exercises. The comparison of results obtained from the first and second Leger-Boucher (1980) test undertaken before block 1 and block 3 respectively, did not indicate any significant change in the vVO_2max values. Thus, block 1 followed by block 2, did not present any training effect on vVO_2max.

Intermittent exercise and central component – HR analysis

Measurements from both exercise protocols were compared for the central physiological component (HR). A significant difference ($p<0.01$) was obtained in the % HRres recorded in the 30-30-sec exercise between shuttle and forward intermittent exercise but the HR responses between the 15-15-sec and the 10-10-sec exercise were similar for the two forms of exercise (Figure 1).

Intermittent exercise and peripheral component – Blood lactate concentration

When the impact of the two types of exercise on peripheral physiological components was compared, the blood lactate concentration [La] showed a significant difference between each of the forward and shuttle intermittent exercise sessions, especially for all the 10-10-sec and 15-15-sec exercises with higher values for the shuttle form (all points at $p<0.001$) (Figure 2).

Intermittent exercise and RPE

All of the subjective post-exercise perceptions of exertion were significantly higher during intermittent exercise performed in shuttle than in straight line (Figure 3). Maximal values were reached for the 10-10-sec at 120% and the 30-30-sec at 110% of the vVO_2max with a RPE rating of 10 whereas the 15-15-sec at 115% attained also a near maximal values with a RPE of 9.9.

****** Figure 1, 2 and 3 near here ******

Discussion

The main objective of the present study was to investigate the physiological effects of the additional energy cost generated by the 180° changes in direction that occur during

intermittent shuttle exercise. We compared the physiological impact on HR, RPE and [La] in intermittent exercise sessions involving intermittent shuttle and forward in-line running (IS and IL, respectively).

Intermittent exercise 10-10-sec and 15-15-sec

The HR responses during these intermittent exercises were similar between the in-line and shuttle forms of exercise. In contrast, RPE and [La] presented significant differences between the two methods of intermittent training with higher values for shuttle exercise.

The comparative analysis of the 10-10-sec and 15-15-sec intermittent exercises did not indicate any significant difference in the HRres values. The directional changes did not affect the central component, HR responses. During this 10-10-sec and 15-15-sec short and very high intense intermittent exercises, the aerobic metabolism implication was reported to be lower than the anaerobic contribution (Burnley & Jones, 2007) but theses exercise patterns enable a significant improvement of the cardio-vascular system (Billat, 2003 ; Dupont & *al.*, 2002). The work and recovery bouts pattern seems not to be long enough to attain the slow component (Phase III) in the VO_2 kinetics (Christmass & *al.*, 1999). Indeed, the majority of the energy expenditure and substrate utilisation were initially accounted to come from the Adenosin-tri-phosphate/Phosphocreatine system (ATP/PCr), the glycolysis, and in small part from the fat oxidation (Essen & *al.*, 1977). The passive recovery bouts allow to sufficiently reload myoglobin and hæmoglobin in oxygen, to remove a part of [La] produced and to resynthesize the PCr (Dupont & *al.*, 2003 ; Christmass & *al.*, 1999). Consequently, the lower participation of the aerobic metabolism and its energy requirement during these efforts could explain why HR responses were not modified in short IS of both in-line and shuttle forms.

It was observed significant higher values with regard to the parameters [La] and the RPE when the effort was performed in shuttle. These results show the physiological impact

generated by the succession of 180° direction changes which implicated some decelerations and re-accelerations highlighted by Thompson & *al.* (1999) and Mac Gregor & *al.* (1999). Indeed, the half-back application in IS requires to perform deceleration and to block muscular action to perform the direction change implying eccentric muscular effort increasing the energy cost (Millet & *al.*, 2003). Moreover, the subjects had to re-accelerate and this action solicits essentially the anaerobic metabolism and the fast twitch (FT) muscular fibres. The FT possesses less mitochondrial and oxidative enzymes than slow twitch (ST) but they present more glycolytic enzymes (PFK, LDH and MDH). Essen & *al.* (1977) reported that the rate of PCr utilisation decreased by 30% at the end of recovery periods of a 15-15-sec exercise, the [La] remaining at an identical level to that of a continuous run of 60min. PCr utilisation decrease could be one of the explanations for the blood lactate increase observed during the IS. Another explanation is that the glycolysis activities participate in majority to the energy expenditure during deceleration and acceleration, i.e. intense muscular actions and increase muscular lactatacid concentration and thus blood [La].

In the 10-10-sec and the 15-15-sec IS, the two directional changes in shuttle running would seem sufficient to fatigue the athletes' quicker compared to IL: +20.5% of [La] and +15.4% of RPE for the 10-10-sec and +25.8% of [La] and +25.6% of RPE for the 15-15-sec. The high utilisation of PCr and the glycolysis can explain the rise of [La] during these direction changes which require high levels of explosiveness (Mendez-Villanueva & *al.*, 2008). The concentration of PCr would strongly decrease and the depletion in PCr appears quickly due to 180° turning movement with deceleration and re-acceleration. Anaerobic glycolysis would more strongly take part and more quickly in the energetic metabolism, and recovery periods would be too short to sufficiently metabolize lactate and restore PCr. The sequence of directional changes combined with high intensity repetitions (105%, 110%, 115% and 120% of the vVO_2max) and the short duration of the recovery bout would have increased

energy expenditure from the anaerobic metabolism and the energy cost compared to IL. The implementing of directional changes in the shuttle runs has increased the exercise intensity and cost by the way of additional muscular actions in the deceleration (eccentric contractions) and re-accelerations (powerful concentric contratctions) inducing higher glycolytic contribution and thus blood [La]. The higher acidosis and energy cost induced higher perceived exertion as shown by the results of the present study.

Intermittent exercise 30-30-sec

The results from the comparison of the two types of intermittent runs in the 30-30-sec exercises at 100%, 105% and 110% of *v*VO_2max with an active recovery period, indicated a significant difference in %HRres, [La], and the RPE.

In contrast to the 10-10-sec and 15-15-sec exercise, the comparison of %HRres, showed significant higher values in the 30-30-sec IS comparatively to the IL (+7.1%, $p<0.01$). The overall duration of the 10-10-sec and the 15-15-sec sessions, respectively 6.50min and 9.45min, and more specifically the time spent in exercise would be too short to demonstrate a significant difference in the cardiac responses. Bisciotti & *al.* (2000) reported that in-line forward intermittent exercise highly taxed the aerobic system. Classically, the in-line forward 30-30-sec intense run interval training with active recovery allows spending a long time at VO_2max during high intensity runs sessions (Billat & *al.*, 2000 ; Billat & *al.*, 1999), to increase VO_2max (Gorostiaga & *al.*, 1991), to limit the glycogen depletion (Burnley & Jones, 2007), to optimize the utilisation of myoglobin and hæmoglobin (Mac Cully & *al.*, 1994), to favour the fat oxidation, and to develop the glycolitic enzymes (Roberts & *al.*, 1982) and the buffer capacity (Balsom, 1995). All these studies showed the importance of the aerobic metabolism contribution during the standard 30-30-sec IL.

However, the application of the same intermittent efforts in shuttle format with directional changes would demonstrate a strong contribution of the peripheral component and modify the part of the aerobic metabolism in the energy expenditure. The central component would seem less involved in the energy processes during these particular intermittent shuttle exercises. The 3 half-backs in these 30-30-secs IS with deceleration and re-acceleration, imply to relatively break the linear kinetics of the VO_2 during the work bouts session and to solicit the anaerobic metabolism at a higher level (Paterson & Gary, 2007 ; Millet & *al.*, 2003). The importance of the energy expenditure is altered when directional changes are included in intermittent exercises and in the case of the 30-30-sec IS, the HR response was higher due to the increase of the energy cost and the significant elevation of muscular anaerobic solicitation. The higher is the exercise intensity, the higher will be the HR responses. These effects were acute with the increase of the work bout intensities. Bisciotti & *al.* (2000) showed in the same way that the 30-30-sec intermittent forward protocol at 105% of the vVO_2max was slightly anaerobic whereas the same protocol at 110% of vVO_2max was highly anaerobic.

These interpretations would explain why the 30-30-sec IS would mainly involve a greater contribution of the peripheral component than the IL. According to Thompson & *al.* (1999) and Mac Gregor & *al.*, (1999), directional changes generate higher levels of fatigue. In the present study, the three 180° turns during the 30-30-sec efforts increasing the energy costs and implying eccentric muscular contractions would place a greater physiological strain on the athletes (+20.26% increase in [La] and +39.58% increase in RPE) and be sufficient to fatigue them quicker due to higher solicitation of the anaerobic metabolism, accumulation of [La] and glycogen depletion. The duration of work and the total duration of the session, 11.30min, would be too long to maintain the PCr at a sufficient level and to decrease the anaerobic glycolysis contribution in the energetic metabolism. The active recovery period

between the work periods would not be sufficient to completely metabolize lactate and restore the PCr stock (Balsom, 1995 ; Gaintanos & *al.*, 1993). Taoutaou & *al.* (1996), Gupta & *al.* (1996) and Bonen & Belcastro (1976) showed that active recovery at moderate intensity increases lactate removal after intense exercise. In contrast, we observed that it was not possible to decrease blood lactate sufficiently during 30-30-sec IS with active recovery. Therefore, the athletes' performance during the 30-30-sec intermittent exercises could be improved using a period of passive recovery rather than an active recovery (Dupont & *al.*, 2003). The type of recovery would impact directly the capacity to carry out intermittent exercises. In the same way, a dietary supplementation using creatine (Balsom & *al.* 1994) and carbohydrate (CHO) (Welsh & *al.*, 2002 ; Davis & *al.*, 1999 ; Balsom & *al.*, 1999 ; Bangsbo, 1994 ; Bangsbo & *al.*, 1992) would improve performance during IS that is specific to soccer (10-10-sec, 15-15-sec and 30-30-sec). Indeed, Patterson & Gray (2007) showed that carbohydrate-gel supplementation increased the endurance performance during intermittent high-intensity shuttle running.

In summary, this study highlighted the fact that the physiological impact during typical forward short-duration intermittent exercise (IL) was different to that observed during short-duration intermittent shuttle exercise (IS). The principal distinction would involve the peripheral component. Indeed, the present study showed that the IS showed a greater [La] than the IL performed at the same intensity. During typical forward intermittent exercise, the energy cost generated by the runs would be substantially lower than the energy cost generated by the inclusion of 180° changes in direction (Thompson & *al.*, 1999 ; Mac Gregor & *al.*, 1999 ; Bisciotti & *al.*, 2000) during the IS. The 180° changes in direction during high intensities runs would imply a faster and more important fatigability throughout the IS in comparison with the classical intermittent efforts in line.

Methodologically, the Leger-Boucher test (1980) would not give us the better *v*VO_2max value for perform IS. Indeed, this test is continuous and it does not take in consideration the peripheral component by the way of directional changes. However, by taking into consideration the data obtained in this study, the coach and fitness coach would be able to select the running intensities according to the chosen objectives. Nevertheless, this method would seem still not easily applicable. The data concerning the effects of directional changes during intermittent exercises specific to soccer are not numerous. The 20m multistage fitness test (MFT) of Brewer & *al.* (1988) was a test which consisted of continuous shuttle running between two parallel lines set separated by 20m. Cooper & *al.* (2005) have demonstrated that it does not provide valid predictions of VO_2max. Metsios & *al.* (2008) have confirmed this finding for the MST but also concerning the 20m square shuttle test (SST). Consequently, the coach needs specific value for the intermittent exercises because the VO_2max is not enough precise for this type of effort.

Over the last five years, a number of field tests have been designed to allow the evaluation of the athletes' *v*VO_2max specific to IS. As Cazorla & Leger (1993) reported, there exists a notable difference between a *v*VO_2max obtained through forward running and a *v*VO_2max obtained from a shuttle run. This discrepancy has led to the development of the Intermittent Loughborough Shuttle Test (Nicholas & *al.*, 2000) and the 30-15 IFT (Buchheit, 2008). The 30-15 IFT test attempts to take into consideration the additional energy cost generated by the 180° changes in direction during IS. The 30-15 IFT also improves the prescription of intermittent training interventions either using shuttles or forward runs. Buchheit (2008) have shown that the maximal running speed (MRS) determined by the 30-15 IFT presented significantly less inter-individual differences variation in comparison with the MRS values determined by continuously test. However, the IFT 30-15 has not yet been validated in adult soccer players. To the best of our knowledge the closer test to the shuttle

runs used in the present study is the YoYo intermittent recovery test validated by Krustrup & *al.* (2003). This test not only is an intermittent shuttle tests in which the subjects perform 180° changes of direction, but also is validated with respect to laboratory measured VO_{2max} and ecological variables such as distances covered during matches and other fitness match performances in adult male soccer players (Krustrup & *al.* 2003), female soccer players (Krustrup & *al.* 2005) and soccer referess (Krustrup & *al.* 2003).

Finally, Blondel & *al.* (2001) showed that for the same percentage of vVO_2max, the anaerobic contribution to energy supply is different and could be dependent on the individual maximal running velocity (vmax). They proposed to perform intermittent exercises in reference to a percentage of the difference between vVO_2max and vmax (%AnSR). This method could be more efficient to the application of the IS. This warrants further research.

Concerning the turning technique, some athletes can change of direction better than others, also at high speeds, turning technique becomes more important and anaerobic power is important as players must accelerate after turning to obtain desired speed. Consequently, as the speed increases in the graded shuttle test, the anaerobic metabolism component becomes more important and therefore, low individual anaerobic power may cause an athlete to under perform in testing.

On the basis of the present findings, we suggest that future studies could be performed to investigate the biomechanical implications during IS or IL. Similarly, a study on the effects of CHO and creatine supplementation on performance during different soccer specific IS is warranted to confirm the result of Patterson & Gray (2007).

References

Andersson, H., Ekblom, B. & Krustrup, P. (2008). Elite football on artificial turf versus natural grass: movement patterns, technical standards, and player impressions. *J Sports Sci*, 26(2): 113-22.

Balsom, P.D. (1995). High intensity intermittent exercise, performance and metabolic reponses with very high intensity short duration works periods. Medicine thesis, Karolinska faculty, Stockholm, Sweden.

Balsom, P.D., Gaitanos, G.C., Söderlund, K. & Ekblom, B. (1999). High-intensity exercise and muscle glycogen availability in humans. *Acta Physiol Scand*, 165(4): 337-345.

Balsom, P.D., Söderlund, K., Christensen, E.H. & Hedman, R. (1994). Creatine in humans with special reference to creatine supplementation. *Sports Med*, 18: 268-280.

Bangsbo, J. (2008). *Fŭtbol: entrenamiento de la condición fisica en el fŭtbol*. Spain: Paidotrivo.

Bangsbo, J. (2007). *Aerobic and anerobic training in soccer*. Danemark: Stormtryk Bagsvaerd.

Bangsbo, J. (1994). The physiology of soccer - with special reference to intense intermittent exercise. Physiology of exercise thesis, Copenhague faculty, Danemark.

Bangsbo, J., Graham, T.E., Kiens, B. & Saltin, B. (1992). Elevated muscle glycogen an anaerobic energy production during exhaustive exercise in man. *J Physiol*, 451: 205-222.

Basset, D.R., Merill, P.W., Nagle, F.J., Agre, J.C. & Sampedro, R. (1991). Rate of decline in blood lactate after cycling exercise in endurance-trained and untrained subjects. *J Appl Physiol*, 70: 1816-20.

Billat, V. (2003). *Physiologie et méthodologie de l'entraînement, de la théorie à la pratique*. Brussels, Belgium: De Boeck.

Billat, V.L., Hamard, L. & Koralsztein, J.P. (2002). The influence of exercise duration at VO2 max on the off-transient pulmonary oxygen uptake phase during high intensity running activity. *Arch Physiol Biochem*, 110(5): 383-92.

Billat, V.L., Morton, R.H., Blondel, N., Berthoin, S., Bocquet, V., Koralsztein, J.P. & Barstow, T.J. (2000). Oxygen kinetics and modelling of time to exhaustion whilst running at various velocities at maximal oxygen uptake. *Eur J Appl Physiol*, 82(3): 178-87.

Billat, V.L., Flechet, B., Petit, B., Muriaux, G. & Koralsztein, J.P. (1999). Interval training at VO_2max: effects on aerobic performance and overtraining markers. *Med. Sci. Sports Exerc*, 31(1): 156-163.

Billat, V.L. & Koralsztein, J.P. (1996). Significance of the velocity at VO2max and time to exhaustion at this velocity. *Sports Med*, 22(2): 90-108.

Bisciotti, N.G., Sagnol, J.M. & Filaire, E. (2000). Aspetti bioenergetici della corsa frazionata nel calcio. *Scuola dello sport*, 50, Italy.

Blondel, N., Berthoin, S., Billat, V.L. & Lensel, G. (2001). Relationship between run times to exhaustion at 90, 100, 120, and 140% of vVO2max and velocity expressed relatively to critical velocity and maximal velocity. *Int J Sports Med*, 22(1):27-33.

Bonen, A. & Belcastro, A.N. (1976). Comparison of self-selected recovery methods on lactic-acid removal rates. *Med Sci Sports Exerc*, 8(3): 176-178.

Borg, G. (1998). *Borg's perceived exertion and pain scales*. Champain IL: Human Kinetics.

Brewer, J., Ramsbottom, R. & Williams, C. (1988). Multistage fitness test. Leeds: National Coaching Foundation.

Buchheit, M. (2008). The 30-15 intermittent fitness test: accuracy for individualizing interval training of young intermittent sport players. *J Strength Cond Res*, 22(2): 365-74.

Burnley, M. & Jones, A.M. (2007). Oxygen uptake kinetics as a determinant of sports performance. *Eur J Sport Sci*, 7(2): 63-79.

Carling, C., Reilly, T. & Williams, A.M. (2008). *Performance Assessment For Field Sports*. London: Routledge.

Cazorla, G. & Léger, L. (1993). *Comment évaluer et développer vos capacités aérobies. Epreuves de course navette et épreuve Vameval*. France : AREAPS.

Christmass, M.A., Dawson, B. & Arthur, P.G. (1999). Effect of work and recovery duration on skeletal muscle oxygenation and fuel use during sustained intermittent exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 80(5): 436-47.

Cooper, S.M., Baker, J.S., Tong, R.J., Roberts, E. & Hanford, M. (2005). The repeatability and criterion related validity of the 20m multistage fitness test as a predictor of maximal oxygen uptake in active young men. *Br J Sports Med*, 39: e19.

Coutts, A., Reaburn, P., Murphy, A., Pine, M. & Impellizzerri, F.M. (2003). Validity of the session-RPE method for determiningtraining load in team sport athletes. *J Sci Med Sport*, 6: 525.

Davis, J.M., Welsh, R.S., De Volve, K.L. & Alerson, N.A. (1999). Effects of branched-chain amino acids and carbohydrate on fatigue during intermittent, high-intensity running. *Int J Sports Med*, 20(5): 309-314.

Dellal, A. & Grosgeorge, B. (2006). Development of the aerobic capacity in basket-ball man – analyse of one specific training method: the intermittent exercise in shuttle. *Medi Basket*, 23: 6-9.

Dellal, A., Barrieu, P., Castagna, C., Chamari, K., Chaouachi, A., Chinelli, S., Coutts, A.J., Dyon, N., Hagist, L., Impellizzeri, F., Moalla, W., Monkam-Tchokonte, S.A., Pintus, A., Rampinini, E. & Reiss, D. (2008). *De l'entraînement à la performance en football*. Paris-Brussels: De Boeck.

Drust, B., Waterhouse, J., Atkinson, G., Edwards, B. & Reilly, T. (2005). Circadian rhythms in sports performance--an update. *Chronobiol Int.*, 22(1): 21-44.

Dupont, G. (2003). Brief intermittent exercises at high intensity: influence of the mode recovery on the exercise limit time and the time spent at high percentage of VO_2max. Sport Sciences thesis. Lille 2 faculty.

Dupont, G., Blondel, N. & Berthoin, S. (2003). Performance for short intermittent runs: active versus passive recovery. *Eur J Appl Physiol*, 89: 548-554.

Dupont, G., Blondel, N., Lensel, G. & Berthoin, S. (2002). Critical velocity and time spent at a high level of VO2 for short intermittent runs at supramaximal velocities. *Can J Appl Physiol*, 27(2):103-15.

Ekstrand, J., Timpka, T. & Hägglund, M. (2006). Risk of injury in elite football played on artificial turf versus natural grass: a prospective two-cohort study. *Br J Sports Med*, 40(12): 975-80.

Essen, B., Hagenfeldt, L. & Kaijser, L. (1977). Utilization of blood-borne and intramuscular substrates during continuous and intermittent exercise in man. *J Physiol*, 265(2): 489-506.

Flouris, A.D., Metsios, G.S. & Koutedakis, Y. (2005). Enhancing the efficacy of the 20m multistage shuttle run test. *Br J Sports Med*, 39: 166-170.

Foster, C., Florhaug, J.A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L., Parker, S., Doleshal, P. & Dodge, C. (2001). A new approach to monitoring exercise testing. *J Strength Cond Res*, 15: 109-115.

Fox, E.L. & Mathews, D.K. (1977). Interval Training. Vigot eds, Paris, France.

Gaitanos, G. (1990). Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. Medicine thesis, Loughborough University.

Gaitanos, G.C., Williams, C., Boobis, L.H. & Brooks, S. (1993). Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *J Appl Physiol*, 75: 712-719.

Gorostiaga, E.M., Walter, C.B., Foster, C. & Hickson, R.C. (1991). Uniqueness of interval and continuous training at the same maintained exercise intensity. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 63(2): 101-7.

Gupta, S., Goswami, A., Sadhukan, A.K. & Mathur, D.N. (1996). Comparative study of lactate removal in short massage of extremities, active recovery and a passive recovery period after supramaximal exercise sessions. *Int J Sports Med*, 17(2): 106-110.

Impellizzeri, F.M., Rampinini, E., Coutts, A.J., Sassi, A. & Marcora, S.M. (2004). Use of RPE-based training load in soccer. *Med Sci Sports Exerc*, 36(6):1042-7.

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

Krustrup, P., Mohr, M., Ellingsgaard, H. & Bangsbo, J. (2005). Physical demands during an elite female soccer game: importance of training status. *Med Sci Sports Exerc*, 37(7): 1242-1248.

Krustrup, P., Mohr, M., Amstrup, T., Rysgaard, T., Johansen, J., Steensberg, A., Pedersen, P.K. & Bangsbo, J. (2003). The yo-yo intermittent recovery test is highly reproducible, sensitive, and valid. *Med Sci Sports Exerc*, 35(12): 2120.

Krustrup, P., Mohr, M., Amstrup, T., Rysgaard, T., Johansen, J., Steensberg, A., Pedersen, P.K. & Bangsbo, J. (2003). The yo-yo intermittent recovery test: physiological response, reliability, and validity. *Med Sci Sports Exerc*, 35(4):697-705.

Léger, L. & Boucher, R. (1980). An indirect continuous running multistage field test. The university of Montréal Track Test. *Can J Appl Sports Sci*, 6: 77-84.

Lemmink, K.A. & Visscher, C. (2005). Effect of intermittent exercise on multiple-choice reaction times of soccer players. *Percept Mot Skills*, 100(1): 85-95.

Mac Cully, K.K., Iotti, S., Kendrick, K., Wang, Z., Posner, J.D., Leigh, J. & Chance, B. (1994). Simultaneous in vivo measurements of HbO_2 saturation and PCr kinetcs after exercises in normal humans. *J Appl Physiol*, 77(1): 5-10.

Mac Gregor, S.J., Nicholas, C.W., Lakomy, H.K.A. & Williams, C. (1999). The influence of intermittent high-intensity shuttle running and fluid ingestion on the performance of a soccer skill. *J Sports Sci*, 17: 895-903.

Mac Guigan, M.R., Egan, A.D. & Foster, C. (2004). Salivary cortisol responses and perceived exertion during high intensity and low intensity bouts of resistance exercise. *J Sports Sci Med*, 3: 8-15.

Mendez-Villanueva, A., Hamer, P. & Bishop, D. (2008). Fatigue in repeated-sprint exercise is related to muscle power factors and reduced neuromuscular activity. *Eur J Appl Physiol*, 27.

Metsios, G.S., Flouris, A.D., Koutedakis, Y. & Nevill A. (2008). Criterion-related validity and test-retest reliability of the 20m square shuttle test. *J Sci Med* Sport, 11(2): 214-217.

Millet, G.P., Candau, R., Fattori, P., Bignet, F. & Varrav, A. (2003). VO2 responses to different intermittent runs at velocity associated with VO2max. *Can J Appl Physiol*, 28: 410-423.

Nicholas, C.W., Nutall, F.E. & Williams, C. (2000). The Loughborough Intermittent Shuttle Test: a field test that simulates the activity pattern of soccer. *J Sports Sci*, 18: 97-104.

Parolin, M.L., Chesley, A., Matsos, M.P., Spriet, L.L., Jones, N.L. & Heigenhauser, G.J. (1999). Regulation of skeletal muscle glycogen phosphorylase and PDH during maximal intermittent exercise. *Am J Physiol*, 277(5 Pt 1): E890-900.

Patterson, S.D. & Gray, S.C. (2007). Carbohydrate-gel supplementation and endurance performance during intermittent high-intensity shuttle running. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 17(5): 445-55.

Pyne, D.B., Boston, T., Martin, D.T. & Logan, A. (2000). Evaluation of the Lactate Pro blood lactate analyser. *Eur J Appl Physiol*, 82(1-2): 112-6.

Reilly, T. (1986). Fundamental studies on soccer. *Sportwissenschaft und sportpraxis*, 114-121.

Reilly, T. & Brooks, G.A. (1986). Exercise and the circadian variation in body temperature measures. *Int J Sports Med*, 7: 358-362.

Roberts, A.D., Billeter, R. & Howald, H. (1982). Anaerobic muscle enzyme changes after interval training. *Int J Sports Med*, 3(1): 18-21.

Taoutaou, Z., Granier, P., Mercier, B., Mercier, J., Ahmaidi, S. & Prefaut, C. (1996). Lactate kinetics during passive and partially active recovery in endurance and sprint athletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 73: 465-470.

Thompson, D., Nicholas, C.W. & Williams, C. (1999). Muscular soreness following prolonged intermittent high-intensity shuttle running. *J Sports Sci*, 17: 387-395.

Welsh, R.S., Davis, J.M., Burke, J.R. & Williams, H.G. (2002). Carbohydrates and physical/mental performance during intermittent exercise to fatigue. *Med Sci Sports Exerc*, 34(4): 723-731.

Zavorsky, G.S., Montgomery, D.L. & Pearsall, D.J. (1998). Effect of intense interval workouts on running economy using three recovery durations. *Eur J Appl Physiol*, 77: 224-230.

Table 1. Characteristics of the subjects.

SUBJECTS **n= 10**	**Age** (years old)	**Body Mass** (kg)	**Body Height** (cm)	***v*VO$_2$max** Léger-Boucher test N°1 (km.h^{-1})	***v*VO$_2$max** Léger-Boucher test N°2 (km.h^{-1})	**Maximal HR** (bpm)	**Resting HR** (bpm)	**HRres** (bpm)
MEAN ± SD	23,8 ± 2,9	75,5 ± 6,2	180,0 ± 7,1	17,1 ± 0,8	17,2 ± 0,6	191,0 ± 7,1	56,7 ± 6,3	120,6 ± 43,4

Parameters	**Subjects (n=10)**		
	Mean	**±**	**SD**
Age (years)	23.8	±	2.9
Body mass (kg)	75.5	±	6.2
Body height (cm)	180.0	±	7.1
Léger-Boucher test N°1 *v*VO$_2$max (km.h-1)	17.1	±	0.8
Léger-Boucher test N°2 *v*VO$_2$max (km.h-1)	17.2	±	0.6
Maximal HR (bpm)	191.0	±	7.1
Resting HR (bpm)	56.7	±	6.3
HRres (bpm)	120.6	±	43.4

Table 2. Short duration intermittent exercise characteristics.

Intermittent exercise (work-recovery)	Intensity (% of vVO_2max)	Type of recovery	Total duration (min)	Number of work period	Number of recovery period	Distance of go-back for the intermittent exercise in shuttle (m)
30-30 (1)	100 %, 105 % and 110 %	Active (40% of vVO_2max)	1 * 11'30	12	11	42
15-15 (2)	105 %, 110 % and 115 %	Passive	1 * 9'45	20	19	30
10-10 (3)	110 %, 115 % and 120 %	Passive	1 * 6'50	21	20	21

Table 3. Experimental set-up

BLOCK 1	**WEEKS 1**						
	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
		Leger-Boucher test N°1		IS or IL		Match	
	WEEKS 2 – 3 - 4 - 5						
	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
		IS or IL		IS or IL		Match	
BLOCK 2	**WEEK 6 - 7**						
	NO TESTING						
BLOCK 3	**WEEKS 8**						
	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
		Leger-Boucher test N°2		IS or IL		Match	
	WEEKS 9 - 10 – 11 - 12						
	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
		IS or IL		IS or IL		Match	

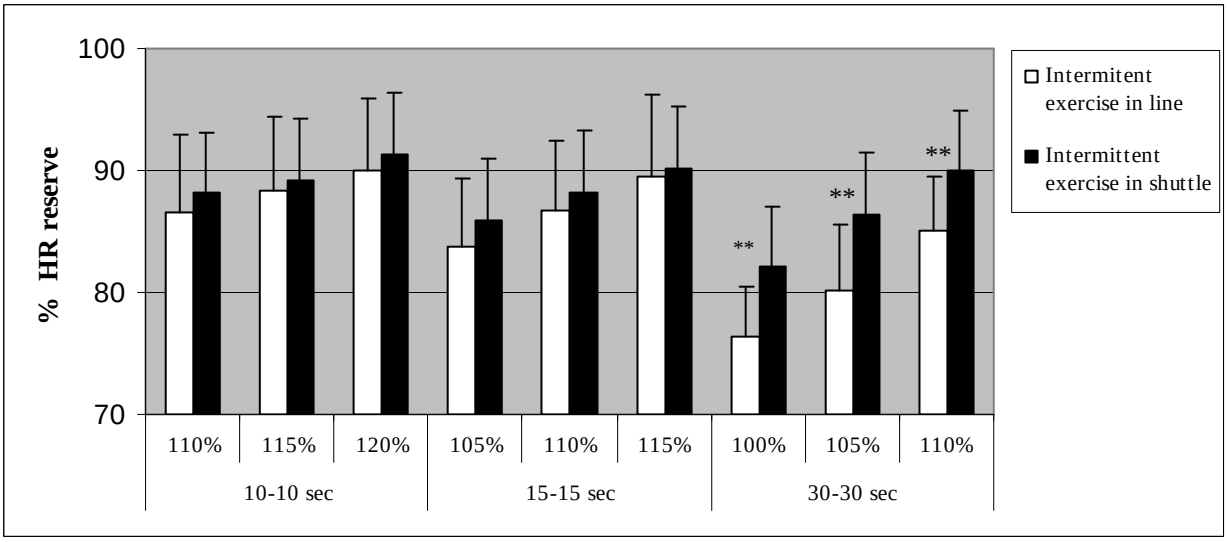
IS: Intermittent exercise with shuttle

IL: Intermittent exercise in straight-line

Table 4. Adapted Borg's RPE scale as described by Foster et al (2001).

Estimation = Description	
0	Rest
1	Very, very easy
2	Easy
3	Moderate
4	Somewhat Hard
5	Hard
6	*
7	Very hard
8	*
9	*
10	Maximal

Figure 1. Comparison of the % HR reserve response during various intermittent exercises.



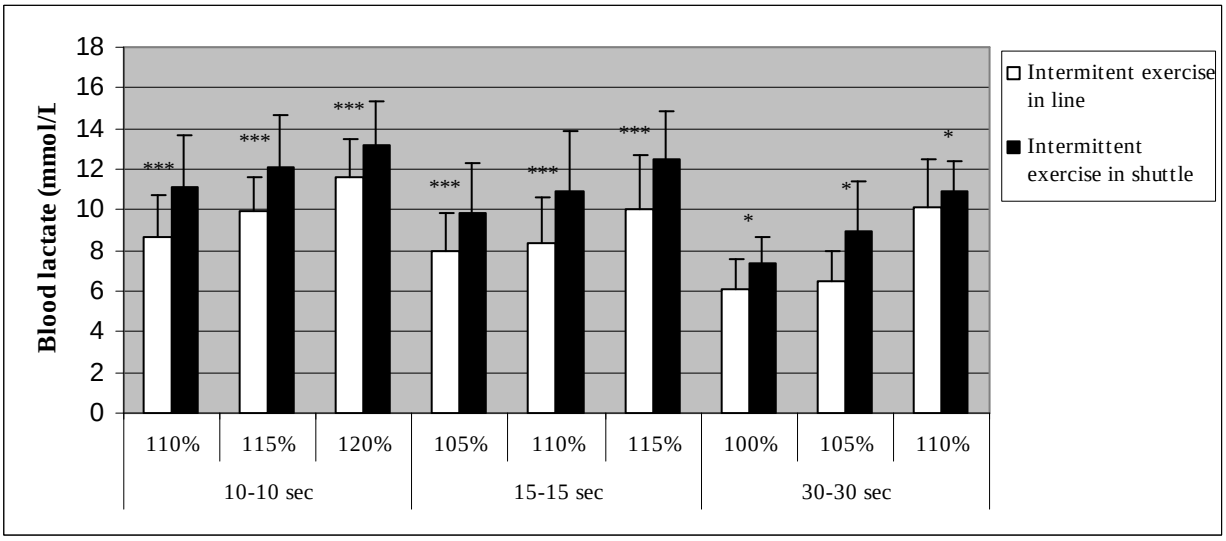
x-y sec: Intermittent exercise with x work period and y recovery period.

x%: percentage of running intensity according to the *v*VO_2max.

**: significant difference between the intermittent exercise performed in shuttle and in straight-line

**p<0.01

Figure 2. Comparison of post-exercise blood lactate responses during various intermittent exercises.



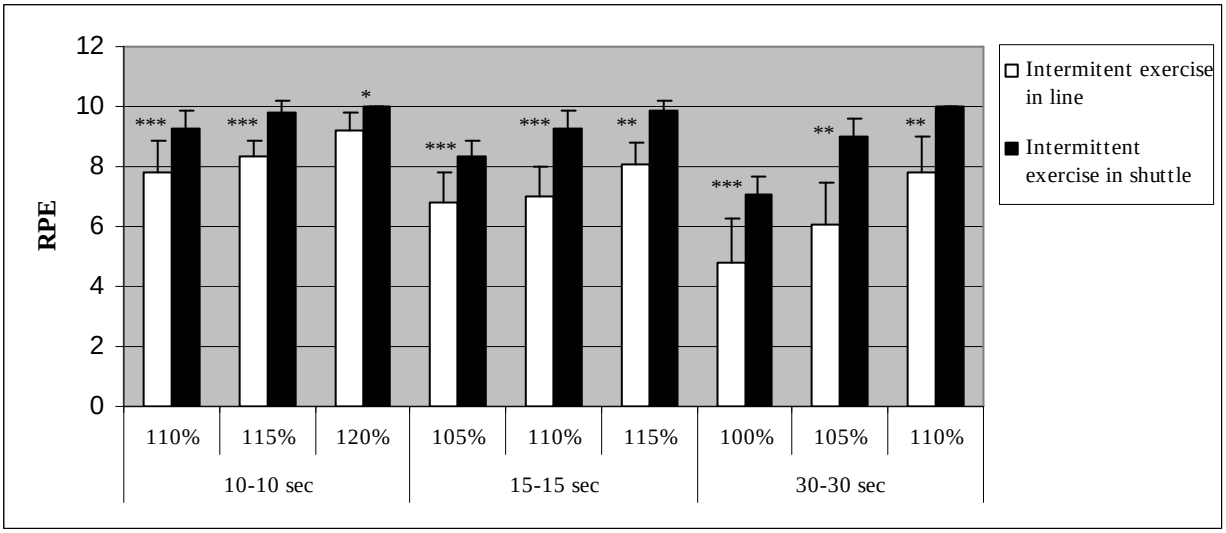
x-y sec: Intermittent exercise with x work period and y recovery period.

x%: percentage of running intensity according to the vVO_2max.

*: significant difference between the intermittent exercise performed in shuttle and in straight line

*: $p \leq 0.05$; ***: $p<0.001$

Figure 3. Comparison of RPE during various intermittent exercises.



x-y sec: Intermittent exercise with x work period and y recovery period.

x%: percentage of running intensity according to the vVO_2max.

*: significant difference between the intermittent exercise performed in shuttle and in straight line

*: $p \leq 0.05$; **: $p<0.01$; ***: $p<0.001$

ANNEXE 5

Wong PL, Chamari K, Dellal A, Wisloff U. U14 soccer players with different playing positions are characterized by different anthropometrical but not physiological performances. Soumis au *J. Strength Cond. Res.* (I.F. 1.336).

Title: U14 soccer players with different playing positions are characterized by different anthropometrical but not physiological performances.

Running title: anthropometry and physiological performances among positions

Wong PL, Chamari K, Dellal A, Wisloff U.

Abstract

Objective: To investigate the anthropometrical and physiological differences of young soccer players with different playing positions.
Design: Seventy U14 male soccer players (Goalkeeper: GK=10; defender: DF=20; mid-fielder: MF=25; and forward: FW=15) participated in the study. Anthropometry (body mass, height, and body mass index) and physiological performances (maximal vertical jump, ball-shooting, 30m sprint with 10m lap time, Hoff dribble test, Yo-Yo intermittent endurance run-YYIER, and VO_{2max}) were measured.
Results: Significant differences were observed in anthropometrical measurements among different playing positions: body weight ($p<0.01$), height ($p<0.01$), and BMI ($p<0.01$). No significant differences were found in physiological performances except for Hoff dribble test where MF covered 172m longer than GK ($p<0.05$). Body mass was significantly correlated with ball-shooting speed ($r=0.58$, $p<0.001$), and 30m sprint time ($r=-0.54$, $p<0.001$). Furthermore, body height was significantly correlated with vertical jump height ($r=0.36$, $p<0.01$), 10m ($r=-0.32$, $p<0.01$) and 30m ($r=-0.64$, $p<0.001$) sprint times, YYIER distance ($r=0.26$, $p<0.05$), and running time during VO_{2max} test ($r=0.35$, $p<0.01$).
Conclusions: Young soccer players' coaches could receive practical benefit if they employ taller players for position which require higher jumping and sprinting (10m and 30m) abilities, and heavier players for position which require higher ball-shooting speed and 30m sprint performances.

Keywords: football, youth, physique, Chinese

INTRODUCTION

During soccer game, players have to perform various technical and tactical tasks according to their playing positions (Rampinini *et al.*, 2007; Stolen *et al.*, 2005), these positions were classified as goalkeeper (GK), defender (DF), mid-fielder (MF), and forward (FW) in previous studies (Malina *et al.*, 2000; Rienzi *et al.*, 2000; Wong *et al.*, 2008). It has been reported that in professional match, MF run significantly longer total distance than DF and FW; covered longer distance with intensities between 11.1-19km/h; and DF dribbled shorter distance than others; whereas FW performed significantly more sprints than DF, and MF (Di Salvo *et al.*, 2007; Rampinini *et al.*, 2007). Due to the different activity profiles among playing positions it has been reported that professional soccer players have different anthropometrical characteristics in body mass height, and BMI according to their specific positions (Wong et al., 2008). In this context, GK in FIFA World Cups (2002 and 2006) were significantly taller, heavier and had higher BMI than DF, MF, and FW, while MF were significantly shorter and lighter than others (Wong et al., 2008). These results demonstrated that in soccer match, specific anthropometrical pre-requisite and physiological demands exists for different playing positions, and thus selection of young players based on these requirements have been reported (Gil *et al.*, 2007; Gravina *et al.*, 2008).

The total distance coverage of professional senior players is ~11km (range 8-12km) (Di Salvo *et al.*, 2007; Rampinini *et al.*, 2007), and ~9km for U18 elite players (Helgerud *et al.*, 2001), but only ~6.2km in 60min 11-a-side match of U12 young soccer players (Castagna *et al.*, 2003). Moreover, the %HRmax during match of professional adult and U18 players were 93% and 82%, respectively (Stolen *et al.*, 2005). Furthermore, the blood lactate concentration during match of professional adult and U12 players were 10mmol/L and 5mmol/L, respectively (Capranica *et al.*, 2001; Stolen et al., 2005). These results suggest that the game intensity increases with age and match level. Therefore, the physiological differences between playing positions as previously reported in professional adult soccer players might not exist in young players who have lower game intensity, shorter match duration, and less year of soccer training. In this context studies investigating the physiological differences between playing positions among youth soccer players are limited (Gil et al., 2007; Malina *et al.*, 2004). The study of Malina et al. (2004) only assessed players' aerobic endurance, 30m sprint, and jump performances; whereas the study of Gil et al. (2007) provided a comparatively complete physiological profile of soccer players such as estimated VO_{2max}, aerobic endurance, 30m sprint and jump performances. However, the age of these players was ~17 (Gil et al., 2007), and similar study providing complete physiological profile of younger players between different playing positions is not available in the literature.

In the study of Gil et al. (2007) who investigated the physiological differences between playing positions among youth soccer players, they used bike test (Astrand & Ryhming, 1954) to estimate players' VO_{2max} level, and 6 x 800m run at an increasing pace with 1min recovery between runs to access players' endurance capacity. However, the use of bike test instead of running test to measure soccer players' aerobic capacity might not be accurate since the muscle recruitment pattern of these two exercises is different, and thus alters the energy expenditure and physiological response (Scott *et al.*, 2006). In addition, soccer game is characterized with intermittent, high-intensity and short run (Stolen *et al.*, 2005), and the distance used in the 6 x 800m interval run was too long and inappropriate for soccer players. Therefore, the validity of using these two tests to examine soccer players' physiological performances was questioned. On the other hand, the use of treadmill maximal aerobic run, and the Yo-Yo intermittent endurance run (YYIER) were considered as more appropriate measurement of soccer players' aerobic and endurance capacity, respectively (Castagna *et al.*, 2006b; Chamari *et al.*, 2004; Stolen et al., 2005).

In order to investigate whether physiological differences exist between GK, DF, MF, and FW, measurement items must have high discriminating power among young players, and be related to match performance. Gil et al. investigated young soccer players and found that maximal vertical jump was the most discriminating for FW, and endurance run was key factor for MF (Gil et al., 2007). Reilly (2000b) compared elite and sub-elite soccer players aged 15-16 and found that sprint time and dribbling were the most discriminating measurements. Regarding the distance of sprint, recent study reported that 96% of sprint bouts during a soccer game are shorter than 30m, with 49% being shorter than 10m (Valquer *et al.*, 1998). Therefore 30m sprint has been suggested as standard sprint test for soccer players (Stolen et al., 2005). However, due to the possibility of substantial time differences within the 30m test, 10m lap times could give important information for players having similar 30m time but notably different 10m performance (Cometti *et al.*, 2001; Stolen et al., 2005). In addition, VO_{2max} value has been reported to distinguish elite and sub-elite soccer player aged 12-16 (Reilly et al., 2000b; Stroyer *et al.*, 2004). Finally, shooting is a very important skill in soccer, and one of the ways to score which leads to team and individual success, nevertheless to our knowledge no study on shooting has been conducted in young soccer players. With the abovementioned reasons, in the present study we measured players' maximal vertical jump, ball-shooting, 30m sprint (with 10m lap time), dribbling, intermittent endurance run (YYIER), and VO_{2max} performances.

The purpose of the present study was to investigate the anthropometrical and physiological differences of young soccer players with different playing positions. Specifically we measured players' body mass, height, BMI, lower body explosive power, running speed, soccer-specific dribbling skill, intermittent aerobic performance, and continuous aerobic capacity. We hypothesized that there are differences in anthropometrical measurements between the 4 playing positions, but no differences in physiological performances between the 4 playing positions due to the relatively lower game intensity, shorter match duration, lower weekly training volume and less year of soccer training.

METHODOLOGY

Subjects

Seventy U14 (Under 14 years) young male soccer players participated in the study which was conducted during the season. These players had soccer training twice a week, and one formal match during weekend. Each soccer training lasted for 2 hours and generally consisted of 15min warm-up, 30min technical training, 30min tactically training, 40min simulated competition, and 5min cool down. The formal match was played 11-a-side on pitch of regular size (~50 x 100m) and lasted for 70min (2x35min with 5min rest between-halves). Players' age, soccer experience, body mass, height, and body mass index (BMI) were shown in Table 1. All players and their parents were properly informed of the nature of the study without being informed of its detailed aims. Each of the players and their parents signed an informed written consent prior to participation.

Experimental design

The following variables were assessed players' lower body explosive power (maximal vertical jump and ball-shooting), running speed (30m sprint), soccer-specific skill (Hoff dribble test), intermittent aerobic performance (YYIER), and continuous aerobic capacity (laboratory VO_{2max}). Each player visited the laboratory to perform the VO_{2max} test and anthropometrical measurements (body masst, height, and BMI), and after 5 days but no more than 7 days had all other tests on the soccer pitch with soccer sportswear in the following sequence: maximal vertical jump, ball-shooting, 30m sprint, Hoff dribble test and YYIER. Players had 20mins warm-up consisting of slow jog, static, and dynamic stretching prior to

the tests. They had 20mins rest between tests for full recovery (Cometti *et al.*, 2001). Water break and extra rest time were allowed upon request of players. All players were instructed not to perform vigorous exercise 48hrs prior to the day of test. The study was conducted according to the Declaration of Helsinki and protocols were approved by the Clinical Research Ethics Committee.

Maximal vertical jump

Players in unshod condition started from an upright standing position and performed vertical countermovement jump on a portable platform (Just Jump System, USA). Jump height was determined based on the flight time (Kean *et al.*, 2006). Each player performed 3 jumps interspersed with 1min rest between each jump, and the best (highest) jump based on jump height was used for analysis (Kotzamanidis *et al.*, 2005; Wisloff *et al.*, 2004).

Ball-shooting

Players performed maximal velocity instep place kicks of a stationary ball. A ball of FIFA standard size and inflation was kicked 4m towards a target of 1 x 1m in size (Dorge *et al.*, 2002). Players were asked to shoot the ball as hard as possible, and 5 shoots were allowed for each player with 1min rest in-between shoots (Cometti et al., 2001). Ball speed was measured by a radar gun (Sports Radar Gun SRA 3000, Precision Training Instrument, USA) located 30cm close to the stationary ball and pointed towards the target according to the instruction manual. The shoot that hit the target and produced the highest ball speed was selected for analysis.

30m sprint

Players were asked to complete a 10min specific warm-up including several accelerations to decide which foot they would have to set on the starting line for the sprint start. Players had to start from a standing position placing their forward foot just behind the starting line and their rear foot on the pedal. They had a 30m sprint with a stationary start (Chamari *et al.*, 2004; McMillan et al., 2005; Wisloff et al., 2004), and timing started as soon as the rear foot left the pedal. Speed was measured with an infra-red photoelectronic cell (Speedtrap II Wireless Timing System, Brower Timing System, Australia) positioned at 10m, and 30m from the starting line at a height of 1m. There were 3 trials in total (McMillan et al., 2005) and a 3min recovery was allowed between each trial. The best (fastest) 30m sprinting time and the associated 10m sprinting time were selected for analysis.

Hoff dribble test

Hoff dribble test (Hoff, 2005; Hoff *et al.*, 2002) is a soccer-specific dribbling track in which players have to dribble the ball through routed obstacles. Before the test, players were instructed to jog slowly to familiar with the route for one lap, followed by a self-pace dribble for another lap. The distance for one lap has been established to 290m by Chamari et al. (2005a) in order to create an endurance dribbling tests, and the maximal distance covered in 10min was recorded for analysis.

Yo-Yo intermittent endurance run (YYIER)

Since soccer includes high-intensity, intermittent boats of exercise, which stresses the anaerobic glycolysis metabolic pathway (Drust *et al.*, 2000; Ekblom, 1986), the YYIER is closed to the soccer exercise pattern. In this test, players had to perform a series of 20m shuttle runs at a pace set by an audio metronome, with a standard rest interval between

shuttles (5s) (Bangsbo, 1996). The time allowed for the shuttles was progressively decreased, i.e. the speed was increased. The test was terminated when the player was unable to maintain the required speed. The distance covered in the shuttles was recorded for analysis, but the distance covered during rest interval was excluded (Castagna *et al.*, 2006a; Malina *et al.*, 2004).

VO_{2max} test

The VO_{2max} protocol was previously used to test soccer players (Chamari *et al.*, 2005a; Chamari *et al.*, 2005b). Briefly, players ran on a 5.5% slope motorized treadmill (cos10198, h/p/cosmos, Germany) for 4mins at 7km/h, followed by a 1km/h increment every minute until exhaustion. Running cost (RC) was measured at the average VO2 during the last 30s at 7km/h, and the corresponding HR (HR_{RC}) during this period were also recorded (Chamari et al., 2005b). Cardiorespiratory variables were determined using a calibrated breath by breath system (MetaMax 3B, Cortex, Germany). Heart rate was determined from a portable monitor for every 5s (Polar, Finland). Blood lactate was collected 3.5min after the VO_{2max} test, which 25µl samples of capillary blood were withdrawn from fingertip. Blood lactate concentration was subsequently measured using an enzymatic method (YSI 1500, Yellow Springs Instruments, USA). The following criteria were met by all players when $VO2_{max}$ was tested: a) a leveling off of VO2 despite an increase in treadmill speed; b) a respiratory gas exchange ratio >1.1; and c) blood lactate >6mmol/L. VO_{2max} was determined at the average of last 30s of the test, and HR_{max} was the highest value attained at exhaustion (Chamari et al., 2004).

Statistical Analysis

Data are expressed as mean (SD). One-way ANOVA was used to examine the differences between the 4 playing positions (GK, DF, MF, and FW). Pair-wise comparisons were made using Bonferroni's adjustment to control the Type-1 error rate. Pearson correlation was used to assess the relationship between selected parameters. SPSS 16.0 (USA) was used and significant level was defined as $p<0.05$.

RESULTS

Comparing players from 4 player positions, no significant differences were found in age and soccer experience. Significant differences were observed in anthropometrical measurements such as body mass ($p<0.01$), height ($p<0.01$), and BMI ($p<0.01$). Specifically, FW were significantly lighter than GK ($p<0.05$), DF ($p<0.001$), and MF ($p<0.05$); significantly shorter than GK ($p<0.01$), DF ($p<0.01$), and MF ($p<0.01$); and had significantly lower BMI compared to DF ($p<0.01$).

Moreover, no significant differences were observed in physiological performances such as maximal vertical jump height, ball-shooting speed, 10m and 30m sprint times, YYIER, running cost and heart rate during sub-maximal running, VO_{2max}, HR_{max} and the corresponding running time. The only significant difference was observed in Hoff dribbling distance ($p<0.05$), where MF dribbled 172m longer than GK ($p<0.05$).

Body mass was significantly correlated with ball-shooting speed ($r=0.58$, $p<0.001$), and 30m sprint time ($r=-0.54$, $p<0.001$). Furthermore, body height was significantly correlated with vertical jump height ($r=0.36$, $p<0.01$), 10m ($r=-0.32$, $p<0.01$) and 30m ($r=-0.64$, $p<0.001$) sprint times, YYIER distance ($r=0.26$, $p<0.05$), and running time during VO_{2max} test ($r=0.35$, $p<0.01$). Additionally, BMI was significantly correlated with increased ball-shooting speed ($r=0.31$, $p<0.01$), 30m sprint time ($r=-0.24$, $p<0.05$), Hoff dribble distance ($r=-0.29$, $p<0.05$), YYIER distance ($r=-0.25$, $p<0.05$), sub-maximal RC ($r=-0.38$, $p<0.001$), VO_{2max} ($r=-0.42$, $p<0.001$) and the corresponding running time ($r=-0.24$, $p<0.05$). These significant anthropometrical effects on physiological performances are presented in Table 2.

Table 1. Comparison of anthropometrical and physiological measurements between the playing positions.

	GK	DF	MF	FW	F
N	10	20	25	15	--
Age (yr)	13.4 (0.7)	13.3 (0.8)	13.4 (0.6)	13.0 (0.8)	NS
Soccer experience (yr)	3.5 (1.7)	3.8 (1.3)	4.1 (1.3)	3.7 (1.5)	NS
Body mass (kg)	54.6 (7.3)	56.2 (6.2)	52.2 (9.6)	43.9 (9.5)	6.67**
Height (m)	1.69 (0.06)	1.67 (0.07)	1.65 (0.08)	1.56 (0.11)	6.06**
BMI (kg/m^2)	19.2 (1.9)	20.3 (2.2)	19.0 (2.5)	17.7 (1.5)	4.17**
Vertical jump (cm)	52.5 (5.7)	54.3 (7.7)	53.2 (12.9)	53.9 (6.1)	NS
Ball-shooting (km/h)	73.4 (13.3)	73.1 (12.1)	76.3 (8.9)	67.9 (13.3)	NS
10m sprint (s)	2.06 (0.12)	2.09 (0.23)	2.05 (0.14)	2.07 (0.15)	NS
30m sprint (s)	4.92 (0.32)	4.81 (0.36)	4.82 (0.31)	4.96 (0.40)	NS
Hoff dribbling test (m)	1293 (153)	1393 (146)	1465 (165)	1395 (153)	3.04*
YYIER (m)	1548 (695)	1932 (740)	2283 (780)	1971 (935)	NS
RC (ml/min/kg)	42.4 (4.4)	39.4 (4.0)	41.7 (3.3)	41.7 (3.0)	NS
HR_{RC} (bpm)	165 (7)	165 (16)	163 (14)	169 (10)	NS
VO_{2max} (ml/min/kg)	55.1 (8.5)	53.2 (6.8)	57.9 (5.1)	56.5 (4.9)	NS
HR_{max} (bpm)	198 (6)	197 (8)	201 (7)	204 (7)	NS
Running time (s)	577 (56)	585 (79)	627 (80)	593 (71)	NS

NS: no significant difference.

Table 2. Significant anthropometrical effects on physiological performances.

Anthropometrical characteristic	Physiological performance	R^2
Heavier players	Higher ball-shooting speed	0.33***
	Shorter 30m sprint time	0.29***
Taller players	Higher vertical jump height	0.13**
	Shorter 10m sprint time	0.10**
	Shorter 30m sprint time	0.41***
	Greater YYIER distance	0.07*
	Longer VO_{2max} running time	0.12**
Players with higher BMI	Higher ball-shooting speed	0.10**
	Shorter 30m sprint time	0.06*
	Shorter Hoff dribble distance	0.08*
	Shorter YYIER distance	0.06*
	Lower sub-maximal RC	0.14***
	Lower VO_{2max}	0.18***
	Shorter VO_{2max} running time	0.06*

* $p<0.05$; ** $p<0.01$; *** $p<0.001$.

DISCUSSION

The purpose of the present study was to investigate the anthropometrical and physiological characteristics of young soccer players with different playing positions. The results of the present study support our hypothesis that there were significant differences in anthropometry such as body mass ($p<0.01$), height ($p<0.01$), and BMI ($p<0.01$) among different playing positions, while no significant differences were observed in physiological measurements except for Hoff dribbling test performance where MF dribbled significantly for longer distance than GK ($p<0.05$). In addition, the results also provide reasons for coaches to select heavier and taller young soccer players as far as the fitness level is target, indeed, these players perform better in vertical jump, ball-shooting, 30m sprint, YYIER, and the VO_{2max} running time.

Anthropometry and selection of young players

Results of the present study showed that GK (54.6kg, 1.69m) and DF (56.2kg, 1.67m) were the heaviest and tallest players, and FW (43.9kg, 1.56m) were the lightest and shortest. These results partially agree with a previous study in U11-U17 soccer players showing that FW (66.9kg) were lighter than DF (68kg) and GK (76.4kg), but heavier than MF (64.9kg). For the body height, FW (1.7m) were shorter than MF (1.75m), GK (1.76m) and DF (1.77m) (Malina et al., 2000). Furthermore, a previous study (Wong et al., 2008) in professional national players (average age=27) in FIFA World Cups showed that GK (83kg, 1.87m) were heavier and taller than DF (77kg, 1.82m), FW (75kg, 1.8m) and MF 73kg, 1.78m). In terms of BMI, the present results differed from the previous study (2008) showing that GK (23.6 kg/m^2) with higher value than DF (23.2 kg/m^2), FW (23.1 kg/m^2), and MF (23 kg/m^2) among professional players. Nonetheless, we postulate that anthropometry contributes to the success in specific playing position, such as taller and heavier players are more suitable to be GK and DF, and shorter and lighter players are more suitable to be MF. Nevertheless, some modern MF are successful while being tall at top world level. The results of the present study support the fact

that U14 young players with different playing positions are characterized by different anthropometrical measurements such as body mass, height and BMI.

It has been reported that coaches select young soccer players based on their anthropometry rather than the technical and tactical performances, and the proportion of young players who are lighter and shorter decreased with increased age from U11 to U16 (Malina et al., 2000). Eventually, there was a strong bias for those early mature (heavier and taller) players to be selected into professional, semi-professional, U18, U17, U16, and U15 national teams (Helsen *et al.*, 1998; Helsen *et al.*, 2005; Vaeyens *et al.*, 2005). The results of present study could explain the behaviors of young soccer coaches. Our results (Table 2) showed that heavier young soccer players performed better in ball-shooting and 30m sprint; whereas taller players performed better in vertical jump, 10m and 30m sprint, YYIER, and longer VO_{2max} running time. In agreement to this, Malina et al. (2004) found that body mass is the most significant predictor of 30m sprint performance, and height is the most significant predictor of vertical jump performance. However, for players with higher BMI values in the present study, they performed better in ball-shooting, 30m sprint, and had lower sub-maximal RC; but poor performances in Hoff dribbling test, YYIER, VO_{2max} and the corresponding running time. Indeed, a high BMI at equivalent body fat content and height means a higher lean body mass and thus higher muscular mass. This is in favor of strength and power activities but represents a limiting factor for body bearing activities such as running endurance efforts.

Maximal vertical jump

In the present study, maximal vertical jump height among GK, DF, MF, and FW were similar and no significant difference were observed. This agreed with previous study which found no difference of jump height among DF, MF, and FW in U13-15 young soccer players (Malina et al., 2004). However, in the study of Gil et al. (2007) they found that FW jumped significantly higher than MF ($p<0.05$). In their review, Stolen et al (2005) concluded that at professional level, GK had the highest jump height, and MF had the lowest, compared to DF and FW. However, it has been reported by Helsen et al. (2000) that the development of soccer expertise to high level generally requires 10 years of practice. Therefore, it is not surprising that no significant difference in jump height was observed among young soccer players in the present study and the study of Malina et al. (2004) who had <5 years of soccer training experience.

Ball-shooting

In the present study, MF (76.3km/h) had the highest ball-shooting speed and FW (67.9km/h) the lowest, although there was no significant difference. To our knowledge, there is no previous study comparing the ball-shooting speed between playing positions among young soccer players. Moreover, the study of Malina et al. (2005) have shown that there was no difference in shooting accuracy between DF, MF, and FW. In addition, the study of Cometti et al. (2001) have shown that there were no difference in ball-shooting speed between elite, sub-elite, and amateur adult soccer players.

Sprint time

The present results showed that there were no significant differences between playing positions in both 10m and 30m sprint times. The order (fastest to slowest) of 10m sprint was: MF, GK, FW, and DF, and that of 30m sprint was DF, MF, GK, and FW. Surprisingly, GK were the second fast in 10m sprint. This might due to the fact that GK normally sprint for 1-12m (Bangsbo & Michalsik, 2002), and therefore they performed better in 10m instead of 30m sprint. Our results did not conform with previous study of U13-15 soccer players which have shown that FW had the shortest 30m sprint time, followed by DF and MF, though no

significant difference were found (Malina et al., 2004). Additionally, another study found that FW had the shortest 30m sprint time and were significant faster than DF, while GK being the slowest (Gil et al., 2007). The results of Gil et al's study agreed with the performance characteristics of elite adult soccer players, where FW (404m) covered greater distance by very high intensity run (>23km/h) compared to DF (~399m) and MF (~340m) (Di Salvo et al., 2007). Therefore, it is reasonable to state that at U12-15 level sprint performances are not significantly different between playing positions, but when it is approaching professional level, positional difference exist where FW become the fastest sprinters as they cover the greatest distance by high speed during games.

Hoff dribbling test

The results of the present study showed that there were no significant differences between GK, DF, MF, and FW in all physiological performances, except for the Hoff dribbling test with MF dribbling significantly for a longer distance than GK. However, since GK are normally not required to dribble for long distances, therefore such differences does not yield any practical importance. Furthermore, there were no significant difference between DF, MF, and FW. This result was in agreement with previous study which reported no significant difference in dribbling speed between DF, MF, and FW in U13-15 soccer players (Malina et al., 2005). However, in professional match, MF (~256m) covers longer distance by dribbling, compared to FW (~212m) and DF (~168m) (Di Salvo et al., 2007). This indicates that dribbling skill is important for MF at professional level, but yet not fully developed among U14 young soccer players in the present study.

YYIER and VO_{2max}

In present study, MF (2283m) covered the greatest distance in YYIER, followed by FW (1971m), DF (1932m) and GK (1548m), although no significant difference was observed. Our results partial agreed with previous studies. Malina et al. (2004) found that there was no significant difference in YYIER between U13-15 players although MF (2529m) covered greater distance than DF (2469m) and FW (2288m). Oliveira et al. (1998) reported that in elite soccer players, MF covered greater distance in YYIER compared to DF, and FW. Furthermore, our results also showed that MF (57.9ml/min/kg, 627s) had higher VO_{2max} value and longer corresponding running time compare to FW (56.5ml/min/kg, 593s), DF (53.2ml/min/kg, 585s), and GK (55.1ml/min/kg, 577s), though no significant differences were observed. In their review, Reilly et al. (2000a) reported in U16 and elite adult soccer players, MF had the highest VO_{2max} level followed by FW, DF, and GK. Moreover, a recent study of professional adult match shown that MF (11748m) covered greater distance than DF (~10662m) and FW (10233m) regardless of the running speed (Rampinini et al., 2007). Since MF are involved in both defense and attack, and they cover greater distance than other players during match (Di Salvo et al., 2007; Rampinini et al., 2007), perform better in YYIER (Malina et al., 2004; Oliveira et al., 1998) and have higher VO_{2max} level (Reilly et al., 2000a). Therefore, the present study results agree that intermittent running endurance and aerobic capacity are important for the success in MF players.

Practical Application

The present study showed that there were significant differences in young soccer players' anthropometry such as body mass, height, and BMI among different playing positions. Heavier players had higher ball-shooting speed, shorter 30m sprint time; whereas taller players had higher vertical jump height, shorter 10m and 30m sprint times, greater YYIER distance, and longer running time in VO_{2max} test. On the other hand, there were no

significant differences in physiological measurements (maximal vertical jump, ball-shooting, 30m sprint, YYIER, and VO_{2max}) between playing positions, except for Hoff dribbling test where MF dribbled significantly longer distance than GK. However, compared to other positions, MF generally covered greater distance in intermittent endurance run, had lower sub-maximal heart rate, higher VO_{2max} value and longer corresponding running time. Therefore, young soccer players' coaches could receive practical benefit if they employ players with good intermittent running endurance in MF, taller players for position which require higher jumping and sprinting (10m and 30m) abilities, and heavier players for position which require higher ball-shooting speed and 30m sprint ability.

REFERENCES

Astrand, P. O., & Ryhming, A. (1954). A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during sub-maximal work. *Journal of Applied Physiology, 7*, 218-221.

Bangsbo, J. (1996). Yo-yo tests., from http://www.soccerfitness.com/index.htm

Bangsbo, J., & Michalsik, L. (2002). Assessment and physiological capacity of elite soccer players. In T. Reilly & A. Murphy (Eds.), *Science and football iv* (pp. 53-62). Cambridge: Routledge.

Capranica, L., Tessitore, A., Guidetti, L., & Figura, F. (2001). Heart rate and match analysis in pre-pubescent soccer players. *Journal of Sports Sciences, 19*(6), 379-384.

Castagna, C., D'Ottavio, S., & Abt, G. (2003). Activity profile of young soccer players during actual match play. *Journal of Strength & Conditioning Research, 17*(4), 775-780.

Castagna, C., Impellizzeri, F. M., Belardinelli, R., Abt, G., Coutts, A., Chamari, K., et al. (2006a). Cardiorespiratory responses to yo-yo intermittent endurance test in nonelite youth soccer players. *Journal Of Strength And Conditioning Research, 20*(2), 326-330.

Castagna, C., Impellizzeri, F. M., Chamari, K., Carlomagno, D., & Rampinini, E. (2006b). Aerobic fitness and yo-yo continuous and intermittent tests performances in soccer players: A correlation study. *Journal of Strength & Conditioning Research, 20*(2), 320-325.

Chamari, K., Hachana, Y., Ahmed, Y. B., Galy, O., Sghaier, F., Chatard, J. C., et al. (2004). Field and laboratory testing in young elite soccer players. *British Journal of Sports Medicine, 38*(2), 191-196.

Chamari, K., Hachana, Y., Kaouech, F., Jeddi, R., Moussa-Chamari, I., & Wisloff, U. (2005a). Endurance training and testing with the ball in young elite soccer players. *British Journal of Sports Medicine, 39*(1), 24-28.

Chamari, K., Moussa-Chamari, I., Boussaidi, L., Hachana, Y., Kaouech, F., & Wisloff, U. (2005b). Appropriate interpretation of aerobic capacity: Allometric scaling in adult and young soccer players. *British Journal of Sports Medicine, 39*(2), 97-101.

Cometti, G., Maffiuletti, N. A., Pousson, M., Chatard, J. C., & Maffulli, N. (2001). Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur french soccer players. *International Journal Of Sports Medicine, 22*(1), 45-51.

Di Salvo, V., Baron, R., Tschan, H., Calderon Montero, F. J., Bachl, N., & Pigozzi, F. (2007). Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *International Journal of Sports Medicine, 28*(3), 222-227.

Dorge, H. C., Anderson, T. B., Sorensen, H., & Simonsen, E. B. (2002). Biomechanical differences in soccer kicking with the preferred and the non-preferred leg. *Journal of Sports Sciences, 20*(4), 293-299.

Drust, B., Cable, N. T., & Reilly, T. (2000). Investigation of the effects of the pre-cooling on the physiological responses to soccer-specific intermittent exercise. *European Journal of Applied Physiology, 81*(1-2), 11-17.

Ekblom, B. (1986). Applied physiology of soccer. *3*, p50-60.

Gil, S. M., Gil, J., Ruiz, F., Irazusta, A., & Irazusta, J. (2007). Physiological and anthropometric characteristics of young soccer players according to their playing position: Relevance for the selection process. *Journal of Strength & Conditioning Research, 21*(2), 438-445.

Gravina, L., Gil, S. M., Ruiz, F., Zubero, J., Gil, J., & Irazusta, J. (2008). Anthropometric and physiological differences between first team and reserve soccer players aged 10-14

years at the beginning and end of the season. *Journal of Strength and Conditioning Research*.

Helgerud, J., Engen, L. C., Wisloff, U., & Hoff, J. (2001). Aerobic endurance training improves soccer performance. *Medicine And Science In Sports And Exercise, 33*(11), 1925-1931.

Helsen, W. F., Hodges, N. J., Van Winckel, J., & Starkes, J. L. (2000). The roles of talent, physical precocity and practice in the development of soccer expertise. *Journal of Sports Sciences, 18*(9), 727-736.

Helsen, W. F., Starkes, J. L., & Van Winckel, J. (1998). The influence of relative age on success and dropout in male soccer players. *American Journal of Human Biology, 10*, 791-798.

Helsen, W. F., Van Winckel, J., & Williams, A. M. (2005). The relative age effect in youth soccer across europe. *Journal of Sports Sciences, 23*(6), 629-636.

Hoff, J. (2005). Training and testing physical capacities for elite soccer players. *Journal of Sports Sciences, 23*(6), 573-582.

Hoff, J., Wisloff, U., Engen, L. C., Kemi, O. J., & Helgerud, J. (2002). Soccer specific aerobic endurance training. *British Journal of Sports Medicine, 36*(3), 218-221.

Kean, C. O., Behm, D. G., & Young, W. B. (2006). Fixed foot balance training increases rectus femoris activation during landing and jump height in recreationally active women. *Journal of Sports Science and Medicine, 5*(1), 138-148.

Kotzamanidis, C., Chatzopoulos, D., Michailidis, C., Papaiakovou, G., & Patikas, D. (2005). The effect of a combined high-intensity strength and speed training program on the running and jumping ability of soccer players. *Journal Of Strength And Conditioning Research, 19*(2), 369-375.

Malina, R. M., Cumming, S. P., Kontos, A. P., Eisenmann, J. C., Ribeiro, B., & Aroso, J. (2005). Maturity-associated variation in sport-specific skills of youth soccer players aged 13-15 years. *Journal of Sports Sciences, 23*(5), 515-522.

Malina, R. M., Eisenmann, J. C., Cumming, S. P., Ribeiro, B., & Aroso, J. (2004). Maturity-associated variation in the growth and functional capacities of youth football (soccer) players 13-15 years. *European Journal of Applied Physiology, 91*(5-6), 555-562.

Malina, R. M., Pena Reyes, M. E., Eisenmann, J. C., Horta, L., Rodrigues, J., & Miller, R. (2000). Height, mass and skeletal maturity of elite portuguese soccer players aged 11-16 years. *Journal of Sports Sciences, 18*(9), 685-693.

McMillan, K., Helgerud, J., Macdonald, R., & Hoff, J. (2005). Physiological adaptations to soccer specific endurance training in professional youth soccer players. *British Journal of Sports Medicine, 39*(5), 273-277.

Oliveira, J., Magalhaes, J., Rebelo, A., Duarte, J. A., Neuparth, M. J., & Soares, J. M. (1998). *Biochemical profile of the yo-yo intermittent endurance test.* Paper presented at the 3rd Annual Congress of the European College of Sport Science, Manchester.

Rampinini, E., Coutts, A. J., Castagna, C., Sassi, R., & Impellizzeri, F. M. (2007). Variation in top level soccer match performance. *International Journal of Sports Medicine, 28*(12), 1018-1024.

Reilly, T., Bangsbo, J., & Franks, A. (2000a). Anthropometric and physiological predispositions for elite soccer. *Journal of Sports Sciences, 18*(9), 669-683.

Reilly, T., Williams, A. M., Nevill, A., & Franks, A. (2000b). A multidisciplinary approach to talent identification in soccer. *Journal of Sports Sciences, 18*(9), 695-702.

Rienzi, E., Drust, B., Reilly, T., Carter, J. E., & Martin, A. (2000). Investigation of anthropometric and work-rate profiles of elite south american international soccer players. *Journal of Sports Medicine & Physical Fitness, 40*(2), 162-169.

Scott, C. B., Littlefield, N. D., Chason, J. D., Bunker, M. P., & Asselin, E. M. (2006). Differences in oxygen uptake but equivalent energy expenditure between a brief bout of cycling and running. *Nutrition & Metabolism, 3*, 1.

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

Stroyer, J., Hansen, L., & Klausen, K. (2004). Physiological profile and activity pattern of young soccer players during match play. *Medicine And Science In Sports And Exercise, 36*(1), 168-174.

Vaeyens, R., Philippaerts, R. M., & Malina, R. M. (2005). The relative age effect in soccer: A match-related perspective. *Journal of Sports Sciences, 23*(7), 747-756.

Valquer, W., Barros, T. L., & Sant'anna, M. (1998, 1998, Sept 23-27). *High intensity motion pattern analyses of brazilian elite soccer players.* Paper presented at the IV World Congress of Natational Analysis of Sport, Porto.

Wisloff, U., Castagna, C., Helgerud, J., Jones, R., & Hoff, J. (2004). Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *British Journal of Sports Medicine, 38*(3), 285-288.

Wong, P., Mujika, I., Castagna, C., Chamari, K., Lau, P. W. C., & Wisloff, U. (2008). Characteristics of world cup soccer players. *Soccer Journal*(Jan-Feb), 57-62.