Quantification de la charge d'entraînement pour les exercices spécifiques en football

Jean-Christophe Hourcade

▶ **To cite this version:**

Jean-Christophe Hourcade. Quantification de la charge d'entraînement pour les exercices spécifiques en football. Physiologie [q-bio.TO]. Université Sorbonne Paris Cité, 2017. Français. NNT : 2017US-PCB033 . tel-02117612

HAL Id: tel-02117612
https://theses.hal.science/tel-02117612

Submitted on 2 May 2019

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

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

THÈSE DE DOCTORAT

QUANTIFICATION DE LA CHARGE D'ENTRAINEMENT POUR LES EXERCICES SPÉCIFIQUES EN FOOTBALL

UNIVERSITÉ PARIS DESCARTES

POUR L'OBTENTION DU GRADE DE
DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ PARIS DESCARTES

CHAMP DISCIPLINAIRE STAPS

PRÉSENTÉE PAR **JEAN-CHRISTOPHE HOURCADE**

SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE
02/10/2017

DIRECTEUR DE THÈSE :
FRANÇOIS-DENIS DESGORCES,
PRAG-HDR, UNIVERSITE DE LIMOGES

APRÈS AVIS DES RAPPORTEURS, DEVANT LE JURY D'EXAMEN COMPOSÉ DE :

RAPPORTEURS :
GREGORY DUPONT - MURIELLE GARCIN

JURY :
CLAIRE THOMAS-JUNIUS - JEAN-FRANÇOIS TOUSSAINT - FRANÇOIS-DENIS DESGORCES

Ils témoignent…

« L'élévation progressive du niveau des performances impose la nécessité de perfectionner sans cesse tous les aspects de la préparation de l'athlète. La maîtrise de l'essor des performances implique que l'on examine attentivement les théories concernant la préparation, de façon à déterminer celles qui rendent le mieux compte de la réalité et sont les plus porteuses d'avenir…L'analyse de l'évolution de la pratique actuelle permet d'affirmer que dans les prochaines années, l'essentiel du perfectionnement de l'entraînement tiendra à l'établissement de ses bases scientifiques. Ce sont elles qui permettront de définir les structures d'entraînement les plus aptes à orienter le développement de l'athlète, et à réaliser la préparation la mieux adaptée au niveau de résultat projeté »

V.N.Platonov[1]

« Quand j'ai débuté ma carrière de joueur, une bon entraînement était un entraînement dur. On était entraîné comme nos entraineurs étaient entrainés. L'individualisation des programmes et leur contrôle par des outils de mesure n'existaient absolument pas. C'est à partir de 1975 et ma rencontre avec A.Menaut, que j'ai pris conscience de l'importance du travail athlétique individualisé, sous le contrôle de la fréquence cardiaque, et de la nécessité de bien maitriser les grands principes méthodologiques de l'entraînement. Il est évident que l'intensité du jeu a énormément progressé ces quarante dernières années. Les méthodes d'entraînement et l'évolution des organisations de jeu, conduisent aujourd'hui les joueurs à réaliser, pas forcément plus de volume de course total, mais certainement plus de courses à haute et très haute intensité pour récupérer le ballon rapidement et se projeter vite vers l'avant »

Daniel Jeandupeux*, International A (1969-1975), Sélectionneur national Suisse (1986-1989), Entraineur professionnel de football (1979-2009)*

" On part ensemble, on arrive ensemble, accrochez vous ! ". Cette phrase, jeune professionnel, je l'ai entendu à chaque fois que l'on débutait une séance de préparation athlétique. Pas de prise en compte des différents paramètres de chacun, âge, capacité physique, poste, une différence de traitement aurait été vécu à l'époque comme du favoritisme. En matière d'évaluation, je n'ai jamais effectué que le fameux test de COOPER, mais qui n'a nullement débouché sur un quelconque aménagement de programme, et qui ne servait uniquement qu'à avoir, à titre indicatif, l'éventuel potentiel de chacun.
De nos jours les exigences de la compétition et les évolutions tactiques, surtout en matière de rythme et de course à haute intensité, plus qu'en volume, nécessite un entrainement personnalisé. Les tests et les possibilités de contrôle permettent d'avoir des données physiologiques précises et des moyens de quantification de la charge d'entraînement, engendrant une meilleure progression du joueur »

Daniel Sanchez*, International Espoir, A' (1974-1976), Entraineur professionnel de football (1988-2015)*

[1] *L'entraînement sportif : Théorie et Méthodologie, Editions Revue EPS, 1984*

TRAJECTOIRE ACADEMIQUE

Le football a toujours fait partie de ma vie. Depuis le plus jeune âge, j'ai baigné dans un univers qui m'a conduit à pratiquer, puis entrainer, et surtout, grâce à mon père, à découvrir les secrets d'un club professionnel, celui des Girondins de Bordeaux, pendant la plus belle décennie de son histoire.

N'ayant jamais eu les qualités pour jouer à un bon niveau, j'ai réussi malgré tout, à force de persévérance, à faire de ce sport mon métier. Passionné d'entraînement et de préparation physique depuis mon adolescence, j'ai eu la chance de me former sur le terrain en tant qu'éducateur, dès l'âge de quinze ans. Dix-huit saisons amateurs à essayer de trouver des solutions aux nombreuses problématiques de terrain que je découvrais.

A travers mon cursus universitaire, j'ai eu la chance de faire de belles rencontres. Celle avec Monsieur Cazorla, mon père spirituel en STAPS aura été décisive, m'ouvrant les portes du haut niveau au début des années 2000. C'est à Georges que je dois un certain sens de l'expertise, cette recherche permanente de l'excellence et la modestie associée que l'on doit avoir face à tout ce que l'on ne sait pas.

Pendant presque quinze ans, j'ai occupé des fonctions d'entraineur puis de préparateur physique dans les championnats de CFA, National, ligue 2, Ligue 1, humant le parfum de la coupe d'Europe avec l'AS St Etienne en 2005. Ce parcours m'a fait comprendre à chaque instant, que rien n'est jamais acquis. De par la fragilité des résultats, mais aussi, parce qu'en tant que technicien, nous n'avons pas tous les atouts pour déterminer le sort d'un match. La remise en question personnelle doit être permanente, au regard des progrès réguliers des recherches scientifiques, en gardant à l'esprit que les convictions valent mieux que les certitudes.

C'est dans cet état d'esprit que j'ai décidé de reprendre un cursus universitaire à quarante-six ans, vingt-trois ans après avoir conclu une maîtrise STAPS option « Entrainement et performance motrice » dans le Bordelais, ma terre natale. Une année pour l'obtention d'un master II « EOPS » à Lille en 2014, puis le grand saut dans un cursus doctoral de 3 ans, en collaboration avec l'Université de Paris Descartes et la Fédération Française de Football. Si je me sens en tout premier lieu un « homme de terrain », j'ai ressenti comme une nécessité de devoir conceptualiser l'expérience accumulée pendant toutes ces années en clubs professionnels. Prendre de la distance, réactualiser mes connaissances, essayer de mieux comprendre ce qui se passe sur le terrain, tels étaient mes objectifs avant d'envisager de revenir « dans le circuit » encore mieux armé.

Je me suis retrouvé dans la peau d'un alpiniste néophyte au pied de l'Everest. 8848m d'ascension pour tenter de toucher le toit du monde. Malgré ma motivation, je dois avouer ne pas avoir tout à fait

mesuré l'ampleur de la tâche. Les moments de doute ont été nombreux, noyé que j'ai été parfois dans mes centaines d'articles scientifiques. Paradoxalement, cette expérience universitaire est certainement la plus belle aventure intellectuelle et expérimentale que j'ai eu la chance de vivre au cours de mon parcours professionnel.

Je souhaite de tout cœur, et en toute humilité, que ce travail de réflexion permettra aux entraineurs d'être encore plus efficaces sur le terrain, en leur faisant prendre conscience que ce que l'on propose aux joueurs doit être réfléchi et avoir « du sens », fondé sur des principes méthodologiques et scientifiques solides. Si ce parcours pouvait susciter également chez de jeunes étudiants préparateurs physiques l'envie de s'inscrire dans ce richissime cursus doctoral, je serais comblé.

REMERCIEMENTS

Habitué à diriger plutôt qu'à être dirigé, j'ai pu mesurer l'importance du travail d'équipe à travers ce parcours doctoral. Sans l'aide et le soutien indéfectibles de « mes coéquipiers », nul doute que mon ascension vers la quête du savoir aurait été vouée à l'échec. Cette parenthèse universitaire, loin des projecteurs de la Ligue 1, aura été aussi l'occasion pour moi d'apprécier à sa juste valeur l'amitié, la fidélité et la compétence de personnes qui me sont chères.

A Monsieur **Dr François-Denis DESGORCES**, directeur de thèse : Si le challenge qui m'était proposé était ardu, que dire du tien au regard de mon profil atypique, bien loin de celui d'un brillant étudiant fraichement diplômé d'un Master « Recherche ». J'ai tenté de gommer mes lacunes au fil du temps pour être digne de ta confiance et de ton investissement à mon égard. J'ai toujours souhaité être au contact des meilleurs dans ma profession pour continuer à progresser. A tes côtés j'ai été comblé, ces trois années dépassant de loin toutes mes attentes. Merci de m'avoir accompagné avec patience et bienveillance, en me faisant découvrir ce qu'impliquait la notion de rigueur scientifique et les questionnements indispensables à avoir pour tenter de mieux comprendre ce qui se passe sur le terrain.

A Monsieur **Pr Jean-François TOUSSAINT**, Directeur de l'IRMES, membre du Haut Conseil de la santé publique, médecin et expert en physiopathologie du sport, Monsieur **Dr Grégory DUPONT** (HDR), reconnu pour son expertise dans le monde du football professionnel, Madame **Pr Murielle GARCIN**, experte des échelles de perception de l'effort, Madame **Dr Claire THOMAS-JUNIUS** (HDR), spécialiste en physiologie de l'exercice, pour avoir accepté de donner de votre temps afin d'expertiser ce travail avec attention. Vos conseils et votre expérience dans la recherche appliquée à la performance à haut niveau me seront précieux. Recevez ici ma sincère gratitude et mes remerciements.

A Monsieur **Dr Michel SIDNEY** (Maître de conférence à l'université de Lille 2), expert en entraînement et statistiques : Merci Michel pour ta disponibilité…et ton courage, quand ton premier défi était de m'initier aux rudiments statistiques ! J'ai apprécié chacune de nos rencontres, marquées par tes qualités pédagogiques, humaines, tes remarques toujours constructives et concrétisées au final par la publication commune de deux articles scientifiques.

Si j'ai pu conduire à terme mes travaux de recherche, je le dois principalement au soutien financier de la Fédération Française de Football. J'adresse une profonde reconnaissance à Messieurs **Noël LE GRAET Noël** (Président), **François BLAQUART** (Directeur Technique National, 2007-mars 2017) et **Frédéric AUBERT** (Entraineur National, Référent préparation athlétique) pour leur collaboration et leur confiance.

Mon travail scientifique de « terrain » a été passionnant, au contact de techniciens et de joueurs qui m'auront accueilli au sein de leur structure, comme si je faisais partie des leurs.

Je tiens à remercier très sincèrement Messieurs **Pascal DUPRAZ** (entraineur), **David BARRIAC** (entraineur des gardiens de but), **Stéphane BERNARD** (préparateur physique), **Sébastien DEVILLAZ** (préparateur physique adjoint en charge des blessés) du club d'**Evian Thonon Gaillard** lors de la saison 2014-2015, pour m'avoir ouvert leur vestiaire et permis ainsi de récolter les données indispensables pour nourrir mes recherches. Je n'oublierai pas d'avoir une pensée émue et attristée pour **Léo** (Intendant) et **Fabrice** (entraineur adjoint), qui malheureusement ne seront pas en mesure de lire ces quelques lignes de remerciements.

Merci à Messieurs **David GUILLON** (directeur du centre de formation) et **Benjamin LEBRUN** (préparateur physique) du **Stade de Reims** pour m'avoir mis dans les meilleures conditions pour conduire mon protocole expérimental, avec la participation d'une équipe championne de CFA2, à l'issue de la saison 2015-2016.

Monsieur **Bruno MARRIER** (Professeur agrégé d'EPS, doctorant Paris Descartes), expert en entraînement et préparation physique: Il y a trois ans nous décidions ensemble de nous lancer dans cette aventure doctorale, à un âge (surtout le mien !) où nous aurions pu nous contenter de « dormir un peu sur nos lauriers ». Cette passion commune pour l'entraînement et la recherche scientifique fait que notre avenir s'inscrit, j'en suis sûr, en commun. Merci de m'avoir « reboosté » quand j'étais en période de « moins bien », merci de m'avoir conseillé en prenant de ton temps pour m'apporter des éclairages toujours pertinents. C'est une chance inestimable de t'avoir eu à mes côtés.

Monsieur **Guillaume CIRET** (professeur agrégé d'histoire géographie, Principal du collège NOES à Pessac) : Notre amitié, forte de plus de 20 ans, aura été confrontée à tant d'expériences communes ! Ce dernier projet académique nous aura permis une nouvelle fois de collaborer ensemble. Merci pour ton hospitalité permanente qui m'a permis de travailler dans un environnement favorable

quand j'étais à Bordeaux. Merci pour le temps que tu m'as consacré, merci pour ce sens du détail qui te caractérise.

Monsieur **Pr Philippe GIRARD** (professeur d'université, conseiller académique de l'école de l'air de Salon de Provence): Tu fais partie Philippe des personnes pour qui j'ai toujours eu une grande admiration. J'ai pu apprécier une nouvelle fois la qualité de tes réflexions quand nous échangions sur le traitement à réserver aux données GPS. Nul doute que nous aurons encore l'occasion de réfléchir ensemble à ces passionnantes problématiques !

Je n'oublierai pas de remercier Mesdames **Valérie QUAIREAU** (bibliothécaire de l'INSEP) et **Karine LESAGE** (bibliothécaire Université de Lille 2) pour m'avoir souvent déniché des articles scientifiques « introuvables » quand j'étais parfois dans l'impasse avec mes différents moteurs de recherche.

Mes remerciements ne seraient pas complets si j'omettais de souligner l'importance capitale des membres de ma famille. Toujours à mes côtés ou bien au-delà, vos pensées et paroles réconfortantes m'auront donné l'énergie nécessaire pour mener à bien ce travail de thèse.

Enfin, merci infiniment à toi **Sandrine**, pour m'avoir « supporté », dans tous les sens du terme, pendant ces trois dernières années ou j'ai passé plus de temps à te tourner le dos assis à mon bureau qu'à prendre soin de toi. Jamais tu n'as fait preuve d'impatience ou d'incompréhension quand il m'arrivait de me lever en pleine nuit pour travailler, ou lorsque je renonçais souvent à nos activités communes de peur de manquer de temps. Merci de m'avoir épaulé lors de cette expérience de vie que nous avons partagée en tandem.

Ce travail de thèse a été financé par la Fédération Française de Football (2014-2017)

LISTE DES ABREVIATIONS

BPM: Battement Par Minute

CE: Charge d'entrainement

CMJ: Counter Movement Jump

FC: Fréquence cardiaque

FCmax: Fréquence cardiaque maximale

GPS: Global Positioning System (Système d'observation des déplacements par satellites)

HMLD: High Metabolic Load Distance

RPE: Rating of Perceived Exertion (note de perception de l'effort)

U.A: Unité arbitraire

VMA: Vitesse maximale Aérobie

$\dot{V}O_2max$: Consommation maximale d'oxygène

SOMMAIRE

TRAJECTOIRE ACADEMIQUE 1

REMERCIEMENTS 3

LISTE DES ABREVIATIONS 6

SOMMAIRE 7

INTRODUCTION GENERALE 9

CHAPITRE I : CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET PHYSIOLOGIQUES DU FOOTBALLEUR : DE L'EVALUATION A LA QUANTIFICATION DE L'ENTRAINEMENT 12

1.1 Outils de mesures et d'observation des efforts en football 13

1.1.1 Paramètre de Volume d'exercice en football 15

1.1.1.1 Définition 15

1.1.1.2 Distances moyennes d'équipe en match 16

1.1.1.3 Distances moyennes d'équipe, en fonction des systèmes de jeu 17

1.1.1.4 Distances moyennes parcourues d'une mi-temps à l'autre 19

1.1.2 Paramètre Intensité des exercices en football 22

1.1.2.1 Fréquence cardiaque 22

1.1.2.2 La lactatémie 23

1.1.2.3 La cotation de la perception de l'effort (RPE : Rating of Perceived Exertion) 23

1.1.2.4 Les vitesses de course 24

1.1.2.5 Les indicateurs d'intensité 26

1.1.3 Paramètre Fréquence des exercices en football 32

1.1.3.1 Définition 32

1.1.3.2 Fréquence des efforts de hautes intensités : Choix des paramètres 33

1.1.3.3 Proposition de ratios pour évaluer la composante Fréquence 34

1.1.4 Planification de l'entraînement en football 38

1.1.4.1 Planification des cycles d'entraînement 38

1.1.4.2 Programmation d'une semaine d'entraînement 39

1.1.4.3 Classification des exercices spécifiques au football 40

1.1.4.4 Les jeux et exercices spécifiques au football (catégorie 1) 41

1.1.4.5 Les exercices d'endurance (catégorie 2) 45

1.1.4.6 Les exercices de puissance musculaire et de vitesse maximales (catégorie 3) 46

1.2 Caractéristiques anthropométriques et physiologiques du footballeur 49

1.2.1 Analyse de l'évolution anthropométrique des joueurs de football depuis 1970 49

1.2.1.1 Taille et masse corporelle des joueurs de football 50

1.2.1.2 Masse corporelle et pourcentage de matière grasse des joueurs de football 52

1.2.2 $\dot{V}O_2max$ 53

1.2.2.1 Définition 53

1.2.2.2 Valeurs moyennes de $\dot{V}O_{2max}$ 53

1.2.2.3 Valeurs moyennes de $\dot{V}O_{2max}$ en fonction des postes 54

1.2.2.4 Influence du niveau de $\dot{V}O_{2max}$ sur les performances individuelles et collectives 55

1.2.2.5 Valeurs moyennes de $\dot{V}O_{2max}$ en fonction des niveaux de compétition 56

1.2.3 Seuil anaérobie et lactate sanguin 56

1.2.4 Puissance musculaire maximale 57

1.2.4.1 Tests d'évaluation de la puissance musculaire maximale des joueurs de football à partir d'un sprint 57

1.2.4.2 Evaluation de la puissance maximale à partir d'un test de saut vertical 58

1.2.4.3 Evaluation de la puissance maximale à partir de mesure de force en condition isocinétiques 62

1.2.4.4 Capacité à répéter les sprints 63

CHAPITRE II: QUANTIFICATION DE LA CHARGE D'ENTRAINEMENT 65

1.3 Définition 65

1.4 Charges externes et charge interne 65

1.5 Processus d'entraînement et relation entre charge d'entraînement et performance 66

1.6 Méthodes de quantification de la charge d'entraînement 67

1.6.1 Les méthodes basées sur la fréquence cardiaque 68

1.6.1.1 La méthode « TRIMP » 68

1.6.1.2 La méthode « SHRZ » 69

1.6.2 Quantification par la perception de l'effort 71
1.6.2.1 La méthode « Séance-RPE » 71
1.6.2.2 Paramètre de contrôle de la CE : « La monotonie » 75
1.6.2.3 Paramètre de contrôle de la CE : « La Contrainte » 76
1.6.2.4 Paramètre de contrôle de la CE : « Forme» 77
1.6.3 Les méthodes basées sur les seuils ventilatoires 78
1.6.3.1 La méthode LUCIA 78
1.6.3.2 La méthode WOOD 79
1.6.3.3 La méthode « Travail-Endurance-Récupération » (WER) 80
1.6.3.4 Les méthodes basées sur la lactatémie 81
1.6.3.5 Les méthodes basées sur l'interprétation des données GPS 82
1.6.4 Comparaison, validation des méthodes 84
1.6.4.1 Méthode TRIMP 84
1.6.4.2 Méthode Summated Heart rate zone (SHRZ) 85
1.6.4.3 Méthode Séance-RPE 85
1.6.4.4 Méthode WER 86
1.6.4.5 Méthodes GPS 86
1.7 Problématiques et questionnements à l'issue de cette revue de littérature 88

CHAPITRE III : CONTRIBUTION PERSONNELLE 90
1.8 ETUDE n°1 91
1.9 ETUDE n°2 103
1.10 ETUDE n°3 118

CHAPITRE IV : SYNTHESE ET PERSPECTIVES 127
1.11 Efficacité des méthodes de quantification actuelles pour les exercices spécifiques au football 127
1.11.1 Avantages, limites des méthodes de quantification de la CE basées sur la FC, Les seuils ventilatoires et la lactatémie 127
1.11.2 Avantages, limites et perspectives de la méthode RPE 128
1.11.3 Choix de données GPS pour arriver à une quantification de la CE 130
1.12 Mesure de la performance en football et des effets des CE 131
1.12.1 Définition de la performance en football 131
1.12.2 Evaluation de la performance individuelle en compétition 133
1.12.3 Mesure des effets des CE 134
1.12.3.1 Contrôler les effets des CE : une nécessité 134
1.12.3.2 Moyens de contrôle des effets 138
1.13 Suivi individuel quotidien des joueurs de football : Création d'interfaces spécifiques (logiciel « Training®») 140
1.13.1 Le suivi des indices d'état 140
1.13.2 Le suivi des CE hebdomadaires à partir d'une méthode RPE par exercice 142
1.13.3 Indice d'opérationnalité du joueur 144

CONCLUSION 146

BIBLIOGRAPHIE 148

ANNEXES 172

LISTE DES TABLEAUX 225

LISTE DES FIGURES 227

LISTE DES EQUATIONS 229

INTRODUCTION GENERALE

Le football se caractérise par des efforts réalisés à différentes intensités qui entrainent un stress physiologique hautement spécifique (Bangsbo *et al.*, 1991; Bradley *et al.*, 2010; Di Salvo *et al.*, 2007). Le degré d'exigence du haut niveau nécessite d'avoir recours à un nombre important de séances hebdomadaires pour y répondre, ce qui pose avec de plus en plus d'acuité, la problématique de la meilleure gestion possible du travail physique. L'alternance des exercices et de la récupération, l'intensité, la durée, ou encore la proportion des situations avec et sans ballon doivent être bien maîtrisées. Nous pouvons supposer que la simple pratique du jeu ne peut suffire au développement « contrôlé » des qualités athlétiques. C'est pourquoi, outre la technique et la tactique, la préparation physique s'impose comme un des éléments incontournables de l'entraînement. Son contenu dépend des exigences requises par la compétition, mais également des capacités physiques, physiologiques et psycho-physiologiques des footballeurs. La planification, périodisation et programmation de l'entraînement doivent avoir pour point de départ la connaissance de ces capacités.

Malgré l'utilisation de méthodes de contrôle de la charge d'entrainement (CE) et le développement des moyens technologiques et scientifiques associés, la gestion des composantes de la performance athlétique demeure d'une extrême complexité, ces dernières étant multiples et plurifactorielles. En effet, la performance collective en football est la somme de performances individuelles, dépendante d'un environnement en constante évolution, que ce soit d'un point de vue des conditions climatiques ou sportives (*i.e.* dynamique des résultats, transferts, sollicitations de certains joueurs en équipe nationale). Mentionnons également que le développement des qualités physiques peut être parfois antinomique (endurance *vs.* force), mais aussi sous l'influence de la préparation « invisible » des joueurs, qui recouvre, entre autres, la qualité de l'alimentation, du sommeil, de l'état psychologique et du temps accordé aux soins et aux plages de récupération.

Répondre aux exigences sans cesse accrues du jeu représente l'objectif des entraineurs, en développant et en maintenant l'ensemble des qualités physiques spécifiques de leur effectif (*i.e.* endurance, force-vitesse, capacité à répéter des sprints, coordination).

L'entrainement du footballeur s'inscrit dans cette logique, afin d'améliorer et/ou maintenir les qualités physiques tout au long de la saison. Ainsi, les différentes actions technico-tactiques du jeu peuvent s'exprimer avec la plus grande efficacité possible.

Il est indéniable de constater que l'entrainement de football a considérablement évolué depuis les années 70. Si le travail physique du footballeur a longtemps été prescrit sous des formes analytiques (sans ballon), les formes d'entrainement intégrées (exercices techniques et/ou technico-tactiques avec ballon) et/ou contextualisés (jeux réduits) se sont largement développées depuis 20 ans

(Casamichana *et al.*, 2013b; Castellano *et al.*, 2013; Owen *et al.*, 2011). Cette évolution méthodologique s'inscrit dans une volonté des techniciens d'optimiser le temps d'entrainement, en se rapprochant le plus possible de l'intensité de la compétition, tout en espérant développer l'intelligence du joueur en situation.

L'évolution des différentes formes d'exercices dans les séances n'est pas sans incidence sur le contrôle de leurs **charges d'entraînement** respectives. Définies comme la combinaison des paramètres **Volume**, **Intensité** et **Fréquence**, ces dernières doivent être contrôlées et ajustées en permanence. Cela pourrait contribuer à optimiser les différentes adaptations physiologiques recherchées, tout en réduisant les risques potentiels de blessures.

Pour **quantifier** les charges d'entraînement, l'entraineur doit s'appuyer sur des outils de mesure précis. Si les charges d'entraînement prévisionnelles des exercices analytiques sont relativement faciles à appréhender, cela est en revanche plus difficile pour certains exercices avec ballon, notamment les jeux à effectifs réduits et les exercices à puissance maximale, qui constituent aujourd'hui une partie importante des programmes d'entraînement des footballeurs. Le contrôle de la charge s'effectue dans la plupart des cas *a posteriori*, sauf dans de rares cas d'enregistrement en temps réel qui ne concernent qu'une minorité des équipes de l'élite (*i.e.* le système en *Live* de la marque Catapult© permet, grâce à une antenne relais placée à l'extérieur du terrain, d'obtenir l'affichage sur tablette de toutes les données relatives aux déplacements des joueurs, ainsi que leurs CE « Player Load »).

Si les objectifs physiques sont définis avant les séances, l'engagement moteur et mental des joueurs est plus aléatoire et dépend d'une multitude facteurs (état des terrains, surface de jeu, l'animation par le staff, humeur individuelle…).

L'évaluation précise des **exercices spécifiques au football** se retrouve donc placée au cœur des préoccupations des entraineurs, s'appuyant sur différentes méthodes de quantification, caractérisées par des marqueurs d'intensité et/ou de volume spécifiques.

Si la **fréquence cardiaque** (FC) a longtemps été le seul témoin de l'intensité des séances de football, l'utilisation des **échelles perceptives** a permis une nouvelle approche pour quantifier leurs charges, tout comme les **systèmes GPS** (Global Positioning System) qui tentent, pour certains, de proposer des algorithmes spécifiques pour atteindre le même objectif.

Pour les entraîneurs de football désirant mieux contrôler les programmes d'entrainement, ce sont plutôt des questions que des certitudes qui émergent de ces premiers constats : Quels sont les exercices d'entraînement spécifiques les mieux adaptés pour préparer les joueurs aux exigences du football d'aujourd'hui ? Quels sont les effets physiologiques, physiques et psycho-physiologiques des variations de volume des exercices d'entraînement ? Comment trouver le bon équilibre entre les CE à

prescrire pour faire progresser les joueurs, mais aussi la maîtrise de leurs effets pour tenter de réduire au maximum les risques potentiels de fatigue prolongée et/ou de blessure ? Face aux différentes options qui s'offrent aux entraineurs, quelles sont les méthodes les plus précises pour quantifier les exercices intégrés et/ou contextualisés, réalisés à différentes intensités ? Existe-t-il des solutions alternatives face à d'éventuelles limites méthodologiques ?

Pour apporter un certain nombre d'éléments de réponse, notre travail présente dans un premier temps, une analyse de la littérature scientifique des dernières décennies. La première partie est consacrée à l'analyse de l'activité puis à celle des caractéristiques du footballeur, en relation avec l'évolution des exercices d'entraînement et leur programmation. L'observation de l'évolution des morphotypes des joueurs et de leurs caractéristiques physiologiques sur cette période, peut permettre une meilleure compréhension des évolutions du jeu. Dans une seconde partie, la présentation des différentes méthodes de quantification de la charge d'entraînement clôt cette revue de littérature.

Le deuxième volet de notre document concerne donc la présentation de trois études expérimentales menées pour répondre à ces questions :

- Une première étude analysant les correspondances des CE issues de séances dissociées et mixtes (de sprints et de puissance aérobie) selon les méthodes de quantification utilisées.
- Une deuxième étude observant l'effet de l'augmentation du volume d'exercice sur les performances physiques des joueurs.
- Une troisième étude proposant une méthode de quantification de la CE exercice par exercice, et non plus globale, pour l'ensemble de la séance.

Dans la dernière partie, nous avons mis en perspectives nos résultats, en tentant de mesurer le chemin qu'il reste à parcourir pour intégrer les outils de haute technologie, dans le but de mieux contrôler le travail à l'entraînement.

CHAPITRE I : CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET PHYSIOLOGIQUES DU FOOTBALLEUR : DE L'EVALUATION A LA QUANTIFICATION DE L'ENTRAINEMENT

Le football induit différentes modalités, intensités et distances de déplacements, ce qui rend les efforts produits très spécifiques à ce jeu. Les joueurs de football professionnels réalisent près de 1400 actions lors d'un match de compétition, soit une toutes les 4 secondes (Bangsbo *et al.*, 1991; Rienzi *et al.*, 2000). Lors des 90 minutes de jeu, les joueurs alternent des courses à différentes intensités, entrecoupées de temps de récupération aléatoires, la somme représentant en moyenne 98% du temps sans ballon (Drust, 1998; Reilly and Thomas, 1976; Withers, 1982). Le football se définit donc comme une activité intermittente, composée de courses dans différentes directions (Bloomfield *et al.*, 2007), dont le volume, l'intensité et la fréquence varient en fonction des postes et du contexte de la compétition (Bradley *et al.*, 2013; Drust, 2000, 1998; Ekblom, 1986; Rampinini *et al.*, 2007a; Suarez-Arrones *et al.*, 2015; Tierney *et al.*, 2016; Van Gool, 1988).

Les caractéristiques physiologiques les plus observées pour la pratique du football de haut niveau, rassemblent pour leur part plusieurs composantes métaboliques, sur les plans aérobie, anaérobie et musculaire (Green, 1992; Hoff and Helgerud, 2004; Shephard, 1999; Tumilty, 1993). Il semble bien établi que les sollicitations induites par la compétition ne peuvent suffire au développement contrôlé des différentes qualités physiologiques du footballeur. Par exemple, la fréquence cardiaque fluctue en match entre 70 et 90% de la fréquence cardiaque maximale (Dellal, 2012), avec une moyenne comprise entre 80 à 90% (Bangsbo *et al.*, 2006; Buchheit and Laursen, 2013a; Ekblom, 1986). Ces intensités aléatoires ne permettent pas de maintenir, avec certitude, des périodes suffisamment longues dans la zone 90-100% de FCmax (FC maximale) pour le développement optimal de la consommation maximale d'oxygène (Buchheit *et al.*, 2013a). Les capacités physiques sont donc développées en début de saison (et de carrière), puis entretenues tout au long de la saison sportive, grâce à des programmes d'entraînement les plus rationnels possibles et individualisés. Ces derniers sont réfléchis et prescrits par des staffs composés de spécialistes qui augmentent sans cesse leur niveau de compétence. L'intégration récente de nouveaux techniciens (conseillers scientifiques) en témoigne et contribue à l'optimisation des méthodologies d'entraînement. Face aux enjeux sportifs et financiers croissants, les staffs techniques ont une obligation de résultats. Les défis sont quotidiens, avec pour fil directeur l'équilibre à trouver entre le développement contrôlé des qualités des joueurs, la réduction maximale du nombre de blessés et le maintien au plus haut niveau possible de la capacité de performance de l'équipe.

1.1 Outils de mesures et d'observation des efforts en football

L'évaluation des capacités physiques, à travers l'analyse des déplacements en compétition, est une des principales thématiques de recherche dans les sports collectifs. Le football n'échappe pas à la règle avec une littérature scientifique riche depuis plus de quarante ans. La publication de Reilly et Thomas en 1976 marque le véritable point de départ des recherches reconnues pour leurs validations méthodologiques (Reilly and Thomas, 1976). Relatives aux performances des joueurs de football en compétition, les données présentent non seulement des volumes de course, mais aussi des paramètres d'intensité. L'analyse des déplacements des joueurs s'appuie sur différentes zones d'intensité (elles ne sont pas encore définies en vitesses chiffrées) et permettent ainsi d'identifier des profils aux postes, tout en les corrélant avec des cibles physiologiques spécifiques (Green, 1992; Hoff and Helgerud, 2004; Saltin and Astrand, 1967; Shephard, 1999; Stolen *et al.*, 2005; Tumilty, 1993). Les recherches se succèdent dans les années 80-90, en améliorant le degré d'expertise, grâce notamment aux progrès technologiques (Bangsbo *et al.*, 1991; Ekblom, 1986; Mayhew, 1985; Van Gool, 1988; Withers, 1982).

Afin d'établir des analyses scientifiques concernant les déplacements des joueurs en compétition, il semble nécessaire d'adopter une approche systémique prenant en compte l'ensemble du contexte du match observé. En effet, les systèmes de jeu choisis (Bradley *et al.*, 2011; Clemente *et al.*, 2013; Tierney *et al.*, 2016), le moment de la saison (Bradley *et al.*, 2011; Mohr *et al.*, 2003; Rampinini *et al.*, 2007a; Tierney *et al.*, 2016), les conditions météorologiques (Mohr *et al.*, 2012; Ohashi, 1987), la surface de jeu utilisée (Andersson *et al.*, 2008a), la valeur de l'adversaire (Rampinini *et al.*, 2007a), le niveau technique des équipes (Rampinini *et al.*, 2009) ou le lieu du match (domicile et/ou extérieur) (Lago, 2010), sont autant de paramètres d'influence qu'il convient de ne pas négliger. Malheureusement, peu d'études précisent l'ensemble de ces critères (**tableau 1**). Autre problématique, les différentes zones de vitesses qui servent de valeur étalon pour analyser les capacités physiques ne sont pas toujours définies avec les mêmes bornes, en fonction des études et des techniques utilisées. A titre d'exemple, les valeurs définies comme « sprint » sont fixées dans certains cas au dessus de 25km.h^{-1} (Bradley *et al.*, 2009; Di Salvo *et al.*, 2009; Gregson *et al.*, 2010), et dans d'autres à partir de 18 km.h^{-1} (Mohr *et al.*, 2003).

Si la notation manuelle a été employée de manière confidentielle (Ekblom, 1986; Knowles, 1974), tout comme l'observation par trigonométrie (Ohashi, 1987), le recueil des données a longtemps été confié aux systèmes d'enregistrement vidéo manuels (Bangsbo *et al.*, 1991; Mohr *et al.*, 2003).

Références	Année de publication	Saison sportive concernée	Matériel de recueil de données	Pays de l'équipe observée	Niveau de compétition	Système de jeu	Domicile Extérieur	Météos, Surface de jeu	Période d'observation	Présentation des données
Tierney.P.J et al.	2016	2014-2015	GPS Stat sports®	U21 U18 Angleterre	Championnats « Elite Jeune»	4-4-2/4-3-3 3-5-2/3-4-3 4-2-3-1	Non précisé	Herbe	Août à Mai	Zones de vitesse (km/h) Accélérations +Décélérations
Suarez-Arroges.L et al.	2015	2013-2014 ?	GPS GPSports®SPI Pro X	Espagne	Division 1+ Coupe nationale	4-4-1-1	Non précisé	Non précisées	1 mi-temps seulement	Zones de vitesse (km/h) Distance (m.min-1)
Bradley.P et al.	2013	2010-2012 ?	Prozone Sports Ltd® v. 3.0 (multi-caméras)	Angleterre	Division 1+2+3	Standardisé	Non précisé	Non précisées	Standardisée	Zones de vitesse (km/h) Distance (m)
Bradley.P et al.	2011	2006-2007	Prozone Sports Ltd® v. 3.0 (multi-caméras)	Angleterre	Division 1	4-4-2 4-5-1 4-3-3	Non précisé	Non précisées	Non précisée	Zones de vitesse (km/h) Distance (m)
Dellal.A et al.	2010	2005-2006	Amisco Pro®	France	Division 1	Non précisé	Non précisé	Non précisées	Non précisée	Zones de vitesse (km/h) Distance (m)
Di Salvo.V et al.	2007	2002-2004	Amisco Pro® v.1.0.2	Espagne	Division 1+ Champions Ligue	Non précisé	Non différencié	Non précisées	Non précisée	Zones de vitesse (km/h) Distance (m)
Barros.M.R. L et al.	2007	2001-2004	DVideo®	Brésil	Division 1	Non précisé	Domicile + Extérieur	20-30°C	Non précisée	Zones de vitesse (km/h) Distance (m)
Mohr.M et al.	2003	2001-2002 ?	Caméras VHS (Panasonic NV-M50)	Italie Danemark	Division 1+ Champions Ligue	Non précisé	Non précisé	Non précisées	3 périodes (début, milieu, fin)	Zones de vitesse (km/h) Distance (m) % de temps
Rienzi.E et al.	2000	1998-1999 ?	Caméra (Sony TR 75E)	Angleterre Amérique du Sud	Division 1 Internationaux	Non précisé	Non précisé	Non précisées	Non précisée	Zones de vitesse décrites Distance (m)
Bangsbo.J et al.	1991	Non précisé 1988-1990 ?	Multi-Caméras (pas de référénce)	Danemark	Division 1+2	5-3-2	Domicile	Non précisées	milieu de deuxième partie de	Zones de vitesse (km/h) Distance (m) % de temps
Ekblom.B	1986	1982-1983	Traçage à la main sur plan (Echelle 1:400)+ TV	Suède Allemagne Angleterre	Division 1+2+3+4	Non précisé	Non précisé	20-30°C	Printemps Eté Automne	Quelques données de distance (revue)
Withers.R.T et al.	1982	1978-1979	Caméra + magnétophone	Australie	Division 1	Non précisé	Domicile + Extérieur	Non précisées	Non précisée	Zones de vitesse décrites Seuils en foulées
Reilly.T & Thomas.V	1976	1974-1975 ?	Traçage à la main sur plan	Angleterre	Division 1	4-3-3	Domicile + Extérieur	Non précisées	Non précisée	Zones de vitesse décrites Distance (m)

Tableau 1: Caractéristiques des principales études relatives à l'analyse des déplacements du footballeur, de 1976 à 2016

Les progrès technologiques ont permis au début des années 2000, l'utilisation de nouveaux moyens d'analyse des déplacements des joueurs, développés spécifiquement dans chaque pays (Carling *et al.*, 2008). Parmi les plus connus au niveau mondial, on retrouve les systèmes vidéo automatiques Prozone Sport Ltd® (Angleterre), Amisco Pro® (France), Tracab® (Suède), DVideo® (Brésil) et Feedback Football® (Nouvelle Zélande), ainsi que des systèmes par transmission électronique comme LPM Soccer 3D® (Pays-Bas) ou le système « CBT » utilisant tablette et stylo informatique (TrackPerformance®, Australie)(Edgecomb and Norton, 2006). Ces différents systèmes servent régulièrement de valeur étalon pour valider indirectement d'autres systèmes, comme les unités GPS (Buchheit *et al.*, 2014b; Edgecomb and Norton, 2006; Harley *et al.*, 2011; Randers *et al.*, 2010). Les résultats obtenus lors de ces études comparatives montrent qu'il est souvent nécessaire d'utiliser des équations de correction pour des résultats précis (Buchheit *et al.*, 2014b; Randers *et al.*, 2010). Malgré ces précautions d'usage, les différents systèmes d'analyse multi-caméras restent d'excellents moyens techniques pour quantifier les données (Buchheit *et al.*, 2014b; Carling *et al.*, 2008; Di Salvo, 2006), comme en témoigne la majorité des clubs de haut niveau qui les intègrent en 2017 pour analyser leurs compétitions, mais aussi de leurs entraînements (Akenhead *et al.*, 2016; Mohr *et al.*, 2003).

Les unités GPS sont admises depuis peu en compétition officielle par la FIFA (saison 2015-2016) (FIFA, 2015), et les données scientifiques publiées relatives aux matchs sont de ce fait encore assez rares (Akenhead *et al.*, 2016; Suarez-Arrones *et al.*, 2015). Notons que certains fabricants proposent également une extrapolation de ces données, via des algorithmes (pas toujours expliqués), pour tenter d'estimer la charge d'entraînement induite par la somme des accélérations (Casamichana *et al.*, 2013a). D'autres constructeurs associent aujourd'hui aux données GPS, des données physiologiques complémentaires (FC, variabilité cardiaque, température corporelle, pression artérielle, saturation en O_2). Nul doute que le monitoring « en live », via les bio-textiles, deviendra dans les années à venir, pour les staffs, une aide précieuse à la décision lors des entraînements et des compétitions.

Si des réserves d'usage ont été soulignées, en raison d'un matériel qui n'est pas toujours validé scientifiquement (Boyd *et al.*, 2011; Varley *et al.*, 2012), les entraineurs et scientifiques du sport possèdent malgré tout aujourd'hui une connaissance remarquable des différentes capacités physiologiques et physiques des joueurs.

A partir de l'ensemble de ces observations, nous allons tenter de réaliser un audit sur ces quatre dernières décennies, orienté vers l'analyse des trois indicateurs qui caractérisent les déplacements du footballeur, le volume de course, l'intensité et la fréquence des efforts spécifiques au football. En nous appuyant sur les principales études sur le sujet, notre objectif est d'observer l'évolution des paramètres physiques depuis les années 70, et de comparer si possible, le profil du footballeur d'hier et celui d'aujourd'hui.

1.1.1 Paramètre de Volume d'exercice en football

1.1.1.1 Définition

Le paramètre « **Volume** » recouvre la notion de **durée** mesurée en unité de temps (Pollock, 1973; Wenger and Bell, 1986), et/ou de **distance** (Reilly and Thomas, 1976), et est quantifiable avec précision, à différentes intensités. D'autres paramètres peuvent être également des indicateurs de volumes, le nombre de sprints, de sauts et d'accélérations ont une importance certaine pour décrire les efforts en football et sont enregistrés en temps réel par les unités GPS. Dans ce sens, les travaux de Casamichana *et al.* soulignent que la somme des accélérations du centre de masse est représentative de la charge externe des joueurs, en étant largement corrélée aux distances totales parcourues à l'entraînement (Casamichana *et al.*, 2013a). Les distances totales parcourues par zone de vitesse peuvent être aussi être utilisées pour établir des comparaisons entre exercices. Par exemple, dans un format déterminé, une opposition à 9 *vs.* 9 présentera une plus grande distance totale pour des vitesse > 21 $km.h^{-1}$, par rapport à un jeu réduit à 6 *vs.* 6 (p=0,013 ; ES=0,91) (Casamichana *et al.*, 2015).

En complément, les distances sont parfois associées au facteur temps pour exprimer une vitesse et/ou distance relative ($m.min^{-1}$), ce qui rend possible des comparaisons entre joueurs ayant des temps de jeu différents en compétition. D'autre part, cette unité peut aussi être utilisée pour évaluer le volume moyen (et/ou la vitesse relative moyenne) des séances d'entraînement (Bartlett *et al.*, 2016).

1.1.1.2 Distances moyennes d'équipe en match

De nombreuses études rapportent des distances totales parcourues en match (Bangsbo *et al.*, 2006; Bangsbo *et al.*, 1991; Bradley *et al.*, 2011; Bradley *et al.*, 2013; Bradley *et al.*, 2009; Burgess *et al.*, 2006; Dellal, 2010; Di Salvo *et al.*, 2007; Mohr *et al.*, 2003; Rampinini *et al.*, 2007a; Reilly and Thomas, 1976; Rienzi *et al.*, 2000; Suarez-Arrones *et al.*, 2015; Tierney *et al.*, 2016; Withers, 1982) (**figure 1**).

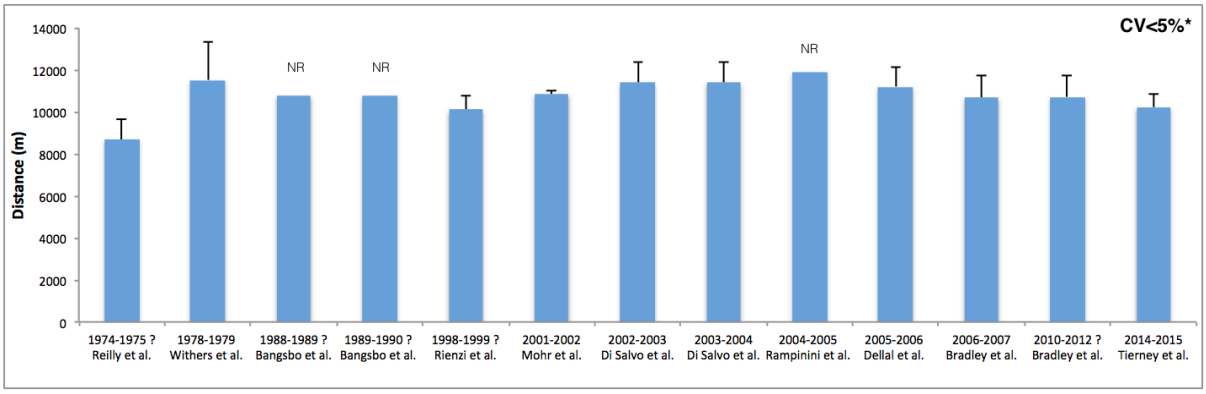


Figure 1: Principales études répertoriant les distances moyennes parcourues en match par des équipes professionnelles européennes masculines depuis 1974 (NR=Ecart-type Non Renseigné) (*)=ne tient pas compte de l'étude de Reilly *et al.* (1976).

Les valeurs moyennes d'une équipe professionnelle de 1 ère division européenne, sont comprises entre 10100 et 11900m, avec une moyenne de 10950m depuis 1974. On retrouve des valeurs plus basses sur certains continents, qui témoignent de l'influence de la culture du pays, des conditions environnementales spécifiques, mais aussi d'une préparation physique peut-être moins optimisée qu'en Europe. Barros *et al.*, dans une étude portant sur trois saisons (2001-2004), avec des joueurs professionnels brésiliens, rapportent une moyenne de distance parcourue de 10012±1024m, 8% inférieure à la moyenne Européenne (Barros *et al.*, 2007). Ces résultats sont confirmés pour d'autres équipes d'Amérique du Sud (10104±703m) (Rienzi *et al.*, 2000) ou d'Australie (10100±1400) (Burgess *et al.*, 2006). Notons que la valeur de l'opposition peut conditionner le volume total de course, mais aussi ceux plus spécifiques de haute et très haute intensité. Mohr *et al.* remarquent dans ce sens, que les formations du plus haut niveau parcourent le plus grand volume de course, ainsi que les plus grandes distances à haute intensité et en sprint par rapport aux équipes plus modestes (+5, +28 et +58%, respectivement) (Mohr *et al.*, 2003). Rampinini *et al.* observent le contraire chez les équipes qui sont confrontées aux formations européennes de premier plan, que ce soit pour le volume de course total (11097±778 *vs.* 10827±760m), les distances à haute (2770±528 *vs.* 2630±536m) et très haute

intensité (902±237 *vs.* 883±268m) (Rampinini *et al.*, 2007a). Cette dernière tendance est confirmée par Bradley *et al.* ainsi que par Di Salvo *et al.*, qui mettent en avant, pour justifier ces volumes de course inférieurs, la maîtrise technique et tactique plus importante des meilleures formations, en opposition avec les équipes moins bien classées, qui se voient contraintes de courir davantage pour récupérer le ballon (Bradley *et al.*, 2013; Di Salvo *et al.*, 2009).

Pour conclure, si des petites fluctuations de la distance totale parcourue en match sont observables en fonction des études et des années, **nous n'observons pas d'augmentation ni de diminution marquantes de celle-ci** depuis quarante ans (**CV<5%** en faisant abstraction de l'étude de Reilly *et al.*, 1976).

1.1.1.3 Distances moyennes d'équipe, en fonction des systèmes de jeu

Peu d'études mentionnent les systèmes de jeu adoptés par les équipes étudiées (Bangsbo *et al.*, 1991; Bradley *et al.*, 2011; Bradley *et al.*, 2013; Suarez-Arrones *et al.*, 2015; Tierney *et al.*, 2016) (**tableau 1**), et aucune, à notre connaissance, ne décrit les animations et/ou les consignes technico-tactiques. Le fait de jouer à domicile ou à l'extérieur, de décider d'un pressing constant sur l'adversaire, ou au contraire d'adopter un positionnement bas du bloc équipe [2], face à un adversaire supposé plus fort, pourrait influencer fortement les paramètres physiques des équipes et des joueurs. Cette première limite met en évidence le fait qu'il existe une différence fondamentale entre organisation et animation d'équipe, et que les performances physiques des joueurs sont sous influences. La deuxième limite est fondée sur le fait que les comparaisons par lignes d'équipe sont parfois difficiles, parce que les postes qui les composent ne sont pas toujours déclinés de la même manière. En effet, certaines études différencient les milieux axiaux et excentrés (Bradley *et al.*, 2013), contrairement à d'autres qui les regroupent (Mohr *et al.*, 2003). D'autres différencient également les postes offensifs dans les systèmes de jeu à deux attaquants (attaquant de profondeur/attaquant de soutien)(Suarez-Arrones *et al.*, 2015). Soulignons pour finir que les conditions environnementales (météo, température, état du terrain) ne sont qu'exceptionnellement décrites, ce qui est pourtant un facteur déterminant de la performance. Même si cela n'est pas propre aux championnats européens, en dehors de la phase estivale, une étude de Whitehead évoque l'influence d'une température élevée sur les organismes (température supérieure à 30°C), la distance totale réalisée en sprint par des professionnels suédois diminuant de 50% en deuxième mi-temps (Whitehead, 1975).

Analyse entre systèmes

Une première étude s'est intéressée au volume de course en fonction des organisations (Bradley *et al.*, 2011). Au cours de 20 matchs officiels, les performances de 153 joueurs professionnels anglais,

[2] Terme qui défini l'équipe en une seule unité

appartenant à des équipes organisées en trois systèmes de jeu différents, ont été comparées: 4-4-2 (n=58) ; 4-3-3 (n=49) ; 4-5-1 (n=46). De manière assez surprenante, aucune différence n'a été constatée au niveau des moyennes d'équipes (10697±945 ; 10786±1041 ; 10613±1104m, respectivement). Une étude récente a confronté les données de 5 systèmes de jeu (Tierney *et al.*, 2016). Les résultats provenant de performances de jeunes joueurs stagiaires professionnels anglais (U18-U21) ont amené des informations complémentaires. Si l'étude de Bradley *et al.* confirme qu'il n'existerait pas de différence de distance totale parcourue entre les trois systèmes de jeu proposés (4-4-2, 4-3-3 et 4-5-1=4-2-3-1), l'étude de Tierney *et al.* montre par contre, qu'un système en 3-5-2 engage un volume de course supérieur par rapport aux autres organisations (3-4-3 inclus), de 2,3 à 4,5%, (p=0,05).

En fonction des postes occupés

Quelle que soit l'évolution du jeu depuis 40 ans, les défenseurs centraux sont ceux qui parcourent le moins de distance, une seule étude (1998-1999) présentant des résultats inverses (8696 *vs.* 7736m) (**figure 2**). Les défenseurs latéraux présentent en moyenne des distances parcourues supérieures aux défenseurs centraux et aux attaquants, sans toutefois atteindre celles des milieux de terrain. Les quelques études les distinguant (milieux axiaux *vs.* excentrés) ne confirment pas de différences marquées d'activité entre les deux postes.

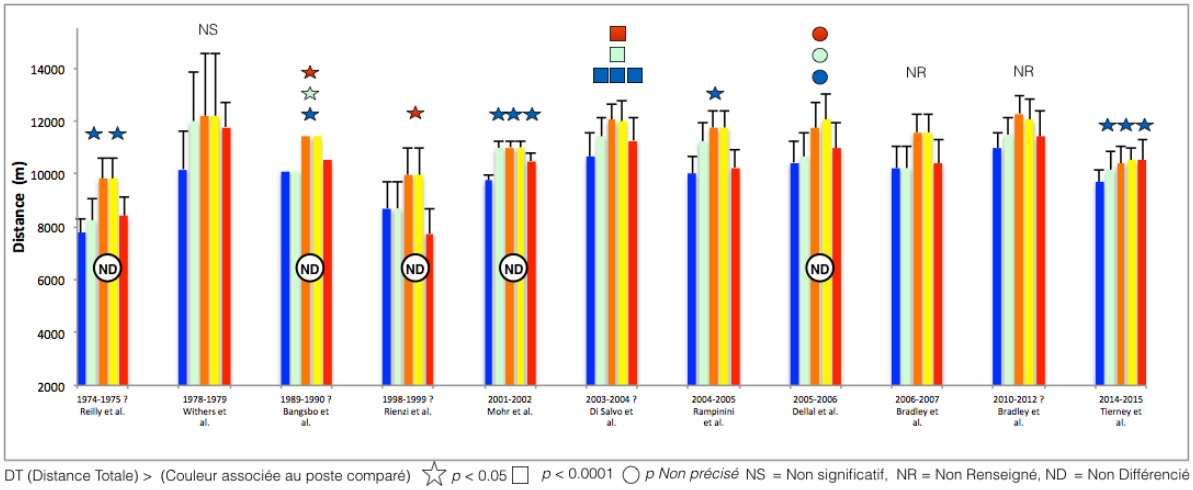


Figure 2: Comparatifs des distances parcourues en fonctions des postes depuis 1974 (barre bleue=défenseurs centraux, barre verte=défenseurs latéraux, barre orange=milieux axiaux, barre jaune=milieux excentrés, barre rouge=attaquants)

Les défenseurs centraux parcourent moins de distance que les défenseurs latéraux (9333-10980m *vs.* 10152-11474m) (**figure 3**). Cela répond à une logique de poste, les défenseurs latéraux participant, en plus de leurs tâches défensives, à l'animation du jeu dans les couloirs. En ce qui concerne les évolutions respectives de ces volumes de course depuis 1974, il est difficile d'identifier une quelconque tendance. Les valeurs varient en effet au gré des saisons et des technologies employées.

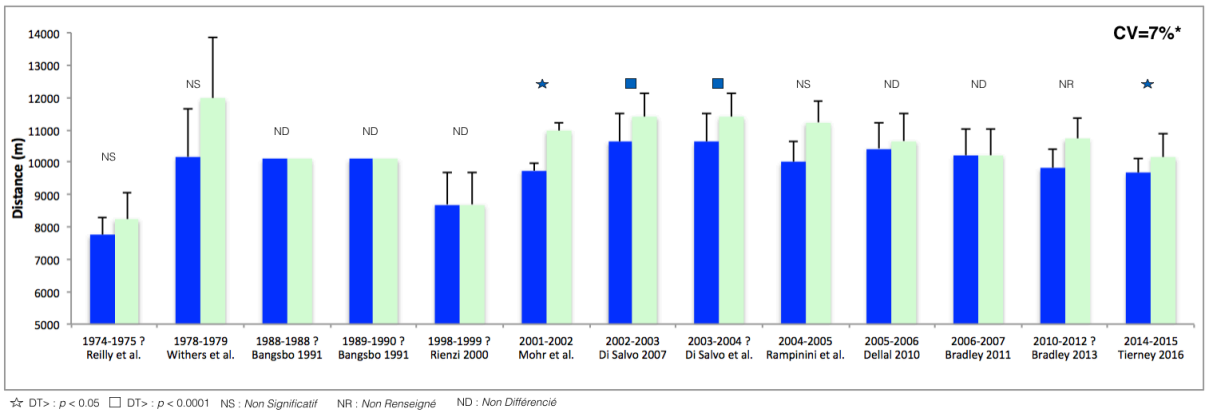


Figure 3: Principales études répertoriant les distances moyennes parcourues en match par les défenseurs depuis 1974 (barre bleue=défenseurs centraux, barre verte=défenseurs latéraux) (*) CV identiques pour les deux postes.

Etablir des comparaisons entre joueurs occupant des postes au milieu de terrain nous amène à préciser certains points. Les modes de déplacement sont bien différenciés entre les défenseurs, ce qui permet de distinguer les joueurs centraux et latéraux. En revanche, c'est beaucoup moins le cas pour les postes de milieux de terrain, surtout pour les études publiées de 1970 à 2000. Pourtant, les efforts produits par des milieux défensifs axiaux ou des joueurs excentrés pourraient être bien différents dans certaines animations. Les études récentes font toutes la distinction entre les postes de milieu de terrain axial et excentré (Bradley *et al.*, 2011; Bradley *et al.*, 2013; Dellal, 2010; Di Salvo *et al.*, 2007). Si d'une manière générale, les milieux de terrain affichent des distances supérieures aux défenseurs et aux attaquants (moyennes 11300 *vs.* 10095 et 10374 m, respectivement), il ne semble pas y avoir de différence sur ce critère de volume, entre les positions axiale ou excentrée.

Les attaquants affichent des distances parcourues de valeurs très inégales selon les études, notamment pour celles des saisons 1974-1975 et 1998-1999. Cela est probablement lié aux technologies employées, les valeurs étant beaucoup plus faibles lors de la période 2002-2014, malgré l'emploi de systèmes d'observation plus sophistiqués. Une seule étude à notre connaissance a distingué les deux postes en attaque, à savoir un attaquant de profondeur, et un attaquant de soutien (Suarez-Arrones *et al.*, 2015). Cela n'est pas sans incidence sur les types d'efforts réalisés, puisque que les valeurs relevées affichent un delta de 774m, soit 6,7% (11493 *vs.* 10719m) entre les deux fonctions. Au final, les attaquants parcourent en moyenne 10374m lors d'un match de football, les distances évoluant en fonction du système et de l'animation offensive de l'équipe.

1.1.1.4 Distances moyennes parcourues d'une mi-temps à l'autre

Une approche comparative des distances parcourues en première et deuxième mi-temps, depuis les années 70, permet de constater une baisse des volumes réalisés en deuxième mi-temps (**figure 4**). Ces écarts sont compris entre 0,4 et 3,2%, ce qui représente en moyenne 283,56±104m. Les plus gros écarts ont été constatés par Barros *et al.* (7,1%), lors d'observations sur trois saisons, dans le

championnat national brésilien (2001-2004) (Barros *et al.*, 2007). Nous pouvons émettre l'hypothèse que le niveau de compétition plus faible qu'en Europe, corroboré par un niveau de condition physique moins élevé des joueurs, pourrait être responsable de cet écart plus important par rapport aux autres études.

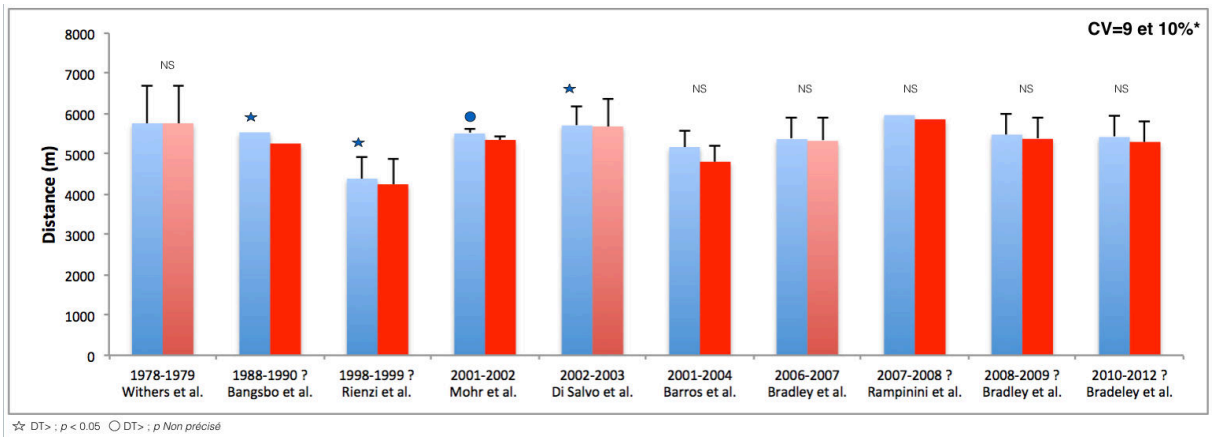


Figure 4: Comparaisons des distances parcourues en compétition entre la 1 ère et la 2ème mi-temps depuis 1978 (barre bleue=1 ère mi-temps, barre rouge=2 ième mi-temps) (*) CV pour les 1 ère et 2 ième mi-temps respectivement.

De ce point de vue, plusieurs scientifiques ont observé que les joueurs présentant le meilleur niveau d'aptitude sur le plan aérobie étaient moins sujets aux baisses de volume de course (Helgerud *et al.*, 2001; Tumilty, 1993). Par ailleurs, Mohr *et al.* ont comparé les distances parcourues par deux groupes de joueurs de haut niveau participant à des championnats européens, différenciés par leurs compétitions, leur nombre d'internationaux et le classement FIFA de leur équipe nationale respective (rang 1-10 *vs.* 10-20) (Mohr *et al.*, 2003). Les joueurs appartenant aux équipes nationales du top 1-10 parcouraient plus de distance et ne présentaient pas de différences significatives entre les deux mi-temps, contrairement au deuxième groupe. Rienzi *et al.* font les mêmes observations pour des internationaux australiens en comparaison avec des joueurs professionnels de Premier League (Angleterre) (Rienzi *et al.*, 2000), tout comme Bradley *et al.* au sujet de performances réalisées entre des joueurs internationaux et ceux qui ne le sont pas (Bradley *et al.*, 2010).

L'analyse détaillée de nos études supports, en fonction des postes, amène elle aussi à constater peu d'écart entre les distances parcourues entre les deux mi-temps. Si Bradley *et al.* notent quelques écarts de valeurs entre les défenseurs latéraux et centraux, de l'ordre de 2,10 à 3,3%, (Bradley *et al.*, 2011; Bradley *et al.*, 2013), ces derniers restent cependant isolés. De manière surprenante, ces études ne constatent aucune baisse de performance pour les milieux de terrain, ce qui soutient l'hypothèse que le joueur de haut niveau est de mieux en mieux préparé, en particulier pour les postes les plus exigeants.

Paramètre de Volume: Ce qu'il faut retenir

- *Le paramètre **Volume** peut être identifié par la **distance totale parcourue**, ou par la **distance en zone de vitesse**, mais aussi par la **somme des accélérations et/ou de sprints***
- *Les **distances** moyennes parcourues par les équipes **n'ont pas augmenté** significativement depuis **40 ans**, affichant une valeur moyenne de **10880m***
- *Les valeurs de distances parcourues par les **défenseurs** semblent pour leur part en **légère augmentation**, ce qui pourrait s'expliquer, en partie, par l'adoption généralisée de la défense de zone, induisant une participation accrue sur le plan offensif des défenseurs latéraux*
- *Les **milieux de terrain** sont les joueurs qui **parcourent les plus grandes distances**, indépendamment de leur position axiale ou excentrée*
- *Les **attaquants** parcourent **plus de distances** que les **défenseurs axiaux** mais **moins** que les **défenseurs latéraux***
- *Des écarts de **distances parcourues d'une mi-temps à l'autre** apparaissent, mais semblent se **réduire** depuis une vingtaine d'années, ce qui pourrait témoigner **d'une progression** des joueurs sur **le plan athlétique***
- *Ces **résultats** sont à **interpréter avec précaution**, tributaires des systèmes de recueil des données, des systèmes de jeu employés, tout comme les consignes technico-tactiques prodiguées*

1.1.2 Paramètre Intensité des exercices en football

Lorsque l'on tente d'analyser la performance sportive, l'intensité est la variable la plus complexe à appréhender. Ainsi, les auteurs s'appuient sur différents marqueurs (Banister, 1991; Desgorces *et al.*, 2007; Edwards, 1993; Foster *et al.*, 2001; Mujika *et al.*, 1995) en fonction de l'activité sportive évaluée. L'intensité maximale peut être mesurée par exemple en $km.h^{-1}$ pour un sprint sur 100m, en watts lors d'un test d'évaluation physiologique jusqu'à épuisement sur ergomètre, en kg lors d'une épreuve de musculation ou grâce à un pourcentage de FC lors d'un effort d'endurance. La difficulté augmente lorsqu'il s'agit d'évaluer, avec la même unité de mesure, différents types d'efforts présents dans un même programme d'entraînement.

1.1.2.1 Fréquence cardiaque

La FC a été longtemps définie, lors des efforts continus d'endurance, comme le principal paramètre d'intensité, de par son étroite relation avec la consommation maximale d'oxygène (Achten and Jeukendrup, 2003; Arts and Kuipers, 1994; Robinson *et al.*, 1991). Ainsi, de nombreux sportifs s'entraînent selon des zones de FC propres à leurs objectifs (McArdle *et al.*, 1969). Au regard des groupes musculaires engagés dans les actions de football, cette relation FC-$\dot{V}O_2$ laisse supposer que la FC est un indicateur fiable d'estimation du niveau de sollicitation de $\dot{V}O_2max$ en football (Bangsbo, 1994b; Esposito *et al.*, 2004; Hoff *et al.*, 2002). Si de très nombreux auteurs continuent d'utiliser des pourcentages de FC max en valeur absolue, il semblerait largement préférable d'utiliser la FC de réserve (Karvonen *et al.*, 1957).

En football, de nombreuses études mesurent ce paramètre en compétition et s'accordent sur des valeurs moyennes de FC, comprises entre 80 et 90% de FCmax (Bangsbo, 1994b; Ekblom, 1986; Helgerud *et al.*, 2001; Mohr *et al.*, 2004; Stroyer *et al.*, 2004). Il est intéressant d'observer que les FC sont comprises entre 70 et 90 de la FCmax pendant 65% du temps de jeu et semblent fluctuer tout au long du match (Dellal, 2012). Des baisses sont également observées entre les deux mi-temps. Thatcher *et al.* signalent des FC moyennes qui évoluent de 170±10 à 163±8 bpm (battements par minute), soit de 85 à 81% de la FC max (Thatcher and Batterham, 2004). On observe par ailleurs, des valeurs moyennes supérieures chez les milieux de terrain, suivies par celles des attaquants puis des défenseurs. Cela pourrait être corrélé aux exigences spécifiques du poste, les joueurs du milieu de terrain parcourant les plus grandes distances en compétition, ainsi que celles effectuées à haute intensité (Bangsbo, 2002). Bujnovsky *et al.* évaluent à 21,8±7,8% le temps passé au seuil anaérobie, et à 61,9% si l'on comptabilise le temps passé au-dessus de ce dernier (Bujnovsky, 2015).

Une des limites principales de la FC est liée à son temps d'inertie qui ne lui permet pas d'évaluer avec précision les efforts intermittents et/ou supra-maximaux (sprints, sauts), qui caractérisent également le football de haut niveau.

1.1.2.2 La lactatémie

Dans de nombreuses activités physiques, la lactatémie est utilisée comme un marqueur qui reflète les variations d'intensité (Mujika *et al.*, 1996). Le dosage du lactate est réalisé à partir de micro-prélèvements sanguins, à l'oreille ou à la pulpe du doigt. Si les contraintes logistiques étaient un frein dans les années 80, les analyseurs portatifs (*i.e.* Lactate Pro2, LT1730^{TM}, Arkray, Kyoto, Japon) permettent aujourd'hui une grande facilité d'utilisation sur le terrain. Cependant, le coût des prélèvements est important, et l'utilisation au quotidien de ces outils reste difficile au regard des conditions météorologiques variables dans les sports collectifs comme le football.

Concernant les concentrations de lactate sanguin en compétition, les valeurs moyennes sont comprises entre 7 et 12,8 mmol.L^{-1} (Bangsbo, 1994a; Ekblom, 1986; Green, 1992). Ces concentrations sont corrélées positivement aux distances effectuées et intensités soutenues avant le prélèvement (Bangsbo, 1994b), ce qui justifie les sensibles écarts de valeurs entre les individus et leur poste respectif. Ce point est confirmé par plusieurs études qui observent par ailleurs des diminutions conjointes des distances parcourues en 2ème mi-temps avec les concentrations de lactate sanguin (Mohr *et al.*, 2003; Reilly and Thomas, 1976).

1.1.2.3 La cotation de la perception de l'effort (RPE : Rating of Perceived Exertion)

La cotation de la perception de l'effort (RPE) est basée sur le principe d'une évaluation à partir d'échelles normées. Dès 1960, des recherches ont été conduites pour mettre en relation la perception de l'effort physique et la fatigue avec l'adaptation aux charges de travail (effort musculaire sur ergomètre), pour des sujets sains mais aussi pour ceux atteints de pathologies (Borg, 1960). Les interactions entre cognition, perception, processus métaboliques et environnementaux sont validées scientifiquement (Eston, 2012). Ces échelles ont été élaborées à l'origine à partir de la relation perception de l'effort-fréquence cardiaque. En 1970, Borg propose une échelle qui va servir de modèle pendant près de 30 ans (Borg, 1970). **Quinze graduations** la caractérisent, évoluant de manière linéaire avec l'augmentation de l'intensité du travail. Cette augmentation est calquée sur celle de la consommation maximale d'oxygène avec la FC. L'atout majeur de cette échelle est qu'elle présente de hautes corrélations avec de nombreuses variables physiologiques, comme par exemple la lactatémie (r=0,80 à 0,90). En 1982, Borg apporte une évolution à son échelle perceptive, **graduée cette fois de 0 à 10** (The Borg CR10-Scale). De part les qualités métriques de ces échelles, le RPE est plutôt utilisé pour des corrélations avec la FC alors que la CR-10 l'est pour des corrélations avec la

lactatémie. L'échelle CR-10 permet des comparaisons interindividuelles (ce qui n'était pas possible avec la première, chaque graduation exprimant une valeur absolue de FC non individualisée), tout comme l'échelle RPE, les individus s'évaluant sur un continuum entre un minima (6) et un maxima (20). L'échelle CR-10 se voit rajouter un point (•) après 10, permettant au sujet de coter au-delà (11, 12…) si, lors du test, l'effort consenti dépasse celui jamais ressenti auparavant. Ainsi, cette échelle est destinée à surmonter les effets de « plafonnement » qui peuvent être associés à l'échelle RPE conventionnelle et à incorporer les qualités d'une échelle de rapport.

Les deux échelles (Borg RPE et CR10), présentent de fortes corrélations et peuvent être utilisées indifféremment, à condition toutefois d'appliquer une équation de pondération (Borg, 2006) :

$$RPE=6 + 2.8\ (CR10-0.3)^{0.79}$$

Equation 1: Equation de pondération entre échelles RPE et CR10

Des échelles perceptives spécifiques ont fait l'objet par ailleurs d'autres travaux de recherche, notamment sur la capacité individuelle à estimer le temps d'effort jusqu'à épuisement (**E**stimation du **T**emps **L**imite) (Garcin *et al.*, 2011; Garcin *et al.*, 1999). Au début des années 2000 leur utilisation qui jusqu'alors se limitait aux exercices sous-maximaux s'est étendue aux exercices de musculation et de sport collectifs, dont le football (Casamichana *et al.*, 2013a; Day *et al.*, 2004; Foster *et al.*, 2001; Impellizzeri *et al.*, 2004; Lagally *et al.*, 2002). Il est à noter que, jusqu'alors, ces cotations étaient surtout enregistrées lors d'exercices progressivement accélérés (tests de type triangulaires). Par la suite, le RPE a été ensuite appliqué en cours ou en fin d'exercice, en conservant l'idée que ces cotations étaient toujours témoins de l'intensité d'exercice. A la suite de cette évolution, de nombreux auteurs ont pu remarquer que les RPE en cours ou en fin d'exercice décrivaient davantage le volume relatif à une intensité donnée, ou la distance qu'il restait à parcourir par les sportifs plus que la seule intensité (Joseph *et al.*, 2008; Noakes, 2008). Il semble probable que pour les exercices intermittents, la fréquence des exercices ait également une influence sur les RPE. De manière assez surprenante, les rares publications sur le sujet ne rapportent pas d'influence franche du rapport travail/récupération sur RPE (Crewe *et al.*, 2008; Edwards *et al.*, 2011; Joseph *et al.*, 2008; Noakes, 2008; Seiler and Hetlelid, 2005). Par conséquent, la RPE qui à l'origine était prise comme un indicateur de l'intensité d'exercice semble désormais décrire la combinaison des paramètres de l'exercice réalisé.

1.1.2.4 Les vitesses de course

Les outils de mesures

L'analyse des déplacements des joueurs par **le tracé à la main sur plan** caractérise la période 1970-1980. Les observateurs utilisent parfois en complément la vidéo (Reilly and Thomas, 1976), et/ou audio, avec un nécessaire étalonnage des données après-match (Withers, 1982). Si les résultats

principaux sont présentés en % de la distance totale parcourue, les scientifiques ne définissent pas encore de zones de vitesses spécifiques chiffrées. Les vitesses sont désignées par des termes génériques, « Cruising » ou « Striding », pour faire référence à des courses réalisées avec un « objectif réel d'effort » (Reilly and Thomas, 1976; Rienzi *et al.*, 2000; Withers, 1982). Remarquons que selon ces études, la même mention « Cruising », peut présenter des valeurs de distance du simple au double (903 *vs.* 1506 m), ce qui laisse à penser que les vitesses associées pourraient être différentes, malgré la même dénomination. L'intensité est aussi reliée, dans certains cas, aux valeurs de foulées spécifiques (Withers, 1982).

L'utilisation des **systèmes de caméras manuelles** se généralise au cours des années 80. Grâce aux progrès informatiques, les vitesses de courses sont définies en zones spécifiques ou en valeurs cibles (Bangsbo *et al.*, 1991; Mohr *et al.*, 2003) (**tableau 2**), même si des études persistent encore à utiliser des classifications basées sur des mentions subjectives, comme « vitesse haute mais pas maximale » (Rienzi *et al.*, 2000). Limite de ces études, les résultats sont exprimés le plus souvent en pourcentage de temps passé dans les zones et pas toujours en pourcentage de la distance totale parcourue.

Dénomination du type de d'effort	Vitesse ($km.h^{-1}$)
Debout	0
Marche	6
Jogging	8
Course arrière	10
Course à vitesse lente	12
course à vitesse modérée	15
Course à haute vitesse	18
Sprint	30

Tableau 2: Dénominations des types d'efforts et vitesses associées (Bangsbo 1991; Mohr 2003)

Au début des années 2000, des **systèmes vidéos professionnels semi-automatiques** sont installés à demeure dans les stades, à l'image des solutions Amisco Pro® et Prozone Sports Ltd®, deux grands concurrents au niveau européen. Ces deux systèmes proposaient une nomenclature identique mais des bornes de vitesses différentes (**Tableau 3**). Notons que ces deux entreprises ont fusionné en 2011 au sein du groupe « Stats ».

Dénomination du type d'effort	Vitesse ($km.h^{-1}$)	
	Amisco Pro®	***Prozone Sports Ltd®***
Debout	0	0-0,6
Marche	0-11	0,7-7,1
Course à vitesse lente	11,1-14	7,2-14,3
Course à vitesse modérée	14,1-19	14,4-19,7
Course à haute vitesse	19,1-23	19,8-25,1
Sprint	> 23	> 25,1

Tableau 3: Appellations et zones de vitesse proposées par les systèmes Amisco Pro® et Prozone Sports Ltd®

Les systèmes GPS présentent l'avantage de fournir de nouvelles informations qualitatives, comme le nombre d'accélérations et de décélérations, le nombre de changements de direction et le nombre de

sauts. Si les seuils de ces efforts d'intensité maximale sont parfois personnalisables, il n'existe pas en revanche aujourd'hui de consensus sur des valeurs communes, chacun les définissant en fonction de sa sensibilité (Akenhead and Nassis, 2015). Autorisés depuis peu en compétition, les GPS devraient fournir de nouvelles et précieuses informations dans les futures publications scientifiques (Suarez-Arrones *et al.*, 2015).

1.1.2.5 Les indicateurs d'intensité

Des zones de vitesse définies en fonction des technologies

Toutes les publications définissent les zones de vitesse sur la base de mentions, distinguant les déplacements en différentes catégories : position debout, marche, courses « jogging », courses modérées, haute et très haute intensité, et sprints. Certains prennent en compte également dans leur protocole les courses arrières et les déplacements latéraux (Rienzi *et al.*, 2000). Les vitesses de courses exprimées en **km.h^{-1}** sont associées à ces appellations.

Les zones des vitesses ne sont pas toujours définies par les auteurs selon les mêmes critères, en fonction des moyens techniques employés (Bangsbo *et al.*, 1991; Reilly and Thomas, 1976; Rienzi *et al.*, 2000). Ainsi, certains associent le terme de « **haute intensité** » à des vitesses supérieures à **14,4 km.h^{-1}** (Bradley *et al.*, 2011; Bradley *et al.*, 2013), alors que pour d'autres, elles ne concernent que les vitesses supérieures à **21 km.h^{-1}** (Dellal, 2010). Autre exemple, celui des efforts qualifiés de « **sprints** ». On retrouve des valeurs hétérogènes pour la borne inférieure : **18 km.h^{-1}** (Mohr *et al.*, 2003), **21 km.h^{-1}** (Suarez-Arrones *et al.*, 2015), **23 km.h^{-1}** (Di Salvo *et al.*, 2007) et **25,2 km.h^{-1}** (Bradley *et al.*, 2011; Bradley *et al.*, 2013; Di Salvo, 2009; Rampinini *et al.*, 2007a). Remarquons pour finir, que le système Amisco Pro® ne semble pas toujours fixer cette borne au même niveau (23,1 *vs.* 24,1 km.h^{-1}) (Dellal, 2010; Di Salvo *et al.*, 2009), ce qui pourrait s'expliquer, soit par une personnalisation des vitesses, sur demande du staff, soit en raison d'une version du logiciel différente.

Remarquons, de manière surprenante, que les zones de vitesse ne sont jamais individualisées en fonction des caractéristiques physiques et physiologiques des joueurs. Des vitesses relatives aux capacités individuelles permettraient une meilleure expertise et connaissance des exigences aux postes. Dans cette logique, les données pourraient être rapportées à des pourcentages individuels de VMA, de vitesse maximale, d'endurance limite ou exprimées en pourcentages des données références de compétition.

Pour nos comparaisons entre études, nous avons fait le choix de retenir 2 zones principales de vitesse, communes à la majorité d'entre elles, qui utilisent par défaut les bornes d'intensités proposées par les fabricants de GPS:

1) Zone de « haute intensité » : entre **14 km.h^{-1} et 19 km.h^{-1}** (Barros *et al.*, 2007; Bradley *et al.*, 2011; Bradley *et al.*, 2013; Di Salvo *et al.*, 2007; Lago, 2010).

Elle se justifie de par sa zone inférieure, proche de la vitesse moyenne au seuil aérobie des joueurs professionnels (Green, 1992; Kindermann, 1993), et également parce que la borne supérieure se rapproche de celle des valeurs de VMA des joueurs de très haut niveau (Le Gall, 2002a).

2) Zone de « très haute intensité » : **au-dessus de 19 km.h^{1}** (Barros *et al.*, 2007; Bradley *et al.*, 2013; Dellal *et al.*, 2010; Di Salvo *et al.*, 2007; Di Salvo, 2009; Lago, 2010). Elle intègre les valeurs de sprints lorsqu'elles sont précisées.

Des ratios pour témoigner du paramètre d'intensité

Dans l'optique d'opérer des comparaisons entre études, nous avons choisi des échantillons de population conséquents (de 153 à 300). Les équipes étudiées sont toutes professionnelles (1 ère division de leur pays respectif) et appartiennent aux meilleurs championnats au monde (Espagne, Italie, France, Angleterre).

* Zones de « haute intensité » (14-19 km.h^{-1})

La mise en perspective d'une distance parcourue à une certaine intensité, au regard de la distance totale effectuée est possible en utilisant des ratios spécifiques. La distinction entre « haute et très haute intensité » étant faite dans les études retenues, avec les limites d'usage déjà évoquées, il est ainsi possible d'observer l'évolution de l'intensité des efforts en compétition sur plusieurs années.

La valeur moyenne du ratio des efforts à haute intensité est de **0,10** pour la période 1978-1999 (**tableau 4**). Celle relative à la période 2001-2011 reste stable, avec une valeur moyenne de **0,15**, supérieure cependant à la précédente.

Depuis 2015, les GPS sont autorisés en compétition par la FIFA[3], ce qui permet d'avoir accès à de nouvelles informations. Cette technologie récente offre les mêmes critères d'analyse que les systèmes automatiques multi-caméras, à savoir les distances parcourues par zone de vitesse spécifique, mais aussi de nouveaux paramètres comme les accélérations et décélérations. Le ratio des efforts à « haute intensité » est en nette progression par rapport à la période 2002-2011 (**0,19** *vs.* **0,15**), mais ne peut être comparé avec les autres études, puisque les bornes de vitesse GPS sont plus basses (**13-18 *vs.* 14-19 km.h^{-1}**), surestimant logiquement, de près de 18%, la distance totale parcourue à cette intensité (**tableau 5**).

[3] Fédération Internationale de Football Association

Références	Saison sportive	Profil Equipe	n	Moyenne distance totale (m)	Distance « Haute intensité » (HI) (14-19 km.h^{-1})	Distance « Très haute intensité » (THI) (Moy : > 19 km.h^{-1})	Distance cumulée en sprint (compris dans THI) (km.h^{-1})	Distance moyenne en sprint	Ratio D.relative « Haute intensité »	Ratio D.relative « Très haute intensité »	Ratio vitesse relative (m.min^{-1})
Bradley.P et al. (2013) Prozone Sports Ltd®	*2010-2011*	*Angleterre Division 1*	*190*	*10722*	*(14,4-19,7) 1711*	*(> 19,8) 929*	*(>25,2) 248*		*0,16*	*0,08*	*119,13*
Bradley.P et al. (2011) Prozone Sports Ltd®	*2006-2007*	*Angleterre Division 1*	*153*	*10697*	*(14,4-19,7) 1695*	*(> 19,8) 927*	*NR*		*0,15*	*0,08*	*118,85*
Dellal.A et al.(2010) Amisco Pro®	*2005-2006*	*France Division 1*	*3540*	*11213*	*NR*	*(> 21) 418*	*>24 237*			*0,03**	*124,58*
Lago et al (2010) Amisco Pro®	*2005-2006*	*Espagne Division 1*	*27*	*10971*	*(14,1-19) 1702*	*(> 19,1) 823*	*(> 23 262*		*0,15*	*0,07*	*121,9*
Rampinini.E et al. (2007) Prozone Sports Ltd®	*2004-2005 ?*	*Europe Division 1*	*188*	*10827*	*(14,4-19,7) 1715*	*(> 19,8) 821*	*NR*		*0,15*	*0,07*	*120,30*
Di Salvo. V et al. (2009) Prozone Sports Ltd®	*2003-2006*	*Angleterre Division 1*	*7355*	*NR*	*NR*	*(> 19,8) 908*	*(>25,2) 228*			*NR*	*NR*
Di Salvo. V et al. (2007) Amisco Pro®	*2002-2004*	*Espagne Division 1*	*300*	*11393*	*(14,1-19) 1754*	*(> 19,1) 950*	*(> 23) 343*	*19,3±3,2 m*	*0,15*	*0,08*	*126,5*
Barros. R.M.L et al. (2007) DVideo®	*2001-2004*	*Brésil Division 1*	*55*	*10012±1024*	*(14,1-19) 1731±399*	*(> 19,1) 1128*	*(> 23) 437±171*		*0,17*	*0,11*	*111,24*
Moyennes				***10833***					***0,15***	***0,08***	***120,35***
Mohr.M et al.(2003) Caméra manuelle	*2001-2002 ?*	*Italie 1 ere Division*	*42*	*10860*	*NR*	*(> 18.1) 650*	*343*			*0,05*	*120,66*
Rienzi.E et al.(2000) Caméra manuelle	*1998-1999 ?*	*Australie Angleterre Division 1*	*23*	*10104±703*	*(« Cruising ») 903*	*(« Sprinting ») 368*	*ND*		*0,08*	*0,03*	*112,26*
Bangsbo.J et al. (1991) Caméra manuelle	*Non précisé 1988-1990 ?*	*Danemark Division 1+2*	*14*	*10800*							*120*
Withers.R.T et al. (1982) Caméra manuelle	*1978-1979*	*Australie Division 1*	*20*	*11527*	*(« Cruising ») 1506±584*	*(« Sprinting ») 666±311*	*ND*		*0,13*	*0,05*	*128,07*
Moyennes				***10822***					***0,10***	***0,04***	***120,24***
Reilly.T & Thomas.V (1976) Mapping	*1974-1975 ?*	*Angleterre Division 1*	*40*	*8680*	*(« Cruising ») 1810±411*	*(« Sprinting ») 974±246*	*ND*		*0,20*	*0,11*	*96,44*

Tableau 4: Présentation chronologique des études avec leurs données spécifiques d'intensité de 1974 à 2011 (*)>21km.h^{-1}

Références	Saison sportive	Profil Equipe	n	Moyenne distance totale (m)	Distance « Haute intensité » (HI) (14-19 km.h^{-1}) (m)	Distance « Très haute intensité » (THI) (Moy : > 19 km.h^{-1}) (m)	Distance en Sprints (compris dans THI) (m)	Index spécifiques (m)	Ratio des efforts à « Haute intensité »	Ratio des efforts à « Très haute intensité »	Distance relative (m.min^{-1})
						> 19,8 km.h^{-1}		HMLD			
Tierney.P.J et al (2016) GPS Stat sports®	*2014-2015*	*4-4-2*	*46*	*10131±583*	*NR*	*497±75*		*1568±257*		*0,04*	*112,56*
		4-3-3		*10284±879*	*NR*	*514±204*		*1828±518*		*0,05*	*114,26*
		3-5-2		*10528±565*	*NR*	*642±215*		*2025±304*		*0,06*	*116,97*
		3-4-3		*10168±449*	*NR*	*551±171*		*1855±301*		*0,05*	*112,97*
		4-2-3-1		*10044±538*	*NR*	*538±174*		*1849±301*		*0,05*	*111,6*
Moyennes				***10231***						***0,05***	***113,67***
					13,1-18 km.h^{-1}	*> 18,1 km.h^{-1}*	*> 21 km.h^{-1}*	Effindex			
Suarez-Arroges.L et al. (2015) GPSports® Pro SPI X	*2013-2014 ?*	*Espagne Division 1*	*348*	*10672**	*2092*	*1032*	*457*	*1,4*	*0,19**	*0,09*	*118,24*

HMLD (High Metabolic Load Distance) =THI + accélérations + décélérations > 2 m/s2 Effindex = (moy Vitesse Relative/moy %FCmax)

Tableau 5: Valeurs d'équipe pour les distances de « haute et très haute intensité », de 2013 à 2015, Système GPS (GPSports® SPI Pro X et GPS Stat sports®)

L'étude de Suarez *et al.* présente les données d'intensité en distance et/ou vitesse relative, mais ne porte que sur une seule mi-temps (Suarez-Arrones *et al.*, 2015). Les valeurs sur 90 minutes que nous présentons sont donc extrapolées à partir des données des 45 premières.

* Zones de « très haute intensité » (>19 km.h^{-1})

Le ratio des efforts à « très haute intensité » dans cette zone est de **0,04** pour la période 1978-2002 (**tableau 4**). Remarquons que les valeurs d'équipes sont très différentes entre les deux études qui emploient le même terme de « Sprinting » pour désigner la « très haute intensité » (666 *vs.* 368m). On peut supposer que les valeurs moyennes, différentes de 1978 à 2001, sont principalement liées aux technologies d'observation employées.

Le ratio pour cette zone est également stable de 2001 à 2011, avec une valeur moyenne de **0,08**. Nous n'avons pas retenu dans notre calcul moyen le ratio de l'étude de Dellal *et al.*, qui est logiquement plus bas (0,03), puisque la borne supérieure est de 21 km.h^{-1}, soit 1,2 km.h^{-1} plus élevée que les autres systèmes d'observation. Cette valeur moyenne de ratio est en hausse par rapport à la période 1978-2001 (**0,08** *vs.* **0,04**).

Pour l'analyse des ratios de « très haute intensité » avec la technologie GPS, nous sommes confrontés aux mêmes limites, à savoir des bornes de « très hautes intensités » définies de manière arbitraire. Les résultats de Tierney *et al.* sont présentés à partir des valeurs de bornes spécifiques aux GPS Stats sports® (**19,8 km.h^{-1}**) (Tierney *et al.*, 2016), différentes de celles des unités GPSports® (**18,1 km.h^{-1}**). Logiquement, les valeurs des ratios sont différentes entre les études (**0,05** *vs.* **0,09**), et difficilement comparables avec les valeurs de la période 2002-2011.

Vitesse (m.min^{-1})

Les « m.min^{-1} », issus des mesures GPS, sont largement rapportés et utilisés dans la littérature scientifique. Cette unité est identifiée le plus souvent comme un marqueur d'intensité du jeu ou d'un exercice d'entraînement (Akenhead *et al.*, 2016; Bartlett *et al.*, 2016; Marrier *et al.*, 2016), et permet de comparer les performances de joueurs en compétition, notamment lorsque les temps de jeu sont différents. Nous pouvons remarquer que les valeurs en match semblent inchangées lors des dernières décennies (**120,24** *vs.* **120,35** m.min^{-1}) (**tableau 4**). Notons que ce marqueur peut être également associé à RPE pour être interprété comme un ratio spécifique d'intensité (Buchheit *et al.*, 2016).

Cette unité, calculée par le rapport entre la distance cumulée et le temps de la séquence observée, est par définition une vitesse, mais peu tout autant être interprétée comme un marqueur de volume. En effet, elle témoigne d'un volume de course lors d'une période où les durées d'efforts et de récupération varient. Ainsi, les comparaisons de séquences de travail intégrant des efforts de sprints

ou de force-vitesse, associés à des temps de récupération importants, pourraient présenter des valeurs très inférieures par rapport à des exercices d'endurance d'intensité modérée, suggérant que l'intensité de l'effort est plus basse en sprint qu'en endurance, ce qui semble pour le moins discutable. En résumé, cet indicateur d'intensité pourrait être pertinent afin de comparer des exercices d'une même famille (jeux réduits, exercices techniques), mais présenterait toutefois des limites pour effectuer des comparaisons entre familles d'exercices de nature différentes (endurance *vs.* force, vitesse).

Les accélérations

En dehors de quelques études minoritaires qui continuent à utiliser la FC pour analyser les charges d'entraînement des joueurs en compétition (Bujnovsky, 2015), les entraîneurs de football, en quête de précision, se sont tournés vers les systèmes GPS qui offrent depuis le début des années 2000, de nouvelles options (Coutts and Duffield, 2010; Jennings *et al.*, 2010; Varley *et al.*, 2012; Witte and Wilson, 2004). Ils permettent en effet de catégoriser les efforts en zone de vitesse, en distinguant ceux de sprints, de courses proches de VMA, mais aussi ceux beaucoup plus courts, telles les accélérations et décélérations. Les entraineurs peuvent ainsi évaluer l'intensité des séances ou des matchs, en comptabilisant le nombre de ces différents efforts, et/ou en utilisant des **ratios spécifiques**, combinant intensité et volume (Rienzi *et al.*, 2000; Suarez-Arrones *et al.*, 2015; Withers, 1982). Il est possible d'exprimer, comme nous l'avons vu, l'intensité en vitesse/distance relative exprimée en $m.min^{-1}$ (Buchheit *et al.*, 2013a; Suarez-Arrones *et al.*, 2015). Récemment, un nouvel indice a été proposé, le **HMLD** (High Metabolic Load Distance), regroupant les courses supérieures à 19,8 $km.h^{-1}$ ainsi que toutes les accélérations et décélérations supérieures à $2m.s^{-2}$ (Tierney *et al.*, 2016). Un autre ratio de performance (**Effindex**) a été proposé afin d'évaluer l'intensité des performances physiques d'arbitres professionnels, sur la base de la relation entre charge interne et charge externe (Barbero-Alvarez *et al.*, 2012; Suarez-Arrones *et al.*, 2013). Calculé à partir de la moyenne de vitesse relative en $m.min^{-1}$/moyenne de l'intensité de l'exercice en % de FCmax, ce ratio a été également utilisé pour évaluer les performances de footballeurs professionnels (Suarez-Arrones *et al.*, 2015).

Paramètre d'Intensité: Ce qu'il faut retenir

- *Les ratios des efforts réalisés par les équipes à « **haute intensité** » (14-19 km.h^{-1}) semblent en progression depuis les années 70 (ratios moyens = **0,10 vs. 0,15**)*
- *Cela semble est également le cas pour ceux de « **très haute intensité** » (>19 km.h^{-1}) (ratios=**0,04 vs. 0,08**)*
- *En revanche, le ratio en vitesse/distance relative reste stable depuis 40 ans (**120 m.min^{-1}**)*
- *Les **milieux de terrain** parcourent **le plus de distance** à « **haute intensité** » (ratio = **0,17**) et **la plus grande vitesse/distance relative** (**127 m.min^{-1}**)*
- *Les **milieux excentrés** parcourent **le plus de distance à « très haute intensité »** (ratio = **0,10**)*
- *Les **systèmes de jeu** induisent des sollicitations spécifiques, qui **influencent** les **déplacements des joueurs***
- *L'outil **GPS** offre de nouvelles perspectives pour individualiser les données, en prenant en compte par ailleurs de **nouvelles variables** comme les **accélérations** et les **décélérations**, et un nouvel indice **HMLD***

1.1.3 Paramètre Fréquence des exercices en football

1.1.3.1 Définition

De manière assez surprenante, la Fréquence est peu citée lorsqu'il s'agit de définir la notion de charge d'entraînement, cette dernière étant souvent réduite aux seuls paramètres de Volume et d'Intensité (Morin, 2014). Elle est pourtant une de ses trois variables incontournables. Pendant de nombreuses années, les auteurs l'ont définie comme le **nombre de séances hebdomadaires** (Pollock, 1973; Wenger and Bell, 1986). Ainsi, une équipe professionnelle de football présente, en moyenne, une fréquence d'entraînement de 5 à 6 séances par semaine. Les études de Hill (1969) et Shepard (1968), citées par Pollock (Pollock, 1973), ont évalué l'influence de la fréquence des séances hebdomadaires sur les programmes d'entraînement. Elles ont démontré que deux ou trois sollicitations avaient autant d'effet sur le développement de la consommation maximale d'oxygène, qu'une fréquence de quatre ou cinq séances. Gettman (1977) et Hickson (1984), cités par Wenger et Bell (Wenger and Bell, 1986) ont été plus nuancés, en affirmant que l'augmentation du nombre de séances optimisait ce témoin physiologique, et que la diminution de la FC pour une même intensité d'effort était proportionnelle à la fréquence des séances d'entraînement.

La seconde définition de ce paramètre vise la **Fréquence des efforts au sein même des exercices**, cette dernière pouvant être appréhendée par des ratios spécifiques, en fonction de **la relation travail-récupération**. Ces **ratios** peuvent se traduire par des comparaisons entre **durées et/ou distances** parcourues à différentes intensités (repos /faible intensité/haute intensité) (Rienzi *et al.*, 2000), à partir de **deux bornes de vitesse** ou de la comptabilisation de **séquences** associant des efforts d'intensité minimale couplés avec une durée de récupération définie (Suarez-Arrones *et al.*, 2015). La fréquence peut se traduire également par le **nombre d'efforts** à une certaine intensité au regard d'une durée d'exercice.

Les systèmes GPS permettent aujourd'hui la quantification des sprints, accélérations et décélérations, ce qui était rarement le cas avec les systèmes vidéo classiques. En effet, à notre connaissance, une seule étude s'appuyant sur un système multi-caméras a fait la distinction entre sprint et accélération (Di Salvo *et al.*, 2009). Cette dernière a considéré comme accélération (ou « sprint explosif »), toute course qui atteint une vitesse supérieure à 25,2 $km.h^{1}$, avec une durée inférieure à 0,5s.

Si le fait de parcourir les plus grandes distances à haute et très haute intensité n'est pas le critère absolu de la performance (Di Salvo *et al.*, 2009), cela reste toutefois un déterminant qui caractérise les équipes de haut niveau (Mohr *et al.*, 2003), au même titre que la capacité à répéter des sprints et les accélérations (Di Salvo *et al.*, 2009; Girard *et al.*, 2011). Connaître avec précision la nature de la

fréquence des efforts spécifiques, en fonction des postes et des contextes, est un des enjeux majeurs pour une optimisation et une individualisation des contenus d'entraînement.

1.1.3.2 Fréquence des efforts de hautes intensités : Choix des paramètres

Le paramètre de « fréquence » a pour objectif de traduire la **notion de densité** des efforts lors d'un exercice ou d'un match, c'est à dire évaluer le rapport entre les temps d'effort et les temps de récupération. Les données GPS offrent plusieurs variables pour composer ces ratios: les sprints, les accélérations, les décélérations ou des zones de vitesse spécifique. Le peu d'homogénéité des résultats dans la littérature se caractérise par des seuils spécifiques qui ne sont pas toujours les mêmes, ce qui rend difficile les comparaisons entre études (Akenhead and Nassis, 2016).

Références	Nbre de sprints	Durée moy. sprint (s)	Tps récup moy./sprints (min)	Nbre de courses à HI	Tps de Récup/ courses HI (s)	Nbre de courses à THI	Nbre de pauses	Temps en position debout (s)	Changements de direction	Moy. du tps en position debout (s)	Nbre d'accélér.	Nbre de décélér.	ratio W/R	RSS*
											> 3m.s^{2}			
Tierney et al. (2016)											33±8	54±12		
	minim. 1s >21 km.h^{-1}										Vitesse Relative (RD)>7 km.h^{-1}/ RD<7 km.h^{-1}			RSS
Suarez-Arroges.L et al. (2015)	12,7±6,1*	2,50±0,5	4,1±2,4								2,1:1			3,1±2,9 **
				>14,4 km.h^{-1}										
Bradley.P et al. (2011)				119±38 (M)	53±22 (M)									
Rampinini et al. (2007)				14,4-19,7 km.h^{-1}		>19,8 km.h^{-1}								
				490±87		98±22							0,6:10:1	
Di Salvo et al. (2009)	minim. 0,5s >25,2 km.h^{-1}													
	32±5													
	>23 km.h^{-1}													
Di Salvo. V et al. (2007)	17,3±7,7 (3-40)													
Mohr.M et al. (2003)	> 18 km.h^{-1}			High		High+Sprint					Debout/Faible intensité/Haute intensité			
	39±2			69±5		108±3				14±0,3			4:18:1	
Rienzi et al. (2000)							267±64						3:16:1	
Bangsbo.J et al. (1991)	19	2,0		57		76							6:27:1	
											Marche/Faible intensité/Sprint			
Withers.R.T et al. (1982)								85 (14,9-198,5)	49,9±13				3:5:2	
Reilly & Thomas (1976)			90s	« Cruising » 114±16		« Sprinting » 62±15	43,4 (11-120)	143s (19-455)					3:5:1	
Knowles & Brooke (1974)	52 (4,6-59,4)												3:5:1	

*RSS (Repeated Sprint Sequence) = Minimum 2 sprints >1s avec R<60s ** valeur pour une seule mi-temps, HI (Haute Intensité), THI (Très haut intensité), W/R (Travail/Récupération), M (Moyenne)

Tableau 6: Paramètres de Fréquence relevés dans la littérature

La composante « sprint » est à prendre en compte lorsque l'on analyse les matchs de compétition, mais pourrait présenter des limites dans un contexte d'entraînement. En effet, de nombreux jeux utilisent des espaces réduits, insuffisants pour permettre la réalisation de courses longues atteignant des vitesses maximales. C'est en grande partie pour cette raison que les entraineurs utilisent d'autres paramètres, à l'image des accélérations et/ou des décélérations.

Autre limite, certains ratios de fréquence fixent une vitesse d'une durée minimale à maintenir aux seuils choisis, cette dernière étant variable de 0,5 à 1s (Di Salvo, 2009; Suarez-Arrones *et al.*, 2015) (**tableau 6**).

1.1.3.3 Proposition de ratios pour évaluer la composante Fréquence

Le ratio « travail-récupération » exprimé en % de la distance totale

Ce rapport entre temps de travail et temps de récupération est un des plus utilisés dans la littérature, à partir de trois intensités différentes, légère (marche, course arrière), modérée (jogging, running, « striding », « cruising ») et élevée (course à haute vitesse, « cruising », « sprinting ») (Knowles, 1974; Rienzi *et al.*, 2000; Withers, 1982) (**tableau 7**). Ainsi, dans les années 70, Knowles & Brooke mentionne un ratio de **3: 5: 1**, ce qui correspond à 1 mètre parcouru à haute intensité pour 5 mètres à intensité modérée et 3 mètres à faible intensité.

Références	Nature du ratio	Définition des zones d'intensité et seuils de vitesse						
Bradley.P et al. (2013) Saison 2010-2011	% Distance totale	Standing	Walking (0,7-7,1 km.h^{-1})	Jogging	Running (14,4-19,7 km.h^{-1})		High Speed.R	Sprinting > 25,1 km.h^{-1}
				39,7	16,1		6,3	2,3
			35,6	55,8			8,6	
		4 : 6 : 1						
Bradley.P et al. (2011) Saison 2006-2007 (moyennes de 3 systèmes de jeu)				39,5	16			
			36	55,5			8,5	
		4 : 6 : 1						
Di Salvo. V et al. (2007) Saisons 2002-2004	% Distance totale	Standing (0 km.h^{-1})	Walking	Jogging (11 km.h^{-1})	Low Speed Running (11-14 km.h^{-1})	M.S.R (14,1-19 km.h^{-1})	High Speed.R (19,1-23 km.h^{-1})	Sprinting >23 km.h^{-1}
					14,5	15,5	5,5	3,5
			61		30		9	
		6 : 3 : 1						
Barros.R.M.L et al. (2007) Saisons 2001-2004	% Distance totale				16,1	17,3	6,9	4,4
			55,3		33,4		11,3	
		5 : 3 : 1						
Rienzi et al. (2000) Saison 1998-1999	% Distance totale	Standing	Walking		Jogging			Cruising (Haute intensité)	Sprinting
			Forward	Backward	Forward	Backward	Sideways		
			32	6	42	2	3	11	4
			38		47			15	
		3 : 3 : 1							
Withers.R.T et al. (1982) Saison 1978-1979	% Distance totale		Backing	Walking	Jogging		Moved	Striding	Sprinting
			7,6	26,3	44,6		2,7	13	
			33,9		60,3			5,8	
		6 : 10 : 1							
Reilly & Thomas (1976) Saison 1974-1975 ?	% Distance totale		Backing	Walking	Jogging			Cruising*	Sprinting
			6,7	24,8	36,8			20,5	
			31,5		57,3			11,2	
		3 : 5 : 1							
Knowles & Brooke (1974)	% Distance	3 : 5 : 1							

Tableau 7: Paramètres de Fréquence obtenus à partir du pourcentage de la distance totale parcourue

Les deux études de Di Salvo *et al.* et Barros *et al.*, illustrant la période de 2001 à 2004, présentent des ratios très semblables (**6 : 3 : 1** *vs.* **5 : 3 : 1**, respectivement), alors que les systèmes technologiques sont différents (Barros *et al.*, 2007; Di Salvo *et al.*, 2009). On retrouve des tendances proches pour les

études de Bradley *et al.* et celles des années 70 (**4 : 6 : 1** *vs.* **3 : 5 : 1**, respectivement) (Bradley *et al.*, 2011; Bradley *et al.*, 2013; Reilly and Thomas, 1976; Withers, 1982).

Exprimés **en pourcentages de la distance** totale parcourue en match, il semble que les ratios spécifiques de fréquence n'aient pas véritablement évolué en quarante ans.

Le ratio « travail-récupération » exprimé en % du temps de jeu

Remarquons qu'il n'est pas possible de comparer les ratios calculés en pourcentage de temps de jeu et ceux en pourcentage de distance. Les unités sont différentes, comme le démontrent les résultats de Rienzi *et al.* pour une même étude (**13 : 6 : 1** *vs.* **3 : 3 : 1**, respectivement) (Rienzi *et al.*, 2000).

Références	Nature du ratio	Définition des zones d'intensité et seuils de vitesse								
Rampinini.H et al. (2007) Saison 2005-2006 ?	% de temps de jeu	Standing		Walking	Jogging (7,2-14,4 km.h^{-1})			Running	High Speed.R	Sprinting > 25,2 km.h^{-1}
		5,3		63,3				5	0,1	0,3
		68,6			26			5,4		
		12 : 5 : 1								
Mohr.M et al. (2003) Saison 2001-2002 ?	% de temps de jeu	Standing (0 km.h^{-1})	Backward.R**	Walking (6 km.h^{-1})	Jogging (8 km.h^{-1})	Low Speed.R (12 km.h^{-1})	Mod. Speed.R (15 km.h^{-1})	High Speed.R (18 km.h^{-1})		Sprinting (30 km.h^{-1})
		19,5±0,7	3,7±0,3	41,8±0,9	16,7±0,9	9,5±0,4	4,5±0,3	2,8±0,2		1,4±0,1
		65			30,8			4,2		
		15 : 7 : 1								
Rienzi et al. (2000) Saison 1998-1999	% de temps de jeu	Standing	Walking		Jogging			Cruising (Haute intensité)		Sprinting
		15	50					4		1
		65			30			5		
		13 : 6 : 1								
Bangsbo.J et al. (1991) Erreur ! Total=100,7 Saisons 1988-1990 ?	% de temps de jeu	Standing (0 km.h^{-1})	Backward.R**	Walking (6 km.h^{-1})	Jogging (8 km.h^{-1})	Low Speed.R (12 km.h^{-1})	Mod. Speed.R (15 km.h^{-1})	High Speed.R (18 km.h^{-1})		Sprinting (30 km.h^{-1})
		17,1±1,5	1,3±0,3	40,4±1,6	16,7±2,3	17,1±2,5	5,3±0,4	2,1±0,2		0,7±0,1
		58,8			39,1			2,8		
		21 : 14 : 1								

Tableau 8: Paramètres de Fréquence obtenus à partir du pourcentage du temps de jeu total

Si nous n'avons pas observé une évolution de la fréquence en % de la distance par zone d'intensité depuis les années 80, cela semble être différent lorsque les résultats sont exprimés en % du temps de jeu (**tableau 8**). L'analyse des ratios du **tableau 8** montre une tendance à la diminution du temps consacrés aux efforts à faible et moyenne intensité au profit de ceux à haute intensité (21 :14 : 1 *vs.* 12 : 5 : 1). Cependant les données sont peu nombreuses, les bornes des zones définies peu précises, ce qui nous amène à une certaine prudence d'analyse.

Le ratio RD à deux niveaux d'intensité

Suarez *et al.* proposent un ratio « travail-récupération » (RD=Relative Distance) en confrontant les valeurs de distance totale en « vitesses relatives », effectuées au-dessus et en dessous de 7 km.h^{-1} (Suarez-Arrones *et al.*, 2015) (**tableau 9**).

Références	Saison sportive	Profil Equipe/ Poste	n	Nombre de sprints	Durée moyenne d'un sprint	Tps récup moyen entre sprints (min)	Nombre d'accélérations	Nombre de décélérations > 3m.s^{-2}	ratio W/R	RSS
							> 3m.s^{2}			
Tierney.P.J et al (2016) GPS Stat sports®	2014-2015	4-4-2	9				33±10	49±14		
		4-3-3	7				32±8	50±12		
		3-5-2	10				34±7	57±10		
		3-4-3	6				28±7	51±10		
		4-2-3-1	11				38±8	61±12		
		Défens. centraux	10				27±7	45±8		
		Défens. latéraux	9				34±6	56±14		
		Milieux axiaux	10				33±10	53±12		
		Milieux excentrés	9				35±5	62±9		
		Attaquants	8				38±8	55±12		
				> 21 km.h^{-1}				RD>7 km.h^{-1}/RD<7 km.h^{-1} (2,1:1)		
Suarez-Arroges.L et al. (2015) GPSports® Pro SPI X	2013-2014 ?	Défens. centraux	53	7,9±3,9	2,5±0,7	5,7±2,8			1,56±0,25	1,0±1,7
		Défens. latéraux	57	11,3±4,8	2,5±0,5	4,4±2,7			1,90±0,36	2,5±2,2
		Milieux axiaux	79	8,9±4,4	2,4±0,5	5,4±2,7			2,34±0,33	1,7±1,7
		Milieux excentrés	68	18,7±5,2	2,6±0,3	2,5±0,9			2,15±0,50	5,8±3,2
		Attaquants 1	44	16,6±4,7	2,4±0,5	2,8±0,8			2,51±0,46	3,2±2,5
		Attaquants 2	47	13,2±4,5	2,5±0,3	3,7±1,5			1,95±0,49	4,8±2,8

Tableau 9: Paramètres de Fréquence obtenus par GPS, associés aux postes et aux systèmes de jeu. RSS (Repeated Sprint Sequence)=Minimum 2 sprints >1s avec R<60s ; RD (Relative Distance) : Work to Rest Ratio

Les ratios basés sur un paramètre d'intensité/durée

Le nombre d'accélérations, de décélérations, de sprints, d'efforts à vitesse maximale ou pics de vitesse sont autant de paramètres qui peuvent être associés à une durée d'exercice pour représenter une « densité » d'efforts en unité de temps.

Le RSS (Repeated Sprint Sequence)

Suarez *et al.* proposent un ratio qui comptabilise les séquences intégrant un minimum de 2 sprints supérieurs à 21 km.h^{-1} et d'une durée minimum de 1 seconde, associées à une récupération inférieure à 60 secondes (Suarez-Arrones *et al.*, 2015). La valeur moyenne pour l'équipe observée est de 3,1±2,9 pour une mi-temps. Les différences entre les postes sont importantes, notamment entre les défenseurs centraux et les milieux de terrain excentrés (1,0±1,7 *vs.* 5,8±3,2). Ce témoin de fréquence, semble toutefois peu représentatif des efforts spécifiques au football.

Synthèse

Les ratios précédemment décrits permettent d'évaluer le paramètre de Fréquence et sont présentés dans la littérature, majoritairement sous forme de statistiques collectives. Les spécificités de chaque poste tout comme l'influence du style de jeu de l'équipe devraient être pris en compte (Ekblom, 1986).

En conclusion, Il n'existe pas aujourd'hui de consensus sur un ratio idéal de fréquence. Pour notre travail de recherche, nous retenons ceux basés sur le nombre de sprints, d'accélérations et moyennes

de pics de vitesse (définis en fonction de l'exercice ou du match évalué), en rapport avec la durée de la séquence de jeu. D'une manière générale, le paramètre de Fréquence ne semble pas avoir évolué en quatre décennies lorsqu'il est exprimé en pourcentages de la distance totale parcourue. Par contre, lorsqu'il est évalué en pourcentage du temps de jeu total, on note une progression des séquences de haute intensité, traduite par des temps de récupération divisés par trois.

Paramètre Fréquence: Ce qu'il faut retenir

- *La **fréquence** en football est le témoin de la **distribution** des **efforts***, et reflète ***le rapport entre le temps de travail et le temps de récupération.***
- *Entre 10 et 30 sprints sont réalisés au cours d'une rencontre, en fonction des postes et des* systèmes de jeu **(ratios = 0,11 à 0,33)**
- *Les **milieux excentrés*** effectuent le plus grand nombre de **sprints**, *en moyenne 19* **(ratio = 0,21)**
- *Les **milieux excentrés** et les **attaquants*** effectuent le plus grand nombre ***d'accélérations**, respectivement entre 35 et 38* **(ratios = 0,38 à 0,42)**
- ***33 accélérations** et **54 décélérations** complètent les efforts d'intensité maximale* **(ratios = 0,36 à 0,61)**
- *On note une **progression** marquée du **nombre d'efforts** de « **haute et très haute intensité** » entre 1976 et 2007, en moyenne 62 vs. 98* **(ratios = 0,68 à 1,08)**
- *Les **ratios** spécifiques exprimés en **pourcentages du temps de jeu**, confirment une tendance **d'augmentation de la Fréquence** sur les 30 dernières années, avec des temps de récupération diminués entre les efforts de haute intensité*
- *Deux **ratios** pourraient être retenus, prenant en compte les vitesses de courses et les accélérations au dessus d'un certain seuil, rapportées à une durée d'exercice, à condition d'être **individualisés** en fonction des **postes et /ou des profils de joueurs**.*

1.1.4 Planification de l'entraînement en football

La terminologie employée pour aborder l'organisation générale de l'entraînement en football fait très souvent référence aux principes appliqués en athlétisme. Les concepts de microcycle (2 à 10 jours), méso-cycle (3 à 5 semaines), macrocycle (3 à 6 mois) et plan annuel permettent de distinguer différentes phases d'entraînement en fonction de leur durée respective. Ces dernières fixent des volumes et des intensités de travail en vue de la préparation d'un ou plusieurs objectifs annuels (Platonov, 1984). D'autres modèles existent, comme celui de Cissik qui distingue trois phases : la phase d'entraînement (6 à 30 semaines), le macrocycle (2 à 6 semaines), et le microcycle (1 semaine) (Cissik, 2012).

Pour notre part, nous définissons la planification comme l'ensemble des programmes d'entraînement d'une saison, voire de plusieurs lorsque l'on s'adresse à des jeunes joueurs en formation. La périodisation se concentre sur plusieurs semaines alors que la programmation ne concerne que l'organisation des séances d'une semaine.

1.1.4.1 Planification des cycles d'entraînement

Le contexte du football est très différent de celui des sports individuels, avec des objectifs de performances hebdomadaires sur une période de 10 mois. Les programmes de développement des qualités ne peuvent pas hypothéquer les performances du week-end, et c'est pour cette raison que les variations de charges d'entrainement sont plus limitées par rapport à celles prescrites dans des disciplines qui n'ont qu'un faible nombre d'objectifs sportifs annuels (Malone *et al.*, 2015). Une saison de football s'organise en deux phases :

- **Période n°1** : la période de préparation d'avant-saison (cycle 1= périodisation 1).

Au niveau professionnel, cette période préparatoire dure 4 à 6 semaines, dans laquelle sont intégrés 4 à 6 matchs amicaux (Malone *et al.*, 2015). Cette première phase est consacrée au développement des qualités, et nécessite de nombreuses séances. Cela peut se traduire par des charges d'entraînement plus élevées de 60% par rapport à celles de semaines classiques de compétition (4343±329 *vs.* 1703±173 u.a (unités arbitraires) RPE, respectivement) (Jeong *et al.*, 2011), ou par des volumes de course hebdomadaires également supérieurs de plus de 30% (+7000 *vs.* 4714±1581m, respectivement) (Malone *et al.*, 2015). Jeong *et al.* relèvent dans leur étude 11 séances hebdomadaires en phase de préparation pour une équipe professionnelle coréenne (soit 5 jours comprenant des entraînements biquotidiens), contre 6 séances seulement en phase de compétition.

- **Période n°2** : la période de compétition (cycle 2 et 3 = périodisation 2 et 3). Cette phase de compétition est composée de 39 semaines en moyenne, ce qui représente, sans compter les séances individuelles, de décrassage ou de compensation, plus de 110 séances annuelles (Akenhead *et al.*, 2016; Malone *et al.*, 2015). Elle est divisée en 2 périodes, les matchs « aller » (août-décembre,

périodisation 2), et les matchs « retour » (janvier à mai, périodisation 3), séparée habituellement par une trêve hivernale. Sa durée varie en fonction des pays (les professionnels anglais continuent à jouer entre Noël et le jour de l'an), mais aussi en fonction des choix décidés par les entraineurs. Elle dure en moyenne une semaine.

1.1.4.2 Programmation d'une semaine d'entraînement

Nombre de séances

Une équipe professionnelle de football s'entraine en moyenne 5 à 6 fois par semaine lorsqu'elle participe à une seule compétition hebdomadaire (Thorpe *et al.*, 2016). En fonction de la période de la saison et du calendrier des différentes compétitions, ce programme est amené naturellement à subir des aménagements. C'est le cas en période de préparation en début de saison (Buchheit *et al.*, 2016; Buchheit *et al.*, 2013a) ou lorsque un deuxième match est programmé en semaine, par exemple pour les équipes qui sont engagées sur la scène européenne (Malone *et al.*, 2015). Les joueurs professionnels s'entrainent quotidiennement, en doublant régulièrement une séance collective, contrairement aux équipes des centres de formation de l'élite qui doublent leurs entraînements quotidiens plusieurs fois dans la semaine (Akubat *et al.*, 2012) (**Tableau 10**).

<table>
<tr><th>Horaires</th><th>Lundi</th><th>Mardi</th><th>Mercredi</th><th>Jeudi</th><th>Vendredi</th><th>Samedi</th><th>Dimanche</th></tr>
<tr><td>8h30</td><td></td><td colspan="5">Arrivée des joueurs au centre d'entraînement</td><td></td></tr>
<tr><td>8h30-9h00</td><td></td><td colspan="6">Petits-déjeuners en commun</td></tr>
<tr><td>9h-10h00</td><td rowspan="2">Soins</td><td colspan="4">Programmes individuels, soins, consultations médicales</td><td>Promenade</td><td>Soins</td></tr>
<tr><td>10h00-12h00</td><td>Séance 1</td><td>Séance 3</td><td>Séance 4</td><td>Soins</td><td>Vidéo collective</td><td>Séance 6</td></tr>
<tr><td>12h00-14h00</td><td></td><td>Repas en commun</td><td></td><td></td><td></td><td>Repas en commun</td><td rowspan="5">Repos
et
Match de l'équipe réserve (joueurs remplaçants)</td></tr>
<tr><td>14h00-15h30</td><td rowspan="3">Soins</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td rowspan="2">Sieste puis Collation</td></tr>
<tr><td>15h30-17h00</td><td>Séance 2</td><td></td><td></td><td>Séance 5</td></tr>
<tr><td>17h00-19h00</td><td></td><td></td><td></td><td>Vidéo + Départ hôtel</td><td>Causerie d'avant-match</td></tr>
<tr><td>20h00</td><td></td><td></td><td></td><td>Repas en commun</td><td>Match de compétition</td></tr>
</table>

Tableau 10: Exemple d'un programme d'entraînement hebdomadaire d'une équipe professionnelle de Ligue 1 (données personnelles non publiées)

De ce fait les charges d'entraînement hebdomadaires cumulées des joueurs professionnels sont naturellement inférieures à celles des joueurs en formation, en comparaison par exemple avec des catégories U16 ou U18 (Wrigley *et al.*, 2012).

L'organisation générale de la semaine reste souvent la même, avec des variantes pour le jour de reprise. En effet, en fonction des résultats du week-end et de la programmation du match suivant,

l'entraineur peut être amené à laisser les joueurs libres le lendemain d'une rencontre gagnée. Les charges d'entraînement hebdomadaires sont évaluées quotidiennement par les staffs, ce qui conduit à la réalisation de séances de complément pour les joueurs remplaçants ou ceux qui présentent des déficits de travail importants (Thorpe *et al.*, 2015).

Les grands principes restent les mêmes, avec un ou deux jours de repos suivant la compétition, des charges modérées à fortes à J+3 et J+4 par rapport au jour de match, puis des charges modérées à légères jusqu'à la rencontre suivante (Thorpe *et al.*, 2015). En moyenne, une équipe professionnelle réalise près de 40% de la distance totale parcourue en compétition (4467±1296 *vs.* 10800m) et plus de 130m (132±101m) de distance cumulée à des vitesses supérieures à 5,5m.s^{-2} (Akenhead *et al.*, 2016).

Si les variations des volumes d'entraînement hebdomadaires varient peu au cours d'une saison, ce n'est pas le cas pour celles qui composent les séances de la semaine (Morgans, 2014). A titre d'exemple, Thorpe *et al.* mentionnent des variations de distances parcourues à très haute intensité au cours de la semaine de compétition (>14,4 km.h^{-1}) de 115% (soit de 1528 à 235m, p<0,001) (Thorpe *et al.*, 2015).

Durée moyenne de séances

La durée des séances est de 60 à 120 minutes, en fonction des contenus spécifiques. Les données de Malone *et al.* rapportent des écarts-types importants (61±21min) (Akubat *et al.*, 2012; Malone *et al.*, 2015; Reilly and Thomas, 1979).

1.1.4.3 Classification des exercices spécifiques au football

Les qualités physiques sont développées, puis entretenues tout au long de la saison sportive, grâce à des programmes étudiés et individualisés. Ils sont construits au moyen de trois types de formes de travail :

- Les exercices analytiques, composés d'efforts sans ballon. Ils sont dominants depuis les années 80, notamment en période de préparation d'avant-saison (Sarianides, 1985; Trachtenberg, 1988). Cette option est choisie par les entraineurs qui souhaitent contrôler avec précision les trois paramètres qui composent la charge d'entraînement des exercices (volume, l'intensité et fréquence) (Lambert and Borresen, 2010; Seiler and Kjerland, 2006; Smith, 2003; Taha and Thomas, 2003).

- les exercices intégrés recouvrent des situations avec ballon, à dominantes techniques ou technico-tactiques (Clarke *et al.*, 2008; Hoff *et al.*, 2002; Impellizzeri *et al.*, 2006; Kelly *et al.*, 2013; Knight, 2015; McMillan *et al.*, 2005; Russell *et al.*, 2011; Thatcher and Batterham, 2004). Ces derniers sont réalisés le plus souvent sans opposition, avec des déplacements plus ou moins préétablis. Ils permettent, au même titre que les exercices analytiques, un bon contrôle de la charge d'entraînement (Casamichana

et al., 2013a), en fonction toutefois, pour certaines méthodes, de leur niveau d'intensité (Alexiou and Coutts, 2008) .

- Les exercices contextualisés rassemblent les différents jeux d'opposition, nommés communément « jeux réduits » (Dellal *et al.*, 2011; Halouani *et al.*, 2014; Hill-Haas *et al.*, 2007; Hill-Haas *et al.*, 2010; Hill-Haas *et al.*, 2011; Koklu *et al.*, 2015; Little and Williams, 2007; Mallo and Navarro, 2008; Owen A, 2004; Owen *et al.*, 2011; Sampaio *et al.*, 2014)

Les séances de football au haut niveau peuvent être réparties en familles d'exercices, selon des dominantes physiologiques, techniques, technico-tactiques ou tactiques. Nous proposons une classification en trois catégories :

1.1.4.4 Les jeux et exercices spécifiques au football (catégorie 1)

Les jeux en opposition à 11 vs. 11

Ils constituent une part importante des contenus hebdomadaires d'entraînement et reproduisent les mêmes contraintes « espace-temps » que les matchs de compétition. Ils permettent à l'entraîneur de travailler les principes de jeu de son équipe, en testant différents schémas tactiques envisagés et de mettre en situation ceux des futurs adversaires.

Les jeux réduits

En complément, les « **jeux réduits** » ont pour objectif de développer et/ou d'entretenir les capacités physiques et physiologiques des joueurs, avec la même efficacité que des formes de travail analytiques classiques (Safania, 2011). L'atout majeur de ces exercices par rapport au travail sans ballon, est incontestablement le caractère spécifique à l'activité tout en étant plus ludique aux yeux des joueurs (Dellal *et al.*, 2008; Los Arcos *et al.*, 2015). On retrouve majoritairement dans cette famille d'exercices des rapports d'opposition variés (du 1 *vs.* 1 au 8 *vs.* 8) qui visent à développer l'endurance sous toutes ses formes (endurance aérobie, puissance aérobie, puissance maximale aérobie), mais aussi la composante force pour les formats les plus courts (Little and Williams, 2006).

Les critères principaux pris en compte pour témoigner de l'intensité de ces jeux réduits sont, sur le plan physiologique, la FC (Dellal *et al.*, 2008; Hill-Haas *et al.*, 2010), la lactatémie (Tessitore *et al.*, 2005) et la perception de l'effort à travers l'indice RPE (Coutts *et al.*, 2007; Impellizzeri *et al.*, 2004; Little and Williams, 2007). Sur le plan physique, certaines données GPS, comme les distances totales parcourues à différentes intensités et/ou le nombre d'accélérations et sprints sont souvent retenues (Casamichana *et al.*, 2015; Hill-Haas *et al.*, 2007). Dans certains cas, l'intensité produite par ces exercices est susceptible de se rapprocher, voire de dépasser celle de la compétition (Owen A, 2004), comme le démontre des FC moyennes enregistrées par Mallo et Navarro (Mallo and Navarro, 2008),

supérieures à celles relevées en compétition (173±10 *vs.* 160-170 bpm) (Bangsbo, 1994b; Kelly and Drust, 2009).

En fonction de l'objectif de l'entraîneur, le format du jeu est défini de manière spécifique, en fixant plusieurs paramètres :

Certains auteurs avancent que le premier facteur qui conditionne l'intensité de l'exercice est la qualité d'animation du coach à travers ces **encouragements**, qui impacterait directement la FC, les concentrations de lactate sanguin mais aussi la perception de l'effort (RPE) (Hill-Haas *et al.*, 2010; Owen A, 2004; Rampinini *et al.*, 2007b).

Intervient également le **nombre de joueurs** engagés, plusieurs études relevant que les formats d'exercices, avec peu de joueurs, étaient ceux qui sollicitaient le plus les organismes sur le plan cardiaque (Hill-Haas *et al.*, 2010; Impellizzeri *et al.*, 2006; Owen A, 2004). L'étude de Little et Williams montre dans ce sens des moyennes de FC qui diminuent lorsqu'on augmente progressivement le nombre de joueurs (Little and Williams, 2006). D'autres études sont plus nuancées, et n'observent pas de différence entre les % de FC max, pour des formats de jeu à 2 *vs.* 2, 4 *vs.* 4 et 6 *vs.* 6 (Hill-Haas *et al.*, 2009a). De manière étonnante, des % moins élevés ont été rapportés lors de 2 *vs.* 2 par rapport à des 3 *vs.* 3 ou 4 *vs.* 4 (Little and Williams, 2007). Certains jeux réduits prévoient également l'utilisation de **joueurs « Joker » ou « d'appui »**, afin de créer un surnombre ponctuel (Hill-Haas *et al.*, 2010; Hoff *et al.*, 2002; Los Arcos *et al.*, 2015; Owen A, 2004). Si l'impact du nombre de joueur sur les paramètres physiologiques ne semble pas être discuté, force est de constater que cela peut avoir une influence sur les aspects techniques. Owen *et al.* montrent par exemple que les jeux réduits sur petits terrains, par rapport à ceux de plus grande taille (30 x 25m *vs.* 60 x 50m), induisent plus de dribbles, plus de frappes, plus de tacles et plus de contacts individuels avec le ballon (Owen *et al.*, 2011).

Le **ratio travail/récupération** associé au format du jeu (continu *vs.* intermittent) semble être un élément déterminant sur le plan physiologique et physique (Fanchini *et al.*, 2015b; Hill-Haas *et al.*, 2007; Koklu *et al.*, 2015; Little and Williams, 2007). Si Hill-Haas *et al.* n'ont pas constaté de changements de valeurs de % de FC max entre différents types de jeux réduits, ils observent cependant des distances totales parcourues supérieures, entre 13,0 et 17,9 $km.h^{-1}$, mais aussi à haute intensité (>18 $km.h^{-1}$), ainsi qu'un nombre de sprints plus important lors des formes continues (24min *vs.* 4 x 6min avec une récupération de 1min30s entre les séquences) (Hill-Haas *et al.*, 2009b).

Le choix des **dimensions du terrain**, en rapport avec le nombre de joueurs défini, peut conditionner les impacts sur le plan de la FC (Rampinini *et al.*, 2007b). Ainsi, il a été rapporté que pour une même durée de jeu (8min), avec le même rapport d'opposition (5 *vs.* 5), la taille du terrain de jeu pouvait influencer fortement cette variable physiologique (Casamichana and Castellano, 2010). Casamichana *et al.* ont ainsi relevé des % de FC max supérieurs (94,6±4,3 *vs.* 93,0±5,7 ; $p<0,05$) en utilisant une

surface de jeu plus grande (62 x 44m *vs.* 32 x 23m). Inversement, Kelly *et al.* n'ont trouvé aucun changement de valeur, avec des surfaces de jeu toutefois légèrement inférieures (30 x 20m *vs.* 62 x 44m) (Kelly and Drust, 2009). Les dimensions du terrain sont également mis en avant pour leur influence sur les aspects techniques, comme le remarquent Vilar *et al.* au niveau du temps de possession du ballon, plus court lorsque les espaces de jeu sont réduits (Vilar *et al.*, 2014).

Le **mode de marquage** de l'adversaire (en individuel, en zone ou sans) est un facteur qui détermine l'engagement des joueurs et par conséquent l'intensité des séquences de jeux. L'étude de Ngo *et al.* confirment cette hypothèse, en reportant des % de FC de réserve plus élevés lors de 3 *vs.* 3 avec gardiens en marquage individuel (80,5±5,8 vs. 75,7±4,7%), en adéquation avec les notes de perception de l'effort (RPE=7,1±0,7 *vs.* 6,0±0,9) (Ngo *et al.*, 2012). De manière surprenante, une autre étude présente des résultats sans différence significative sur le plan cardiaque, lors de trois formes de jeux réduits (3 *vs.* 3 ; 6 *vs.* 6 ; 9 *vs.* 9) effectuées avec et sans marquage individuel (Casamichana *et al.*, 2015). Cependant, en comparant les méthodologies de ceux expérimentations, on peut remarquer que la durée de la séquence de jeu est deux fois supérieure lors de l'étude de Ngo *et al.* (4 x 3min *vs.* 6min). Cela pourrait démontrer que le temps de la séquence doit être suffisamment long pour impacter significativement la FC.

Pour conclure, **les règles** (hors-jeu, surfaces de contact autorisées, nombre de touches de balle) (Casamichana *et al.*, 2014; Hill-Haas *et al.*, 2010), les **conditions environnementales**, l'entretien de **la motivation** par l'annonce permanente du score (Mallo and Navarro, 2008) et l'influence de la **présence ou absence du gardien de but** sur l'intensité de l'exercice sont également à mentionner. Ce dernier point est d'ailleurs fortement discuté, sans qu'il n'y ait le moindre consensus (Dellal *et al.*, 2008; Koklu *et al.*, 2015; Mallo and Navarro, 2008).

Cette présentation met en lumière l'importance de l'engagement du coach dans l'animation des séances, mais aussi la grande difficulté de connaître avec précision l'influence distincte de chaque paramètre (Aguiar *et al.*, 2012). Dans ce sens, les exercices de jeux réduits dépendent beaucoup de l'implication des joueurs. Si Little et Williams ont constaté des coefficients de variation interindividuels inférieurs à 3% pour des formes jouées du 2 *vs.* 2 au 8 *vs.* 8 (Little and Williams, 2006), cela n'est pas le cas pour toutes les études. Par exemple, Kelly *et al.* présentent des différences plus importantes de FC moyennes lors de jeux réduits en comparaison avec des exercices intégrés, pour la même charge d'entraînement (respectivement, 143±10 *vs.* 179±7 ; 157±8 *vs.* 186,8±8 ; 169±6 *vs.* 180±5 bpm) (Kelly *et al.*, 2013).

Choix du rapport d'opposition des jeux réduits

Habituellement, lorsque l'objectif principal vise une haute sollicitation de la consommation maximale d'oxygène, les formats les plus adaptés concernent peu de joueurs (du 1 *vs.* 1 au 4 *vs.* 4) (Koklu *et al.*, 2015) (**Figure 5**).

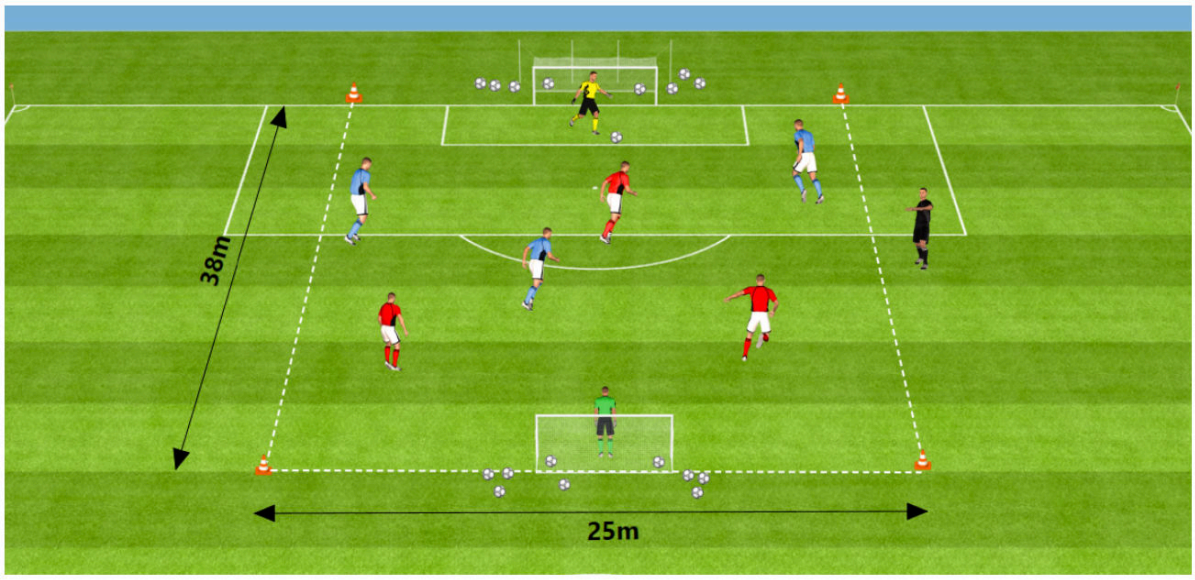


Figure 5 : Exemple d'un jeu réduit à 3 *vs.* 3 utilisé pour solliciter la consommation maximale d'oxygène (6 x 3min-1min, marquage individuel, départ sources de balles au niveau des gardiens de but, encouragements du coach)

Lors de ces formes jouées, le pourcentage de FC cible se rapproche de 90% de la FC maximale (Koklu *et al.*, 2015; Little and Williams, 2007; Mallo and Navarro, 2008). Notons toutefois que pour le même rapport d'opposition (*i.e.* 3 *vs.* 3), les dimensions du terrain peuvent parfois varier entre les études (Koklu *et al.*, 2015; Little and Williams, 2007). Lorsque l'intensité recherchée est moindre, les formes de jeu du 7 *vs.* 7 au 10 *vs.* 10 sont prescrites de manière préférentielle. Dans ces cas précis, les objectifs sont souvent technico-tactiques (Little and Williams, 2006; Owen *et al.*, 2011; Sannicando, 2016).

Les jeux de conservation

Les jeux de conservation rassemblent les jeux d'entraînement qui s'appuient sur des formes à effectifs réduits, et à de rares exceptions, sans les gardiens de but. Il est intéressant de remarquer que cette forme d'exercice sollicite un moindre pourcentage de la FC maximale, entre 80,8±1,7 et 84,8% selon les études (Owen A, 2004). Les règles n'imposent pas forcément une organisation précise des équipes, avec des dimensions de terrain adaptées en fonction du rapport d'opposition et du thème adopté.

On trouve des variantes dans les jeux réduits. Par exemple, les grands buts peuvent être remplacés par des petits buts portatifs, dont le nombre peut varier (Hill-Haas *et al.*, 2010; Rampinini *et al.*, 2007b). Autres possibilités, les jeux peuvent se réaliser sur des terrains synthétiques avec des bordures comme pour les matchs de Futsal (Sannicando, 2016), ou les points peuvent être attribués lorsque le ballon est déposé sur la ligne de but adverse (« Stop-Ball ») (Halouani *et al.*, 2014).

Remarquons qu'en fonction de l'option choisie, les répercutions sur le plan physiologiques seront différentes. Halouani *et al.* notent des moyennes de FC et de lactatémie supérieures lors de séquences en « Stop-Ball » par rapport à des séquences avec mini-buts (respectivement, p<0,005 ; 178±3 *vs.* 174±3 bpm et 4,66±0,98 *vs.* 4,16±1,02 mol.l^{-1}). Enfin, certains jeux de conservation intègre la notion de progression collective, en insistant sur la verticalité du jeu (« jeu Lippi »).

Ce cadre de travail n'est bien sûr pas rigide, et tout jeu réduit, quelque soit l'effectif concerné, peut très bien atteindre telle ou telle sollicitation physiologique à condition de réunir les paramètres adéquats.

Les exercices techniques

Ils concernent tous les exercices de perfectionnement technique analytique, gammes techniques, le travail au poste, mais aussi toutes les situations stratégiques (coups de pieds arrêtés, touches). Ce large choix d'exercices est le plus souvent associé à une dominante athlétique, en phase avec la programmation générale de la semaine (Morgans, 2014). Certains exercices « techniques » sont aussi proposés dans la littérature pour tenter de reproduire les intensités du match, ou avec l'objectif d'atteindre une cible précise de FC ou de consommation maximale d'oxygène (McMillan *et al.*, 2005; Russell *et al.*, 2011; Sporis *et al.*, 2008). Cependant, si ils sont qualifiés de « spécifiques » par leurs auteurs, ils le sont surtout par des critères physiologiques. Si le ballon est bien utilisé au cours de ces exercices, la logique interne du jeu n'est pas toujours respectée (Knight, 2015). Par exemple, le circuit « spécifique de dribble » proposé par Hoff *et al.*, composé de courses variées et de slaloms, sollicite un haut pourcentage de FC et de consommation maximale d'oxygène (respectivement 93,5 et 91,7%), sans toutefois répondre à la réalité d'une séquence de compétition (Hoff *et al.*, 2002).

Les exercices tactiques

Lorsque l'entraîneur souhaite travailler un aspect tactique du jeu, il s'appuie généralement sur des exercices qui associent certaines lignes d'équipes. Les jeux sous forme « d'attaque-défense » permettent, à titre d'exemple, d'améliorer les déplacements coordonnés d'une défense avec des milieux défensifs axiaux, en la confrontant à un bloc offensif. Les corrections s'opèrent au cours des répétitions des actions, entrecoupées de temps de récupération propices aux changements de joueurs.

1.1.4.5 Les exercices d'endurance (catégorie 2)

On retrouve dans cette famille d''exercices les courses aérobies prolongées, qui sont programmées, soit en début de séance pour les échauffements, soit lors de période de régénération pendant la saison. En période préparatoire, ces courses constituent souvent le socle du travail foncier des équipes. On retrouve également les exercices de développement de la puissance maximale aérobie, à travers des séquences « intermittent court », qui peuvent être effectuées, soit de manière analytique, soit de manière intégrée (**Figure 6**). Ce travail de course se réalise en individualisant les distances de

courses en fonction des capacités individuelles des joueurs. Ces dernières sont calculées en pourcentage de la VMA (Vitesse Maximale Aérobie) (Cazorla, 1990; Cazorla, 1993), ou de la VIFT (Vitesse Intermittent Fitness Test) (Buchheit and Laursen, 2013a). Il également possible d'individualiser les types de séquences intermittentes en fonction des postes, comme en témoignent des paramètres fixés à « 15-15 » (15 secondes de travail, 15 secondes de récupération) pour les milieux de terrain, « 10-20 » pour les défenseurs et « 5-25 » pour les attaquants (Chlif, 2009). Dans cette étude, la personnalisation des séances athlétiques a permis une amélioration de l'ensemble des variables métaboliques ($\dot{V}O_2max$, sprints, force et détente verticale). Seule limite de cette étude, il n'existait pas de groupe témoin suivant un entraînement non individualisé.

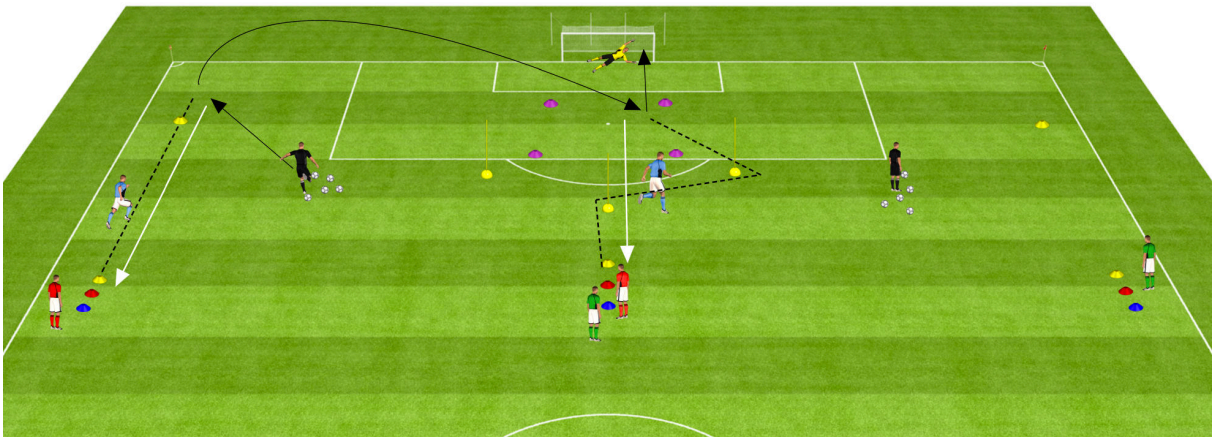


Figure 6 : Exemple d'un travail intermittent court, individualisé par postes, en 10s-20s à 110% de la VMA

En complément des séances collectives, il n'est pas rare que les préparateurs physiques organisent des séances individuelles pour un joueur en difficulté, sur une composante athlétique précise. Mujika *et al.* a montré qu'un programme de 10 séances spécifiques et complémentaires, sur une période de 7 semaines, pour un jeune attaquant en déficit sur le plan aérobie, avait permis une amélioration de ses performances de 32,3% lors d'un test contrôle (Yo-Yo Intermittent Recovery Test Level 1) (Mujika *et al.*, 2007).

1.1.4.6 Les exercices de puissance musculaire et de vitesse maximales (catégorie 3)

Les exercices de renforcement musculaire

Le travail de renforcement musculaire avec charges additionnelles (en salle de musculation ou sur le terrain) accompagne le joueur de haut niveau. En parallèle, le travail prophylactique est de plus en plus développé au sein des clubs de haut niveau, avec l'objectif de réduire les risques de blessure en corrigeant les éventuels déficits (*i.e.* musculaires, posturaux, souplesse).

Les exercices de force-vitesse

Les exercices de force-vitesse avec matériel sont de plus en plus présents dans les séances d'entraînement. Ils visent le développement de la puissance maximale et de la vitesse. On peut regrouper également dans cette famille d'exercices, les ateliers d'appuis et de coordination, ces derniers étant placés généralement dans les échauffements tout au long de la semaine.

Les exercices de répétitions de sprints « intégrés »

Construits sur la base des exercices « RSA » (Repeated Sprint Ability), ces exercices améliorent la capacité à répéter les sprints, en reproduisant des courses spécifiques aux postes (**Figure 7**), (Girard *et al.*, 2011).

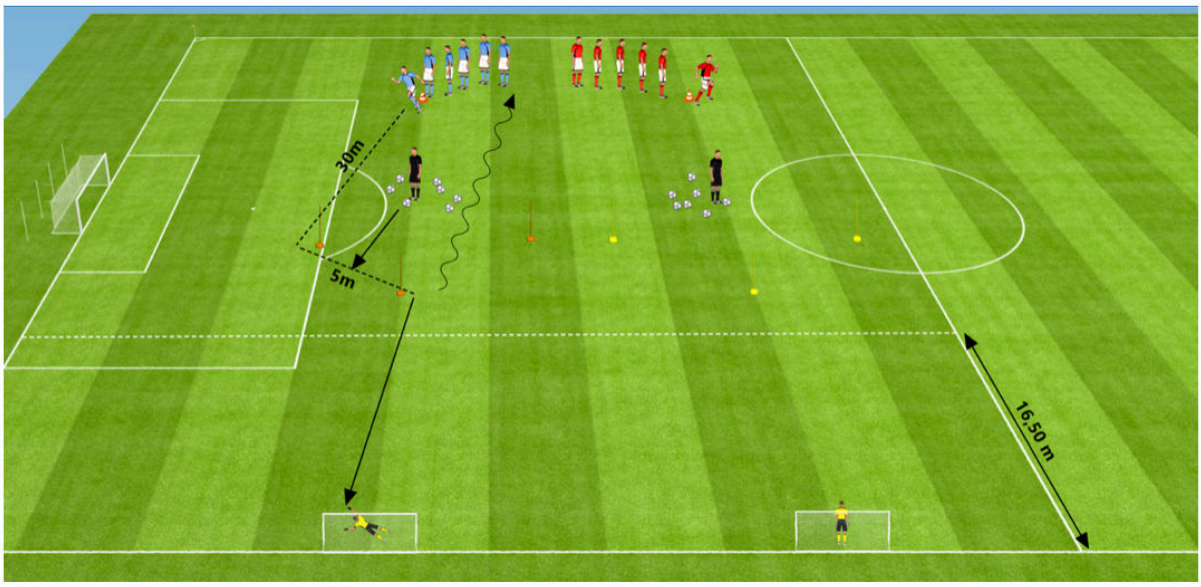


Figure 7 : Exemple d'exercices de répétitions de sprints « intégrés », sous forme de compétition entre deux équipes

Si ce type exercices « intégrés » se multiplie dans les programmes d'entraînement au haut niveau, force est de constater que la littérature scientifique est extrêmement pauvre sur le sujet. A notre connaissance, aucune étude à ce jour ne présente des protocoles appartenant à cette famille d''exercices.

Planification d'entraînement: Ce qu'il faut retenir

- *La **période de préparation** comprend **4 à 6 semaines** d'entraînement*
- *La **période de compétition** intègre **39 semaines** avec une moyenne de **40 à 50 matchs** de compétition, en fonction de la participation éventuelle à des coupes européennes*
- ***5 à 6 séances** composent la semaine d'entraînement, d'une **durée de 61±21min***
- *Les charges d'entraînement d'une semaine à l'autre sont peu contrastées, contrairement à celles des séances quotidiennes*
- *L'entraînement est de plus en plus **individualisé**, **intégré** et **contextualisé**, notamment pour le travail athlétique*
- *Les **jeux réduits** peuvent permettre de **développer les qualités physiques** des joueurs, aussi efficacement que des formes analytiques, **à condition toutefois de choisir les bons paramètres** (i.e. dimensions des terrains, nombre de joueurs, temps de travail et de récupération, règles)*

1.2 Caractéristiques anthropométriques et physiologiques du footballeur

Les déterminants physiologiques sont les marqueurs qui caractérisent le sportif dans le contexte de sa discipline sportive. Pour les athlètes, un modèle a été validé pour témoigner des capacités de performance sur le plan aérobie, autour de trois critères (Bunc and Heller, 1989; Pate and Kriska, 1984; Pollock, 1977) : la consommation maximale d'oxygène ($\dot{V}O_{2max}$), le seuil anaérobie et l'économie de course.

En football, Shephard propose un modèle qui regroupe les paramètres potentiels de réussite, sur les plans anatomiques et physiologiques (Shephard, 1999). Sont retenus dans cette étude sur le plan physiologique, le volume cardiaque, la consommation maximale d'oxygène, le seuil anaérobie, la puissance anaérobie, le potentiel musculaire des muscles extenseurs et fléchisseurs du tronc et du genou, et le pourcentage de fibres rapides dans le quadriceps.

Parmi les outils de contrôle des intensités des efforts, la fréquence cardiaque est le témoin le plus utilisé, de par ses corrélations avec les trois premiers paramètres.

1.2.1 Analyse de l'évolution anthropométrique des joueurs de football depuis 1970

De quelle manière l'évolution de certains paramètres anthropométriques peuvent-ils influencer la capacité de performance des joueurs ?

La **figure 8** illustre les évolutions de tendance de la taille et de la masse des joueurs professionnels de football de l'élite (Division 1 de leur pays respectif, et/ou internationaux) de 1975 à nos jours. Nous avons fait le choix de centrer notre étude uniquement sur les joueurs européens, exception faite de l'étude de Raven *et al.*, par manque de données pour la période 1970-1975 (Raven *et al.*, 1976), pour plusieurs raisons. La première, les écarts de valeurs de taille sont très importants entre les continents, que ce soit pour la population civile (Robinson *et al.*, 2015) ou pour la population spécifique des footballeurs professionnels (Rico-Sanz, 1998). Garcia *et al.* le confirment en présentant une valeur moyenne de taille de 178,6±6 cm pour des joueurs brésiliens, entre 2000 et 2005, soit 2,4 cm de moins que celle des joueurs européens pour la même période (Garcia, 2005). Il était donc indispensable d'harmoniser l'échantillon des études sélectionnées pour nos observations, d'autant plus que le nombre de publications scientifiques sur le sujet est très inégal en fonction des pays. La seconde, les championnats européens font partie des plus relevés au monde, l'Espagne, l'Italie, l'Angleterre, la France et l'Allemagne occupant cinq des sept premières places au classement mondial des championnats 2016-2017, classement établi par l'International Federation of Football History & Statistiques (IFFHS) (lien internet : iffhs.de). Nous proposons ainsi une étude ciblée sur le plus haut niveau mondial.

1.2.1.1 Taille et masse corporelle des joueurs de football

Nous pouvons observer que la taille des joueurs de football européens est en constante augmentation depuis les années soixante-dix (**figure 8**). Cette évolution est légèrement plus accentuée que celle faisant référence à la taille des hommes en Europe, âgés de 21 à 34 ans, et semble proche de la courbe de tendance des français (Hatton, 2013; NCD-RisC, 2016; Singh-Manoux *et al.*, 2010). Nous remarquons également que la moyenne des tailles des joueurs de football européens est supérieure à celle des populations masculines civiles (France et Europe).

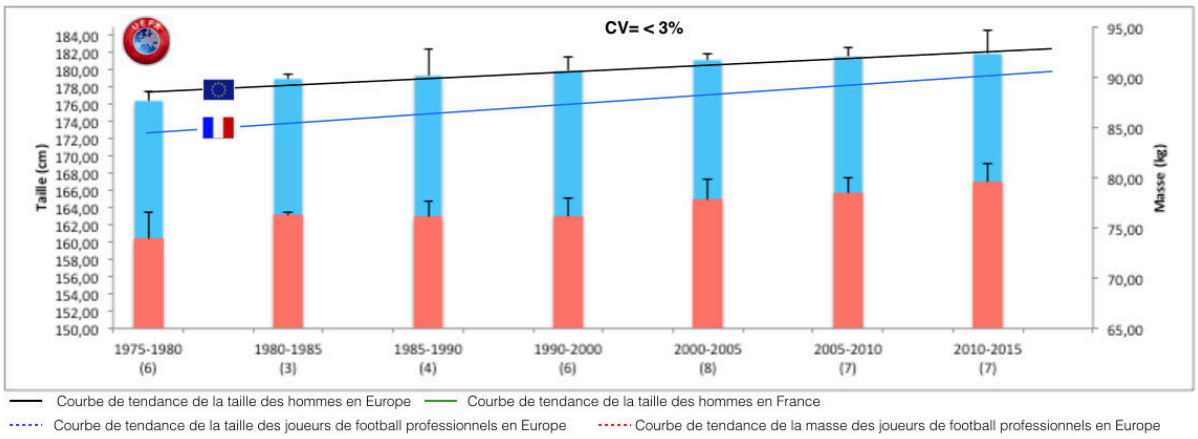


Figure 8: Evolutions anthropométriques (taille et masse) des joueurs professionnels de football européens depuis 1975, en comparaison avec les courbes de tendance des populations française et européenne. ( ): Nombre d'études associées (**tableau 11**) (barre bleue=taille moyenne des joueurs professionnels, barre rouge=masse corporelle moyenne des joueurs professionnels).

En quarante ans, la taille moyenne des joueurs professionnels en Europe est passée de 176,80 cm (1975-1980) à 181,94 cm (2010-2015), soit prés d'un centimètre tous les dix ans (**Tableau 11**). L'économiste T.J.Hatton de l'université d'Essex, affirme que la taille est liée à 80% de facteurs génétiques, et souligne l'importance des facteurs environnementaux (Hatton, 2013). Cette évolution, qui suit les tendances civiles nationale et européenne, bénéficie tout d'abord de la croissance naturelle de la population, de l'amélioration de la nutrition, des conditions de vie et la qualité des soins que l'on peut être amené à recevoir pendant l'enfance et l'adolescence (NCD-RisC, 2016). Cependant, il n'est pas à exclure que la politique de détection des centres de formation et de sélection des clubs professionnels ces dernières décennies, accordant une place prépondérante aux paramètres athlétiques dans le recrutement des joueurs, ne soit aussi responsable de cette évolution.

Références	n	Saison	Pays	Niveau	Age (an)	Taille (cm)	Masse (kg)	MG (%)
2010-2015								
Kelly 2016	19	2014-2015 ?	Angleterre	D1	27±5.1	181±7.1	78±6.2	
Diaoui 2016	9	2014-2015 ?	France	D1	26.0±2	184.1±5.7	78.9±5.9	9.2±1.3
Owen 2016	10	2014-2015 ?	Elite Europe		26.8±4.1	185.4±6	79.3±7.8	
Buchheit 2015	12		France	D 1	24.6±5.3	179±8	77.3±8.5	
Dellal 2015	22	2012-2013 ?	France ?	D1	24.3±4.2	178.1±6.2	80.3±5.7	
Akenhead 2016	33	2011-2012	Angleterre	D1	24±4	183±0.5	82±8	
Malone 2015	30	2011-2012	Angleterre	D1	25±5	183±7	80.5±7.4	
2005-2010								
Dellal 2011	20	2008-2011	France	D1	27.4±1.5	181±2	79.2±4.2	12.7±1.2
Owen 2013	26	2008-2010	Ecosse	D1	27.4±4.8	181.8±4.3	78.7±8.3	
Owen 2011	15	2007-2008	Ecosse	D1	26.3±4.8	182.4±6.9	79.5±8.0	
Osgnach 2010	23	2007-2008	Italie	D1	27±4	180±6	75,8±5	
Little 2007	28	2004-2005	Angleterre	D2	24±5	182.6±7.8	80.2±5.8	8.1±1.9
Dellal 2012	40	2009-2010 ?		Internnation.	25.3±2.4	182.4±2.3	77.3±4.1	11.2±1.4
Owen 2012	15	2007-2008 ?	Ecosse	D1	24.5±3.4	181.1±5.7	78.7±7.6	
2000-2005								
Little 2006	23	2004-2005 ?	Angleterre	D1	22.8±4.5	180.6±7.4	79.2±5.6	
Rampinini 2009	186	2004-2005	Italie	D1	27±4	181±5	75.9±5.3	
Dellal 2008		2003-2004	France	D1	26±2.9	181.4±5.9	78.3±4.4	
Rampinini 2007	20	2003-2005 ?	Top niveau Européen	D1	26±4	182±5	81.3±7.6	
Mohr 2003	18	2001-2002 ?	Italie	D1	26.4±0.4	180.0±1	75.4±1.5	
	24		Danemark	D1	26.5±1	181.0±2	75.4±1.6	
Burgess 2006		2002-2003	Australie	D1	25.9±3.3	181.1±6.4	78.7±6.1	
1990-2000								
Hoff 2002		1990-2000	Danemark	D1	22.2±3.3	180.2±5.5	77.5±12.4	
Reilly 2000	60	1990-1994 ?	Danemark	D1		180.2±5	76.5±5.9	
Puga 1993	21	1990-1991 ?	Portugal	D1	27.5	178.1	73.8	11
Tokmakidi 1991						178.2±	74.5±	9.2±
Rahkila 1991						180.4±	76±	12.4±
Bunc 1991						182.6±	78.7±	8.1±
1985-1990								
Bangsbo 1991	14		Danemark	D1	23.9±0.8	182.9	77.5	
Davis 1992	122	1989-1990	Angleterre	D1+D2	24.4±4.6		77.1±5.6	10.5±1.8
Calcarone 1990						178±	75.7±	11.7±
Reilly 1990	9	1988-1986 ?	Danemark	D1		177±1	74.0±1.6	
1980-1985								
Vos 1980						179.5±	76.6±	11.8±
Kirkendall 1980						178.6±76.2	76.2±	9.9±
Kirkendall 1980						178.6±	75.8±	10.8±
1975-1980								
Thomas 1979	31		Angleterre	D1	22.6	177±6	74.7±8.7	
Withers 1977			Australie		24.4±4.5	178.1±8.1	75.2±4.9	15.7±2.3
Raven 1976	18	1975-1976	Etats-unis +Angleterre	D1	25,6±1,0	176,3±1,2	75,7±1,9	9,5±0,7
Kirkendall 1985	31	1975	Angleterre	D1	23.5	176.6	73.2	
Bell 1975	54	1974 ?	Pays de Galles	Régional + Nat		175.8±5	70.0±6.9	14.7±2.7
Kirkendall 1985	9	1973	Ecosse	D1	23	174.6	69.4	12.4

Tableau 11: Moyennes de taille, masse corporelle et pourcentage de matière grasse (%MG) par périodes depuis 1975

Les sélections nationales n'échappent pas à la règle, comme en témoignent les courbes de tendance des différentes équipes de France A ayant participé aux différents championnats d'Europe et coupes du monde depuis 1978 (**figure 9**).

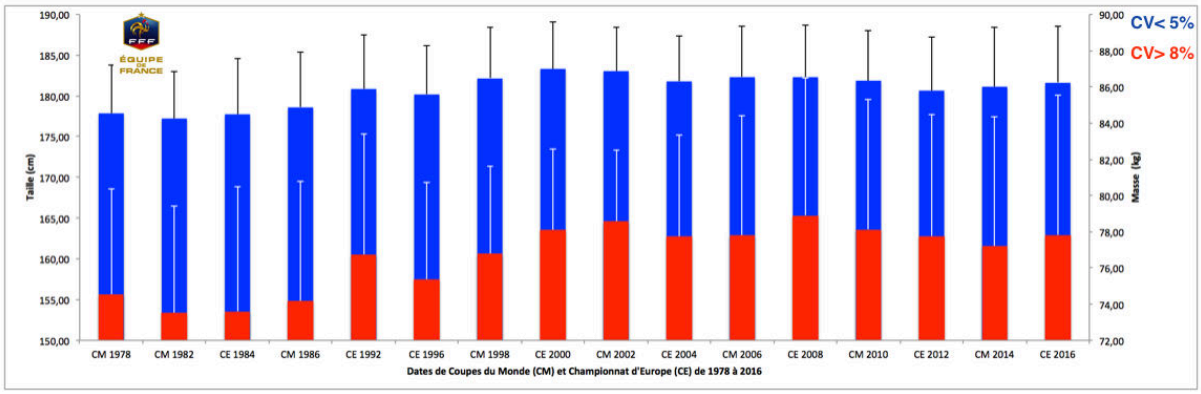


Figure 9: Evolutions anthropométriques (taille et masse) des joueurs internationaux français lors des coupes du monde et championnats d'Europe depuis 1978. Bleu=taille ; Rouge=masse corporelle (données personnelles non publiées)

Les paramètres anthropométriques ne déterminent pas automatiquement le capacité de performance en football (Green, 1992), mais ils peuvent toutefois l'influencer, à l'image des corrélations qui

existent entre la masse corporelle, la masse musculaire et la distance totale parcourue (respectivement, r=0,43 ; r=0,53, p<0,05) (Reilly *et al.*, 2000; Rienzi *et al.*, 2000).

En conclusion, la taille des joueurs professionnels de football a significativement progressé en 40 ans, cette tendance suivant celle de la population civile, bonifiée par l'amélioration des conditions sanitaires et les différentes politiques techniques de formation et de recrutement des clubs.

1.2.1.2 Masse corporelle et pourcentage de matière grasse des joueurs de football

Le deuxième facteur biométrique étudié est celui de la masse corporelle, en relation avec le pourcentage de matière grasse (%MG). Au regard de la littérature, il semble que la masse corporelle moyenne a suivi une tendance à la hausse en même temps qu'une baisse du pourcentage de matière grasse (**figure 10**). Cette hypothèse mérite cependant d'être nuancée, toutes les études n'utilisant pas les mêmes méthodes de mesure. Le principe général d'évaluation reste toutefois proche, chacune d'elles proposant des équations logarithmiques pour transformer la somme de plis cutanés (mesurés en mm) en relation linéaire avec la densité corporelle. Le nombre de plis retenus varie (entre 2 et 7), ce qui peut provoquer des différences de résultats (Brook, 1971; Durnin and Rahaman, 1967; Durnin and Womersley, 1974; Johnston *et al.*, 1988; Slaughter *et a*l., 1988).

Malgré ces réserves d'usage, il ne serait pas surprenant que le potentiel musculaire des joueurs se soit amélioré au cours des dernières décennies, associé à une valeur athlétique bonifiée par cette baisse de graisse corporelle. Les programmes spécifiques de musculation et d'entraînement, notamment en phase de croissance chez les jeunes joueurs en centre de formation, impactent certainement en parallèle la maturation pubertaire, tout en étant bénéfique sur le plan hormonal (Hammami, 2013; Hammami *et al.*, 2013).

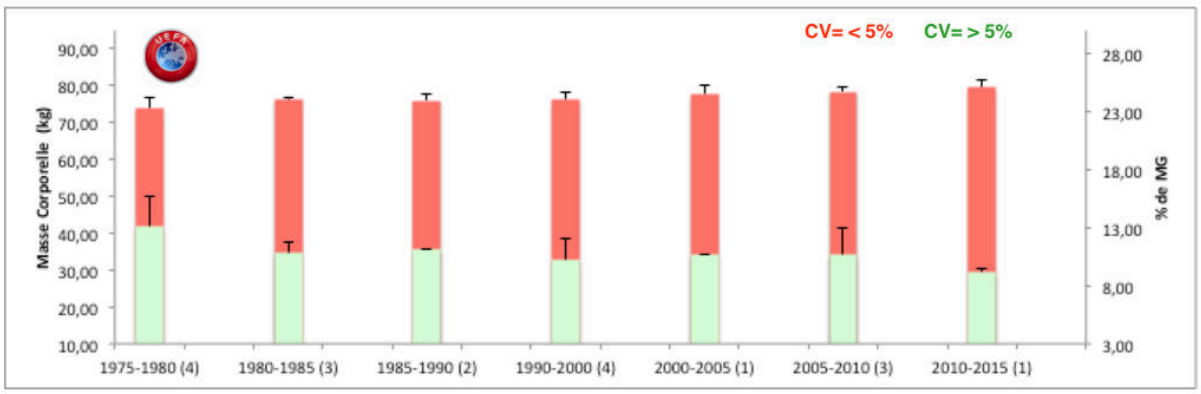


Figure 10: Evolutions anthropométriques (masse corporelle et pourcentage de MG) des joueurs professionnels de football européens depuis 1975. ( ): Nombre d'études associées (**tableau 11**) (barre rouge=masse corporelle moyenne, barre verte=%MG moyen)

Synthèse

La principale limite de ces observations réside dans le fait que peu d'études mentionnent l'ensemble des paramètres biométriques de leurs sujets (taille, masse corporelle, %MG), ce qui donne un poids relatif à nos valeurs moyennes. Malgré tout, au regard des tendances générales, il est possible d'avancer l'hypothèse que les joueurs ont progressé sur le plan athlétique, en étant plus grands, plus affutés et mieux armés sur le plan musculaire aujourd'hui. Le mode de sélection des joueurs dans les centres de formation, les programmes d'entraînement spécifiques de musculation et les progrès en nutrition sont vraisemblablement les principales raisons de ces évolutions.

1.2.2 $\dot{V}O_2max$

1.2.2.1 Définition

Selon plusieurs auteurs, la consommation maximale d'oxygène ($\dot{V}O_{2max}$) témoigne du potentiel aérobie du joueur. Une valeur comprise entre 60 et 65 $mL.kg^{-1}.min^{-1}$ semble être nécessaire pour la pratique du football au plus haut niveau, au regard des nombreux efforts intermittents et des distances à réaliser (Doncaster *et al.*, 2016; Ekblom, 1986; Shephard, 1999; Tonnessen *et al.*, 2013). La VMA (Vitesse Maximale Aérobie) permet par extrapolation, le calcul de $\dot{V}O_{2max}$ (Cazorla, 1993). C'est le témoin physiologique le plus utilisé pour estimer le niveau de consommation maximale d'oxygène des joueurs. Dellal *et al.* signalent des VMA moyennes très proches entre des joueurs de 1 ère division française et des joueurs internationaux, supérieures à 17 $km.h^1$ (Respectivement, 17,1±0,8 et 17,4±0,8 $km.h^1$) (Dellal *et al.*, 2008; Dellal *et al.*, 2011). Des résultats identiques sont trouvés chez des joueurs de Championnat de France Amateur (17,2±0,6) (Dellal *et al.*, 2010). Cela démontre que le seul paramètre de $\dot{V}O_{2max}$ ne suffit pas à déterminer l'aptitude individuelle, sur le plan physique, pour évoluer au plus haut niveau.

1.2.2.2 Valeurs moyennes de $\dot{V}O_{2max}$

Les valeurs de $\dot{V}O_{2max}$ des sportifs dépendent essentiellement du type de pratique. Les skieurs de fonds présentent les indices les plus élevés (82 $mL.kg^{-1}.min^{-1}$), bien supérieures à celles d'autres athlètes comme les haltérophiles (57 $mL.kg^{-1}.min^{-1}$) (Saltin and Astrand, 1967). En revanche, il est difficile de connaître avec précision les valeurs « pic » de $\dot{V}O_{2max}$ lors d'un match de football. Les appareils portatifs par spirométrie sont parfois utilisés lors de tests de terrain (Martinez-Lagunas and Hartmann, 2014), à l'entraînement lors de jeux réduits (Impellizzeri *et al.*, 2005), mais risqueraient de nuire fortement aux performances dans un contexte de match (Ogushi, 1993). Par conséquent, les mesures se réalisent lors de tests de laboratoire (et/ou de terrain) et peuvent aussi s'extrapoler à partir de la relation entre FC et $\dot{V}O_{2max}$. Les valeurs de $\dot{V}O_{2max}$ d'un footballeur professionnel se situent en moyenne entre 58 et 68 $mL.kg^{-1}.min^{-1}$ (Astrand, 1986; Caru *et al.*, 1970; Doncaster *et al.*, 2016;

Ekblom, 1986; Nowacki, 1988; Raven *et al.*, 1976; Rhodes *et al.*, 1986; Tonnessen *et al.*, 2013; Wisloff *et al.*, 1998) (**Tableau 12**).

Références	Saison	Equipe	V̇O2max (mL/kg/min)		V̇O2max (L)	Body mass Index
				2012-2017		
				2006-2012	**4,85±0,50**	**23,6±1,6**
Hoff et al. ( )	2002	Equipe 1 division Norvégienne	**67,8±7,6**	2000-2006	**5,01±0,50 ***	**23,4±1,6**
Wisloff et al. (1998)	1998	Equipe 1 division Norvégienne	**63,7±5,0**	1995-2000	**4,89±0,48**	**23,3±1,6**
Davis et al. ( )	1989-1990	Angleterre 1+2 division	**60,4±3,0**	1989-1995		
Bangsbo et al. (1991)	1988-1990	Equipe National Danemark	**60,6±1,0**		**4,70±0,42**	**22,5±1,5****
Faina et al. ( )	1988	World Cup	63,2			
Ekblom ( )	1986	Equipe professionnelle Suédoise	61			
Nowacki et al. ( )	1981	Equipe Nationale Allemagne	62,7			
Nowacki et al. ( )	1978	Equipe Nationale Allemagne	62			
Raven (1976)	1975-1976	D1 Etats-Unis (13 joueurs anglais+5 us)	**58,4±0,83**			
Reilly & Thomas ( )	1975	Ligue 1 Angleterre	66			
Nowacki et al. ( )	1974	Equipe Nationale Allemagne	66,4			
Angevik ( )	1970	Equipe Nationale Suède	56,5	* 2000-2006>1989-1995 (p<0,05)		**< aux autres (p<0,001)

Tableau 12: Exemples de consommations maximales d'oxygène ($\dot{V}O_{2max}$), de 1970 à 2015

On retrouve dans la littérature des valeurs de consommation maximale d'oxygène supérieures chez des joueurs internationaux suédois ou hongrois (70 mL.kg^{-1}.min^{-1}) (Helgerud *et al.*, 2001; Rost and Hollmann, 1983; Withers *et al.*, 1977). Il est intéressant de remarquer une légère progression des $\dot{V}O_{2max}$ quand ceux-ci sont exprimés en L.min^{-1}, entre le début des années 90 et la période 2000-2006 (Tonnessen *et al.*, 2013).

La valeur moyenne, en compétition, est estimée entre 70 et 75% de $\dot{V}O_{2max}$ pour un footballeur de haut niveau (Astrand, 2003; Bangsbo *et al.*, 2006).

Si les valeurs de $\dot{V}O_{2max}$ des joueurs de pays européens semblent proches, comme celles de professionnels italiens et norvégiens (58,9±6,1 vs. 60,5±4,8 mL.kg^{-1}.min^{-1}) (Faina, 1988; Helgerud *et al.*, 2001), cela pourrait être moins vrai d'un continent à un autre. Une étude longitudinale de 1996 à 2006 a en effet constaté des résultats un peu plus faibles chez des footballeurs brésiliens de 1 ère division (56,58±5,0 mL.kg^{-1}.min^{-1} en moyenne) (Da Silva *et al.*, 2008). Cela semble suggérer que dans les pays d'Amérique du sud, les qualités techniques sont privilégiées au niveau de l'entraînement, le développement des capacités physiques passant au second plan.

1.2.2.3 Valeurs moyennes de $\dot{V}O_{2max}$ en fonction des postes

Les milieux de terrain présentent les plus hautes valeurs de $\dot{V}O_{2max}$ (entre 65 et 70 mL.kg^{-1}.min^{-1}) (Davis *et al.*, 1992; Nowacki, 1988; Puga, 1993; Stroyer *et al.*, 2004). Les performances de 135 joueurs professionnels de l'élite anglaise ont été mesurées, et présentent des valeurs comprises entre 56,4±3,9 (Gardiens de but) et 61,4±3,4 mL.kg^{-1}.min^{-1} (Milieux de terrain) (Davis *et al.*, 1992). Cela pourrait s'expliquer pour deux raisons. La première, les entraîneurs exigent, le plus souvent, une récupération du ballon rapide (notion de « pressing »), ce qui nécessite des profils de joueurs capables

de réitérer des efforts de haute intensité à haute fréquence pendant 90 minutes. La deuxième, il est légitime de penser qu'au regard de cette évolution du jeu, les joueurs aux meilleurs potentiels sur le plan aérobie ont été orientés vers ces postes, bénéficiant par ailleurs d'un entraînement de plus en plus spécifique. Il n'est pas surprenant dans ces conditions, de constater des valeurs plus hautes chez les milieux de terrain (et plus spécialement chez les milieux excentrés), qui parcourent par ailleurs les plus grandes distances, dont celles à haute intensité (Bangsbo, 1994a; Bradley *et al.*, 2011; Bradley *et al.*, 2013; Di Salvo *et al.*, 2007; Di Salvo *et al.*, 2009; Smaros, 1980). Smaros *et al.* rapportent dans ce sens une forte corrélation entre $\dot{V}O_{2max}$ et distance parcourue (r=0.89).

Il est intéressant d'observer dans l'étude de Davis *et al.*, une possible corrélation, inversement proportionnelle, entre le poids du corps et le niveau de $\dot{V}O_{2max}$, lorsque celui-ci est exprimé en mL.kg-1 .min-1 (Davis *et al.*, 1992). Les milieux de terrain sont les joueurs les plus légers, contrairement aux gardiens de but (86,1±5,5 *vs.* 73,2±4,8 vs. 86,1±5,5 kg, respectivement) et présentent les meilleures performances aérobies. D'autres études présentent des valeurs de $\dot{V}O_{2max}$ plus élevées chez les défenseurs latéraux par rapport aux milieux de terrain (59,9±8,3 *vs.* 55,5±4,6 $mL.kg^{-1}.min^{-1}$), ce qui confirme l'influence de la culture et du style de jeu de certains pays (Da Silva *et al.*, 2008; Puga, 1993).

1.2.2.4 Influence du niveau de $\dot{V}O_{2max}$ sur les performances individuelles et collectives

Il est établi que la valeur de $\dot{V}O_{2max}$ participe à la capacité de performance des exercices et activités sportives dont le football fait partie (Astrand, 2003). Une étude démontre qu'après un cycle de 8 semaines d'entraînement par intervalles (circuit technique spécifique football), réalisés deux fois par semaine (4x4 min à 90-95% de FCmax avec une récupération active de 3min), un groupe de 19 jeunes joueurs a vu ses valeurs progresser de 58,1±4,5 à 64,3±3,9 $mL.kg^{-1}.min^{-1}$ (Helgerud et al., 2001). Il a été noté en parallèle des améliorations significatives du seuil anaérobie (47,8±5,3 à 55,4±4,1 $mL.kg^{-1}.min^{-1}$), du nombre de sprints effectués (+100%), du nombre de ballons joués (+24%), du % de FCmax sollicité (82,7±3,4 à 85,6±3,1%) et des distances totales parcourues en match (+20%). L'économie de course a été évaluée en mesurant la consommation maximale d'oxygène au seuil anaérobie individuel (seuil lactique). Des progrès de 6,7% ont été constatés, la vitesse de course atteinte à ce seuil progressant de 11,1 à 13,5 $km.h^{1}$. En comparaison, le groupe témoin qui a poursuivi un entraînement classique n'a vu aucune de ses variables progresser. Cela démontre que les qualités d'endurance peuvent être développées avec des programmes bien conduits.

Un protocole similaire (McMillan *et al.*, 2005), utilisant le même circuit d'entraînement (avec le même type de population), a constaté les mêmes progrès de $\dot{V}O_{2max}$ (+9%, p<0,001), mais pas de toutes les autres variables, comme en témoignent les valeurs inchangées de l'économie de course (0,85±0,6 *vs.* 0,85±0,05 $ml.kg^{-0,75}\ min^{-1}$). Remarquons cependant que le protocole était différent, ce dernier

évaluant la consommation maximale d'oxygène des sujets à partir d'une course continue à 9 km.h^{-1} sur tapis roulant (inclinaison de 5,5%).

Enfin, des différences notables existent entre certaines formations, qui pourraient être corrélées avec leur classement en fin de saison. Wisloff *et al.* rapportent ainsi les valeurs de deux équipes de 1 ère division norvégienne, respectivement championne et reléguable (67,6 *vs.* 59,9 mL.kg^{-1}.min^{-1}) (Wisloff *et al.*, 1998).

Une fois les valeurs de $\dot{V}O_{2max}$ maximales individuelles atteintes en fin de préparation de début de saison ou quelques semaines plus tard, l'entraînement spécifique entretient ce potentiel aérobie tout au long de la saison..

1.2.2.5 Valeurs moyennes de $\dot{V}O_{2max}$ en fonction des niveaux de compétition

Une étude portant sur l'analyse des $\dot{V}O_2$max de 1545 joueurs norvégiens, entre 1989 et 2012, montre que les valeurs de joueurs internationaux, de 1 ère et 2 ème division ne présentent pas de différence significative entre elles. Cependant, elles sont supérieures à celles de joueurs de 3 ème à 5 ème division et de catégorie « Juniors » (Tonnessen *et al.*, 2013) (**tableau 13**).

Niveau de performance	n	VO_2max (L)
Equipe Nationale (a)	52	5,02±0,47
1 ère division (b)	546	4,90±0,48
2 ème division (c)	156	4,82±0,44 *
3 ème-5 ème division (d)	439	4,64±0,47 *
Equipe Nationale Junior (e)	118	4,68±0,49 *
Catégorie « Juniors » (f)	234	4,43±0,50
a, b, c>d, e (sauf c *vs.* e) >f (p<0,001)		

Tableau 13: Consommations maximales d'oxygène ($\dot{V}O_{2max}$) en fonction du niveau de pratique (d'après Tonnessen *et al.* 2013) (* a, b, c>d, e (sauf c *vs.* e) > f (p <0,001)

1.2.3 Seuil anaérobie et lactate sanguin

Le seuil anaérobie, ou "seuil lactique", est défini par Davis comme le pourcentage de $\dot{V}O_2$max associé à l'augmentation exponentielle de la concentration de lactate sanguin (Davis, 1985). La moyenne d'intensité soutenue en match pendant 90min est proche de ce seuil et peut être traduit en pourcentage de $\dot{V}O_{2max}$ (compris entre 75 et 80%) ou de VMA (Bangsbo, 1994a). Dans la littérature, on observe des écarts de valeurs importants, de 82,4±3,1 à 86,3±2,1% chez des juniors norvégiens de haut niveau (Helgerud *et al.*, 2001), mais aussi des valeurs plus basses (77%) chez des footballeur de 1 ère division anglaise (White, 1988). Exprimées en mL.kg.min^{-1}, Green mentionne des valeurs relativement proches pour des joueurs de niveau national et régional, de 45,5 à 43,8 respectivement (Green, 1992). Cet auteur signale toutefois, que malgré des seuils anaérobies similaires, les joueurs de niveau national sont capables de courir plus vite lorsqu'ils l'atteignent, en raison d'une meilleure économie de course. La vitesse de 14,4 km.h^{1} correspond à la vitesse moyenne au seuil anaérobie

chez des joueurs professionnels allemands (Kindermann, 1993), conforté par les résultats de l'étude de Green avec des footballeurs australiens (14,5±0,7)(Green, 1992).

1.2.4 Puissance musculaire maximale

Le football nécessite des qualités aérobies développées, pour optimiser la resynthèse de certains substrats énergétiques pendant le jeu, mais aussi pour mieux supporter l'accumulation des charges d'entraînement et des matchs tout au long de la saison (Cazorla, 1993). Si pendant de nombreuses années la physiologie du footballeur a été centrée sur l'endurance, focalisant l'attention des entraineurs sur le seul critère aérobie, force est de constater que l'évolution du jeu vers des efforts de plus en plus intenses a mis en avant d'autres qualités sur le plan de la puissance musculaire maximale. Cette dernière conditionne les efforts de puissance, de vitesse et de force, qui s'expriment en compétition par de nombreuses accélérations, sprints, duels, changements de direction et sauts (Rampinini *et al.*, 2009). Si les sprints (seuils > fixés entre 23 et 25,2 $km.h^{-1}$) et les courses de « très haute intensité » (>19 $km.h^{1}$) représentent, respectivement moins de 4 et 10% de la distance totale parcourue en match (Bradley *et al.*, 2011; Bradley *et al.*, 2013; Dellal, 2010; Di Salvo *et al.*, 2007; Suarez-Arrones *et al.*, 2015), ces actions d'intensité très élevées sont souvent décisives en compétition. Face à ce constat, les scientifiques du sport proposent depuis plusieurs années de nouveaux modèles d'entraînement pour le footballeur, dans le but de développer ces qualités de puissance explosive et la capacité à répéter les efforts intenses (Buchheit and Laursen, 2013a, b).

Nous avons étudié dans le chapitre précédent les marqueurs d'intensité qui ont le plus progressé au cours de ces dernières décennies, à savoir le volume de course dans certaines zones de vitesse, mais aussi la fréquence de ces efforts au cours d'un match de compétition. Mais quelles en sont les raisons ? Les joueurs sont-ils mieux préparés qu'en 1980, les progrès sont-ils le fruit d'un travail spécifique de musculation qui n'existait pas auparavant ?

Si l'explication peut être métabolique, la composante musculaire (la masse associée à la masse grasse) mérite d'être également étudiée. En effet, il est bien établi que la force musculaire, qui peut être évaluée à partir d'une répétition maximale en squat (RM), est fortement corrélée à la puissance musculaire maximale (Wisloff *et al.*, 1998). Cela se vérifie par de corrélations plus ou moins fortes entre RM et la détente verticale (r= 0,78, p<0,02) et/ou les performances en sprints sur 10m (r=0,72, p<0,001) et 30m (r=0,60, p<0,001) (Wisloff *et al.*, 2004) .

1.2.4.1 Tests d'évaluation de la puissance musculaire maximale des joueurs de football à partir d'un sprint

Différents protocoles ont été proposés pour mesurer la puissance musculaire maximale, qui reflète en premier lieu la puissance mécanique maximale. Le test de Margaria a longtemps été le test de

référence (Margaria *et al.*, 1966; Vandewalle *et al.*, 1987). Ce dernier s'est montré inadapté pour le footballeur, considéré comme peu spécifique et trop dépendant de facteurs liés à la coordination motrice. Selon Le Gall, trois familles de tests spécifiques seraient à retenir pour l'évaluation du footballeur : les tests de vitesses, les tests de détente verticale, et les tests isocinétiques (Le Gall, 2002a; Le Gall, 2002b).

Pour cet auteur, un test de vitesse sur 40m serait certainement un des meilleurs moyens pour évaluer la puissance maximale anaérobie du joueur de football, obtenue au cours des **dix derniers mètres**. Elle est déterminée à partir de l'équation suivante :

$$m = (1/2mv^2 + mgh) / t \text{ (en watts) ou } P = m.(50/t^2 + 9{,}81.h) / t \text{ (en watts)}$$

Equation 2 : Calcul de la puissance maximale (d'après Le Gall 2002)

m = poids en kg, t = temps sur 10m en seconde, h = hauteur du centre de gravité en mètre (2 ème vertèbre sacrée mesurée cliniquement).

La puissance maximale anaérobie, évaluée à partir d'un test de 40m, est comprise selon l'auteur, pour des joueurs de niveau international, entre 3570±384 et 3796±410 watts, correspondant à des performances de 1,100±0,045s sur les **dix derniers mètres lancés**. Il n'est cependant pas précisé dans l'étude s'il s'agit de la **composante horizontale** ou v**erticale** de la puissance maximale qui est évaluée (Le Gall, 2002a). Des travaux récents précisent que la plus forte puissance maximale est obtenue sur les **dix premiers mètres**, celle obtenue par la suite faisant plutôt référence à la puissance-vitesse (Marrier *et al.*, 2016). Ainsi, Marrier *et al.* ont relevé des **puissances maximales horizontales** sur 30m bien inférieures (1648±210 à 1637±864 watts), avec un radar comme outil de mesure.

1.2.4.2 Evaluation de la puissance maximale à partir d'un test de saut vertical

Le saut vertical est le moyen le plus utilisé par les entraineurs pour évaluer les qualités explosives des membres inférieurs, certainement parce qu'il est le plus simple à mettre en place sur le terrain. Mouvement explosif par excellence, le saut vertical est de très courte durée (<0,5s) et témoigne précisément de la **puissance maximale verticale** du sujet évalué (exprimée en $Watt.kg^{-1}$). Wisloff *et al.* soulignent une excellente corrélation entre performances en détente verticale et performances sur 10m et 30m, ce qui n'est pas démontré dans un contexte d'évaluation chez des rugbymen internationaux (Marrier *et al.*, 2016).

Il existe plusieurs tests pour évaluer la détente verticale. Au début du siècle, le « Sargent test » est une référence. L'objectif de ce test est de laisser une emprunte la plus haute possible sur un mur, souvent à la craie (Sargent, 1921; Sargent, 1924). Le test d'Abalakov, est une autre possibilité, avec l'utilisation

d'une ceinture métrée. Les trois types de sauts les plus fréquemment sélectionnés pour évaluer la puissance musculaire des joueurs de football sont le « Squat Jump » (CJ) (séquence concentrique sans élan, mains sur les hanches, position de départ genoux fléchis à 90°), le « Counter Movement Jump» (CMJ) (séquence pliométrique avec élan, mains sur les hanches, position de départ jambes tendues) et un saut libre (séquence pliométrique avec élan, mains libres, position de départ jambes tendues) (**figures 11a et 11b**).

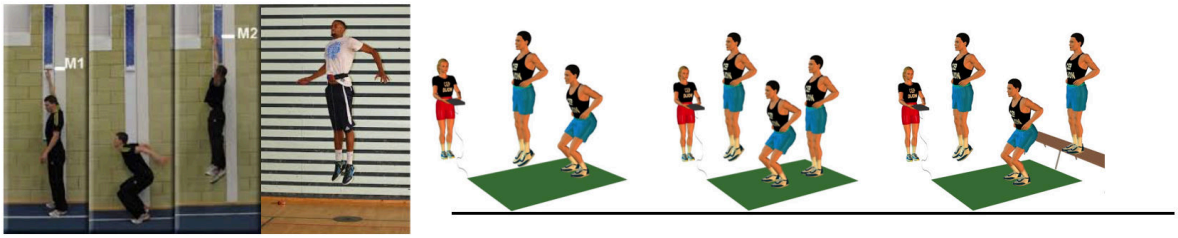


Figure 11a: Tests de détente verticale les plus fréquemment utilisés en football depuis 1975. (Avec l'aimable autorisation du CEP de Dijon), CMJ (Counter Movement Jump)

Ces tests peuvent se réaliser à partir de système de détection optique (Optojump®), à l'aide d'un tapis de Bosco (Bosco et al., 1983), ou une plateforme de force (Kistler®) (**figure 11b**).

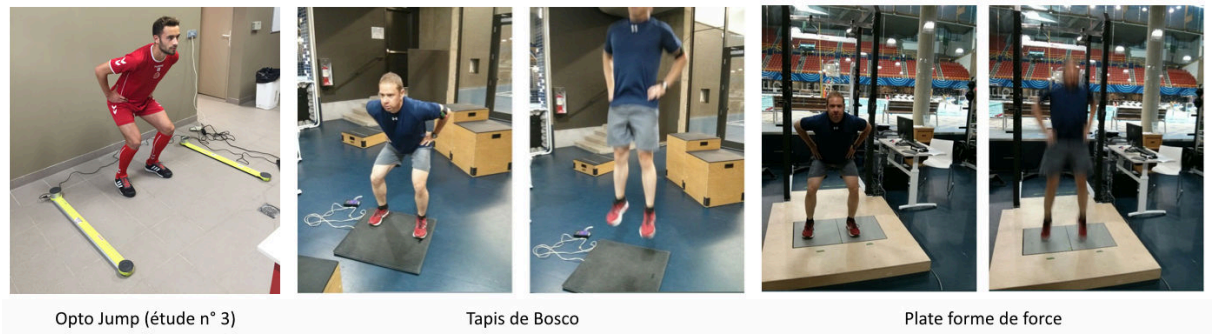


Figure 11b:

Des systèmes portatifs mobiles existent également, qui permettent une utilisation quotidienne aisée, comme l'application mobile « My Jump » (validée scientifiquement), l'accéléromètre « Myotest » ou l'encodeur linéaire « Gymaware ».

Figure 12: Systèmes d'évaluation portatifs.

L'évaluation des performances peut s'opérer de plusieurs manières, soit en retenant la meilleure performance d'une série d'essais (Dellal *et al.*, 2011; Helgerud *et al.*, 2011; Tonnessen *et al.*, 2011; Wisloff *et al.*, 2004), soit en établissant la moyenne des 3 meilleurs sauts sur une série de 4 essais (Marrier *et al.*, 2016), suivant les recommandations de Cormack *et al.* et Taylor *et al.* (Cormack *et al.*, 2008; Taylor *et al.*, 2010), soit en supprimant les deux valeurs extrêmes d'une série de 5 essais et en faisant la moyenne des 3 autres (Pareja-Blanco *et al.*, 2016).

La puissance développée au cours d'une détente verticale a longtemps été calculée selon la formule de Lewis :

P = 21,719.m √h (en watts)

m = poids en kg, h = hauteur de saut en mètre

Equation 3 : Calcul de la puissance maximale (d'après Le Gall 2002)

Récemment, les travaux de Samozino *et al.* ont démontré que ces équations comportaient des risques d'erreurs importants, en proposant une nouvelle méthode de calcul, et en analysant de manière détaillée les profils « force-vitesse » des athlètes (Morin and Samozino, 2016; Samozino, 2009; Samozino *et al.*, 2014). Il convient dans ces conditions d'interpréter avec précaution les valeurs de puissance calculées à partir de l'équation de Lewis.

Les performances évaluées chez des footballeurs internationaux français sont les suivantes (Le Gall, 2002a):

- Squat Jumps: 45,5±5,1 cm
- Counter movement Jump: 46,2±5,4 cm
- Saut libre : 56,8±7 cm

Les joueurs internationaux des années 80 présentent des valeurs de détente verticale similaires (Reilly, 1990), ces dernières étant supérieures à celles de joueurs de niveau national, égales à 50,2±3,2 cm (Green, 1992). Le Gall constate que la puissance musculaire maximale, associée à la détente verticale (saut libre), est en moyenne de 1329±142 watts, et bien corrélée avec la mesure de la puissance sur sprint (r=0,75 à 0,93) (Le Gall, 2002b). Cette corrélation est également constatée par Bosco *et al.* qui relèvent que les valeurs spécifiques de puissance maximale lors d'un sprint sont 2 à 2,7 supérieures à celles d'un saut vertical (Bosco *et al.*, 1983). Si Marrier *et al.* constatent un ratio proche (2,9), leurs valeurs sont par contre supérieures à celles de l'étude de Le Gall *et al.* (1329±142 *vs.* 3889 à 4023 watts). Remarquons de manière étonnante que leurs valeurs sont des valeurs de puissances moyennes et non maximales, et qu'elles ne sont pas corrélées avec les tests de sprint (Marrier *et al.*, 2016). Cela s'explique très certainement par les différences entre les méthodes de calcul employées,

l'outil Gymaware™ utilisé par Marrier *et al.* permettant une évaluation plus précise et validée pour évaluer les niveaux de puissance musculaire.

Détente verticale en fonction des postes

Il semblerait que l'on retrouve les meilleures performances chez les gardiens de but et les défenseurs centraux (Tumilty, 1993). Cela n'est pas surprenant dans la mesure où les qualités d'explosivité et de détente pour ces deux postes sont essentielles.

L'entraînement de la puissance maximale sur le plan musculaire doit être abordée en fonction de la morphologie du joueur, puisque dépendante de facteurs individuels (la vitesse, le poids du corps et la hauteur du centre de gravité). Il semble malgré tout que les facteurs génétiques conditionnent en grande partie la marge potentielle de progrès, tout comme les contenus spécifiques à prescrire avant l'âge de 18 ans (Le Gall, 2002b).

Au regard de ces résultats observés, les tests de puissance musculaire maximale basés sur des outils technologiques modernes semblent préférables aux anciennes équations comportant trop d'imprécisions.

Evolution des indices de puissance musculaire maximale en CMJ depuis 40 ans

Les techniques modernes d'évaluation de la puissance musculaire maximale ne sont plus celles des années 70. Dans ces conditions, il est difficile d'établir des comparaisons de niveau de puissances entre les périodes 1975-2000 et 2000-2015. Il est toutefois possible d'observer des tendances grâce aux résultats de quelques études utilisant le Sargent test pour la période 1975-2000, et le CMJ (mains sur les hanches) de 2000-2015 (**figure 13**).

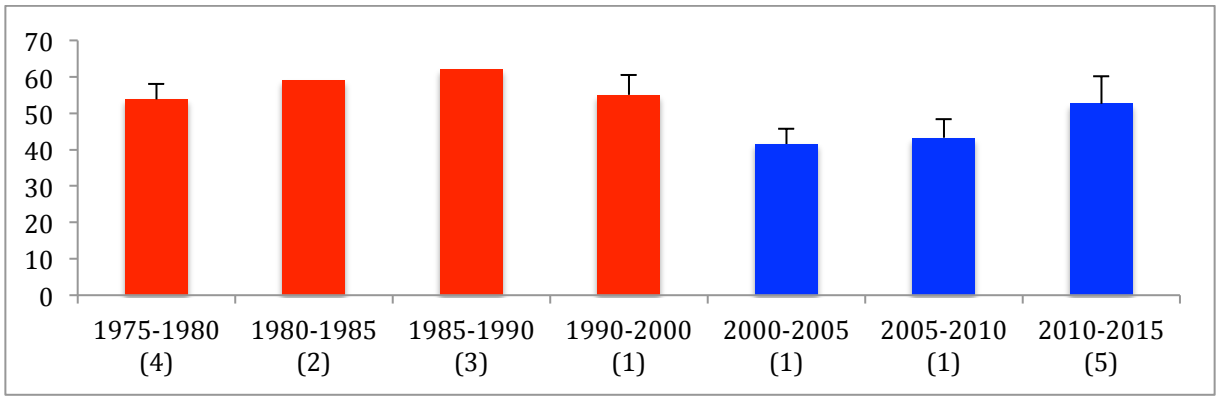


Figure 13: Evolution des performances en détente verticale (Bloc rouge=Sargent test ; Bloc bleu= CMJ). ( ) : nombre d'études concernées[4]

Selon les résultats de plusieurs auteurs, les performances en Sargent test semblent avoir progressé sur la période 1975-1990 (Ekblom, 1986; Raven *et al.*, 1976; Thomas and Reilly, 1979; White, 1988). Les

[4] **1975-1980**: Raven (1976), Cochrane (1976), Reilly (1977), Thomas & Reilly (1979) **1980-1985**: Oberg (1984), Ekblom (1986) **1985-1990**: Kirkendall (1985), White (1988), Gauffin (1989) **1990-2000**: Rösch (2000) **2000-2005**: Wisloff (2004) **2005-2010**: Little (2007) **2010-2015**: Dellal (2011), Ducasse (2011), Helgerud (2015), Tavares (2015), Rey (2016)

études disponibles sur la période 1990-2000 n'offrent pas de nombreuses données, seules celles de Rösch *et al.* présentent des résultats issus du Sargent test (Rosch *et al.*, 2000). A partir des années 2000, le CMJ devient le test de référence dans le milieu sportif mais aussi scientifique. S'il n'est pas possible, à notre connaissance, d'extrapoler les valeurs du Sargent test pour calculer celles en CMJ, il est toutefois possible d'observer une même tendance d'augmentation des performances (Cometti *et al.*, 2001; Dellal *et al.*, 2011; Little and Williams, 2007; McMillan *et al.*, 2005; Rey *et al.*, 2016).

Les deux périodes étudiées laissent apparaître des améliorations de performance à partir des deux tests sélectionnés. Sans pour autant être en mesure de les associer, il est raisonnable de penser que les programmes spécifiques de musculation mis en place au cours des dernières décennies ont favorisé l'amélioration de la puissance maximale musculaire des joueurs.

1.2.4.3 Evaluation de la puissance maximale à partir de mesure de force en condition isocinétiques

La puissance maximale anaérobie est fondée sur les qualités musculaires et neuromusculaires des membres inférieurs. Les muscles quadriceps (Q) et Ischio-jambiers (I) doivent respecter un rapport de force équilibré. Grâce à l'isocinétisme, il est possible depuis une vingtaine d'années de mesurer des ratios I/Q, mais aussi ceux d'autres groupes musculaires antagonistes comme les adducteurs et les abducteurs (Gerodimos, 2015; Santos Andrade *et al.*, 2016). En football, l'attention est portée sur le rapport I/Q principalement. En début de saison, les staffs préviennent les éventuels déséquilibres, planifient des programmes de rééquilibrage si nécessaire, et se servent de valeurs références pour valider la reprise d'entraînement après blessure.

Plusieurs recherches ont étudié les différentes variables isocinétiques chez le footballeur, ce qui permet de tracer le profil musculaire du joueur de haut niveau (Le Gall, 1999; Oberg *et al.*, 1986; Zakas, 2006; Zakas *et al.*, 1995).

Plusieurs protocoles isocinétiques existent, en intégrant des régimes de contraction concentriques et/ou excentriques (Aagaard *et al.*, 1998). Le protocole le plus courant repose sur des répétitions concentriques à vitesse lente (répétitions à 60°.s^{-1}) et à vitesse rapide (240.s^{-1}) (Le Gall, 1999).

Pour ce dernier auteur, les valeurs moyennes de puissance pour un joueur professionnel à la fin des années 90 étaient les suivantes:

- Pic de force (Nm) des ischio-jambiers à 60°.s^{-1}: 186±26 (2,42±0,29 en Nm.kg^{-1}, =139±22 watts)
- Pic de force (Nm) des ischio-jambiers à 240°.s^{-1}: 133±21 (1,72±0,23 en Nm.kg^{-1}, =352±68 watts)
- Pic de force (Nm) des quadriceps à 60°.s^{-1}: 264±37 (3,42±0,43 en Nm.kg^{-1}, =182±28 watts)
- Pic de force (Nm) des quadriceps à 240°.s^{-1} : 152±20 (2,05±0,32 en Nm.kg^{-1})

=400±75 watts)

- Ratio I/Q à 60°.s^{-1}: 0,7±0,07
- Ratio I/Q à 240°.s^{-1}: 0,81±0,1

Remarquons que les valeurs de pic de puissance des quadriceps et des ischio-jambiers peuvent être supérieurs chez des joueurs internationaux (264±37 *vs.* 236±41,60 et 186±26 *vs.* 129,35±27 watts à 60°.s^{-1}, respectivement)(Zakas, 2006).

1.2.4.4 Capacité à répéter les sprints

Un autre point de vue exprimé par certains scientifiques est de proposer des tests de terrain plus proches de la spécificité du football (Kindermann, 1993). Dans ce sens, des protocoles ont été créés pour évaluer la capacité à répéter des sprints (endurance de sprint) et la fatigue neuromusculaire induite (Girard *et al.*, 2011).

Une des équations proposées dans l'étude est la suivante :

$$\boldsymbol{S_{dec}(\%) = \left\{1 - \frac{(S_1 + S_2 + S_3 + \cdots + S_{final})}{S_{Meilleur} \times \textit{ nombre de sprints}}\right\} \times 100}$$

Equation 4 : Calcul de l'indice de capacité à répéter les sprints (d'après Girard *et al.* 2011)

Plus le pourcentage (S_{dec}) est élevé, meilleure est la puissance maximale anaérobie.

Un autre protocole, établi sur 10 répétitions de sprints sur 20m avec 20s de récupération entre chaque effort (Psotta *et al.*, 2005), nommé « Intermittent Anaerobic Running Test » (IAnRT), a également été validé pour témoigner de la puissance maximale anaérobie.

Par ailleurs, Roksund *et al.* ont mis en relation les performances de répétitions de sprints, à partir d'un test très proche (8 x 20m avec R=20s) et le nombre de blessures aux ischio-jambiers survenues au cours des deux années précédant l'évaluation (Roksund, 2017). Les conclusions de ces travaux de recherche ont conclu que les footballeurs qui avaient les indices de baisse de performances les plus prononcés étaient ceux qui avaient contracté le plus de blessures au niveau des ischio-jambiers par le passé. Ce résultat est intéressant pour les entraîneurs et préparateurs physiques qui cherchent à identifier des profils à risque et des solutions objectives pour contrer une des pathologies les plus fréquentes chez le footballeur.

Paramètres Physiologiques: Ce qu'il faut retenir

- *Les valeurs moyennes de* ***$\dot{V}O_2max$*** *d'un joueur de haut niveau sont comprises entre* ***58 et 70 mL.kg^{-1}.min^{-1}****, sollicitées en match en moyenne entre* ***70 et 75%***
- ***$\dot{V}O_2$****max conditionne en grande partie la* ***distance totale*** *parcourue, mais aussi le nombre de sprints et le nombre d'actions techniques*
- *Les* ***milieux de terrain*** *présentent les valeurs de* ***$\dot{V}O_2max$*** *les plus élevées (****65 à 70 mL.kg^{-1}.min^{-1}****)*
- *La vitesse correspondante au seuil anaérobie pour des joueurs de haut niveau est de* ***14,5±0,7 km.h^{-1}***
- *Le lactatémie en match se situe entre* ***7 et 13 mmol.l^{-1}****, dépendant de l'activité lors des 5 dernières minutes avant le prélèvement*
- *La FC moyenne en compétition est de* ***80 à 90 % de la FC maximale***
- *La* ***puissance musculaire maximale horizontale*** *mesurée lors d'un test de vitesse sur les* ***10 premiers mètres*** *pourrait atteindre une valeur moyenne de* ***1500 watts*** *et une valeur de* ***3500 watts*** *lors d'un test de détente verticale pour des joueurs professionnels*
- *Un* ***indice de fatigue*** *ne dépassant pas* ***4%*** *lors d'un test de sprints de* ***10 x 20m*** *(R=20s) est un indicateur d'une excellente puissance musculaire maximale*
- *Les ratios* ***isocinétiques I/Q*** *à atteindre devraient présenter des valeurs moyennes de* ***0,7 à 60°.s^{-1}*** *et de* ***0,8 à 240°.s^{-1}***

CHAPITRE II: QUANTIFICATION DE LA CHARGE D'ENTRAINEMENT

L'entrainement du sportif a évolué de manière considérable depuis les années 60, succédant à une époque où ce dernier était souvent prescrit sur la seule expérience intuitive de l'entraineur. La multiplication des méthodes de quantification, l'augmentation des volumes d'entraînement, les avancées technologiques en matière d'équipements, l'accompagnement des athlètes sur le plan individuel, autant d'éléments qui ont contribué à l'amélioration des performances (Platonov, 1984). Les records du monde se sont succédés en athlétisme depuis plus de cent ans. Le record du monde du 100m est passé de 10s6 en 1912 (Don Lippincott) à 9s58 en 2009 (Usain Bolt), celui du marathon de 2h58min50 en 1896 (Spyridon Louis) à 2h02min57 en 2014 (Dennis Kimetto). Les sports collectifs comme le football n'échappent pas à la règle, avec une augmentation significative du volume et du nombre d'actions à hautes intensités en compétition. Au cœur de la programmation des séances et exercices, nous retrouvons un des éléments clés sur lequel repose l'optimisation de la performance, la gestion de la **charge d'entrainement**.

1.3 Définition

La **charge d'entraînement** est définie comme la combinaison des paramètres de **volume, intensité et fréquence** (Pollock, 1973; Wenger and Bell, 1986), en étant souvent confondue, à tort, avec la « charge de travail, cette dernière étant plutôt relative à un seul paramètre descriptif de l'exercice : le volume seul (kilomètres), l'intensité seule (charge en musculation) ou même la fréquence seule (nombre d'exercice par unité de temps). A l'origine, dans les sports d'endurance, le volume faisait référence à la durée, l'intensité à un pourcentage de $\dot{V}O_2max$ et la fréquence au nombre de séances hebdomadaires. Aujourd'hui, ces paramètres sont fortement discutés à travers une multitude de recherches scientifiques, dont les conclusions sont loin d'être consensuelles (Akenhead and Nassis, 2015; Nassis and Gabbett, 2016).

1.4 Charges externes et charge interne

La CE correspond à la combinaison du volume, de l'intensité et de la fréquence d'exercice et décrit le « stress » physiologique imposé à l'athlète. Dans la littérature, deux type de CE apparaissent, la charge interne et la charge externe.

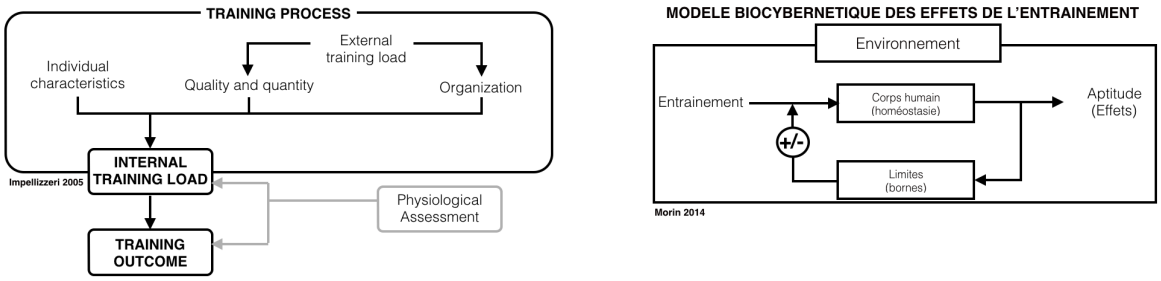
Lorsqu'un exercice est programmé, ses caractéristiques sont définies en amont (intensité, volume, fréquence). Lorsque celles-ci sont exprimées en valeurs absolues et non de manière relative aux capacités des sujets, elles semblent constituer la « **charge externe** » (Akenhead *et al.*, 2016; Bartlett *et al.*, 2016; Torres-Ronda *et al.*, 2015). A l'inverse, la « **charge interne** » correspond à ce même exercice,

mais en prenant en compte ses répercussions sur chacun des sujets soumis (Campos-Vazquez *et al.*, 2015). La charge interne est mesurée par des paramètres physiologiques ou psycho-physiologiques en réponse immédiate à l'exercice (Bartlett *et al.*, 2016). Les indices, les plus communément utilisés sont la FC, la fréquence ventilatoire, la consommation maximale d'oxygène, la concentration sanguine du lactate et/ou l'activité électrique du muscle (Platonov, 1984).

Une des difficultés pour les entraineurs dans la programmation de leurs exercices, concerne l'hétérogénéité des capacités des joueurs face aux CE, qui peut amener à de fortes différences de CE interne malgré une CE externe identique. Le contrôle de la charge interne ne peut s'opérer dans ces situations d'entraînement qu'*a posteriori*, ce qui conduit les techniciens à individualiser et réajuster en permanence les séances (Bartlett *et al.*, 2016). En parallèle, et sur du plus long terme, le suivi des facteurs de fatigue à l'aide de l'analyse de la FC de repos ou des questionnaires de bien-être (POMS, indices de Hooper) permet d'apprécier l'état de fatigue lié à ces adaptations (Hooper *et al.*, 1995; McNair, 1971). Pour des raisons d'individualisation des mesures et des programmes, la quantification de la CE interne semble préférable lorsqu'il s'agit d'analyser les effets d'un exercice ou d'un programme.

1.5 Processus d'entraînement et relation entre charge d'entraînement et performance

Les processus d'entraînement décrivent les différentes composantes qui déterminent la performance. Pour Impellizzeri et al, tout repose en amont sur les caractéristiques du sportif (facteurs génétiques et niveau d'expérience), qui manifeste des réactions physiologiques individuelles lorsqu'il est soumis à une charge externe (Akenhead *et al.*, 2013; Akenhead *et al.*, 2016; Bartlett *et al.*, 2016; Impellizzeri *et al.*, 2005) (**figures 14a et 14b**).



Figures 14a et 14b: (a) Processus d'entrainement (Impellizzeri *et al.*, 2005) et (b) modèle biocybernétique des effets de l'entrainement (Morin, 2014)

L'équilibre du corps de l'athlète repose sur un système autorégulé (homéostasie), confronté à des limites (bornes), et sous l'influence permanente de l'environnement (Morin, 2016). Certains modèles mathématiques ont été élaborés dans le but de prédire les effets de l'entrainement sur la

performance. Banister *et al.* ont ainsi proposé une équation pour tenter d'évaluer les effets de l'entraînement (la « dose ») sur la performance (la « réponse »)(Calvert, 1975). Celle-ci pourrait être prédite à partir de la relation de deux composantes, les adaptations positives liées à l'entraînement et la fatigue induite par ses contenus. Malheureusement, l'utilisation de ces différents modèles conclue à des résultats divergents entre ce qui est prédit et les résultats attendus (Taha and Thomas, 2003).

1.6 Méthodes de quantification de la charge d'entraînement

Pour mesurer la « dose » d'entraînement, c'est à dire la CE, les entraineurs peuvent s'appuyer sur différents outils de mesure, chacun se distinguant par des marqueurs d'intensité et /ou de volume spécifiques. Pour étudier la relation entre l'entraînement et la performance, le stress physiologique du sportif est exprimé par rapport aux capacités individuelles, en fonction de ce qui est programmé. La **charge d'entrainement** est le résultat de la multiplication de la durée d'exercice par un paramètre décrivant son intensité, qui est dans certains cas la **fréquence cardiaque** (FC) (Banister, 1991; Edwards, 1993; Lucia *et al.*, 2003), des **seuils ventilatoires** (Wood *et al.*, 2005) la **lactatémie** (Mujika *et al.*, 1996) ou la **perception de l'effort** (RPE) (Foster *et al.*, 2001). D'autres méthodes ont été basées sur le rapport entre le travail cumulé et l'**endurance limite** individuelle (WER) (Desgorces *et al.*, 2007), ou plus récemment, sur des **algorithmes** développés à partir des nouvelles technologiques GPS (Akenhead and Nassis, 2015; Buchheit *et al.*, 2014b; Casamichana *et al.*, 2013a; Coutts and Duffield, 2010; Lovell *et al.*, 2013; Scott *et al.*, 2013) (**Tableau 14**).

Références	Année	Nom de la méthode	Critère	Caractéristiques
Banister.W	1985	Trimps (Training Impulse)	**Fréquence cardiaque**	Prise en compte de la FC moyenne de la séance et FC de réserve
Mujika.I	1996		**Lactamie**	5 zones par paliers en mmol-1 (coefficients= 1,2,3,5,8)
Foster.C	2001	Méthode session RPE	**Echelle perceptive**	Echelle normée de 0 à 10
Lucia	2003		**Trimp/ Seuil ventilatoire**	3 phases, 3 coefficients
Wood	2005		**FC/seuils ventilatoires**	5 zones: zone 1=Coeff 2, zone 2=coeff 2, zone 3=coeff 6, zone 4=coeff 10,zone 5=coeff 16
Desgorces	2007	WER (Work Endurance recovery)	**Endurance limite**	Mesure de la performance exprimée en fonction de l'endurance limite de qualité observée
Casamichana	2013	Player Load	**GPS (somme accélérations)**	

Tableau 14 : Principales méthodes de quantification de la charge d'entrainement

Pour répondre aux besoins de précision, les scientifiques multiplient les protocoles expérimentaux depuis la fin des années 90. Les degrés de corrélation entre méthodes sont étudiés, soumis à la quantification d'exercices de différents formats, ce qui donne lieu à une littérature extrêmement riche en nombre de publications (11658 articles sur *PubMed*, début 2017, avec les mots clés **Training Load Quantification**).

Afin de bien comprendre les fondements théoriques des principales méthodes, ces dernières sont présentées individuellement, en différenciant celles basées sur la FC, la perception de l'effort (RPE), les seuils ventilatoires, l'endurance limite (WER) et la lactatémie.

1.6.1 Les méthodes basées sur la fréquence cardiaque

1.6.1.1 La méthode « TRIMP »

Descriptif

En 1980, Banister et Calvert proposent une première méthode de quantification de la CE, basée sur l'analyse de la fréquence cardiaque au cours de l'exercice à dominante aérobie (Banister and Calvert, 1980). La fréquence cardiaque est interprétée à partir de sa moyenne, obtenue au cours d'exercices prolongés. Cette nouvelle méthode est dénommée « TRIMP » en référence aux impulsions cardiaques lors de l'entraînement (**Tr**aining **Imp**ulse).

Calcul de la charge d'entrainement

La première équation pour calculer les CE « TRIMP» (ou « TRIMPS ») est obtenue en multipliant la FC moyenne de l'exercice (ou de l'entraînement) par la durée de ce dernier et le résultat final exprimé en unités arbitraires (u.a).

CE TRIMP = FCmoy x Durée (u.a)

Equation 5 : Calcul de la CE avec la méthode TRIMP (d'après Banister et Calvert 1980)

Habituellement, le pourcentage de FC max est utilisé de préférence pour définir l'intensité de l'exercice (Hopkins, 1991). Cependant, le pourcentage de FC de réserve semble encore plus précis, pour son équivalence directe avec le % de $\dot{V}O_{2max}$, mais aussi par le fait que les FC de repos varient avec l'âge, et le niveau d'entraînement (la FC Maximale qui diminue également avec l'âge) (Dellal *et al.*, 2008; Impellizzeri *et al.*, 2005; Karvonen and Vuorimaa, 1988). Swain *et al.* suggèrent l'utilisation du % de $\dot{V}O_{2max}$ de réserve (relation validée lors d'un test sur tapis roulant), qui pourrait pallier les limites de la relation directe entre le $\dot{V}O_{2max}$ de réserve et le % de $\dot{V}O_{2max}$, pour des sujets non entraînés soumis à de faibles intensités (Swain *et al.*, 1998). C'est certainement pour cette raison que Banister et Hamilton ont amélioré la précision du premier modèle TRIMP, en intégrant la FC de réserve de l'athlète (qui comprend sa FC de repos et sa FC maximale, combinée à la FC moyenne de l'exercice). Un coefficient « k » a été introduit en complément pour représenter l'augmentation exponentielle de la lactatémie au cours de l'exercice (le coefficient d'évolution de la lactatémie est de 1,92 pour les hommes et de 1,67 pour les femmes) (Banister and Hamilton, 1985).

La nouvelle équation devient :

$$CE\ TRIMP = TD \times FCr \times 0{,}64 \times K\ (u.a)$$

Equation 6 : Calcul de la CE avec la méthode TRIMP (d'après Banister et Hamilton 1985)

TD=Durée de séance (minute)

FCr= Fréquence cardiaque de réserve déterminé par l'équation: $[(FC_{ts} - FC_b) / (FC_{max} - FC_b)]$

FC_{ts} =Fréquence cardiaque moyenne de séance

FC_{max} =Fréquence cardiaque maximale

FC_b =Fréquence cardiaque de repos

$K = e^{(1{,}92 \times FCr)}$

En application pratique pour évaluer le niveau de la CE, Le Gall propose un classement des valeurs en 3 catégories de charges (Le Gall, 2002a) :

- < 30 u.a = Charge faible
- 30-50 u.a = Charge moyenne
- > 50 u.a = Charge forte

Exemple pratique

	FC max	FC repos	FC moyenne séance	FC réserve	%FC réserve	Coeff k	Durée séance
Joueur A	200	60	150	140	**0,64**	**2,20**	**90min**
CE Totale							**128 u.a**

Tableau 15 : Exemple de calcul d'une CE à partir de la méthode TRIMP (Banister et Hamilton 1985)

Analyse

Des corrélations plus faibles avec les autres méthodes lorsqu'il s'agit de quantifier des exercices de haute intensité et de nature intermittente

La méthode TRIMP est basée sur la FC moyenne des exercices et/ou des séances. Par conséquent, elle est susceptible de devenir naturellement moins précise lorsqu'il s'agit de quantifier des CE d'exercices de très haute intensité tels que les sprints ou certains efforts intermittents, de part l'inertie spécifique de la FC (Impellizzeri *et al.*, 2005).

1.6.1.2 La méthode « SHRZ »

Descriptif

Edwards propose une méthode de quantification « SHRZ » (Summated Heart Rate Zone), ayant pour objectif de répondre aux formats spécifiques des exercices intermittents (Edwards, 1993). Cette méthode est fondée sur le principe des « TRIMPS », en distribuant les fréquences cardiaques de

l'exercice en 5 zones d'intensité (zones exprimées en pourcentages de la fréquence cardiaque maximale) avec des coefficients spécifiques (de 1 à 5).

Calcul de la charge d'entrainement

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5
% FC max	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100
Coeff	1	2	3	4	5

Tableau 16 : Zones de fréquences cardiaques et coefficients spécifiques (d'après Edwards 1993)

La charge d'entrainement est calculée en réalisant le produit cumulé des durées de chaque zone (en minute) par leur coefficient respectif.

CE= (Dur. Zone1)*5 + (Dur. Zone2)*4 + (Dur. Zone3)*3 + (Dur. Zone2)*2 + (Dur. Zone1)*1

Equation 7 : Calcul de la CE avec la méthode SHRZ

Exemple pratique

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5
% FC max	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100
Coeff	1	2	3	4	5
Temps (s)	50	120	350	230	100
Temps (min)	0.83	1.99	5.83	3.83	1.66
Charge Ent.	0.83	3.98	17.49	15.32	8.3
CE Totale (u.a)					45.92

Tableau 17 : Exemple de calcul d'une CE avec la méthode SHRZ (Edwards, 1993)

Analyse

La méthode SHRZ a été développée pour palier les limites de l'interprétation de la seule FC moyenne. Dans les sports collectifs comme le football, la FC varie en permanence au cours d'un entraînement ou d'un match, ce qui nécessite une analyse en fonction des différentes intensités (**Tableau 17**).

Des corrélations plus faibles lorsqu'il s'agit de quantifier des exercices de haute et très haute intensité

Un certain nombre de limites sont évoquées concernant l'utilisation de la méthode SHRZ, au même titre que la méthode TRIMP, pour évaluer avec précision les CE des sports d'équipe, malgré l'intégration de ces seuils censés tenir compte des différentes intensités. En effet, les sports collectifs incluent dans leur pratique des composantes anaérobies qui interagissent très différemment avec la

FC (Casamichana *et al.*, 2013a; Fanchini *et al.*, 2015a; Impellizzeri *et al.*, 2004). Si des corrélations fortes sont observées entre méthodes FC et RPE lorsqu'il s'agit de quantifier des exercices à dominante aérobie comme les oppositions sur grand terrain (r=0,73 à r=0,87), cela serait moins le cas lorsque les exercices sont de haute et très haute intensités , comme les jeux réduits, ou les exercices impliquant des accélérations et des sauts (r=0,35 à r =0,55) (Campos-Vazquez *et al.*, 2015).

Une augmentation de l'intensité définie de manière linéaire

Borresen *et al.* ont relevé des variations importantes de valeurs de CE entre individus, calculées avec les méthodes SHRZ, TRIMP et RPE (Borresen and Lambert, 2008). Leur analyse suggère que les athlètes qui présentent des temps passés dans les zones de hautes intensités, voient leur CE surestimées par les méthodes basées sur la FC par rapport à la méthode RPE. A l'inverse, les athlètes qui ont passé plus de temps d'entraînement dans les zones de basses intensités verraient leur CE sous-estimées par rapport à la méthode RPE. Cela se comprend, dans la mesure ou les FC inférieures à 50% de la FC maximale ne sont pas pris en compte par la méthode SHRZ. Le deuxième facteur limitant pourrait être lié aux coefficients choisis qui évoluent de manière linéaire, alors que la capacité de maintenir les intensités d'un effort selon la durée évolue de manière exponentielle ou logarithmique (Achten and Jeukendrup, 2003). De plus, une variation d'une seule pulsation modifie les facteurs de pondération de la zone, augmentant ou diminuant fortement la CE calculée.

1.6.2 Quantification par la perception de l'effort

1.6.2.1 La méthode « Séance-RPE »

Descriptif

La méthode CR-10, proposée par Foster *et al.*, multiplie des cotations de perception de l'effort par la durée de l'exercice (Foster *et al.*, 2001). Cette dernière est construite sur le principe scientifique que la perception de l'effort est un indicateur précis de l'intensité de l'exercice (Borg, 1962), en relation directe avec plusieurs témoins physiologiques, comme la FC et le lactate sanguin (Foster *et al.*, 1995). Foster *et al.* proposent de modifier l'échelle de Borg (1982) (**tableau 18**), cette dernière ayant évolué depuis 1970 (**tableau 19**). Différents types d'exercices peuvent être évalués, notamment ceux à haute intensité qui sont particulièrement difficiles à quantifier avec les méthodes basées sur la fréquence cardiaque (Foster *et al.*, 2001). Cette méthode repose sur la ressenti « subjectif » de l'athlète face à l'effort et est appliquée dans de nombreuses disciplines, comme en football (Akenhead and Nassis, 2015), en rugby (Gabbett and Jenkins, 2011), en basket, en football australien (Bartlett *et al.*, 2016), mais aussi dans des sports individuels comme la natation (Wallace *et al.*, 2008).

Indices	Appréciation
0	*Repos*
1	*Très très facile*
2	*Facile*
3	*Modérée*
4	*Assez difficile*
5	*Difficile*
6	
7	*Très difficile*
8	
9	
10	*Maximal*

Tableau 18: Echelle de perception de l'effort modifiée par Foster (2001)

Echelles de perception de l'effort « RPE » (Rating Perceived Exertion)												
The Borg RPE (1970)			The Borg CR-10 (1982)				Echelle modifiée de Foster			The Borg Centimax CR-100 (1994)		
15-grade scale			Category Ratio 10				Category Ratio 10			Category Ratio 100		
6			0	Rien du tout			0	Repos		0	Rien du tout	
7	Très très féger		0,5	Très très faible	Juste perceptible		1	Très très facile		2	Minimal	
8			1	Très faible			2	Facile		3	Extrêmement léger	
9	très léger		2	Faible	Léger		3	Modérée		5	Très léger	
10			3	Modéré			4	Assez difficile		13	Léger	
11	Assez léger		4	Plutôt fort			5	Difficile		20		
12			5	Fort	Lourd		6			25	Modéré	
13	Plutôt dur		6				7	Très difficile		35	Assez Dur	
14			7	Très fort			8			45		
15	Difficile		8				9			50	Dur, Lourd	
16			9				10	Maximal		60		
17	Très dur		10	Très très fort	Presque maximal					70	Très dur	
18			*	Maximal						80		
19	Très très dur									90	Extrêmement dur	
20										100	« Max » (presque maximal)	
										110		
										120		
										*	Maximum absolu	

Tableau 19 : Principales échelles basées sur le perception de l'effort (Echelles RPE)

Calcul de la charge d'entrainement

$$CE = \text{Durée de la séance} \times \text{RPE (u.a)}$$

Equation 8: Calcul de la CE avec la méthode RPE

Le calcul de la CE associe à la durée de l'exercice (paramètre de volume) une cotation choisie par le sportif (paramètre d'intensité). La multiplication entre les deux paramètres estime une charge d'entrainement exprimée en unités arbitraires (u.a).

Exemple pratique

Durée de séance (min)	Indice de séance	Appréciation	Charge d'entraînement (u.a)
60	2	Facile	120
75	7	Très difficile	525

Tableau 20 : Exemple de calcul d'une CE avec la méthode RPE (d'après Foster 2001)

Analyse

Les CE obtenues sont comparées avec la méthode SHRZ, lors d'exercices continus sur ergomètre mais aussi en situation de jeux avec des basketteurs (Foster *et al.*, 2001). Si les CE « RPE » sont supérieures en valeur absolue aux CE « SHRZ », les relations entre les deux méthodes semblent élevées. Autre atout avancé par Foster, celui de pouvoir quantifier tous les types d'exercices avec une même unité (arbitraire), qu'ils soient à dominante aérobie, intermittente, pliomètrique ou de musculation. Enfin, ce moyen d'évaluation non invasif ne dépend en rien de la fiabilité d'un matériel technologique sous la responsabilité des joueurs.

Une méthode subjective sous l'influence de l'humeur des sportifs

La cotation RPE reste subjective et peut conduire dans certains cas, à des notations influencées par le contexte psychologique du sportif au moment de l'évaluation. Un statut de remplaçant, un avenir sportif incertain, pourront par exemple modifier grandement l'état d'humeur du sujet (à prendre en compte par ailleurs). Une plus grande sensibilité à la difficulté d'un exercice de haute pénibilité pourra entrainer de ce fait une surcote de la CE totale de la séance.

Une méthode qui serait sensible à la distribution des exercices

La méthode RPE, proposée par Foster, repose sur une appréciation globale de l'intensité de la séance. Hors, selon la position d'un exercice de très haute intensité et de CE élevée, l'hypothèse pourrait être faite que ce dernier, lorsqu'il est placé à la fin, serait susceptible d'influencer la note finale, malgré les recommandations du protocole initial qui recommande d'attendre 30min après la fin de l'entraînement pour recueillir les appréciations des joueurs. L'étude de Fanchini *et al.* s'est penchée sur cette problématique, en évaluant les effets d'un changement de position de trois exercices de trois intensités différentes (faible, modérée, élevée). Les conclusions de cette étude amènent à penser qu'il n'y a aucune différence de quantification liée à une modification de distribution des exercices. Cette étude présente néanmoins deux limites. La première, les sujets sont de jeunes joueurs de catégorie « Junior », et ne sont pas soumis aux mêmes contraintes de stress que les joueurs professionnels. La deuxième, et sûrement la plus intéressante, concerne l'intensité de l'exercice qualifié de « haute intensité » (jeu réduit à 3 c 3 avec gardiens de but). Selon les auteurs de cette étude, la sollicitation cardiaque obtenue lors de l'exercice de « haute intensité » est de 90% de la FC

maximale, sur la base de 3 séquences de 4min de travail associées à 4min de récupération (nature de la récupération non précisée). Ce pourcentage semble très élevé, au regard du ratio temps de travail/temps de récupération proposé (1 :1), sauf si le temps de récupération n'est pas pris en compte, ce qui serait une vraie limite méthodologique. En effet, une autre étude réunissant des paramètres proches (même rapport d'opposition, mêmes règles, même surface de jeu, même durée totale de travail), rapporte un pourcentage légèrement inférieur (89,1±2,6 *vs.* 90 % de FCmax) mais avec un ratio bien inférieur (**1 :1** *vs.* **1 :0,6**) (Koklu *et al.*, 2015). Cela pourrait remettre en cause le choix du bloc qualifié de «haute intensité» de l'étude de Fanchini. Par conséquent, pour que la CE d'un exercice soit susceptible d'influencer véritablement la cotation finale, il convient de s'assurer en premier lieu que l'intensité (et/ou le volume) de l'exercice soit véritablement maximale.

Des cotations qui intègrent le paramètre « durée »

Les CE calculées en utilisant la méthode RPE sont le produit de la perception de l'effort multiplié par la durée totale de la séance. Il est à noter que cette méthode a été développée lorsque la plupart des auteurs considéraient la perception de l'effort comme un indicateur de la seule intensité de l'exercice (Borg, 1982; Foster *et al.*, 2001). Hors, le niveau d'augmentation des RPE est lié à la capacité des sujets à cumuler les distances (Joseph *et al.*, 2008; Noakes, 2008), quelque soit les conditions environnementales (température) (Crewe *et al.*, 2008). Ce résultat souligne le fait que les valeurs RPE ne décrivent pas seulement l'intensité de l'exercice, telle qu'elle est considérée par la méthode initiale, mais pourraient témoigner d'une combinaison de durée d'exercice, d'intensité et de repos. Par conséquent, on pourrait supposer que le RPE seul pourrait refléter le stress physiologique induit par l'exercice sans avoir à être multiplié par la durée pour obtenir la CE de l'exercice (Agostinho *et al.*, 2015).

Une méthode peut-être moins sensible à l'augmentation des CE des programmes de vitesse

Une expérimentation a été conduite pendant 6 semaines, en augmentant progressivement les CE hebdomadaires d'exercices de sprints, de répétitions de sprints et d'exercices pliométriques, afin d'améliorer les qualités de vitesse sur 10m (Lockie *et al.*, 2012). Les résultats statistiques de cette étude ont démontré une faible corrélation entre les augmentations de CE et de RPE, avec des tailles d'effet qualifiées de « faibles » à « modérées », quelque soit l'exercice (15/18<0,5). Les auteurs émettent l'hypothèse que la CE n'était peut-être pas suffisamment élevée pour impacter davantage RPE. On peut en conclure qu'une attention toute particulière doit être apportée lorsqu'il s'agit d'évaluer ce type d'efforts, très exigeants sur le plan physiologique, mais peut-être perçus comme plus faciles par rapport aux efforts de nature cardiorespiratoire.

Une méthode globale qui ne permet pas une quantification détaillée des séances

La méthode RPE CR-10 quantifie la CE de manière globale, et ne permet pas une évaluation individuelle de chaque exercice, ce qui limite les possibilités d'analyse. Face à ce constat, une méthode dérivée de celle-ci, additionnant les cotations de chaque exercice, pourrait représenter une solution pertinente pour les entraîneurs désireux d'étudier les CE de chaque composante de la séance. Dans cette perspective, la prise en compte, ou non, des temps de récupération entre les exercices peut se poser. Les travaux de Minganti *et al.* observent en effet des corrélations plus fortes entre les CE-RPE et la méthode SHRZ, au cours de séances par intervalles longs (5 x 1000m), lorsque le temps de récupération (égale à 53±1% du temps total) n'est pas pris en compte (r=0,82 *vs.* r=0,86) (Minganti *et al.*, 2011).

De nombreuses études s'accordent à reconnaître que la méthode RPE proposée par Foster est un bon indicateur de la charge interne des joueurs lors d'entraînements de football (Impellizzeri *et al.*, 2004). Ce propos est toutefois nuancé par Brito *et al.* qui estime que si la quantification des CE est primordiale pour la qualité des processus d'entraînement, les CE-RPE de séances et matchs sont très variables en fonction du contexte (qualité de l'adversaire, lieu du match, score). Il conviendrait d'avoir, selon cet auteur, une approche plus individualisée des CE. La méthode RPE n'en reste pas moins digne d'intérêt, par sa simplicité d'utilisation et sa validation scientifiquement. Elle permet d'autre part de mieux connaître les sportifs et leurs réactions par rapport à l'effort, tous n'étant pas sensibles de la même manière aux charges d'entraînement. Cependant, il semble indispensable d'envisager une évolution de cette méthode de quantification, reconnue pour quantifier les efforts d'endurance, pour répondre aux besoins spécifiques des sports collectifs comme le football, qui nécessitent une expertise plus précise des exercices qui composent les séances.

1.6.2.2 Paramètre de contrôle de la CE : « La monotonie »

Descriptif

Cet indicateur est un indice de variabilité de l'entrainement. Pour les sports collectifs comme le football, qui intègre ponctuellement deux ou trois séances lors d'une même journée, il faut additionner toutes les CE d'une même journée. Cela conduit donc à faire la somme des CE des 7 jours de la semaine (**tableau 21**). Notons qu'il est important d'intégrer les jours de récupération éventuels dans le calcul général (CE=0).

L'indice est calculé à partir de la formule suivante :

$$\frac{\bar{x}\ \text{CE Hebdomadaire}}{\sigma\ \text{CE Hebdomadaire}}$$

Equation 9 : Calcul de l'indice de monotonie (Foster 1998)

$\bar{x}$ CE = Moyenne hebdomadaire des CE quotidiennes

σ CE = Ecart-type hebdomadaire des CE quotidiennes

Exemple pratique

Semaine d'entrainement et de compétition	Semaine A	Semaine B	Semaine C
Lundi	200	650	500
Mardi	800	650	500
Mercredi	550	200	500
Jeudi	0	0	0
Vendredi	0	650	500
Samedi	200	650	500
Dimanche	750	200	500
Total des CE quotidiennes	**2500**	**3000**	**3000**
Moyenne des CE quotidiennes	357.1	428.6	428.6
Ecarts-types	339.6	284.1	189
Monotonie (< à 2)	**1.05**	**1.51**	**2.27**
Contrainte (Proche du total des CE quotidiennes)	**2629**	**4526**	**6803**
Forme (Proche de 0)	**-129**	-1526	**-3803**

Tableau 21 : Exemple de calcul de la monotonie de 3 semaines de compétition en football (Foster 1998)

Analyse

Le calcul de la monotonie de la CE hebdomadaire (moyenne des CE/écarts-types des CE) a été proposé pour optimiser les adaptations positives liées à l'entraînement et éviter ainsi les risques de surentraînement (Foster, 1998). Des valeurs de monotonie supérieure à 2 sont considérées par Foster comme négatives pour la préparation des sportifs. Sur des périodes de plusieurs semaines, le modèle étiologique de Windt et Gabbett permet d'optimiser également la compréhension des adaptations positives et négatives des CE (Windt and Gabbett, 2017; Windt *et al.*, 2017). Ces auteurs proposent un ratio (« acute chronic workload ratio ») pour identifier les risques de blessures, suite à une variation trop importante d'une CE hebdomadaire par rapport à la moyenne de celles des trois semaines précédentes. Le facteur de monotonie de Foster et « l'acute chronic workload ratio » de Windt et Gabbett ont le même objectif, mais sont fondés sur deux analyses opposées. En effet, le premier met en lumière le risque de programmer des CE sans contraste, alors que le deuxième prévient des risques de contraste de CE trop importants.

1.6.2.3 Paramètre de contrôle de la CE : « La Contrainte »

Descriptif

Le paramètre de « contrainte » est un paramètre lié aux adaptations négatives de la CE, et devient un témoin des risques de surmenage et/ou de surentrainement. Si la contrainte est supérieure à la CE, alors la capacité de performance des sportifs est affectée.

L'indice est calculé à partir de la formule suivante :

Contrainte = CE x Monotonie

Equation 10 : Calcul de l'indice de contrainte (Foster 1998)

1.6.2.4 Paramètre de contrôle de la CE : « Forme»

Descriptif

La forme (ou « Fitness ») représente la capacité de performance du moment du sportif.

L'indice est calculé à partir de la formule suivante :

Forme = CE - Contrainte

Equation 11: Calcul de l'indice de forme (Foster 1998)

Analyse

L'augmentation de la CE couplée avec celle de la monotonie peut engendrer un surmenage et des risques de maladies (Foster, 1998). Foster constate que les variations des CE au cours de la semaine font baisser la monotonie. A titre d'exemple, il observe qu'il est préférable de réaliser 4 séances avec des CE « lourdes » associées à 2 séances dont les CE sont considérées comme « faciles », et un jour de repos, plutôt que 6 séances moins difficiles, associées à un jour de repos. Dans cette étude, le seuil individuel est fixé à 4300 u.a. Au cours d'une période de 100 jours d'entrainement, trois blessures ont été identifiées. La première a été précédée d'une augmentation conjointe de charge (>4300 u.a), d'une forte monotonie (=2,4) et d'une contrainte élevée (>9500). La deuxième présentait de hautes valeurs de monotonie et de contrainte, tandis que la dernière couplait haute CE et haute contrainte. En conclusion de l'étude, Foster note que 84% des maladies sont précédées d'un pic de CE et 77% précédées d'un pic de monotonie.

L'étude de Foster repose sur l'analyse des CE hebdomadaires de skieurs de fond présentant des volumes d'entraînement quotidiens très largement supérieurs à ceux que l'on rencontre en football. En effet, le volume horaire d'une séance ne dépasse que rarement les 120 minutes[5] dans ce sport, soit 4 fois moins que dans certaines activités d'endurance (*i.e.* ski de fond, patinage). Dans ces conditions, le risque de surentraînement est beaucoup plus faible en football, tout comme les risques prononcés de « monotonie ».

[5] Page 40

1.6.3 Les méthodes basées sur les seuils ventilatoires

Ces deux méthodes reposent sur le même principe de calcul de la CE, en associant un coefficient de pondération à des phases ou des zones correspondant à des pourcentages de $\dot{V}O_{2max}$. La méthode Lucia est fondée sur 3 phases avec des coefficients qui augmentent de manière linéaire (**Tableau 22**) (Lucia *et al.*, 2003), alors que la méthode Wood en comprend 5 avec une progression des coefficients de façon exponentielle (**Tableau 24**) (Wood *et al.*, 2005).

1.6.3.1 La méthode LUCIA

Descriptif

Cette méthode de quantification a été conçue pour comparer les charges physiologiques de cyclistes professionnels à travers deux courses (tour de France et tour d'Espagne). L'intensité de l'exercice a été divisée en trois phases selon des valeurs références individuelles obtenues au préalable lors d'un test sur ergomètre en laboratoire. Le volume total et l'intensité sont intégrés en une seule variable.

Calcul de la charge d'entrainement

Phase 1	Phase 2	Phase 3
< seuil ventilatoire (VT)	entre VT et Point de Compensation Respiratoire (RCP)	> RCP
< 70% VO2max	entre 70 et 90% VO2max	> 90% VO2max
Intensité Légère	Intensité modérée	Intensité haute
1' = 1 Trimp (1 x 1)	1' = 2 Trimp (1 x 2)	1' = 3 Trimp (1 x 3)

Tableau 22: Facteurs de pondération pour chaque zone d'intensité d'entraînement (Lucia 2003)

CE = Somme Phase 1 + Phase 2 + Phase 3

Equation 12: Calcul de la CE avec la méthode des seuils ventilatoires (Lucia 2003)

Exemple pratique

	Zone 1	Zone 2	Zone 3
% FC max	< 70% VO2max	70 à 90% VO2max	> 90% VO2max
Coeff	1	2	3
Temps (min)	10	30	20
Charge Ent.	10	60	60
CE Totale (u.a)			130

Tableau 23 : Exemple de calcul de la CE avec la méthode des seuils ventilatoires (Lucia 2003)

1.6.3.2 La méthode WOOD

Descriptif

Wood *et al.* ont étudié les corrélations physiologiques et psychologiques de paramètres positifs (état de forme) et négatifs (état de fatigue) d'un modèle d'entraînement fondé sur les seuils ventilatoires, chez des coureurs de demi-fond (Wood *et al.*, 2005).

Calcul de la charge d'entrainement

	Zone I	Zone II	Zone III	Zone IV	Zone V
Coeff	2	4	6	10	16
Intensité	Moitié inférieure, entre 50% de FC de réserve et limite inférieure de la Zone III	Moitié supérieure, entre 50% de FC de réserve et limite inférieure de la Zone III	FC au seuil ventilatoire, +/- 5 bpm (70% VO2max)	Entre limite supérieure de Zone III et FCmax - 5 bpm	Effort supérieur à FCmax - 5 bpm
Temps (min)					

Tableau 24 : Facteurs de pondération pour chaque zone d'intensité d'entraînement (Wood 2005)

CE = Somme Zone I + Zone II + Zone III + Zone IV + Zone V

Equation 13: Calcul de la CE avec la méthode des seuils ventilatoires (Wood 2005)

Exemple pratique

	Zone I	Zone II	Zone III	Zone IV	Zone V
Coeff	2	4	6	10	16
Temps (min)	10	10	20	30	5
Charge Ent.	20	40	120	300	80
CE Totale (u.a)					**560**

Tableau 25 : Exemple de calcul de la CE avec la méthode des seuils ventilatoires (Wood 2005)

Analyse

Ces deux méthodes reposent sur la définition de zones ventilatoires associées à des coefficients d'intensité. Ces derniers augmentent de manière linéaire pour la méthode Lucia (de 1 à 3), et de manière exponentielle pour la méthode Wood (de 2 à 16). Dans le modèle de Wood, la performance est représentée par la différence entre les états de forme et de fatigue. Chaque paramètre comprend une série de facteurs individuels, estimés par le modèle de prédiction de performance, validé en compétition. Le modèle de la composante de forme met en évidence des corrélations avec le $\dot{V}O_{2max}$, l'économie de course et la vitesse de course au seuil ventilatoire. Le modèle de la composante fatigue est corrélé avec le profil d'état d'humeur individuel du sportif (POMS). La relation entre le modèle de forme et la performance est significative (r^2=0,92, p<0,01).

Par ailleurs, la méthode Wood ne prend pas en compte les intensités inférieures à 50% de la FC de réserve,, ce qui exclu automatiquement une grande proportion d'efforts spécifiques au football.

En conclusion, la principale limite de ces deux méthodes réside dans le fait qu'elles privilégient la quantification des efforts aérobies à un certain niveau d'intensité, ne sont pas sensibles aux efforts de vitesse et sont difficilement utilisables dans un contexte de terrain. Elles nécessitent une forte logistique (obligation pour les joueurs de porter à chaque séance les cardiofréquencemètres) et une réactualisation régulière des zones ventilatoires, ces dernières pouvant évoluer en fonction des adaptations à l'entraînement ou des blessures. C'est principalement pour ces raisons, à notre connaissance, que ces méthodes ne sont pas utilisées en football.

1.6.3.3 La méthode « Travail-Endurance-Récupération » (WER)

Descriptif

La méthode WER (Work Endurance Recovery) est une méthode qui vise à estimer le niveau de fatigue induit par l'exercice en utilisant le ratio travail cumulé (TC)/endurance limite (Endlim) associé au logarithme népérien du ratio Travail/Récupération. Pour calculer les CE, on retrouve plusieurs paramètres :

TC = Somme du travail réalisé à l'intensité requise

On exprime TC et l'endurance Limite dans la même unité :

-minute pour l'endurance

-seconde pour le sprint

- répétitions pour la force

TR = Somme des durées de récupération au cours de l'entrainement

Calcul de la charge d'entrainement

Datas	**Temps de récupération**	**Travail Cumulé**	**Endurance Limite**
	TR	**TC**	**Capacité de maintenir le plus longtemps possible une intensité fixée**

$$CE = (TC/Endlim) + Ln\ (1 + TC/TR)$$

Equation 14 : Calcul de la CE avec la méthode WER (Desgorces 2007)

Exemple pratique

Exercice : 7 x 30m R = 90"

Sprint 1	Sprint 2	Sprint 3	Sprint 4	Sprint 5	Sprint 6	Sprint 7
4.3	4.24	4.17	4.22	4.18	4.25	4.28

Datas	R (s)	TR (s)	TC (s)	Endurance Limite (s)
	Durée de récupération	Durée totale des récupération 90 x 6	Durées des sprints 1+2+3+4+5+6+7	Performance réalisée en test avec Cellules P.
	90	540	29.64	11.4
			Total CE (u.a)	2.65

$$CE = (29.64/11.4) + \ln (1 + 29.64/540) = 2.65$$

Tableau 26 : Exemple de calcul de la CE avec la méthode WER (Desgorces 2007)

Analyse

La première limite concerne la difficulté de mesurer l'endurance limite des exercices contextualisés et intégrés en sports collectifs. En effet, les possibilités sont si nombreuses, (choix des rapports d'opposition, choix des dimensions des terrains et des règles) qu'il est presque impossible d'estimer la charge maximale (endurance limite) de chacun d'entre eux.

La deuxième limite réside dans le fait que cette méthode ne prend en compte que le travail total réalisé à une certaine intensité (Endurance limite), et donc ne prend pas en compte le travail sous maximal. Cela peut s'avérer problématique lorsqu'il s'agit de quantifier des efforts tels que ceux d'échauffement ou de courses à intensité modérée.

1.6.3.4 Les méthodes basées sur la lactatémie

Descriptif

La possible interprétation de la lactatémie comme témoin d'intensité de l'exercice repose sur le fait que les concentrations de lactate sanguin augmentent de manière exponentielle, conjointement avec l'augmentation de l'intensité. En faisant référence aux différents seuils (aérobie et anaérobie), et tenant compte de cette cinétique spécifique, il est possible grâce à des coefficients pondérateurs, de calculer la CE d'exercices (Mujika *et al.*, 1996). Cette méthode a été développée à l'origine pour les nageurs, et le volume représenté par des kilomètres.

Calcul de la charge d'entrainement

Zones	Lactatémie	Coeff
Coeff 3	Coeff 2	Coeff 1
I	INF 2 mmol-1	1
II	2 à 4 mmol-1	2
III	4 à 6 mmol-1	3
IV	6 à 10 mmol-1	5
V	Sup 10 mmol-1	8

Tableau 27: Zones, seuils et coefficients de la méthode LTZones (Mujika 1996)

CE = km(Zone I) x 1+ km(Zone II) x 2+ km(Zone III) x 3+ km(Zone IV) x 5+ km (Zone V) x 8

Equation 15: Calcul de la CE avec la méthode LTZones (Mujika 1996)

Exemple pratique

Exemple de séance				
Distance (km)	**Zones**	**Lactatémie**	**Coeff**	**Charge d'entraînement (u.a)**
3	I	INF 2 mmol-1	1	3
3	II	2 à 4 mmol-1	2	6
2	III	4 à 6 mmol-1	3	6
1	IV	6 à 10 mmol-1	5	5
0,5	V	Sup 10 mmol-1	8	4
			Total CE (u.a)	**24**

Tableau 28: Exemple de calcul de la CE avec la méthode LTZones (Mujika 1996)

Analyse

Parmi les réserves d'usage, nous pouvons citer en premier le coût du matériel. Le prix des bandelettes d'analyse représente une dépense onéreuse pour une utilisation quotidienne. Ponctuellement, lors de calibration d'exercices ou lors de tests physiologiques, l'analyse des concentrations de lactate sanguin peut être en revanche pertinente. Deuxième limite, la manipulation de ces instruments en période hivernale. Les conditions météorologiques (froid, pluie, vent) sont des contraintes à ne pas négliger lorsqu'il s'agit de prélever 20microlitres à la pulpe du doigt, que ce soit au niveau du préleveur (les gants en latex ne protègent pas du froid) ou au niveau du sportif, concernant le manque d'irrigation de la zone à piquer en cas de température trop basse.

1.6.3.5 Les méthodes basées sur l'interprétation des données GPS

Descriptif

Le début des années 2000 marque un tournant important dans la manière d'appréhender l'entraînement. L'arrivée sur le marché du matériel GPS a permis aux staffs d'accéder à de nouvelles informations sur la quantité et la qualité des efforts réalisés lors des séances (Edgecomb and Norton, 2006; Witte and Wilson, 2004). Composé d'un accéléromètre, d'un magnétomètre et d'un gyroscope, les GPS de haut de gamme fournissent de nombreuses informations dans les trois plans de l'espace. Ces dernières peuvent être classées en 3 catégories :

* **Volume** : distances totale parcourues à différentes vitesses, nombre de sprints, nombre d'accélérations et de décélérations, nombre de sauts…

* **Intensité** : distance relative[6] exprimée en $m.min^{-1}$, vitesses ou accélérations maximales atteintes

[6] Ce paramètre peut être aussi interprété comme un paramètre de volume

*** Fréquence** : ratios entre le nombre d'efforts réalisés à différentes intensités par unité de temps

Calcul de la charge d'entrainement

Différentes équations sont proposées par des constructeurs pour calculer les CE (**Equations 16 et 17**) :

Le « Player Load » de Catapult®

$$\text{Player load} = \sqrt{\left((aca_{t=i+1} - aca_{t=1})^2 + (act_{t=i+1} - act_{t=1})^2 + (acv_{t=i+1} - acv_{t=1})^2\right)} \Big/ 100\,,$$

aca=accélération antéro-postérieure, act=accélération latérale, acv= accélération verticale i=temps instantané, t=temps

Equation 16 : Calcul de la CE « Player Load » avec l'algorithme GPS de Catapult® : (Casamichana 2013)

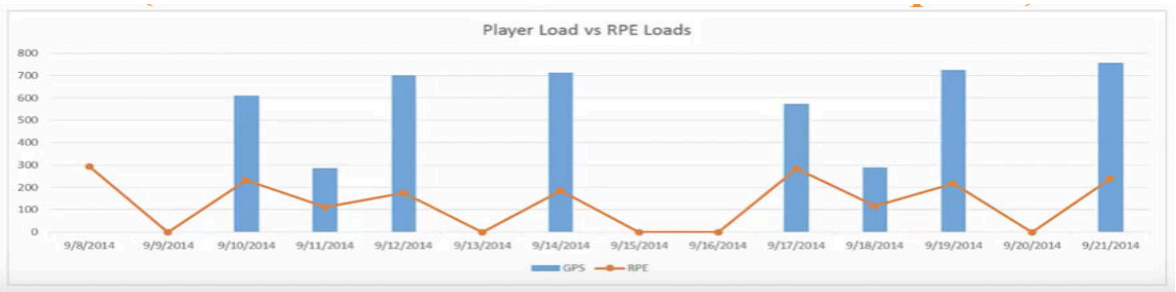


Figure 15: Relation entre les CE calculées avec les méthodes « **Player Load** » (Catapult ®) et RPE (www.catapultsports.com)

Le « Body Load » de GPSports®

CE=Somme des accélérations + décélérations + nombre d'actions /poids du joueur

Equation 17 : Calcul de la CE « Body Load » avec l'algorithme GPS de GPSports® (d'après Di Prampero 2005)

Analyse

La première réflexion concerne le choix des critères retenus par les différentes équations. En ce qui concerne le choix des seuils d'accélérations et décélérations, ces derniers sont rarement précisés et restent arbitraires. Cela pourrait représenter une limite certaine lors de jeux d'entraînement à effectifs réduits lorsqu'ils sont effectués sur des surfaces de jeu aux dimensions réduites.

Le deuxième écueil concerne les données qui sont présentées aujourd'hui en valeurs relatives et non individualisées. En effet, les zones de vitesse ne sont pas définies en pourcentage d'une performance maximale, tout comme les distances parcourues en pourcentage d'une VMA personnelle. Le sujet est au centre des réflexions des fournisseurs, qui commencent à développer des interfaces spécifiques, en prenant en compte les paramètres individuels pour traduire les mesures enregistrées (McLloyd®). Mais ceci est loin d'être généralisé.

1.6.4 Comparaison, validation des méthodes

1.6.4.1 Méthode TRIMP

Comparaisons avec d'autres méthodes de quantification

La méthode TRIMPS a été élaborée pour quantifier les CE d'efforts à dominante aérobie prolongée, mais aussi pour évaluer celles des sports collectifs comme le football (Le Gall, 2002a). Cette dernière est comparée avec d'autres méthodes qui intègrent des marqueurs d'intensité différents (Alexiou and Coutts, 2008; Ben Belgith, 2012; Borresen and Lambert, 2008; Campos-Vazquez *et al.*, 2015; Casamichana *et al.*, 2013a; Desgorces *et al.*, 2007; Impellizzeri *et al.*, 2004). La méthode TRIMP est considérée comme précise lorsqu'il s'agit d'évaluer des exercices continus de nature aérobie (vélo, rameur, stepper ou course sur tapis roulant), au même titre que les méthodes RPE ou SHRZ (Borresen and Lambert, 2008). D'autres études ont confronté cette méthode aux exercices « intermittents », propres aux sports collectifs. Impellizzeri *et al.* rapportent des corrélations positives (r=0,50 à r=0,85) pour des séances composées de plusieurs types d'exercices spécifiques au football, lors de sept semaines de compétition. Scott *et al.* ont comparé les CE issues de 97 séances d'entraînement (29 semaines de compétition), en utilisant la méthode TRIMP et celles basées sur la perception de l'effort et les zones de fréquence cardiaque, dont les corrélations ont été étudiées avec des variables et algorithme GPS (Scott *et al.*, 2013). Toutes les corrélations de cette étude sont considérées comme « larges », entre méthodes RPE et TRIMP et RPE et SHRZ (respectivement, r=0,73 et r=0,77), et presque « parfaites » (r=0,98) entre méthodes de FC. Les corrélations sont également définies comme « larges » entre toutes ces méthodes et l'algorithme GPS « PlayerLoad » (Catapult®), construit sur la sommation d'accélérations (r=0,73 à r=0,84), ainsi que plusieurs variables de la charge externe, dont la distance totale (r=0,73 à r=0,80).

Alexiou et Coutts comparent les CE au regard de celles obtenues avec les méthodes basées sur la perception de l'effort, les zones de fréquences cardiaques et les seuils lactiques, lors de 735 (±88) séances (entraînements et matchs de football) d'une équipe féminine (Alexiou and Coutts, 2008). Les niveaux d'ensemble des corrélations semblent forts (r=0 ,83 à 0,85, p<0,01). Toutefois, lorsque les corrélations sont étudiées par famille d'exercice, celles calculées pour les efforts de « résistance », de vitesse ou de compétition, sont plus contrastées (r=0,61 à r=0,79). Cela pourrait s'expliquer par la nature intermittente de ces efforts de très haute intensité, laissant supposer que dans certains cas, toutes les méthodes n'ont pas la même sensibilité (Borresen and Lambert, 2008). Cette limite est également évoquée dans le contexte d'une semaine d'entraînement d'une équipe professionnelle de football qui propose des exercices spécifiques (techniques, jeux réduits, tactiques et de vitesse) (Campos-Vazquez *et al.*, 2015). Les recommandations des auteurs amènent en effet à la prudence

quant à l'interchangeabilité des méthodes, les corrélations interindividuelles relevées entre les mesures d'intensité de FC et les CE étant variables.

1.6.4.2 Méthode Summated Heart rate zone (SHRZ)

La méthode SHRZ a permis la validation d'autres méthodes pour quantifier les CE d'entraînements d'endurance (Foster, 1998), ou certains exercices intermittents de Basket et de football (Foster *et al.*, 2001; Impellizzeri *et al.*, 2004). Di Salvo *et al.* ont quantifié 1010 séances individuelles de footballeurs professionnels, en utilisant les méthodes RPE et SHRZ, durant 43 semaines de compétition. L'objectif de cette étude était de quantifier les CE des joueurs en fonction de leur poste, aux sollicitations métaboliques spécifiques (Di Salvo *et al.*, 2007). L'étude des magnitudes entre méthodes a montré de fortes corrélations, quelques soit les postes ($0,70 < r < 0,84$), confirmant dans ce contexte d'évaluation globale, une bonne précision de la méthode SHRZ.

1.6.4.3 Méthode Séance-RPE

Avec les méthodes basées sur la FC

La méthode de quantification RPE est étudiée depuis plus de quinze ans dans tous les contextes sportifs, et comparée avec de nombreuses méthodes, notamment celles basées sur la FC. Des coefficients de corrélation, de magnitudes « modérées » à « fortes » (r=0,50 à r=0,85, p<0,01) ont été ainsi trouvés avec les méthodes TRIMP, SHRZ et Lucia (Impellizzeri *et al.*, 2004). Cela semble témoigner, dans un contexte global d'entraînement, et non spécifique d'exercice, de la qualité de ces relations.

Avec les variables GPS

Avec le développement des hautes technologies, les scientifiques peuvent étudier les relations entre les variables RPE (cotations RPE et CE RPE) et les variables GPS (*i.e.* distances, accélérations, décélérations, sprints). Parmi ces variables, Johnston *et al.* ont constaté que des rugbymen, soumis à de fortes CE (avec une intensité RPE ≥9), parcouraient plus de distance cumulée en accélérations et décélérations par rapport à d'autres joueurs dont les CE étaient considérées comme plus faibles (RPE ≤ 8) (Johnston *et al.*, 2015). Bartlett *et al.* ont tenté de quantifier et de prédire les relations entre le seul indice RPE (sans le multiplier par la durée) et plusieurs variables GPS, comme la distance totale parcourue, les vitesses de course à haute intensité, la vitesse et/ou distance relative ($m.min^{-1}$), ou encore avec une CE calculée par l'algorithme « PlayerLoad » (Catapult®) (Bartlett *et al.*, 2016). La **distance totale parcourue** par des joueurs de football australiens (et non de « soccer ») a été identifiée par ces auteurs comme le facteur le plus précis pour **prédire RPE** (r=0,77), suivi de celui des distances courues à haute intensité (>14,4 $km.h^{-1}$, r=0,69). Ce résultat est confirmé par d'autres auteurs comme Casamichana *et al.* qui notent une excellente relation avec les méthode GPS

« PlayerLoad » et SHRZ (Casamichana *et al.*, 2013a). Lovell *et al.* révèlent également que 62,4% de la variance ajustée des CE RPE, pour des rugbymen, peut être expliquée par la distance totale parcourue, le nombre d'impacts, l'algorithme GPS « Body load » (GPSports®) et la méthode TRIMP (r =0,5 à r=0,7 ; « large ») (Lovell *et al.*, 2013).

Une autre étude, mais avec des footballeurs professionnels cette fois, a relevé des corrélations moins fortes (« modérées » et « petites »), entre RPE, CE-RPE et les distances totales de course pour la même intensité (respectivement r=0,14 ; r=0,11), les impacts (respectivement r=0,09 ; r=0,45) et les accélérations (>3m.s^{-2}, respectivement r=0,25 ; r=0,37) (Gaudino *et al.*, 2015). Cela pourrait démontrer que le type d'activité sportive conditionne aussi les relations entre les indices RPE et certaines variables GPS.

1.6.4.4 Méthode WER

Cette méthode semble pouvoir quantifier les exercices intermittents variés, présentant une variabilité des CE interindividuelles faible, corrélée à celles des méthodes basées sur la FC, reconnues comme valides pour évaluer le stress physiologique induit par ce type d'exercice (r=0,63 / TRIMPS, r=0,64 / SHRZ, p<0.05) (Desgorces *et al.*, 2007). Cette méthode est également reconnue comme précise pour évaluer certains exercices d'appuis ou techniques en football, avec des corrélations fortes avec la méthode RPE (r^2=0.60) et TRIMPS (r^2=0.62). Les corrélations sont cependant moins fortes pour l'évaluation des charges de musculation programmées dans le cadre de séances de réhabilitation post-blessure pour des joueurs de football professionnels (Ben Belgith, 2012). Ces différences résident dans le fait que l'augmentation de l'intensité de travail, à volume constant, se traduit par une baisse de la perception de l'effort lors de la première phase d'entraînement. En d'autres termes, l'entrainement assidu en musculation permet des gains de force rapides, malgré l'augmentation des charges, avec un meilleur ressenti de la part des sujets, et donc d'une perception moindre de la difficulté de l'effort.

1.6.4.5 Méthodes GPS

Il n'y a pas aujourd'hui une équation ou un algorithme qui fait référence pour le calcul de la CE avec l'unité GPS. Chaque fabricant propose sa propre méthode de calcul, avec la prise en compte de différents paramètres, principalement ceux d'accélération et de décélération. Ces paramètres semblent en effet témoigner avec une certaine précision de l'intensité réelle des efforts, que ce soit lors d'exercices de sprints, à l'entraînement et/ou en compétition (Castellano *et al.*, 2011; Castellano *et al.*, 2013; Johnston *et al.*, 2015).

Pour revendiquer la légitimité de leur méthode de quantification, les constructeurs tentent de vérifier les corrélations potentielles entre les CE calculées par leur algorithmes et les CE calculées par des

méthodes déjà validées (**Figure 15**). A ce titre, Bartlett *et al.* ont étudié les relations entre les CE calculées par le « Player load » (Catapult©) et RPE (Bartlett *et al.*, 2016), en défendant la précision et la fiabilité du modèle (Boyd *et al.*, 2011; Varley *et al.*, 2012). Leurs observations montrent une forte corrélation (« effet large ») entre les deux, concernant la distance totale parcourue (r=0.77) et le nombre de courses à hautes intensités (r=0.62). Les corrélations semblent moins fortes (« effet modéré ») avec le pourcentage d'efforts à hautes intensités (r=0.40) et la vitesse et/ou distance relative exprimée en $m.min^{-1}$ (r=0.49).

Scott *et al.* constatent également des relations fortes entre « Player Load » et méthodes RPE (r=0,84), TRIMPS (r=0,73) et SHRZ (r=0,80), ainsi qu'avec des indicateurs de volume (*i.e.* distance totale, distances supérieures à 14,4 et 19,8 $km.h^{-1}$; r=0,71-0.84) (Scott *et al.*, 2013). Casamichana *et al.* observent pour leur part des corrélations entre les CE calculées avec le « Player Load » et des indicateurs de charge externe (*i.e* : distance totale parcourue ; r=0.70), mais aussi de charge interne (*i.e* : méthodes SHRZ ; r=0.72 et méthode RPE ; r=0,74) (Casamichana *et al.*, 2013a). Il est important de souligner que le contenu des séances n'est pas précisé, en dehors de l'exclusion d'exercices de musculation, ce qui amène à la prudence concernant la puissance des relations effectives entre méthodes de quantification. Ces auteurs en concluent néanmoins que la charge interne est étroitement liée au volume des accélérations produit par la charge externe.

1.7 Problématiques et questionnements à l'issue de cette revue de littérature

Le choix de la méthode de quantification est l'élément central pour un contrôle précis des charges d'entraînement des séances et semaines de travail. Au regard de notre revue de littérature, nous pouvons légitimement nous poser la question de savoir laquelle retenir pour le football, au regard de la grande variété d'intensités prescrites lors des diverses situations d'entraînement. Ces dernières, qui intègrent des efforts aérobies, continus, mais aussi intermittents et de répétitions de sprints, nécessitent idéalement l'utilisation d'un marqueur d'intensité commun.
Les exercices intégrés et contextualisés à haute et très haute intensité sont les compléments quotidiens de situations analytiques, dont l'organisation au sein d'une séance n'est pas forcément sans conséquence sur la perception de l'effort final, les implications et les adaptations physiologiques.

Si la méthode RPE semble être utilisée en majorité par les clubs amateurs et professionnels, elle n'est pas conçue au départ pour quantifier les exercices spécifiques au football. Fondée sur ses corrélations avec différents témoins physiologiques, notamment la fréquence cardiaque, elle est élaborée à l'origine pour quantifier des séances d'entraînement aérobies dans leur globalité. Comme ces dernières sont construites le plus souvent à partir de plusieurs exercices dont les intensités et thèmes différent, nous pouvons nous questionner sur leur influence respective sur cette CE globale, notamment par rapport à la place qu'ils occupent dans la séance. Le contexte particulier du football professionnel met également en avant les limites de cette notation globale, les joueurs pouvant être influencés au moment de leur notation, selon leur humeur, par un exercice difficile placé en fin de séance.
Face à ce constat, envisager une notation par exercice pourrait représenter plusieurs avantages, à condition toutefois d'être validée par comparaison avec la méthode globale. Cette nouvelle méthode permettrait d'établir des quantifications par catégories d'exercices ou dominantes physiologiques. Le second avantage, celui de relativiser le poids d'un exercice, en terme de CE, dans la notation globale. Enfin, la possibilité de quantifier les CE des exercices pourrait permettre la création de bases de données, chaque exercice étant associé à une CE spécifique, en fonction de son intensité, sa durée et sa place dans la séance.

Une autre problématique majeure des préparateurs physiques est celle de connaître avec précision les effets physiologiques de leurs contenus d'entraînement, en termes de fatigue induite et de délais nécessaires pour permettre les adaptations physiologiques recherchées. Si les effets des exercices

analytiques semblent faciles à appréhender, ceux liés aux exercices spécifiques au football pourraient être plus difficiles à évaluer.

La méthode RPE plébiscitée aujourd'hui, offre-t-elle la possibilité d'estimer justement ces délais de récupération à partir de la simple interprétation des valeurs de CE ?
Quelles sont les répercussions de l'augmentation du volume (nombre de séries) de ces exercices spécifiques sur les organismes et sur les performances des joueurs ?
Les outils de haute technologie (GPS) peuvent-ils permettre une meilleure appréciation de ces effets ?
Enfin, le suivi des indices d'état, la mise en place de tests physiques de contrôle sont-ils efficaces pour permettre le suivi quotidien du footballeur de haut niveau ?

Nos trois protocoles ont été construits en raison de leur complémentarité. Si la première étude à été réalisée par une population de sportifs amateurs, les deux autres ont fait appel à des joueurs professionnels dans leur contexte quotidien d'entraînement.

Les conclusions de nos travaux ont pour ambition de permettre une meilleure approche de la quantification des exercices spécifiques au football et de leurs effets, en proposant de nouvelles solutions méthodologiques et de monitoring.

CHAPITRE III : CONTRIBUTION PERSONNELLE

Etude n°1

« Effets des changements de la distribution de l'intensité sur les performances et la quantification des charges d'entraînement »

Article accepté par la revue « Biology of Sport » (juin 2017)

Etude n°2

« Effets sur les performances physiques, de l'augmentation du volume d'exercices spécifiques au football, réalisés à haute intensité »

Article en révisions mineures, revue «Journal of Strength and Conditioning Research » (juin 2017)

Etude n°3

« Quatre mois de charge d'entraînement globale et par exercice chez le footballeur professionnel »

Article accepté par la revue «Science et Sports » (mars 2017)

1.8 ETUDE n°1

Effets des changements de la distribution de l'intensité sur les performances et la quantification des charges d'entraînement

Effects of intensity distribution changes on performance and on training loads quantification

Article accepté par la revue « Biology of Sport » (juin 2017)

INTRODUCTION

Au regard de l'histoire du sport moderne et les différences de performances observées entre les niveaux de compétition, on peut supposer que les athlètes ont augmenté leurs charges d'entraînement (CE) pour améliorer leurs performances. Par conséquent, de nombreux auteurs supposent que la relation entre l'entraînement et la performance peut être réduite à une simple relation de dose-réponse (Calvert, 1975; Taha and Thomas, 2003). De façon surprenante, si les méthodes et les outils pour évaluer la « réponse » à l'entraînement sont largement disponibles (mesures des performances physiologiques, physiques ou sportives), la mesure de la « dose » d'entraînement semble moins évidente (Desgorces *et al.*, 2007; Lambert and Borresen, 2010). Dans la littérature scientifique, l'entraînement est décrit et quantifié par le volume d'entraînement (quantité) ou par la CE (Lambert and Borresen, 2010; Seiler and Kjerland, 2006; Smith, 2003). Pour les athlètes dont l'activité sollicite des intensités variées, les volumes effectués à de faibles intensités pourraient être surexprimés dans le volume total d'entraînement, ce qui conduirait à délimiter les volumes selon des zones d'intensité spécifiques (Desgorces and Noirez, 2008; Seiler and Kjerland, 2006). Inversement, la CE doit exprimer en une seule valeur le stress physiologique induit par l'exercice qui est imposé aux athlètes, en combinant l'intensité, le volume et la fréquence de l'exercice (Akenhead *et al.*, 2016; Smith, 2003). Dans le but d'étudier la relation entre l'entraînement et la performance, le stress physiologique est de préférence exprimé par rapport aux capacités individuelles, habituellement définie comme "CE interne" (Akenhead *et al.*, 2016). Dans certaines méthodes de quantification, la CE est le résultat de la multiplication de la durée de l'exercice par un paramètre décrivant l'intensité de l'exercice, qui est dans certains cas la fréquence cardiaque de l'exercice (FC) (Banister, 1991; Edwards, 1993) ou une note de perception de l'effort (RPE) (Foster *et al.*, 2001). D'autres méthodes ont été basées sur le ratio établi entre le travail cumulé et l'endurance limite (Desgorces *et al.*, 2007) et, plus récemment, sur les nouvelles technologies tels que les systèmes de positionnement globaux par satellite (GPS) (Buchheit *et al.*, 2014b; Coutts and Duffield, 2010). À ce jour, les données publiées

relatives à ces nouveaux dispositifs technologiques ne sont que rarement exprimées par rapport aux capacités individuelles. En résumé, certaines méthodes de quantification de la CE sont basées sur un paramètre physiologique spécifique (FC) tandis que d'autres sont basées sur une évaluation plus large du stress physiologique induit par l'exercice (perception de l'effort ou niveau d'endurance limite atteinte).

Les méthodes de quantification de la CE ont été principalement développées en référence à l'exercice aérobie, et la validité de la méthode RPE a été testée par comparaison avec les méthodes basées sur la FC (Calvert, 1975; Foster *et al.*, 2001; Impellizzeri *et al.*, 2004). Néanmoins, l'entraînement moderne utilise principalement des exercices par intervalles à hautes intensités, pour développer la puissance aérobie et améliorer la force (Laursen and Jenkins, 2002). Par ailleurs, si certaines séances d'entraînement peuvent être basées sur une répartition distincte des intensités des exercices, en fonction de la capacité physique cible (exercices de sprints, de force et/ou d'endurance sollicités séparément) (Bangsbo *et al.*, 2006; Stolen *et al.*, 2005), d'autres séances peuvent au contraire prescrire une organisation mixte des intensités d'effort étant susceptibles de modifier la qualité des efforts (Casamichana *et al.*, 2013a; Castellano *et al.*, 2013). Considérée plus spécifique, l'organisation mixte des intensités au sein des exercices apparaît de plus en plus répandue dans les sports d'équipe, de raquette et de combat (Casamichana *et al.*, 2013a). Les effets de la distribution des intensités dans les séances d'entraînement ont été largement rapportés pour changer les réponses physiologiques à l'exercice, en contradiction avec une étude qui n'a relevé aucun effet sur les CE calculées avec la méthode séance-RPE (Fanchini *et al.*, 2015b; Stolen *et al.*, 2005). On pourrait émettre l'hypothèse que la précision des méthodes de quantification pourrait dépendre de leurs paramètres, au regard de la composition des exercices de la séance.

La présente étude analyse les effets du changement d'organisation des intensités des exercices dans la séance, sur les performances physiques et les CE calculées par les méthodes basées sur la fréquence cardiaque et sur des indicateurs plus globaux, témoignant du stress physiologique induit par l'exercice.

MATERIEL ET METHODES

Dans cette étude, ont été comparées les CE de séances par intervalles de haute intensité, séances organisées de manière dissociée et mixée. Dans ce sens, nous avons proposé deux modèles d'efforts, lors desquels, les mêmes intensités d'exercices, durées de travail et de récupération ont été prescrites. Chaque sujet a effectué en amont deux séances de tests, et réalisé ensuite, dans un ordre aléatoire, deux séances basées sur ces deux modèles d'efforts dissociés et mixés (**figure 1**).

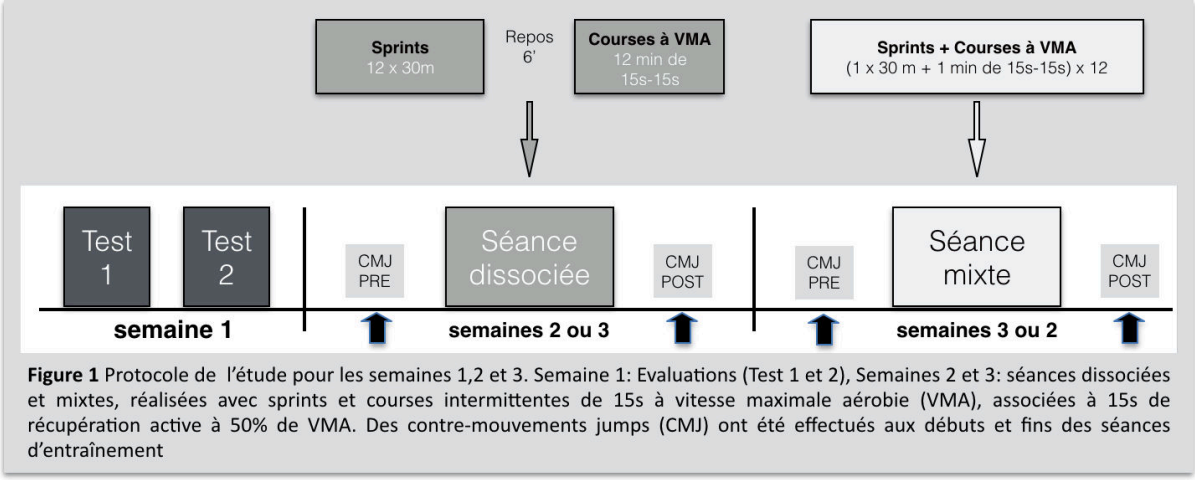


Figure 1 Protocole de l'étude pour les semaines 1,2 et 3. Semaine 1: Evaluations (Test 1 et 2), Semaines 2 et 3: séances dissociées et mixtes, réalisées avec sprints et courses intermittentes de 15s à vitesse maximale aérobie (VMA), associées à 15s de récupération active à 50% de VMA. Des contre-mouvements jumps (CMJ) ont été effectués aux débuts et fins des séances d'entraînement

Lors des séances de tests, certaines capacités physiques maximales des sujets ont été évaluées (vitesse maximale aérobie -VMA- et endurance limite). Ces séances ont été espacées d'un délai minimum de récupération de 48h. Cette étude a été réalisée sur une période de 3 semaines.

Toutes les séances de tests et d'exercices ont été effectuées sur la même piste d'athlétisme, dans des conditions météorologiques similaires (de 10 à 15 ° C), l'après-midi (à partir de 16 h) et lors de chaque séance, les sujets ont été verbalement encouragés pour donner le meilleur d'eux-mêmes. Aucun exercice ou entraînement intense n'a été effectué dans les 24h précédant les tests ou les séances de l'étude.

Sujets

Quatorze étudiants en éducation physique ont participé à l'étude (21,9±1,2 ans, poids: 68,3±7,9 kg, taille: 180±7,3 cm). Les sujets s'entraînaient au moins 4 fois par semaine et tous étaient engagés dans une compétition sportive officielle et annuelle. Tous les sujets ont passé une visite médicale avant le début de l'étude et ont donné leur consentement par écrit, conformément aux directives du comité français d'éthique local.

PROCEDURES DE TESTS

Chaque séance était précédée d'un échauffement spécifique (15min). Course lente, gammes athlétiques globales et spécifiques, étirements activo-dynamiques et sprints progressifs ont été réalisés.

Lors de la première séance de test, les sujets ont effectué un test de sprint pour déterminer leur endurance limite à vitesse maximale (EndlimVmax). Ce test était identique au protocole du test de Wingate, réalisé en courant, intégrant un démarrage à intensité maximale, sans chercher à gérer l'effort. Les sujets ont effectué ensuite un sprint à vitesse maximale sur une distance de 200m (sur une piste d'athlétisme standard de 400m), les vitesses étant évaluées tous les 20m par un système d'enregistrement vidéo, puis analysées par logiciel (logiciel LongoMatch, version 0.18). L'endurance

limite individuelle a été définie comme étant le moment où la perte de vitesse dépassait 5% de la vitesse la plus élevée observée depuis le début du test.

Après 20min de repos, les sujets ont effectué un test d'effort progressif jusqu'à épuisement, afin de déterminer leur VMA, en utilisant le test sur piste de l'Université de Montréal (Leger and Boucher, 1980). La vitesse du premier palier a été fixée à 8 $km.h^{-1}$ et a été augmentée de 1 $km.h^{-1}$ toutes les 2min. Le dernier palier complété correspondait à leur VMA.

La deuxième séance de test a eu lieu après trois jours de récupération. Les sujets ont effectué un test à 100% de leur VMA jusqu'à épuisement, pour déterminer leur endurance limite individuelle à cette vitesse (EndlimMAV).

Séances

Les séances organisées de manière dissociée et mixée ont été réalisées par les sujets dans un ordre aléatoire. La séance dissociée consistait tout d'abord à la réalisation de sprints répétés (12 x 30m à vitesse maximale), entrecoupés d'une récupération de 90s. Une fois les sprints effectués, une récupération de 6min a été prescrite. Après cette pause, un exercice par intervalle de 12min a été effectué, en alternant 15s à 100% de VMA et 15s à 50% de VMA.

La séance mixte consistait en 12 séquences, composées d'un sprint sur 30m, suivi d'une récupération de 60s, puis de 2 courses de 15s-15s à 100% et 50% de VMA (récupération active), conclues par une récupération passive de 60s. Par conséquent, les intensités des exercices, la durée totale des efforts et des temps de récupération étaient identiques dans les deux modèles d'organisation, même si évidemment, les exercices eux-mêmes et la durée de leurs pauses différaient.

Les FC ont été mesurées et enregistrées au repos, ainsi que toutes les 5s au cours de chaque séance d'entraînement et de tests, en utilisant des émetteurs et récepteurs de FC codés individuellement pour éviter les interférences (Polar RS400, Kempele, Finlande).

Immédiatement après l'échauffement et la fin de chaque séance, un saut en contre-mouvement (CMJ) a été effectué sur un tapis Bosco (Bosco *et al.*, 1983). Les sujets ont effectué quatre CMJ avec 20s de récupération entre chaque saut. Les consignes d'exécution pour les sauts verticaux précisaient le respect d'un angle tibia-fémur de 90 degrés en position de départ. Les mains fixées étaient maintenues sur la taille tout au long du saut, en évitant les mouvements latéraux et avant-arrière inutiles, la réception du saut s'effectuant jambes tendues. Tout saut qui ne respectait pas les critères établis n'a pas été retenu, mais renouvelé ensuite. La valeur moyenne des trois meilleurs sauts a été utilisée dans l'analyse pour améliorer la précision des mesures, comme recommandé par Taylor et Cormack (Cormack *et al.*, 2008; Taylor *et al.*, 2010). La hauteur de saut maximale a été choisie comme variable dépendante.

Au cours des séances, la mesure du temps de chaque sprint a été évaluée à l'aide de cellules

photoélectriques (Polifemo, Microgate, Bolzano, Italie) et de chronomètres électroniques avec une précision de 0,001 (Racetime 2, Microgate, Bolzano, Italie). Pour quantifier la capacité de résistance à la fatigue au cours des exercices de sprints répétés, la diminution de vitesse (Sdec) a été calculée à partir de l'équation suivante :

$$S_{dec}(\%) = \left\{1 - \frac{(S_1 + S_2 + S_3 + \cdots + S_{final})}{S_{best} \times \text{ numberofsprints}}\right\} \times 100$$

Cette méthode est considérée comme la plus fiable et la plus précise pour quantifier la fatigue neuromusculaire lors des sprints répétés (Glaister *et al.*, 2008).

Quantification de la charge d'entraînement

Les CE des séances dissociées et mixtes ont été calculées en utilisant quatre méthodes différentes.

Le "Training Impulse" (TRIMPS) a été déterminé comme décrit par Banister (Banister and Hamilton, 1985) utilisant l'équation suivante : TRIMP = TD×FCr × 0.64 × $e^{(1.92 \times HRr)}$, dans laquelle TD est la durée totale de la séance d'entraînement exprimée en minute. FCr est la FC de réserve déterminée à partir de l'équation suivante: [(FCts - FCb) / (FCmax - FCb)] où FCts est la FC moyenne d'entraînement. FCmax et FCb sont respectivement les FC maximales et de repos. FCb a été mesurée en position couchée après le réveil des sujets et FCmax a été mesurée lors du test VMA.

La CE a également été calculée en utilisant la méthode SHRZ (zones de fréquences cardiaques cumulées) telle que proposée par Edwards (Edwards, 1993). Le produit de la durée cumulée d'entraînement a été calculé, en multipliant un coefficient relatif à chaque zone par la durée passée (en seconde) dans chacune d'entre elles (respectivement, 50-60 % de FC_{max} = 1; 60-70% FC_{max} = 2; 70-80 % FC_{max} = 3; 80-90 % FC_{max} = 4; 90-100 % FC_{max} = 5). Les résultats obtenus pour chaque zone ont été additionnés pour déterminer une «note» unique pour la séance.

La valeur RPE a été obtenue en utilisant l'échelle par catégorie (CR-10) modifiée par Foster *et al.* (Foster *et al.*, 2001). Deux semaines avant le début de l'étude, les sujets avaient été familiarisés avec cette échelle en l'utilisant lors de séances d'entraînement. Les sujets ont été invités à évaluer l'intensité de L'exercice (du repos=0 à l'exercice maximal=10), toutes les 6min pendant l'exercice, et environ 30min après la fin de l'entraînement, pour s'assurer que l'effort perçu était bien le reflet de la séance entière plutôt que celui de l'intensité du dernier exercice. Les CE des séances ont été obtenues en multipliant séance-RPE par la durée entière (en minute) de la séance d'entraînement: CE=durée x CR-10.

La CE a également été calculée en utilisant la méthode "Travail-Endurance-Récupération" (Work Endurance Recovery/WER) (Desgorces *et al.*, 2007). Le travail cumulé (CW) à une intensité donnée a été exprimé par rapport à l'endurance limite (Endlim), alors que la fréquence de l'exercice a été déterminée en utilisant le ratio travail/récupération, exprimé pendant la durée des périodes de

récupération cumulées (DCR) et du travail cumulé (DCW) (Margaria *et al.*, 1969; Morton *et al.*, 1990). La CE a été ensuite déterminée par la méthode WER en utilisant l'équation suivante: CE = (CW / Endlim) + ln (1 + DCW / DCR) dans laquelle CW a été calculé par la somme du travail complété à l'intensité fixée, et Endlim comme le résultat individuel enregistré lors de la séance de test correspondante. Pour chaque séance, CW et Endlim ont été traduits dans les mêmes unités (c'est-à-dire en minute ou en seconde). DRC et DCW ont été calculés à partir de la somme des efforts accomplis dans un exercice donné (unités en seconde).

Analyses statistiques

Les résultats sont exprimés sous forme de moyennes et écarts-types. L'utilisation du test de Shapiro-Wilk a vérifié la normalité de la distribution des données. Les différences statistiques, pour chaque valeur de paramètre entre les deux séances ont été testées avec un test *t* de Student pour données appariées. Les différences significatives sont présentées en fonction des estimations des paramètres et des intervalles de confiance fixés à 95% (CI95). L'échelle proposée par Cohen a permis d'interpréter les tailles de l'effet (Cohen, 1988). La magnitude des différences a été considérée comme petite (0,2), moyenne (0,5), ou large (0,8). Une analyse de variance (ANOVA) à deux facteurs a été utilisée pour déterminer les différences : - entre les valeurs RPE dans la séance et entre les séances – et pour les performances de sprints dans la séance et entre les séances. Le test post-hoc de Bonferroni a été utilisé lorsqu'un effet significatif était observé, selon la procédure de Greenhouse-Geisser. L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel STATISTICA (version 6.1, Statsoft, France). Le niveau de signification a été fixé à $p<0,05$.

RESULTATS

Les performances des sujets lors des deux séances de tests sont les suivants: Endurance limite à Vmax (11,9±0,87s), VMA (16,9±1,02 $km.h^{-1}$), Endurance limite à VMA (349±27,78s). Le **tableau 1** présente les résultats des performances physiques enregistrées au cours des séances.

Variables	Séance dissociée		Séance mixée		t	P	CI	
Tps moyens des sprints (s)	4,33 ±	0,12	4,38 ±	0,08	2,28	0,019	- 0,08	- 0,002
Baisse de vitesse de sprint (%)	0,05 ±	0,13	0,06 ±	0,15	2,77	0,007	- 0,01	- 0,001
Baisse de hauteur des CMJ (cm)	5,14 ±	1,86	3,69 ±	1,29	2,60	0,01	0,24	2,65
FC moyenne (bpm)	135,79 ±	5,73	136,07 ±	5,49	0,29	0,38	2,39	1,82
FC max (bpm)	192,71 ±	6,57	189,50 ±	5,82	5,16	< 0,001	1,87	4,55
% FC max dans la zone 100-90 (s)	236,14 ±	37,53	103,21 ±	40,69	12,04	< 0,001	109,09	156,76
% FC max dans la zone 90-80 (s)	541,21 ±	100,22	649,43 ±	74,81	4,99	< 0,001	49,52	166,90
% FC max dans la zone 80-70 (s)	628,14 ±	209,55	1015,50 ±	129,77	4,99	< 0,001	219,83	554,88
% FC max dans la zone 70-60 (s)	804,93 ±	238,72	676,36 ±	208,51	1,20	< 0,001	- 102,12	359,26
% FC max dans la zone 60-50 (s)	779,21 ±	103,38	573 ±	117,22	5,48	< 0,001	124,94	287,48

Tableau.1 Performances et différences significatives enregistrées en sprints, contre-mouvements jumps (CMJ) et fréquences cardiaques, lors des séances dissociées et mixtes

La baisse de performance au CMJ est significativement plus élevée lors de la séance dissociée [t(13)=2,60; *d*=0,69]. Pour les deux séances, une baisse progressive des performances est apparue tout au long des sprints avec une diminution de la vitesse observée plus rapide dans la séance mixée [t(13)=2,77; *d*=0,74]. L'ANOVA a montré des différences dans l'évolution des vitesses de sprint observées au cours des deux exercices (F5,22; 91,59=2,214; *p*=0.017)

Les RPE au cours des séances dissociées étaient plus élevés que lors des séances mixées, montrant un effet combiné du type de séance et des valeurs répétées des RPE (**figure 2**; F9,42; 101,29=4,843, *p*=0.016). Les valeurs RPE 30min après la fin de la séance étaient également plus élevées lors de la séance dissociée par rapport à la séance mixée [t (13) = 4,76; *p*=0,018; IC (0,55; 1,45), *d*=1,27].

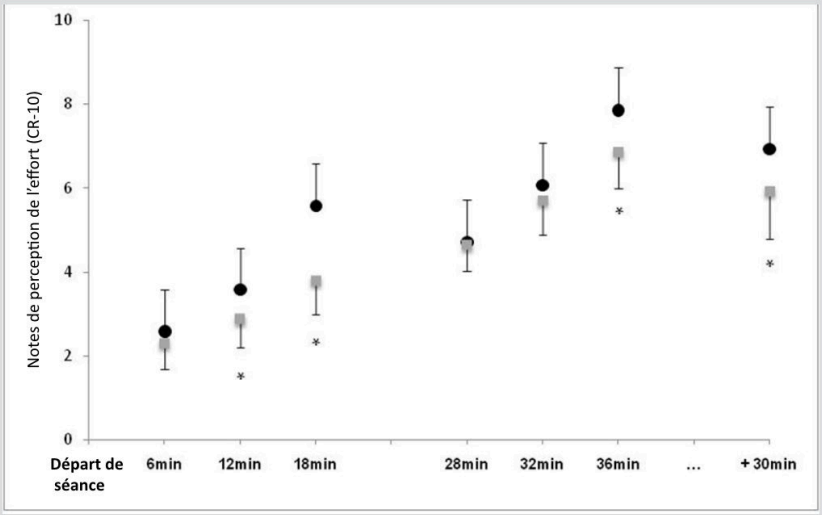


Figure 2 Notations de perception de l'effort des séances dissociées (ronds noirs) et mixtes (carrés gris). Les séances achevées à 36 min et 30 min correspondaient aux enregistrements réalisés 30min après la fin de séance. *: différences significatives entre les deux séances. Pour tous les points des séances représentés, un effet « temps » a été observé (excepté à +30min après la fin des séances). Pour plus de clarté sur la figure, cet effet « temps » n'a pas été représenté graphiquement.

Les deux séances n'ont pas montré de différence significative au niveau des FC moyennes enregistrées [t(13)=0,29, *d*=0,007] alors que le pic de FC était plus élevée lors de la séance dissociée [t(13)=5,16;

d=1,38]. Des temps passés plus élevés ont été observés dans la séance dissociée par rapport à la séance mixée, dans les zones de 100-90, 70-60 et 60-50% de la FCmax [respectivement, t(13)=12,04; *d*=3,21; t(13)=1,20; *d*=0,32 et t(13)=5,48; *d*=1,46]. Les temps passés entre 90-80 et 80-70% de la FCmax étaient plus élevés dans la séance mixée [respectivement, t(13)=3,98; *d*=1,60 et t(13)=4,99; *d*=1,33].

Les CE calculées à partir de la méthode RPE sont plus élevées dans la séance dissociée que dans la séance mixée [t(13)=4,76; *p*=0,001, IC(28,45; 75,55), *d*=1,27; **Figure 3**] alors que les CE calculées avec la méthode SHRZ sont plus élevées lors de la séance mixée [t(13)=3,99; *p*=0,007; IC(3,57; 11,99), *d*=1,06].

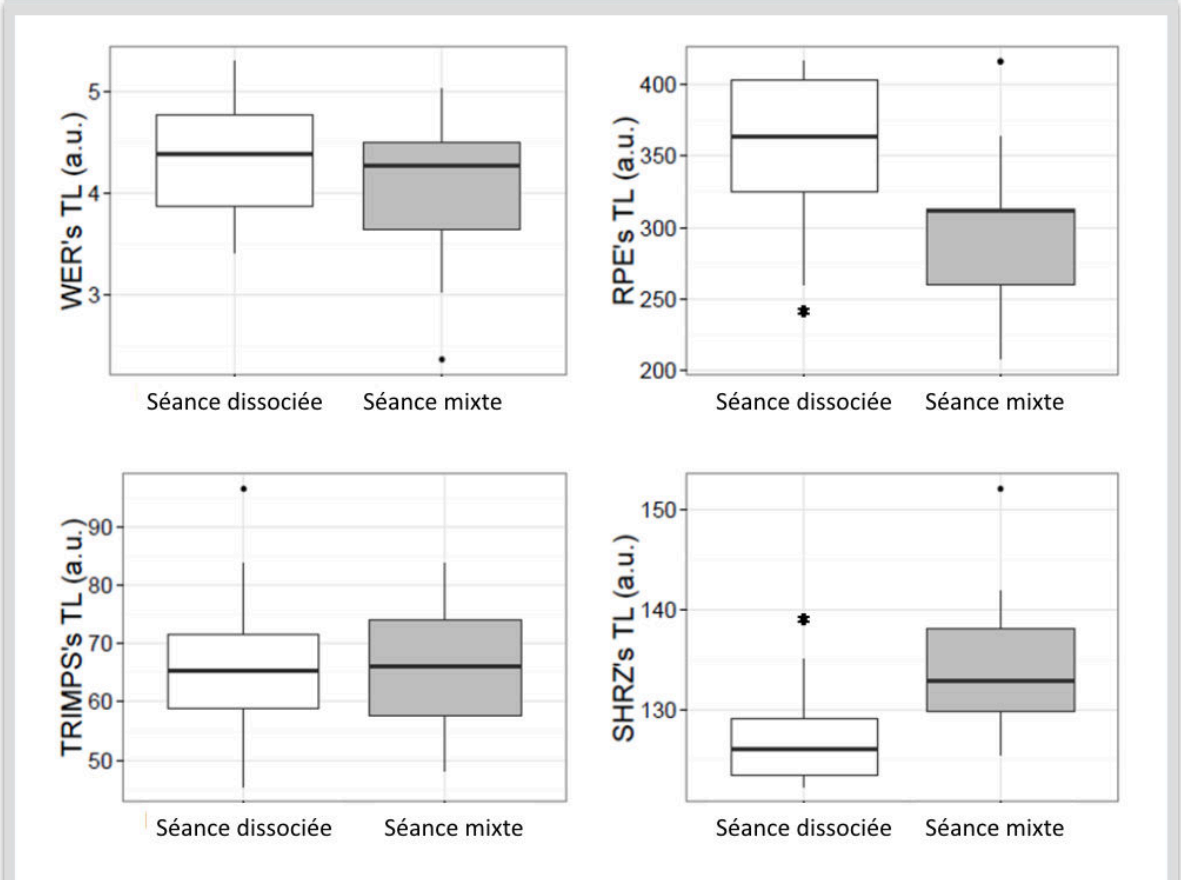


Figure.3 Box plots des charges d'entraînement (CE) des séances dissociées et mixtes, calculées avec les méthodes basées sur l'endurance limite (WER, en haut à gauche), Training Impulse (Trimp, en bas à gauche), Perception de l'effort (RPE, en haut à droite) et sommation de fréquences cardiaques en zones (SHRZ, en bas à droite).*: Différences significatives entre les deux séances; Les différences de CE pour la méthode WER sont à la limite de significativité (*p*=0,058). Les lignes noires continues et horizontales représentent les médianes et les points noirs les valeurs aberrantes

En utilisant la méthode WER, les CE de la séance dissociée apparaissent légèrement plus élevées par rapport à la session mixte, cette dernière approchant le seuil de significativité statistique [t(13)=1,68; *p*=0,058; IC(-0,07; 0,61), *d*=0,44]. Inversement, Les CE calculées à partir de la méthode TRIMPS ne

montrent pour leur part aucune différence significative entre les séances [t(13)=0,19; *p*=0,420; IC(-4,08; 3,39), *d*=0,05].

DISCUSSION

L'objectif de cette étude était d'analyser les effets d'une distribution dissociée ou mixte, d'efforts réalisés à haute et très haute intensité, sur les performances physiques et les quantifications des CE évaluées par différentes méthodes. Les deux résultats principaux amènent aux constats suivants : 1) Bien que prescrivant le même travail total et les mêmes temps de récupération, les distributions des intensités lors de séances dissociées et mixtes ont des effets contrastés : i) Les FC moyennes des séances sont semblables, mais avec des différences de temps passés dans les zones de FC. 2) Des diminutions de vitesse plus faibles lors des sprints, mais une perte plus importante des performances CMJ pour la séance dissociée. En complément, pour les mêmes séances, cette étude fait apparaître des différences de charges d'entraînement selon quatre méthodes de quantification.

Les paramètres des méthodes et le calcul des CE dépend de la distribution des intensités

Cette étude est la première à montrer des CE opposées résultant de différentes méthodes de quantification pour les mêmes séances. Deux méthodes suggèrent que la séance dissociée induit des CE plus élevées, une méthode suppose un CE similaire pour les deux séances et la dernière méthode aboutit à une CE inférieure pour la séance dissociée par rapport à la séance mixte.

Parmi les méthodes de quantification de la CE, celles basées sur l'enregistrement de la FC ont été les premières utilisées dans la littérature scientifique et ont permis de valider de nouvelles méthodes proposées par la suite (Banister, 1991; Edwards, 1993; Foster *et al.*, 2001). De façon surprenante, les méthodes TRIMP et SHRZ n'évaluent pas de façon similaire les séances. La première méthode fournit une CE similaire pour les deux séances alors que la seconde suppose que la distribution mixte des intensités abouti à une CE plus élevée. Reposant sur le fait que ces méthodes s'appuient sur la même composante de durée d'exercice, les différences de CE résultent de la composante d'intensité des méthodes (Calvert, 1975; Foster *et al.*, 2001; Lambert and Borresen, 2010). La méthode TRIMP est basée sur les moyennes de FC des séances tandis que la méthode SHRZ est basée sur un coefficient appliqué au temps passé dans chaque zone (Lambert and Borresen, 2010). Les séances ont donné lieu à des FC moyennes similaires, ce qui a conduit aux mêmes CE pour les séances mixées et dissociées en utilisant la méthode TRIMP. Néanmoins, le temps passé dans les cinq zones de FC différait entre les séances. La séance dissociée présente un temps passé plus long dans la zone 90-100%, suggérant que les répétitions de courses de 15s, associées à 15s de récupération active, induisent une plus forte sollicitation de la consommation maximale d'oxygène (Thevenet *et al.*, 2007). Cependant, le temps passé dans les zones 70-80 et 80-90% de la FCmax est plus élevé lors de la session mixte, expliquant

de ce fait que la méthode SHRZ présente des CE plus élevées lors de cette séance, en comparaison avec la séance dissociée. On peut supposer de ce fait, que l'utilisation de la FC moyenne de l'exercice présente des limites pour l'évaluation des demandes physiologiques des séances intégrant des intervalles effectués à des intensités élevées (Alexiou and Coutts, 2008). Inversement, la méthode SHRZ observe des différences marquées dans le temps passé dans les cinq zones de FC. Il est à noter cependant, que les coefficients des zones de FC évoluent linéairement tandis que la capacité à maintenir les intensités en fonction de la durée évolue de manière logarithmique ou exponentielle (Achten and Jeukendrup, 2003). Par conséquent, les séquences des exercices réalisées dans les zones de FC les plus élevées peuvent être sous-estimées par rapport aux zones inférieures. Les CE quantifiées en utilisant les méthodes basées sur la FC, lorsque les séances intègrent des exercices variés et d'intensités élevées, doivent être appréhendées avec précaution (Desgorces and Noirez, 2008). En effet, il est bien établi que l'utilisation de l'enregistrement de la FC pour évaluer l'intensité des exercices de sprint est considérée à la base comme imprécise. À l'inverse, les méthodes RPE et WER aboutissent à une CE plus élevée pour la séance dissociée, soulignant le fait que les changements dans la répartition des intensités peuvent avoir un effet sur la quantification des CE. Nos résultats diffèrent de ceux d'une étude récente analysant des sessions mixtes qui n'ont pas rapportés de changement de quantification avec la méthode séance-RPE (Fanchini *et al.*, 2015b). Les différences de CE des séances sont significatives avec la méthode basée sur le RPE et plus faibles avec la méthode WER, cette dernière étant associée cependant à une magnitude faible. Ces deux méthodes de quantification sont basées sur des évaluations complètes du stress physiologique induit par l'exercice, en utilisant RPE et le travail cumulé en fonction de l'endurance limite. Étant donné qu'aucun paramètre universel ne peut être utilisé pour évaluer un large panel d'intensités d'exercices, le stress physiologique induit par l'exercice dans les séances à intensité variable peut être difficile à évaluer (Lambert and Borresen, 2010).

Les performances en CMJ et en sprints dépendent du mode de distribution des intensités

Les baisses de performances en CMJ induites par les séances indiquent que les deux organisations ont provoqué une fatigue neuromusculaire, avec une diminution plus importante lors de la distribution dissociée, probablement en raison de la présence de courses par intervalles réalisées à VMA, programmées à la fin de cette dernière organisation. De plus, les vitesses enregistrées au cours des répétitions de sprints dans la séance dissociée diminuent de manière plus faible que dans la séance mixte, permettant de cumuler légèrement plus de courses à Vmax.

Néanmoins, les méthodes RPE et WER présentent des tendances similaires de CE plus élevées lors de la séance dissociée. Bien que ces deux méthodes soient constituées de paramètres différents (objectifs ou subjectifs), elles peuvent correspondre à une évaluation similaire de l'effort. La CE

fournie par la méthode WER est basée sur un rapport entre le travail cumulé et l'endurance limite, de nombreuses études montrant que le RPE augmente proportionnellement en fonction du pourcentage de distance achevée ou à compléter (Joseph *et al.*, 2008; Noakes, 2004). Les valeurs plus élevées de RPE observées dans la séance dissociée, pourraient être liées à une distance relative couverte à haute intensité plus longue dans cette séance, par rapport à la distance mixte. De la même façon, la méthode du WER repose sur l'accumulation des efforts par rapport à la capacité des individus. La capacité des sujets à cumuler des distances à 100% de VMA devrait être différente en fonction de l'organisation dissociée ou mixte. En effet, des séances par intervalles comportant des efforts de 15s alternant avec 15s de récupération active ont été validées pour leur aptitude à permettre un volume d'effort maximal d'environ 15min, alors qu'une distribution mixte des courses devrait permettre un maintient des capacités de course sur une plus longue durée (Dellal *et al.*, 2008). Inversement, les différences liées à l'accumulation de sprints dans les deux séances semblent faibles. En utilisant des méthodes différentes, RPE et WER évaluent le niveau d'épuisement des sujets et fournissent une appréciation similaire des CE des séances. Cependant, l'endurance limite utilisée par la méthode WER a été évaluée à l'aide d'un test d'effort continu. Une évaluation dans des conditions mixtes pourrait être meilleure.

Le niveau d'augmentation des RPE est lié à la capacité des sujets à cumuler les distances. Ce résultat souligne le fait que les valeurs RPE ne décrivent pas seulement l'intensité de l'exercice, telle qu'elle est considérée par la méthode initiale, mais pourrait témoigner d'une combinaison de durée d'exercice, d'intensité et de repos. Par conséquent, comme il a été suggéré précédemment, on pourrait supposer que le RPE seul pourrait refléter le stress physiologique induit par l'exercice sans avoir à être multiplié par la durée pour obtenir la CE de l'exercice (Taha and Thomas, 2003).

Des améliorations méthodologiques semblent encore nécessaires pour quantifier la charge d'entraînement. Les méthodes basées sur la fréquence cardiaque semblent devoir se limiter aux exercices effectués à des intensités sous-maximales. La méthode TRIMP devrait être utilisée exclusivement pour les exercices continus, tandis qu'une modification des coefficients des zones de FC devrait bénéficier à la méthode SHRZ pour quantifier les exercices par intervalles. Les méthodes RPE et WER, sans avoir de telles limitations, pourraient nécessiter certaines modifications pour une meilleure quantification des exercices mixtes. La valeur RPE pourrait être suffisante pour quantifier la CE plutôt que de la multiplier par la durée d'exercice. La méthode WER devrait évaluer pour sa part, l'endurance limite d'exercices spécifiques (c'est-à-dire de manière mixte lorsqu'ils sont utilisés par des entraîneurs), ce qui pourrait nécessiter plusieurs séances de test.

CONCLUSION

La distribution de l'intensité, et donc l'organisation de l'exercice, peut entraîner des différences marquées dans la quantification des CE selon la méthode utilisée. Lorsque les intensités maximales et modérées composent les exercices, l'utilisation de la fréquence cardiaque pour quantifier la CE semble limitée. À l'inverse, les méthodes fondées sur les indicateurs généraux du stress physiologique (RPE et endurance limite) induit par l'exercice, seraient à privilégier pour quantifier ce types de séances. Certaines améliorations de ces dernières méthodes sont à envisager, comme l'évaluation de l'endurance limite en fonction de la distribution de l'intensité habituellement utilisée, et pour la méthode RPE, la prise en compte de l'indice RPE lui-même en tant que mesure de CE.

1.9 ETUDE n°2

Effets sur les performances physiques, de l'augmentation du volume d'exercices spécifiques au football, réalisés à haute intensité

Acute and delayed performance loses following increases in volume of high intensity soccer-specific exercises

Article en révisions mineures, revue «Journal of Strength and Conditioning Research » (juin 2017)

INTRODUCTION

Dans le football de haut niveau, l'évolution du jeu nécessite de développer de manière importante les qualités aérobies et de puissance musculaire (Bangsbo *et al.*, 2006; Krustrup *et al.*, 2006). Basés sur ces qualités, les joueurs de l'élite sont capables de répéter des courses de hautes intensités avec des temps de récupération aléatoires (Buchheit *et al.*, 2013b; Hader *et al.*, 2016). Si pendant des années les exercices analytiques (sans ballon) ont pris une place majeure dans la préparation physique du joueur, depuis plus d'une décennie, les entraîneurs proposent des exercices physiques spécifiques, effectués avec le ballon (exercices techniques, technico-tactiques « intégrés » et/ou jeux réduits « contextualisés) (Casamichana *et al.*, 2015; Impellizzeri *et al.*, 2004). L'objectif de ces exercices et de se rapprocher le plus possible des exigences des matchs de compétition (Knight, 2015; Los Arcos *et al.*, 2015). Plusieurs auteurs ont comparé les effets physiologiques des exercices analytiques en comparaison avec ceux effectués avec ballon, et ont confirmé que certains spécifiques au football étaient aussi efficaces pour maintenir, notamment, les qualités aérobies (Clarke *et al.*, 2008; Dellal *et al.*, 2008; Thatcher and Batterham, 2004). De plus, d'autres types d'exercices spécifiques au football peuvent favoriser les sprints ou la capacité à les répéter (Knight, 2015) .

Au cours des années 80, le travail physique des joueurs de football a été fortement influencé par le travail aérobie (Sarianides, 1985; Trachtenberg, 1988), avec une part croissante des exercices par « intervalle » effectués de manière analytique. De principe, les exercices réalisés à des intensités proches de la capacité maximale aérobie pourraient être considérés comme exercices à « haute intensité », ceux de sprints et de puissance musculaire maximale, pour leur part, comme des exercices à « très haute intensité ». De nos jours, le terme « d'entraînement par intervalles à haute intensité » est plus fréquemment utilisé (Buchheit and Laursen, 2013b), et conduit à quatre formes d'exercices: 1) Intervalles courts 2) intervalles longs 3) séquences de répétitions de sprints 4) courses intermittentes. En football, ces exercices intermittents à hautes intensités sont prescrits principalement avec ballon, soit sous forme de jeux réduits (Hill-Haas *et al.*, 2011; Mallo and Navarro, 2008) soit sous forme d'exercices technico-tactiques spécifiques (Kelly *et al.*, 2013; Knight, 2015). Les

jeux réduits sont susceptibles de solliciter les groupes musculaires de la même manière qu'en compétition, au même titre que les compétences techniques et tactiques. De plus, les jeux réduits sont souvent cités pour être de bons moyens d'améliorer les capacités aérobies (Impellizzeri *et al.*, 2006). Différents types d'organisation peuvent être programmés lors de ces jeux, avec des rapports d'opposition variables (3 *vs.* 3, 4 *vs.* 4, 5 *vs.* 5, avec ou sans gardiens de but)(Little and Williams, 2007). A l'inverse, des exercices reposant sur des intervalles courts, longs ou sur des sprints répétés, selon les objectifs des entraîneurs, peuvent être réalisés sans adversaire (Condessa, 2015; Hoff *et al.*, 2002; Kelly *et al.*, 2013). Les charges d'entraînement (CE) sont définies par la combinaison de trois paramètres, le volume, l'intensité et la fréquence des exercices ou des séances (Taha and Thomas, 2003).

Les programmes d'entraînement et leurs CE associées sont prescrits pour tenter d'obtenir les meilleures adaptations physiologiques possibles, en réduisant autant que possible, les risques de blessure et de fatigue (Foster, 1998; Malone *et al.*, 2015). Associées aux changements de performances, les notations des indices d'état (fatigue, stress, courbature, qualité du sommeil) peut être un moyen supplémentaire pour évaluer au quotidien les facteurs de fatigue (Hooper *et al.*, 1995). Parmi les paramètres des jeux réduits, le volume est certainement un des paramètres les plus simples qui permet de modifier les effets de l'exercice, alors que les changements de règles, les dimensions du terrain et le nombre de joueurs sont étroitement liés et influencent conjointement ces effets (Little and Williams, 2007). A titre d'exemple, Fanchini *et al.* ont signalé qu'une augmentation de deux fois le volume d'un jeu réduit augmentait l'intensité, alors qu'une augmentation par trois la diminuait, sans aucun effet sur les actions techniques (Fanchini *et al.*, 2011).

Néanmoins, très peu d'études ont analysé les effets des variations de volume des exercices spécifiques au football, effectués à des intensités élevées, sur les performances à court ou moyen terme (Knight, 2015; McMillan *et al.*, 2005).

L'objectif de cette étude est d'analyser les effets de l'augmentation du volume des exercices sur les capacités de performance physique des joueurs, suite à des exercices spécifiques au football effectués à des intensités élevées et très élevées (respectivement à des vitesses de courses aérobies et de sprints maximales). Les effets de l'augmentation des volumes ont été évalués à travers les réponses de fréquence cardiaque et de lactate sanguin, mais aussi par le suivi de performances en détente verticale et de courses.

METHODE

Approche expérimentale

Cette étude a été réalisée avec une équipe de jeunes footballeurs professionnels (centre de formation d'un club de Ligue 1), lors de la première période de compétition de la saison 2015-2016. Six séances spécifiques de football, une à dominante « jeux réduits » (réalisée à des volumes faible et élevé) et

deux exercices spécifiques (réalisés avec des volumes identiques) ont été construites au regard des entraînements habituellement programmés au haut niveau, en comparaison avec des séances déjà présentées dans des études antérieures (Fanchini *et al.*, 2011; Little and Williams, 2007). Lors de chaque séance, après un échauffement standardisé, six joueurs ont effectué, dans un ordre aléatoire, un exercice spécifique à un faible volume, tandis que six autres effectuaient le même exercice, mais avec un volume élevé (volume faible multiplié par 3 ; **figure 1**). A la suite de cet exercice, un jeu en opposition de fin d'entraînement a été réalisé. Quand les trois premières séances ont été effectuées, les joueurs ont réalisé en complément, de manière aléatoire, les séances aux volumes faible ou élevé qu'ils n'avaient pas réalisés auparavant. Les effets de fatigue aigue et différée ont été évalués en utilisant des enregistrements de fréquence cardiaque (FC), les performances en saut en contre-mouvement (CMJ), le suivi d'indices d'état matinaux, la concentration de lactate sanguin, et des données GPS. Toutes les séances on été effectuées sur le même terrain synthétique, dans des conditions météorologiques identiques (14°C à 18°C), le taux d'humidité variant de 72 à 82%, les mêmes jours (mardi et mercredi) et aux mêmes heures (respectivement, 16h30 et 8h45). Tous les joueurs ont reçu des instructions afin de consommer un repas le midi à base d'hydrates de carbone, au moins trois heures avant le début de l'entraînement (repas pris en commun au centre de formation). L'hydratation des joueurs a été basée sur l'ingestion de boisons d'effort glucosés. Aucun entraînement intense n'a été programmé dans les 48h précédant les séances pour respecter le temps nécessaire à la restauration du glycogène musculaire et des autres composantes physiologiques, comme pourraient en témoigner la FC, le lactate sanguin et le RPE (Jacobs *et al.*, 1982; Krustrup *et al.*, 2011) .

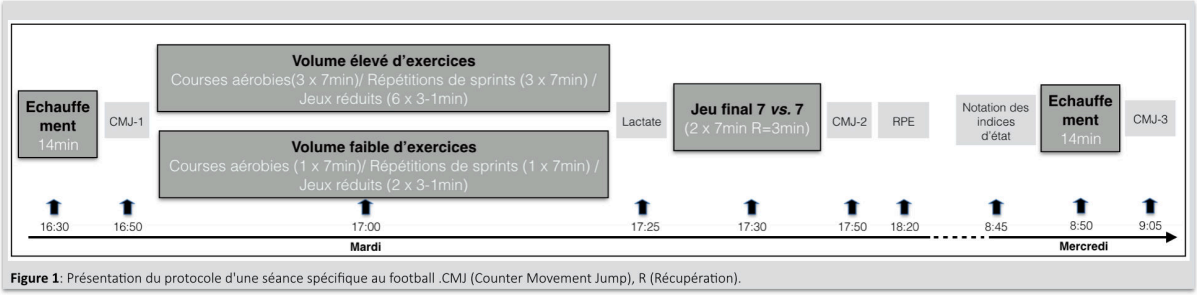


Figure 1: Présentation du protocole d'une séance spécifique au football .CMJ (Counter Movement Jump), R (Récupération).

Sujets

Douze jeunes joueurs professionnels de football, de la même équipe, ont pris par à cette expérimentation. Leur fréquence d'entraînement était d'au moins 6 séances par semaine, avec un match de compétition le week-end. Les moyennes d'âge, taille, poids du corps, le FC maximale (FC max), la vitesse maximale aérobie (VMA) et la puissance musculaire (CMJ) étaient les suivantes : 18,8±1 ans (tranche d'âge : 18 à 20 ans), 181,1±6,7 cm, 75,5±6,6 kg, 190,2±6,3 kg 17,3±0,9 km.h^{-1} et 41,6±3,6 cm. Aucune limite physique, problème de santé ou de blessure, pouvant affecter les évaluations ou les entraînements, n'ont été recensés après examens médicaux. Tous les participants

ont donné leur consentement écrit pour participer à cette étude. Cette dernière a été réalisée, en accord avec le comité d'éthique local.

Procédures

Evaluation des VMA

Une semaine avant le début de l'étude, tous les joueurs ont réalisé un test de terrain « Vameval », test progressif jusqu'à épuisement, sur une piste (200m) afin de déterminer la vitesse de course associée à la consommation maximale d'oxygène (VMA) (Cazorla, 1993). La vitesse de course de ce test au premier palier est fixé à 8 $km.h^{-1}$ et augmente de 0.5 $km.h^{-1}$ chaque minute. Le dernier palier complété, ainsi que le temps passé dans ce dernier palier, correspond à la VMA (Dellal *et al.*, 2011).

Echauffement

Chaque séance était précédée du même échauffement : course lente, mouvements globaux puis spécifiques, étirements activo-dynamiques, sprints et exercices techniques avec ballons ont été effectués. Le même protocole était reconduit le lendemain matin suivant la séance, pour les tests CMJ.

Exercice spécifique à dominante « aérobie »

Cet exercice consistait à une action offensive vers le but, entre deux attaquants, un axial, l'autre excentré. Après une passe en profondeur de la part du joueur axial, le joueur de couloir devait déborder et centrer dans une zone délimitée (5x5m près du point de penalty). L'attaquant de pointe tentait de marquer. A la fin de l'action, les deux joueurs devaient revenir à leur position de départ le plus vite possible afin de respecter le temps imparti à la séquence. Aucune limite du nombre de touche de balle n'a été exigée et les joueurs ont changé de poste à chaque nouvelle répétition. Le volume faible était fixé à 7min (1 série de 10 courses (Aller-retour) à 100% de VMA) pour un ratio travail-récupération de 15-30s, et de 21min pour le volume élevé (3 séries de 10 courses). La récupération entre les efforts et séries (3min) a été fixée à 50% de VMA. L'intensité des courses était définie au préalable, individualisée en fonction des VMA individuelles. Dans le but de tenir compte du temps lié au changement de direction et celui nécessaire aux enchaînements techniques, un coefficient de correction des distances a été appliqué (Buchheit, 2014).

Exercice spécifique à dominante « sprint »

Cet exercice consistait à réaliser un sprint à vitesse maximale, sur une distance de 30m, en direction du but adverse, suivi d'un changement de direction avant de recevoir un ballon transmis par l'entraîneur. Après un contrôle de balle, le joueur tentait de marquer. Afin d'atteindre une intensité maximale, les deux groupes de travail ont été placés côte à côte, les joueurs étant en compétition sous forme de duel 1 *vs.* 1. Pour entretenir une motivation permanente, le score était pris en compte et annoncé à chaque passage. Le volume faible était fixé à 7min (1 série de 7 sprints) pour un ratio temps de travail/temps de récupération de 10-50s, et de 21min pour le volume élevé (3 séries de 7

sprints). Le temps de récupération entre les séries (3min) était effectué de manière passive. Le seuil d'accélération retenu était de 5,5m.s^{-2}, pour valider l'intensité du sprint (Akenhead and Nassis, 2015).

Jeux réduits

Le jeu réduit était structuré sur la base d'une opposition à 3 *vs.* 3 incluant les gardiens, avec des buts aux dimensions normales (2,44x7,32m). La dimension du terrain (longueur x largeur) était de 38x25m. Quand le ballon sortait du terrain, le jeu reprenait le plus vite possible à partir des gardiens de but. Le système de défense était défini sous forme de marquage individuel dans la zone. Les hors jeu n'étaient pas pris en compte. Les joueurs n'étaient autorisés qu'à deux touches de balle. Le volume faible était fixé à 7min (2 séries de 3-1min), et le volume élevé à 23min, (6 séries de 3-1min). La durée de travail pour ces jeux réduits, lors du volume élevé, était légèrement supérieure à celle des autres exercices (+2min), afin de respecter le même coefficient d'augmentation entre les volumes faibles et élevés (x3).

Jeu de fin de séance

Ce jeu final qui clôturait la séance d'entraînement, se présentait sous la forme d'une opposition à 6 *vs.* 6 avec gardiens de but et a été réalisé 5 minutes après la fin des exercices spécifiques de football. La dimension du terrain était de 67x43m, avec des buts de dimensions normales (2.44x7.32m). Quand le ballon sortait de l'air de jeu, il était immédiatement remplacé grâce à des sources de balle placées dans les buts et tout le long des lignes délimitant le terrain. Le système défensif employé était basé sur le marquage de zone. La règle du hors-jeu était prise en compte. Les joueurs étaient autorisés à 3 touches de balle. L'organisation des équipes reposait sur 3 défenseurs, 2 milieux de terrain et un attaquant. Le temps de jeu était fixé à 2 séquences de 7min, entrecoupées d'une pause de 3min (passive).

Evaluation de la puissance musculaire

Des tests de détente verticale (CMJ), avec un système de mesure infrarouge (Optojump Next©kit, Microgate, Bolzano, Italy), ont été réalisés après l'échauffement (CMJ-1), après la séance (CMJ-2) et le lendemain matin suivant la séance (CMJ-3). Les joueurs ont réalisé une série de quatre répétitions de CMJ, avec un temps de récupération de 20s entre chaque saut. Les conditions de réalisation du saut vertical ont été standardisées, imposant un angle de 90° au niveau des genoux, en position de départ, mains sur les hanches tout au long du saut, en interdisant tout déplacement latéral ou en avant, les jambes tendues au moment de la réception du saut. Tout saut qui ne respectait pas l'ensemble de ces critères a été exclu et remplacé par un nouvel essai. La moyenne des valeurs des trois meilleurs sauts a été retenue et prise en compte dans l'analyse, pour valider la précision des mesures, comme recommandé par Taylor et Cormack (Cormack *et al.*, 2008; Taylor *et al.*, 2010). La hauteur maximale de saut a été retenue comme variable dépendante. Ces tests ont été effectués pour évaluer les possibles changements de performance, suite à l'augmentation des volumes des exercices.

Quantification de la charge d'entraînement

Pour une meilleure compréhension des effets des exercices, l'augmentation du volume des exercices a été également exprimée par l'intermédiaire de calculs des CE individuelles. La CE a été quantifiée par l'intermédiaire de la méthode de la perception de l'effort (RPE), s'appuyant sur l'échelle « Category Ratio » (CR-10) décrite par Borg (Borg, 1982) et modifiée par Foster (Foster, 1998). L'échelle originale CR10 de Borg a été modifiée avec des graduations verbales (de repos, 0, à intensité maximale de l'exercice, 10) en demandant au sujet de définir une note globale de l'intensité de l'exercice. Cette note de perception de l'effort fournie par le joueur a été multipliée par la durée entière de la séance (en minute) à partir de l'équation suivante :

CE=durée x CR-10.

Chaque note RPE a été relevée environ 30min après chaque séance, afin de s'assurer que l'effort perçu renvoyait bien à tout l'entraînement plutôt qu'à l'intensité du dernier exercice. Tous les joueurs ont été familiarisés avec cette échelle de perception de l'effort avant le début de l'étude (échelle utilisée au quotidien par le préparateur physique).

Concentration de lactate sanguin

Des micro-prélèvements sanguins ont été effectués à la pulpe du doigt dans les 3min qui ont suivi chaque exercice, et ont été analysés avec le nouvel appareil de mesure Lactate pro II (référence LT1730, Arkray, Kyoto, Japon) (Bonaventura *et al.*, 2015). Des échantillons de sang ont été prélevés sur chaque joueur, lors de chaque exercice, et dans le même ordre si possible. Tous les appareils de mesure étaient neufs au début de l'étude, avec une calibration automatique.

Enregistrement de la fréquence cardiaque

La FC a été mesurée et enregistrée au repos, ainsi que toutes les 5s pendant chaque séance d'entraînement, en utilisant des récepteurs et émetteurs de FC codés individuellement, pour éviter tous les risques d'interférence (système Polar® Team2, Kempele, Finlande). La plus haute FC enregistrée lors du test VMA a été considérée comme la FC maximale. Les FC d'entraînement ont été exprimées sous forme de pourcentages de la FC maximale et classées en cinq zones: 50-60%, 60-70%, 70-80%, 80-90%, and 90-100% de la FC maximale, comme proposé par Edwards (Edwards, 1993).

Caractéristiques des mesures GPS

Une unité GPS Fieldwiz (Advanced Sport Instrument, 10 Hz, Suisse) a été placée dans le dos des joueurs, dans une brassière prévue à cet effet. Les récepteurs ont été positionnés comme recommandé par le fabricant. Sur la base de signaux provenant d'au moins trois satellites, le récepteur est capable de calculer et d'enregistrer des données sur la position, l'heure, les distances et les vitesses avec une fréquence d'acquisition des données de 10 Hz. Les données de chaque récepteur ont été traitées de la même manière et extraites à l'aide de la plate-forme Cloud spécifique (http://upload.fieldwiz.com).

Pour les hautes intensités, deux paramètres de fréquence d'exercice ont été retenus, un pour le sprint (nombre de sprints supérieurs à 23 $km.h^{-1}$ pour une période de temps donné) et un pour les accélérations (nombre d'accélérations supérieures à 4 $m.s^{-2}$ pour une période de temps donné).

Indices d'état

Un questionnaire psycho-physiologique a été utilisé après 15 heures de repos, pour évaluer les indices d'état des joueurs. Le questionnaire était composé de 4 questions relatives aux courbatures musculaires (DOMS), à la fatigue, au stress et à la qualité du sommeil. Chaque question a été notée sur une échelle de 1 à 7 points, ces notes correspondant respectivement a « *très très mauvais* » et « *très très bon* » (**tableau 1**)(Hooper *et al.*, 1995).

Tableau des différentes mesures	
Stress	
1	Aucun Stress
2	Très léger
3	Léger
4	Moyen
5	important
6	Trés important
7	Extrême
Fatigue	
1	Aucune fatigue
2	Très légère
3	Légère
4	Moyenne
5	importante
6	Trés importante
7	Extrême
Douleurs musculaires	
1	Aucune douleur
2	Très légère lassitude musculaire
3	Légère lassitude musculaire
4	Lassitude musculaire
5	Légère douleur musculaire
6	Douleurs musculaires moyennes
7	Importantes douleurs musculaires
Sommeil	
1	Excellent
2	Très bon
3	Bon
4	Moyen
5	Mauvais
6	Très mauvais sans insomnie
7	Très mauvais avec insomnie

Tableau 1 Présentation des différentes mesures des indices d'état

Analyses statistiques

La normalité des distributions a été vérifiée en utilisant le test de Kolmogorov-Smirnov. Les moyennes et écarts-types (Moyenne± SD) ont été calculés pour chaque paramètre. L'échelle proposée par Cohen a permis d'interpréter les tailles de l'effet (Cohen, 1988). Les critères suivants ont été adoptés pour exprimer la magnitude des différences entre les tests de mesures: <0,2 mineure, <0,2-0,5 petite, <0,5-0,8 modérée et >0,8 forte. Les relations entre les paramètres de mesure et leurs changements entre volumes faible et élevé (vitesses de course, FC, CMJ, CE, Indices d'état) ont été étudiées en utilisant le test de corrélation de Pearson. Une analyse de variance (ANOVA) à deux voies répétées a été utilisée pour déterminer les différences entre les trois types de séances et les deux niveaux de volume d'exercice. Le test post-hoc de Bonferroni a été utilisé lorsqu'un effet significatif était observé, en accord avec la procédure de Greenhouse-Geisser. Les résultats ont été présentés en valeur du paramètre mesuré, correspondant à un intervalle de confiance de 95% (CI_{95}). Les analyses statistiques

ont été réalisées en utilisant le logiciel STATISTICA (Version 6.1, StatSoft, France). Le seuil de significativité a été fixé à p<0,05.

RESULTATS

Charge d'entraînement

L'augmentation du volume d'exercice à induit une augmentation similaire de la CE pour les trois types de séances (p=0,15) (**tableau 2**).

	Séances de courses aérobies		Séance de répétitions de sprints		Séance de jeux réduits	
	Volume faible	Volume élevé	Volume faible	Volume élevé	Volume faible	Volume élevé
Augmentation des charges d'entraînement	Augmentation de 2,35 ± 0,84		Augmentation de 2,59 ± 1,66		Augmentation de 2,35 ± 0,50	
Lactate sanguin (mmol.l^{-1})	4,20 ± 1,98	4,26 ± 2,21 #	3,84 ± 1,84	5,46 ± 2,78 #	6,22 ± 1,18	8,93 ± 1,93 *
Indices d'état						
Sommeil	4,07 ± 1,39	4,67 ± 1,19	4,2 ± 1,51	3,56 ± 1,32	5,13 ± 0,66	4,08 ± 1,2
Douleurs musculaires	5,35 ± 1,31	4,43 ± 1,79	5,37 ± 0,96	3,44 ± 1,72	4,9 ± 0,9	4,32 ± 1,33
Stress	6,87 ± 0,4	6,77 ± 0,77	6,77 ± 0,52	6,87 ± 0,4	6,88 ± 0,38	6,77 ± 0,52
Fatigue	4,33 ± 1,51	4,32 ± 1,2	4,55 ± 0,83	3,69 ± 0,9	4,55 ± 0,83	3,5 ± 1,34
Données GPS						
Fréquence de sprints	0,1 ± 0,13 $	0,04 ± 0,04 $	1 ± 0,00 $ #	1 ± 0,00 $ #	0,12 ± 0,12	0,04 ± 0,03 *
Fréquence d'accélérations	1,26 ± 0,31 $ #	1,32 ± 0,40 $ #	1 ± 0,00 $ #	0,98 ± 0,04 $ #	0,22 ± 0,18 $	0,2 ± 0,12 $
Moyenne de pics de vitesse	24,3 ± 2,5 $	25,3 ± 2,21 $ #	28,8 ± 0,71 $ #	29,3 ± 1,0 $ #	23,4 ± 1,3	24,0 ± 0,8
Moyenne de vitesse des exercices (m.min^{-1})	91,1 ± 4,6	91,9 ± 0,7	95 ± 1,1	97,98 ± 1,7	153,7 ± 6,6	146,4 ± 14,5 $*
Moyenne de vitesse du jeu final (m.min^{-1})	137,3 ± 12,9	131,4 ± 13,8	128,3 ± 9,6	128,7 ± 13,1	121,9 ± 8,6	123,7 ± 13,1
Fréquence cardiaque (FC)						
% de FC moyenne de séance	76,9 ± 5,4	79 ± 5,0 *	78,1 ± 5,5	77,4 ± 5,2	77,9 ± 6,6	80,5 ± 5,9 *
% de FC moyenne d'exercice	83 ± 6,8	85,8 ± 4,6	80,6 ± 5,4	80,1 ± 5,3	88,7 ± 3,4	90,7 ± 3,4
% de FC moyenne du jeu final	83,2 ± 4	82,4 ± 4,8	86,5 ± 3,5	84,8 ± 4,9	79,6 ± 5,6	82,8 ± 4,9
Durées dans les zones de FC max						
% Temps total dans la zone 50-60 % de FC max	0,3 ± 0,7	0,3 ± 1	0,5 ± 1	0,8 ± 1,1	0,3 ± 1,1	0 ± 0
% Temps total dans la zone 60-70 % de FC max	6,4 ± 12,5	1,1 ± 2	8,1 ± 8,1	9,7 ± 9	3,3 ± 3	1 ± 2,7
% Temps total dans la zone 70-80 % de FC max	24,2 ± 24,7	18 ± 20,5	34,3 ± 20,4	43,4 ± 20,2	10,9 ± 5,9	6,9 ± 5,3
% Temps total dans la zone 80-90 % de FC max	48,1 ± 37,8	53,8 ± 27	41,6 ± 20,4	43,8 ± 24,9	30 ± 12,3	20 ± 8,1 *
% Temps total dans la zone 90-100 % de FC max	21,1 ± 34,7	26,7 ± 36,1	15,5 ± 30,3	2,4 ± 4,2	55,4 ± 17,1	72,2 ± 13,9 *

Tableau 2 : Caractéristiques et effets des exercices aérobies, de répétitions de sprints et jeux réduits. *: Différences significatives entre les volumes d'exercice faibles et élevés; #: Différences significatives avec les jeux réduits; $: Différences significatives entre exercices aérobies et répétitions de sprints

Les CE des séances « jeux réduits » sont plus élevées que celles des séances « courses aérobies », pour les deux volumes d'exercices (p<0,05) (**figure 2**).

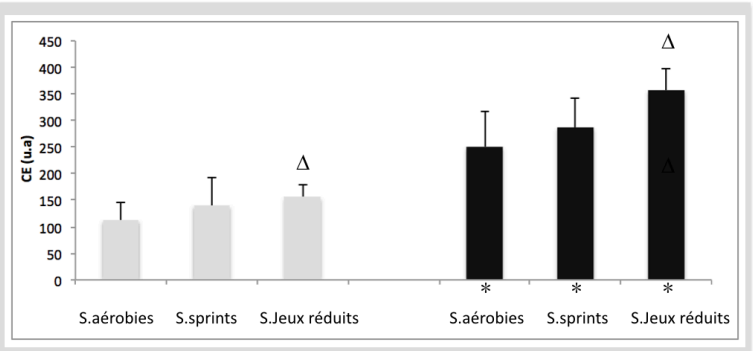


Figure 2 : Charges d'entraînement (CE) lors des séances spécifiques football de type courses aérobies, répétitions de sprints et jeux réduits. Pour les volumes faibles (Barres grises) et volumes d'exercices élevés (barres noires). Δ différences significatives entre CE des jeux réduits et CE des séances aérobies (p<0,05). * Différences significatives entre les volumes d'exercice faibles et élevés (p< 0.001).

Caractéristiques des exercices

Tous les joueurs ont reproduit les accélérations attendues durant les exercices de sprints, quelque soit le volume, en accord avec la valeur du seuil d'accélération retenu.

Les pics de vitesse des courses étaient supérieurs lors des exercices de sprints par rapport aux exercices à dominante aérobie et jeux réduits, quelque soit le niveau du volume des exercices [pour

les deux p<0,001; respectivement, IC (3,13; 5,42), d=1,66 et IC (4,71; 5,91), d=3,93]. L'augmentation de volume lors des jeux réduits a provoqué une baisse de la vitesse moyenne [p=0,010; IC (3,53; 18,03), d=0,47]. Au cours de la séance « jeux réduits » associé au volume élevé, la distance réalisée lors de la dernière séquence de 3 min a été plus faible au regard de le première (6/6) [p=0,04; IC (3,10; 29,64), d=1,14]. Aucune différence de moyenne de vitesse n'a été mis en évidence entre les deux exercices spécifiques, de courses aérobies et de sprints [respectivement, p=0,17; IC (0,90; 7,50), d=0,71 et p=0,08; IC (0,73; 3,15), d=1,02].

Pour la séance à dominante aérobie, aucune différence n'a été observée concernant le ratio de fréquence de sprints, au regard des deux volumes d'exercices, faible ou élevé (p=0,18, 0,10±0,13 *vs.* 0,04±0,04, d=0,43), contrairement aux jeux réduits (p=0,04; 0,12±0,87 *vs.* 0,04±0,03, d=0,68). Ce ratio de fréquence de sprint lors des exercices de répétions de sprints était défini en amont par le protocole de l'étude et est resté inchangé pour les deux volumes de travail.

Le ratio de fréquence de sprints a été plus élevé lors de la séance de répétitions de sprints en comparaison avec les séances à dominante aérobie et jeux réduits, pour le faible volume [pour les deux p<0,001; respectivement ; IC (0,80; 0,98), d=6,93; IC (0,79; 0,96), d=7,07] mais aussi pour le volume élevé [respectivement, p<0,001; IC (0,93; 0,98), d=26,88; IC (0,94; 0,98), d=36,78].

Pour la séance à dominante aérobie, il a été observé que le ratio de fréquence d'accélération n'a pas évolué lors du passage du volume faible à élevé (p=0,30). La même observation a pu être faite pour les exercices de répétitions de sprints (p=0,11) et ceux de jeux réduits (p=0,53).

Le ratio de fréquence d'accélération des jeux réduits a été plus faible que ceux des exercices aérobies et répétitions de sprints pour le volume faible [respectivement, p<0,001, IC (0,05; 0,46), d=0,83; p=0,003, IC (0,65; 0,90), d=4,22). Pour le volume élevé, le ratio de l'exercice aérobie a été plus élevé que celui de la séance de répétitions de sprints, celui de cette dernière étant plus élevé que celui de l'exercice de jeux réduits [respectivement, p<0,001, IC (0,08; 0,59), d=0,9; IC (0,08; 1,38), d=2,9].

ANOVA a montré des différences entre les moyennes de FC des séances (p=0,03). La moyenne des FC lors des jeux réduits était plus élevée que celles des séances de sprints, pour les deux volumes d'exercices [respectivement, p=0,02; IC (5,76; 22,07), d=1,57; p<0,001; IC (1,96; 16,54), d=1,17] et la moyenne de FC lors de la séance de courses aérobies a été plus haute que celle de la séance de sprint pour le volume élevé [p=0,004; IC (-0,02; 22,88), d=0,92].

ANOVA a montré des différences de pourcentages liées au temps passé dans 5 zones de FC (p<0,05). Lors des jeux réduits, le pourcentage de temps passé dans la zone 5 a significativement augmenté entre le volume faible et le volume élevé d'exercice, contrairement à la baisse du temps passé dans la zone 4 quand le volume de l'exercice a augmenté [Respectivement, p=0,04; IC (-3,75; 23,86), d=0,67; p=0,02, IC (-2,83; 36,31), d=0,79].

Lors des jeux réduits réalisés avec un volume élevé, la répétition du nombre de séquences a induit une augmentation de la FC, entre la première séquence de 3min et la dernière [*p*=0,04; IC (1,44; 12,56), *d*=1,16].

Lors du volume faible d'exercice, les moyennes de FC relevées lors du jeu final, à la suite des jeux réduits, étaient plus hautes que celles suivant les exercices de répétitions de sprints [*p*=0,001; IC (4,12; 25,7), *d*=1,27]. L'augmentation du volume d'exercice n'a pas affecté la FC moyenne lors du jeu final, quelque soit le type d'exercice (*p*>0,05).

L'augmentation du volume d'exercice n'a induit aucun changement significatif au niveau des concentration de lactate sanguin lors des séances de répétitions de sprints (*p*=0,09), ni lors des séances aérobies (*p*=0,48). Une augmentation a été observée à la suite des exercices de jeux réduits [*p*=0,03; IC (0,04; 5,38), *d*=0,78]. Les concentrations de lactate sanguins, lors des exercices de jeux réduits, pour le volume élevé, étaient plus hautes que celles des exercices aérobies [*p*=0,003; IC (2,19; 7,16), *d*=1,44] et celles des exercices de sprints [*p*=0,04; IC (0,96; 6,98), *d*=0,70].

Puissance musculaire

Aucune différence dans mes performances de détente verticale n'a été observée entre CMJ-1 et CMJ-2, quelque soit la séance et le volume d'exercice réalisé (*p*>0,05). Lors des exercices spécifiques (sprints et aérobies), les valeurs de CMJ-3 étaient plus basses que celles des CMJ-1 à la suite du volume faible [pour les deux : *p*<0,001; respectivement, IC (1,36; 4,95), *d*=1,35, *p*<0,001; IC (1,60; 4,30), *d*=1,67] et que celles des CMJ-2 [respectivement : *p*<0,001 ; IC (1,12 ; 3,91), *d*=1,38; *p*=0,03, IC (0,66; 2,63), *d*=1,8] (**figures 3A et 3B**). Les mêmes résultats ont été observés avec les volumes élevés: CMJ-3 était plus bas que CMJ-2 [pour les deux *p*<0,001; respectivement, IC (1,42; 5,43), *d*=1,31; IC (1,04; 4,68), *d*=1,20] et que CMJ-1 [pour les deux *p*<0,001 ; respectivement, IC (0,78; 5,90), *d*=1,00; IC (0,85; 5,07), *d*=1,07].

Seules les valeurs de CMJ-3, enregistrées après les volumes élevés, lors des séances de sprints, apparaissaient plus basses par rapport au volume faible [*p*=0,019; IC (-0,17; 6,53), *d*=0,73].

En revanche, aucune différence en hauteur de saut n'a été observée entre les performance des CMJ-2 et CMJ-3 lors des séances de jeux réduits, quelque soit le volume réalisé [respectivement *p*<0,07; IC (1,12; 0,29), *d*=0,71; *p*=0,49 ; IC (0,25; 1,80), *d*=0,84]. (**figures 3C**).

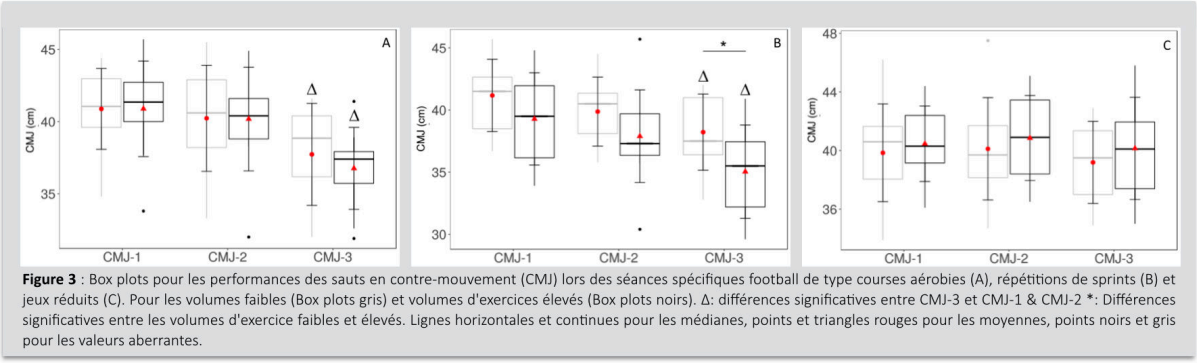


Figure 3 : Box plots pour les performances des sauts en contre-mouvement (CMJ) lors des séances spécifiques football de type courses aérobies (A), répétitions de sprints (B) et jeux réduits (C). Pour les volumes faibles (Box plots gris) et volumes d'exercices élevés (Box plots noirs). Δ: différences significatives entre CMJ-3 et CMJ-1 & CMJ-2 *: Différences significatives entre les volumes d'exercice faibles et élevés. Lignes horizontales et continues pour les médianes, points et triangles rouges pour les moyennes, points noirs et gris pour les valeurs aberrantes.

Jeu final de séance

L'augmentation du volume des exercices n'a pas affecté les distances totales parcourues durant le dernier jeu clôturant les séances (p>0,05). Cependant, les distances totales parcourues ont été plus basses après les jeux réduits par rapport aux exercices aérobies, pour le volume faible [p=0,001; IC (93,15; 339,51), d=1,12] et pour le volume élevé [p=0,020; IC (-0,024; 230,74), d=0,63] (**figure 4**).

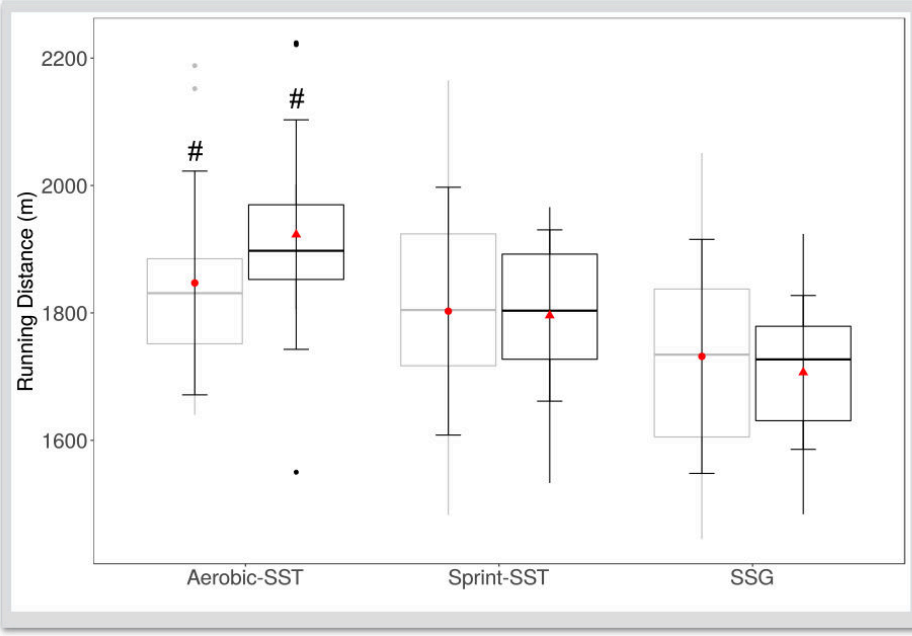


Figure 4: Box plots pour les distances de course parcourues lors du jeu final. Pour les volumes faibles (Box plots gris) et les volumes d'exercice élevés (Box plots noirs). #: Différences significatives entre Jeux réduits et courses aérobies pour les distances effectuées avec le même volume d'exercice. Lignes horizontales et continues pour les médianes, points et triangles rouges pour les moyennes, points noirs et gris pour les valeurs aberrantes.

Indices d'état

Malgré l'augmentation du volume d'exercice, ANOVA n'a pas souligné de différence de valeurs pour les quatre indices d'état proposés (fatigue, courbature musculaire, stress et qualité du sommeil), ces derniers étant évalués le lendemain matin suivant les séances d'entraînement (p>0,05).

Relations entre les réponses physiologiques des exercices et les paramètres d'exercice

Les moyennes de FC des séances et les distances de course apparaissent corrélées (r=0,65, p=0,006), ainsi que des changements de volumes d'exercice sur la relation entre les FC moyennes et les distances de course en sprints (r=0,47, p=0,02), en courses aérobies (r=0,40, p=0,03) et les jeux

réduits (r=0,39, p=0,03). Cependant, les changements de FC liés au passage du volume d'exercice faible à élevé n'étaient pas corrélés aux pertes de distance de course lors du jeu final (r=-0,17, p=0,10). À l'inverse, aucune corrélation significative n'a été observée entre le lactate sanguin et les variations en valeur absolue et les distances de course des séances ou du jeu final (P>0,05).

Le ratio de fréquence de sprints de séances et la diminution de performance en CMJ-3 (par rapport au CMJ-1 sont apparues corrélées (r=0.56, p=0.01), contrairement aux diminutions de performances lors des CMJ-2 (r=-0.29, p=0.06). Les baisses de performances en CMJ-3 ont été également corrélées avec le nombre total de sprints effectués lors des séances (r=0,69, p=0,005).

DISCUSSION

L'objectif de cette étude était d'analyser les effets, sur les performances physiques, de l'augmentation du volume d'exercices spécifiques au football, réalisés à haute et très haute intensité. Les principaux résultats montrent : i) l'augmentation du volume des exercices sous forme de jeux réduits induit des baisses de performances aiguës ii) les deux autres exercices spécifiques laissent apparaître une fatigue différée, comme en témoignent des baisses de performances de détente verticale le lendemain matin suivant les séances.

Baisses de performance aigues

Lors des séances de répétitions de sprints et courses aérobies, les fréquences de sprints et d'accélérations n'ont pas évolué avec l'augmentation du volume des exercices. Les fréquences de sprints et d'accélérations ont été plus basses lors des jeux réduits en comparaison avec les exercices spécifiques aérobies et sprints. En outre, la fréquence de sprints lors des jeux réduits a diminué avec l'augmentation du volume d'exercice. De toute évidence, les faibles valeurs enregistrées en sprints et en accélérations lors des jeux réduits sont dues au format de l'exercice, qui ne permet pas de réaliser de grandes distances de courses, réduisant ainsi la possibilité d'atteindre des vitesses élevées.

Les FC moyennes lors des exercices de jeux réduits et courses aérobies étaient plus élevées que celles enregistrées lors des exercices de sprints. Les jeux réduits, effectués avec un volume élevé, ont permis l'atteinte des plus fortes moyennes de FC, proches des FC maximales. Par ailleurs, lors des jeux réduits, la distribution du temps passé dans les différentes zones de FC a évolué sous l'influence de l'augmentation du volume. Le temps passé dans la zone supérieure (90-100% de la FCmax) a augmenté de plus de 23%, alors que le temps passé dans la zone de 80 à 90% a diminué dans des proportions similaires. Ces effets de l'augmentation sont en contradiction avec une étude précédente qui montre une augmentation de la FC moyenne des exercices lorsque le volume évolue de 2 à 4 min, mais également une diminution de cette dernière lorsque le volume passe de 4 à 6 min (Fanchini *et al.*, 2011). Dans la présente étude, une dérive des FC a été observée avec l'augmentation du volume d'exercice au cours des jeux réduits, en même temps qu'une diminution de la distance de course enregistrée dans les 3 dernières minutes de l'exercice. En outre, les changements des moyennes de FC

ainsi que la distance parcourue lors des séances à volume faible et élevé sont apparemment corrélés de manière significative. La diminution des distances de course est peut être la contrepartie de l'augmentation des FC, justifiant les effets de la fatigue aiguë des séances de jeux réduits. En outre, l'augmentation du volume d'exercice a également entraîné une augmentation des concentrations de lactate sanguin lors des séances de jeux réduits, augmentation qui n'a pas été observée dans les deux autres séances. Cependant, aucune relation n'est apparue entre le lactate sanguin et les paramètres de performance physique. Les FC moyennes enregistrées pendant le jeu final ne sont ni influencées par le nombre de séries, ni par le type d'exercice effectué. L'augmentation du volume d'exercice n'a eu aucun effet sur la distance totale parcourue lors de cette dernière opposition. Cependant, les distances parcourues après les séances de jeux réduits étaient plus faibles en comparaison avec celles des séances intégrant des courses aérobies. Les protocoles des jeux réduits ont induit les FC et les concentrations de lactate sanguin les plus élevées. Les changements de FC sont liés à ceux des distances de course, ce qui met en évidence les effets d'une possible fatigue aiguë provenant des SSG, également corroborée par des distances de course réduites dans le jeu final.

Baisses de performances différées

Après une nuit de récupération (+15 heures), des baisses de performances en CMJ ont été observées suite aux exercices de répétitions de sprints et de courses aérobies, pour les volumes faibles et élevés. Toutefois, pour le volume élevé, les baisses de performances lors des séances d'exercices de répétitions de sprints sont apparues plus importantes que celles observées après les séances d'exercices aérobies. À la suite des jeux réduits, aucune diminution des performances de saut n'a été notée, malgré les effets aigus de la séance sur les FC, le lactate sanguin et la fréquence de sprint. La comparaison entre séances souligne le fait que les diminutions de CMJ, observées dans les séances sprints et courses aérobies, sont fortement liées aux hautes fréquences de sprints, accélérations et vitesses maximales enregistrées. La baisse de performance de saut la plus élevée apparaît suite au volume d'exercice élevé de la séance intégrant les répétitions de sprints, cette dernière présentant les paramètres d'intensité les plus hauts (vitesses maximales, fréquences de sprints et accélérations). Les baisses de performances en détente verticale ont été corrélées à la fréquence de sprint des séances et au nombre de sprints. Ces effets négatifs de l'intensité apparaissent combinés à un effet de volume lors des exercices de sprints. Par conséquent, ces effets négatifs induits et observés sur les performances de saut, principalement après les exercices de sprints, soulignent les effets spécifiques liés à l'exercice. Les baisses de performances en CMJ après des exercices de football ont déjà été analysées dans la littérature, mais à notre connaissance, rarement après des exercices de football spécifiques d'intensités élevées et très élevées. Il a été mentionné par ailleurs que des exercices physiques intenses étaient susceptibles de réduire les performances en CMJ (Morcillo *et al.*, 2015; Oliver *et al.*, 2008). Sjökvist *et al.* ont signalé des baisses différées de performance en sauts, similaires

aux nôtres, mais avec des volumes d'exercices significativement plus élevés que ceux observés dans notre protocole (50 *vs.* 23min) (Sjokvist *et al.*, 2011). Dans cette étude, des baisses de performance en CMJ ont été observées après 24h de récupération (mais pas après 48 et 72h), suite à une séance d'entraînement de football effectuée, cette dernière comprenant des valeurs de vitesses de course maximales. En soulignant l'importance majeure de la puissance maximale dans le football, ces performances réduites en CMJ les lendemains matins après des séances de répétitions de sprints, mettent en évidence les effets négatifs potentiels de ces exercices sur la capacité de performance en football. Cette perte de puissance est observée 15 heures après les séances, ce qui suggère que les joueurs sont encore en phase de récupération et ne sont pas en mesure d'exprimer leur capacité de performance au meilleur niveau possible. Il est donc conseillé de prescrire des temps de récupération suffisants avant de programmer de nouveaux exercices visant des intensités maximales.

Suivi des indices d'état

Le suivi des indices d'état est un moyen utile pour surveiller les réponses positives à l'entraînement, liées aux variations des CE lors des périodes de pré-saison (Buchheit *et al.*, 2013a). Une étude précédente publication a rapportée une relation entre les variations des indices d'état avec les distances de courses à haute intensité durant une phase de compétition, tandis qu'aucune relation n'a été mise en avant entre les courbatures musculaires, la qualité du sommeil et des données d'entraînement (Thorpe *et al.*, 2015). Un niveau minimum de volume et d'intensité d'entraînement semble nécessaire pour induire des modifications aiguës des notations des indices d'état. Ceci est suggéré par certaines études qui montrent que l'augmentation de la fatigue, des courbatures musculaires et un sommeil perturbé sont liés à une CE élevée (Andersson *et al.*, 2008b; Thorpe *et al.*, 2015). Lorsque de faibles CE sont programmées après les matchs de compétition, les variations de notation des indices d'état sont également faibles (Thorpe *et al.*, 2016). Dans notre étude, les notations sont restées inchangées, malgré la réalisation d'exercice d'intensités très élevées, ce qui suggère que le volume d'une seule séance était insuffisant pour influencer de telles mesures. Plus précisément, les mesures des indices de bien-être sont susceptibles d'être sensibles à l'accumulation des CE des séances, décrivant certains effets retardés et cumulés des entraînements, ce qui n'a pas été le cas, à priori, de notre protocole (Andersson *et al.*, 2008b; Buchheit *et al.*, 2010).

Limites de l'étude

La présente étude a été effectuée avec des joueurs de football de l'élite, pendant la saison compétitive, ce qui pourrait mettre en lumière certaines limites méthodologiques et protocolaires de notre étude. En effet, celle-ci a proposé des situations pratiques sur le terrain, d'où la difficulté d'avoir un contrôle total et similaire de l'activité de chaque sujet. Cela pourrait expliquer certaines variations interindividuelles issues des paramètres des exercices. Par ailleurs, certains effets négatifs aigus et retardés ont été observés à la suite des exercices spécifiques et des jeux réduits.

Malheureusement, en raison du contexte d'entraînement et de compétition, nous n'avons pas été en mesure d'observer ces effets dans des délais prolongés, bien que cela aurait représenté de riches informations pour les scientifiques et les entraîneurs. À titre d'exemple, les effets de fatigue aiguë des jeux réduits nécessiteraient des mesures de la capacité aérobie et de marqueurs d'endurance, après des délais minimum de 24 à 48h heures. Cela pourrait être facilement effectué, sans incidence sur le niveau de fatigue, mais cela mettrait les joueurs encore à contribution, ce qui est potentiellement problématique pour l'entraîneur de l'équipe (Buchheit *et al.*, 2010; Garcia-Tabar *et al.*, 2017). Pour conclure, si des performances en CMJ ont été réduites après 15 heures de récupération, d'autres mesures auraient permis d'identifier les délais requis pour une récupération totale.

APPLICATIONS PRATIQUES

Cette étude est la première à analyser les effets de l'augmentation du volume des exercices sur les performances physiques, à partir d'exercices spécifiques au football, effectués à haute et très haute intensité. Cette dernière fourni de nouvelles informations pour les entraîneurs pour l'optimisation de leurs programmes d'entraînement. Tout d'abord, la haute fréquence et le nombre de sprints de la séance de répétitions de sprints, et d'une manière plus modérée le contenu de la séance aérobie, peuvent diminuer la puissance maximale musculaire, même si le volume de l'exercice est faible. À la suite de ces séances, un temps de récupération de plus de 15 heures semble nécessaire avant que les joueurs ne puissent exprimer de nouveau entièrement leurs capacités maximales. Deuxièmement, les jeux réduits, qui concernent principalement le développement de la puissance maximale aérobie, peuvent entraîner une diminution immédiate de la capacité de performance des joueurs. La dérive des FC, les concentrations de lactate sanguin plus importantes et la fréquence de sprints réduite, enregistrées lors de ces exercices en opposition, soulignent l'augmentation des besoins métaboliques pour réaliser toutes les séquences programmées. Selon les objectifs de l'entraîneur, qui peuvent être techniques, tactiques ou physiques, la place des jeux réduits dans la séance doit être adaptée. Néanmoins, la présente étude n'a pas analysée les effets induits par les exercices dans des délais prolongés : d'autres études et données restent indispensables pour définir toute la gamme des durées de récupération nécessaires.

1.10 ETUDE n°3

Quatre mois de charge d'entraînement globale et par exercice chez le footballeur professionnel

Four months of overall and by exercise training load in professional soccer player

Article accepté par la revue «Science et Sports » (mars 2017)

INTRODUCTION

La quantification de la charge d'entraînement (CE) est une préoccupation majeure des entraîneurs. Plusieurs méthodes d'évaluation sont disponibles, en fonction des disciplines sportives. Celles-ci s'appuient sur différents marqueurs de volume et/ou d'intensité (Morin, 2014): fréquence cardiaque (FC) (Banister, 1991; Edwards, 1993), perception de l'effort (Foster *et al.*, 2001; Garcin *et al.*, 1999), lactate sanguin (Mujika *et al.*, 1996), endurance limite (Desgorces *et al.*, 2007) et plus récemment certaines variables GPS (Global Positioning System) (Barbero-Alvarez *et al.*, 2010; Buchheit *et al.*, 2014a). Le choix de la méthode se fait en fonction du type de sollicitation induit par l'activité sportive, mais aussi selon les ressources humaines ou matérielles disponibles (Akenhead and Nassis, 2015). Par exemple, les disciplines à dominante aérobie, peuvent utiliser préférentiellement les méthodes basées sur la FC (Banister, 1991; Desgorces and Noirez, 2008). Dans les disciplines collectives, compte tenu de la grande variété des efforts intermittents de haute intensité, l'utilisation de l'outil GPS augmente régulièrement, bonifiés par les progrès technologiques qui permettent d'obtenir des données de plus en plus précises (Boyd *et al.*, 2011; Cunniffe *et al.*, 2009). En parallèle et pour des raisons de faisabilité dans un contexte de haut niveau, la méthode de quantification de la CE la plus utilisée en football est celle basée sur la perception de l'effort (Séance-CR10) (Akenhead and Nassis, 2015; Impellizzeri *et al.*, 2004; Kelly *et al.*, 2016). Dans de nombreux sports collectifs, les entraineurs utilisent cette quantification de la CE pour planifier et ajuster leurs programmes d'entraînement (Gabbett and Jenkins, 2011; Manzi *et al.*, 2010). L'échelle de perception de l'effort (CR10) utilisée par Foster *et al.* (Foster *et al.*, 2001) est une évolution de celle proposée par Borg (Borg, 1960, 1962, 1970), les cotations de perception de l'effort étant reliées à de multiples paramètres physiologiques (fréquence cardiaque, consommation maximale d'oxygène, lactatémie) (Eston, 2012). La charge d'entraînement est estimée en multipliant la note de perception de l'effort de fin de séance par la durée de cette même séance.

Si la méthode Séance-CR10 a été rapportée comme valide pour les sports collectifs (Fanchini *et al.*, 2015a), son utilisation pourrait présenter certaines limites. En effet, la séance étant cotée dans sa globalité, il n'est pas possible de distinguer les CE particulières des efforts variés constituant une séance de football (exercices techniques réalisés à allure modérée ou sprint ; exercices prolongés ou intermittents), ni de différencier des séances proposant les mêmes exercices mais organisés différemment. De plus, si de fortes corrélations entre les CE issues de la méthode Séance-CR10 et celles provenant des méthodes basées sur la

fréquence cardiaque ont été observées pour des exercices d'intensité basse à modérée (Alexiou and Coutts, 2008), le niveau de corrélation pourrait être bien plus faible pour des efforts réalisés à haute et très haute intensité (Alexiou and Coutts, 2008; Borresen and Lambert, 2008; Impellizzeri *et al.*, 2004). A notre connaissance, une quantification par exercice basée sur la perception de l'effort n'a pas été proposée jusqu'à présent. Une telle utilisation pourrait améliorer le niveau de précision des séances d'entraînement.

Peu d'études semblent avoir exploré la périodisation des CE issues de différentes méthodes de quantification en football. Les travaux de Malone *et al.* (Malone *et al.*, 2015) portent sur l'analyse de 42 semaines d'une équipe de l'élite anglaise (pré-saison et période de compétition), mais ces derniers ne présentent que des valeurs moyennes quotidiennes d'entraînement. Deux autres études présentent des valeurs de perception de l'effort d'une semaine type (Wrigley *et al.*, 2012) et d'une période de six semaines (Akubat *et al.*, 2012), pour de jeunes joueurs de catégorie U14 à U18. Les CE programmées dans ces catégories d'âge sont généralement élevées pour atteindre les objectifs de développement des qualités physiques et techniques, et diffèrent sensiblement de ce qui se fait dans l'élite.

L'objectif de notre étude est de quantifier la CE de footballeurs professionnels lors d'une période de 17 semaines de compétition en utilisant la méthode globale (Séance-CR10) et une méthode dérivée de celle-ci, mais appliquée à chacun des exercices d'entraînement (Exercice-CR10).

METHODE

Cette étude a été réalisée avec une équipe professionnelle française de football, lors de la phase retour de championnat de Ligue 1 (de janvier à mi-mai), période caractéristique de l'entraînement habituel où les variations sont bien moindres qu'en début de saison à la suite de la période de préparation.

Sujets

Vingt quatre joueurs professionnels (26,8±4,8 ans ; 76,9±6,8 kg; 180,7±5,4 cm) ont participé à cette étude. Tous les sujets ont passé une visite médicale en début de saison, et ont été informés du protocole et des objectifs de l'étude.

Protocole expérimental

Les séances d'entraînement ont eu lieu sur deux types de surfaces de jeu (terrain en herbe et surface synthétique), dans différentes conditions climatiques (-2°C à 20°C). Chaque entraînement a eu lieu en journée (le matin à 10h et/ou l'après-midi à 15h30). Les matchs de compétition ont eu lieu généralement à 20h ou l'après-midi (samedi ou dimanche), en fonction du calendrier de la Ligue de Football Professionnelle.

78 séances d'entraînement ont été réalisées par un groupe de 24 footballeurs au cours de 17 semaines de compétition. Le nombre de joueurs participant aux séances étant variable (blessures, absences, transferts, sélections, mises à la disposition de l'équipe réserve), ce sont au final 829 séances individuelles qui ont été analysées.

La perception de l'effort a été relevée en utilisant l'échelle CR10 décrite par Borg (Borg, 1982) et modifiée par Foster *et al.* (Foster *et al.*, 2001). Trente minutes après la fin de l'entraînement, les joueurs devaient évaluer les séances en utilisant CR10 graduée de 0 à 10 (repos: 0, effort maximal: 10) (**Tableau 1**).

Score	Description
0	Repos
1	Très, très facile
2	Facile
3	Modéré
4	Légèrement difficile
5	Difficile
6	-
7	Très difficile
8	-
9	-
10	Maximum

Tableau.1 Echelle de perception de l'effort (CR10). 30 minutes après la fin de l'entrainement, la question suivante a été posée à chaque joueur ''Comment avez-vous ressenti la difficulté de l'effort (ou de l'exercice) ? ».

Cette notation s'est effectuée en deux étapes : dans un premier temps, chaque exercice était évalué séparément, puis la séance l'était par une note globale. Les données quotidiennes, transmises via Smartphones ou directement sur ordinateur, ont été collectées en utilisant le logiciel HBS Manager © (version bêta, France).

Les différents exercices ont été classés en 3 catégories pour analyser leur distribution:

- Jeux et exercices spécifiques football qui regroupent tous les jeux d'opposition avec gardiens, jeux de conservation, exercices techniques et tactiques.
- Exercices d'endurance qui intègrent les exercices à dominante endurance aérobie prolongée et ceux spécifiques au développement de la puissance maximale aérobie.
- Exercices de puissance et de vitesse maximales qui rassemblent les exercices de puissance, de force-vitesse et d'appuis-coordination.

Quantification de la charge d'entraînement

Le calcul des CE avec la méthode Séance-CR10 consiste à multiplier la perception de l'effort issue de CR10 par la durée entière des séances (en minutes), selon l'équation suivante:

CE = durée x CR10, le résultat est exprimé en unité arbitraire (u.a).

Pour le calcul des CE avec la méthode Exercice-CR10, l'équation suivante a été utilisée :

CE = durée Exercice1 x CR10 Exercice1 + durée Exercice2 x CR10 Exercice2 … Tous les sujets ont été familiarisés avec cette échelle durant une semaine avant le début de l'étude (mois de décembre).

Analyse statistique

La normalité des distributions a été vérifiée à l'aide du test de Kolmogorov-Smirnov. Les différences statistiques de CE entre les méthodes Séance-CR10 et Exercice-CR10, celles entre les joueurs titulaires et remplaçants ainsi que celles entre séances avant-veille de match ont été réalisées avec le test « t » de Student pour données appariées. L'échelle proposée par Cohen (Cohen, 1988) a permis d'interpréter les tailles de l'effet. La magnitude des différences a été considérée comme petite (0,2), moyenne (0,5), ou large (0,8). Une analyse de variance (ANOVA) à deux voies répétées (semaine 1 vs. semaine 2 et Séance-

CR10 vs. Exercice-CR10) a été utilisée pour déterminer les différences de CE entre les semaines, calculées avec les deux méthodes de quantification. Les moyennes des CE hebdomadaires ont été également comparées avec les coefficients de variation (CV) exprimés en pourcentages. Lorsqu'un effet significatif était observé, un test post-hoc de Tukey a été utilisé. La concordance des deux méthodes de mesures des CE a été déterminée par la magnitude du coefficient de corrélation intra-classe (ICC). L'échelle proposée par Cicchetti a été utilisée (Cicchetti, 1994). Ces magnitudes ont été considérées comme : faible (moins de 0,40), moyenne (0,40 à 0,59), bonne (0,60 à 0,74), ou excellente (0,75 à 1,00). Les différences significatives ont été présentées en valeur du paramètre mesuré, correspondant à un intervalle de confiance de 95% (CI_{95}). Les analyses statistiques ont été réalisées en utilisant le logiciel R (version 3.2.3, France). Le seuil de significativité statistique a été fixé à $p<0,05$.

RESULTATS

CE hebdomadaires

Les CE hebdomadaires calculées avec la méthode Séance-CR10 et Exercice-CR10 montrent des différences durant 9 semaines sur 17 (**Figure 1** ; respectivement F=8,12 et 9,53, $p<0,001$). Les moyennes des CE hebdomadaires sont différentes (Séance-CR10, 2030,9±253u.a et CV=12,4% ; Exercice-CR10 1839±252u.a et CV=13,7%).

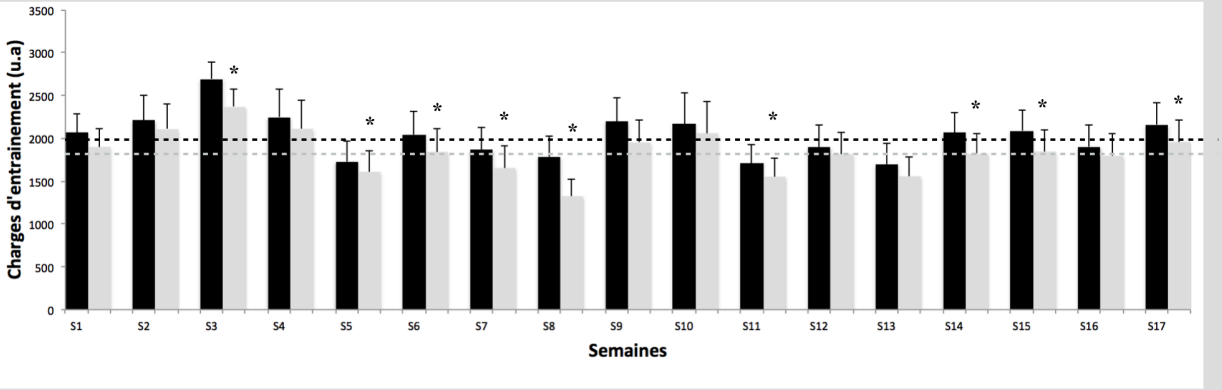


Figure.1 Charges d'entrainement hebdomadaires calculées avec les méthodes Séance-CR10 (barres noires) et Exercice-CR10 (barres grises) de semaine 1 (S1) à semaine 17 (S17). Ligne discontinue noire pour moyenne des CE de la méthode Séance-CR10 et ligne discontinue grise pour moyenne des CE de la méthode Exercice-CR10. * : Différence significative entre les CE provenant des deux méthodes.

Ces CE issues des deux méthodes présentent le niveau de concordance suivant : ICC=0,82 (0,79 ; 0,84]). La méthode Exercice-CR10 permet d'observer les variations des CE selon le type d'exercice réalisé (**Figure 2A**) et les proportions de ces exercices dans la CE totale: les exercices spécifiques au football représentent 81,5±4,9% de la CE totale, les exercices dédiés à l'endurance (prolongée et puissance aérobie) 13±4,1% et ceux de puissance et de vitesse maximales apparaissent pour une proportion faible (5,4±3,6%) (**Figure 2B**).

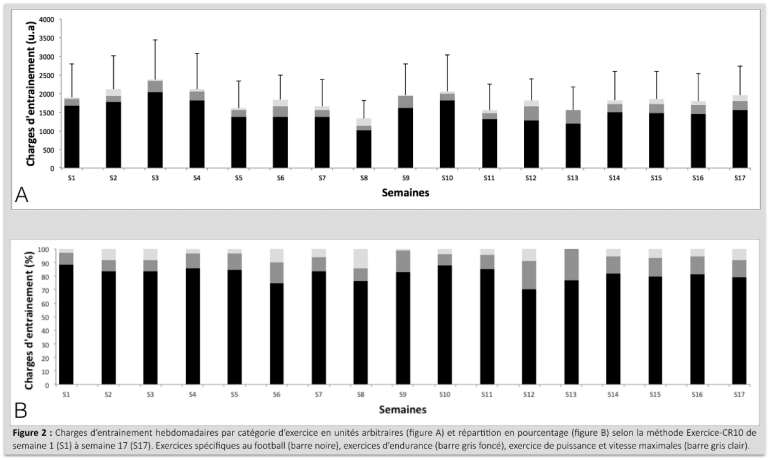


Figure 2 : Charges d'entrainement hebdomadaires par catégorie d'exercice en unités arbitraires (figure A) et répartition en pourcentage (figure B) selon la méthode Exercice-CR10 de semaine 1 (S1) à semaine 17 (S17). Exercices spécifiques au football (barre noire), exercices d'endurance (barre gris foncé), exercice de puissance et vitesse maximales (barre gris clair).

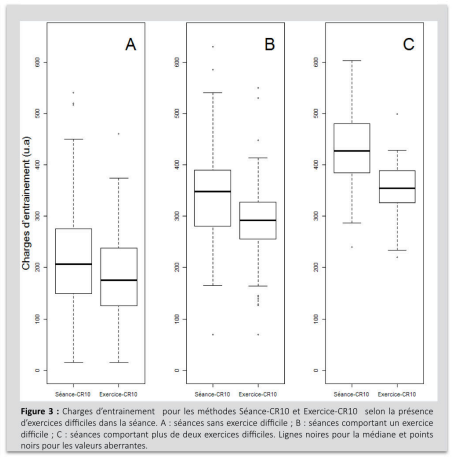


Figure 3 : Charges d'entrainement pour les méthodes Séance-CR10 et Exercice-CR10 selon la présence d'exercices difficiles dans la séance. A : séances sans exercice difficile ; B : séances comportant un exercice difficile ; C : séances comportant plus de deux exercices difficiles. Lignes noires pour la médiane et points noirs pour les valeurs aberrantes.

Les CE individuelles évaluées varient en fonction du statut de joueur titulaire ou remplaçant (p<0,001 ; Séance-CR10 (1814±342u.a ; 1420±240u.a.), IC (352; 585), *d*=1,39 ; Exercice-CR10 (1694±315u.a ; 1232±236u.a), IC (317; 587), *d*=1,16).

Les CE des séances de la semaine d'entrainement présentent des différences significatives entre les deux méthodes, (*p*<0,001 ; IC (31,63; 57,06), *d*=1,20), à l'exception des séances se déroulant l'avant-veille de match (*p*=0,053).

Composition des séances

Sur un total de 829 séances individuelles, 228 comprenaient au moins un exercice d'intensité perçue comme « difficile » (CR10≥5), 601 séances n'en comprenaient aucun. Les valeurs des CE des séances ne comportant pas d'exercice à haute intensité, calculées par les deux méthodes, présentent des différences (*p*<0,001 ; ICC=0,81 [0,79 ; 0,84]), tout comme celles qui en intègrent un (*p*<0,003 ; ICC=0,73 [0,65 ; 0,81]) et celles qui en comportent plus de 2 (*p*<0,001 ; ICC=0,34 [0,23 ; 0,46])

(**Figure 3**).

Charges d'entraînement Méthode RPE

DISCUSSION

Notre étude est la première à présenter les CE d'une équipe professionnelle de football, calculées grâce à deux méthodes de quantification basées sur la perception de l'effort lors d'une période prolongée. Les deux résultats principaux amènent aux constats suivants : 1) la méthode Séance-CR10 présente des CE hebdomadaires et quotidiennes supérieures à la méthode Exercice-CR10, le nombre d'exercices perçus comme difficiles dans la séance expliquant, en partie, la variabilité des niveaux de concordance entre les deux méthodes ; 2) Les deux méthodes fournissent des CE avec des coefficients de variation proches, ce qui offre aux entraineurs une alternative validée de quantification par exercice.

Méthode Séance-CR10 vs. Exercice-CR10 : des CE de séances différentes et de concordances variables, en fonction du nombre d'exercices « difficiles »

La méthode Séance-CR10 fournit des CE plus hautes que celles issues de la méthode Exercice-CR10 notamment lorsque des exercices difficiles (RPE≥5) composent la séance. Les concordances et différences de quantification des CE entre les deux méthodes semblent en effet dépendre du nombre d'exercices perçus comme difficiles dans la séance. Plus ces derniers sont nombreux plus les différences de quantification sont significatives et plus les coefficients de corrélation intra-classe sont bas. Cela suggère l'existence d'un gradient dans les concordances entre les CE des deux méthodes, ces dernières diminuant avec l'augmentation du nombre d'exercices difficiles dans la séance. Il est à noter que 72,5% des séances ne comportaient aucun exercice difficile. Cela pourrait s'expliquer par le fait que seule une faible part des contenus d'entraînement n'est consacrée aux exercices spécifiques de puissance aérobie (13%). Or se sont ces types d'exercices qui sont les plus souvent côtés de manière élevée par les joueurs.

La CE calculée par la méthode Séance-CR10 étant le produit de perception de l'effort multiplié par la durée totale de la séance, l'exercice difficile prend une place majeure dans la CE calculée. En effet, lorsqu'un ou plusieurs exercices sont perçus comme très difficiles au cours de la séance, les joueurs ne peuvent pas toujours bien récupérer entre chacun d'eux, la fatigue s'installe et pourrait influencer la réalisation et la perception des exercices restants (Eston *et al.*, 2007). Dans ce cas, il est primordial que les entraîneurs portent une attention toute particulière à l'organisation de l'entraînement et proposent une succession d'exercices permettant d'atteindre les objectifs qualitatifs et quantitatifs visés.

A l'inverse, il semblerait que la quantification par exercice réduise l'influence des exercices difficiles sur les valeurs de CE de la séance. La méthode de quantification par exercice permet de percevoir un exercice difficile, ce qui conduit à une CE élevée pour l'exercice en question, en relation à sa propre durée et non à la durée de l'ensemble de la séance. Les CE totales des séances issues de la méthode Exercice-CR10 sont donc moins influencées par la présence d'exercices difficiles que la méthode globale. Il est à noter que cette méthode a été développée lorsque la plupart des auteurs considéraient la perception de l'effort comme un indicateur de la seule intensité de l'exercice (Borg, 1982; Foster *et al.*, 2001). Depuis, de nombreux travaux ont démontré que la perception de l'effort correspondait à la distance ou à la durée relative aux capacités d'un individu pour une intensité donnée (Joseph *et al.*, 2008; Noakes, 2008). La perception de l'effort combine à la fois intensité et durée d'exercice. Plus récemment, d'Agostinho *et al.* ont étudié la qualité d'ajustement entre les CE programmées et les performances réalisées (entrainements et compétitions) par des judokas (Agostinho *et al.*, 2015). La qualité d'ajustement était meilleure avec la simple prise en compte de la valeur de perception de l'effort comme indicateur de CE qu'après multiplication de la perception de l'effort par la durée d'exercice. Ainsi, la CE pourrait être quantifiée par la seule utilisation de la perception de l'effort (par séance ou par exercice).

Méthode Séance-CR10 vs. Exercice-CR10 : des quantifications de CE hebdomadaires avec des concordances satisfaisantes

Les quantifications des CE varient entre les méthodes Séance-CR10 et Exercice-CR10, avec des différences significatives pour 9 semaines sur 17. Si les CE sont globalement différentes, les concordances entre les

deux méthodes sont majoritairement de bonnes à excellentes. Les variations de charge étant sensiblement constantes (figure 1), l'organisation hebdomadaire des CE serait évaluée de la même manière avec les deux méthodes. Comme indiqué par les coefficients de variation, les variations moyennes de charges hebdomadaires sont de l'ordre de 12 à 14 % selon la méthode employée. Cependant, certaines semaines présentent des augmentations (semaine 3) et des baisses (semaine 13) plus marquées, avec des différences entre les méthodes qui semblent notables (maximum d'augmentations et de baisses enregistrées par rapport à la moyenne pour Séance-CR10 : +30 et -17% et pour Exercice-CR10 :+28 et -28%). Ces variations de CE hebdomadaires répondent à des choix de stratégiques de programmation, à l'état de forme du moment des joueurs et/ou aux contraintes du calendrier des matchs de compétition. Comme les CE sont quantifiées à posteriori, les variations ne sont pas forcément celles qui sont recherchées et peuvent conduire dans certains cas à des erreurs d'ajustement. Il est à noter, qu'à l'origine, Foster *et al.* dans leurs premiers travaux (1998), proposaient des outils associés au calcul de CE par la méthode Séance-CR10 (Foster *et al.*, 2001). Parmi ces outils, un calcul de monotonie de la CE hebdomadaire (Moyenne des CE/Ecarts-types des CE) était proposé et des valeurs de monotonie supérieures à 2 étaient considérées par les auteurs comme négatives pour la préparation des sportifs. Dans notre étude, la monotonie moyenne des CE hebdomadaires était de 1,03 (±0,15), bien en dessous de la valeur suggérée comme critique. Sur des périodes de plusieurs semaines, le modèle étiologique de Windt et Gabbett permet d'optimiser la compréhension des adaptations positives et négatives des CE (Windt and Gabbett, 2016; Windt *et al.*, 2016). Ces auteurs proposent l'utilisation d'un ratio (« acute: chronic workload ratio ») pour identifier les risques potentiels de blessures suite à une variation trop importante d'une CE hebdomadaire par rapport à la moyenne de celles des trois semaines précédentes. Dans notre étude ce ratio présente une valeur moyenne de 1,04 (±0,14) alors qu'une augmentation significative du risque de blessure a été rapportée pour des valeurs supérieures à 1,5 (Windt *et al.*, 2016). Il est à noter que les valeurs de monotonie et de « l'acute: chronic ratio » sont presque identiques, alors qu'elles semblent se fonder sur deux analyses opposées. En effet, la monotonie met en lumière le risque de programmer des CE sans contrastes, alors que « l'acute: chronic ratio » prévient des risques de contraste de CE trop importants. La principale limite de la méthode de quantification Séance-CR10 repose sur le fait qu'elle ne permet pas une analyse de l'entraînement et des exercices qui y sont réalisés. La méthode Exercice-CR10 permet d'observer les variations de CE au cours de la séance. Dans le programme de l'équipe observée, une très forte proportion de la CE est atteinte grâce à des exercices spécifiques au football, qui combinent de nombreuses exigences de ce sport (jeux réduits, jeux de conservation, oppositions avec gardiens de but). Les exercices mettant en avant l'endurance ou ceux privilégiant la puissance ou la vitesse maximale apparaissent donc dans des proportions plus réduites. Ces différences sont donc en parties dues à la catégorisation des exercices retenue dans la mesure où il est difficile de distinguer dans des exercices spécifiques au football le travail de sprint, d'endurance, de coordination …

Cette étude nous permet d'initier des réflexions et analyses de la composition du programme d'entraînement qui sont impossibles lorsque la méthode Séance-CR10 est utilisée. Par exemple, aucune semaine n'observe une proportion d'exercices spécifiques inférieure à 70% de la CE totale. En outre, si dans certaines semaines la CE des exercices de puissance ou vitesse maximale peut être nulle, ce n'est pas le cas des exercices d'endurance. Ces résultats suggèrent donc que le travail d'endurance prend une part importante dans la programmation des CE ou que les exercices spécifiques au football intègrent plus facilement le travail de sprint ou de puissance maximale.

D'importantes différences de CE ont également été relevées entre les joueurs, principalement en fonction de leur statut de titulaire ou de remplaçant. Les séances complémentaires visant à compenser le manque de temps de jeu, ne suffisent pas à équilibrer les CE totales hebdomadaires entre ces deux catégories de joueurs. Quelques soit leur temps de jeu en match, les CE des joueurs remplaçants sont inférieures à celles des titulaires (Séance-CR10, -24,11% et Exercice-CR10, -28,73%). La programmation d'opposition à onze contre onze dans les 48h suivant un match officiel, comme cela est le cas lors des tournois internationaux, pourrait être une bonne alternative aux séances de compensation qui s'avèrent au final insuffisantes. Ces oppositions pourraient s'organiser avec l'équipe réserve (centre de formation) dans les structures professionnelles ou ponctuellement avec des clubs partenaires dans le milieu amateur.

En résumé, l'intérêt principal d'une nouvelle méthode Exercice-CR10 repose principalement sur la plus value apportée par la connaissance des CE spécifiques de chacun des exercices, validées par comparaison des coefficients de variation avec la méthode Séance-CR10. L'entraineur peut ainsi programmer plus facilement ses séances en s'appuyant sur une base de données organisée par catégories technico-tactiques et/ou dominantes athlétiques, qu'il enrichira dans le temps. Le fait de quantifier par séquence permet également de mieux comprendre l'effet d'un exercice sur un autre, et le cas échéant, de les planifier spécifiquement en fonction des objectifs physiques mais aussi techniques et tactiques. Enfin, les variations de l'état psychologique des joueurs professionnels au cours de la saison (un statut de remplaçant, un avenir sportif incertain), peuvent influencer la perception globale d'une séance (Lane, 2001). Une évaluation centrée plus précisément sur chacun des exercices pourrait limiter cette influence négative de l'humeur des sportifs (à prendre en compte par ailleurs) sur la quantification des CE des séances (Hooper *et al.*, 1995). La méthode Exercice-CR10 nécessite un peu plus de temps pour la notation et fait appel à un effort de mémoire plus important et pourrait être plus exigent. Pour cette raison, il serait judicieux de préconiser l'affichage du contenu de la séance avant l'entrainement, afin que les joueurs intègrent au préalable les exercices et la construction de celle-ci.

CONCLUSION

Notre étude est la première à présenter les CE d'une équipe professionnelle de football sur plusieurs mois de compétition, notamment en présentant la composition des séances. Nos résultats démontrent que la méthode Séance-CR10 évalue des CE supérieures par rapport à la méthode Exercice-CR10. La concordance entre les CE hebdomadaires est excellente alors que les concordances des CE des séances varient selon le

nombre d'exercices perçus comme difficiles au cours de la séance. Les deux méthodes présentent cependant des coefficients de variation des CE proches, l'ensemble de nos résultats suggérant que l'on peut utiliser l'une ou l'autre méthode pour le suivi de l'entraînement des joueurs. Contrairement à la méthode Séance-CR10, la méthode Exercice-CR10 permet aux entraîneurs de distinguer les compositions des séances et d'avoir une analyse de leurs effets plus précise. Elle permet enfin de vérifier si les charges prescrites ont bien été atteintes en analysant individuellement les cotations des exercices cibles et de calculer une CE totale de séance moins influencée par le ou les exercices difficiles.

Pour conforter l'utilisation de cette nouvelle méthode Exercice-CR10, il semblerait pertinent d'analyser les relations entre les CE issues de cette méthode et les données fournies par des outils technologiques tels que les GPS et/ou les délais de récupération des sportifs.

CHAPITRE IV : SYNTHESE ET PERSPECTIVES

1.11 Efficacité des méthodes de quantification actuelles pour les exercices spécifiques au football

1.11.1 Avantages, limites des méthodes de quantification de la CE basées sur la FC, Les seuils ventilatoires et la lactatémie

L'étude n°1 a mis en évidence les limites des méthodes de FC pour évaluer avec précision les CE issues d'efforts de haute et très haute intensité, qui composent en grande partie les séances d'entraînement de football. Il a été démontré que lorsque les intensités sont mélangées, ces méthodes quantifient les CE de manière différente, à la différence de celles qui les évaluent dans leur globalité (méthodes RPE et WER). De plus, de nombreux exercices d'entrainement engagent des intensités supérieures à VO_2max (*i.e.* une bloc de travail intermittent de type « 15s-15s » à 110% de VMA) sans que l'interprétation de la FC puisse les identifier. Malgré tout, l'utilisation de la FC pourra être utile à certains moments de la saison, en période de préparation par exemple lorsque les intensités de course sont sous maximales.

La méthode WER propose pour sa part, une quantification de la CE à partir de l'endurance limite de chaque filière physiologique, relative aux caractéristiques individuelles. Le choix de cette méthode pour quantifier des efforts analytiques semble pertinent, mais beaucoup plus difficile à utiliser en football, dans un contexte de jeux réduits ou de travail technico-tactique qui implique une somme de performances individuelles. A titre d'exemple, l'évaluation de l'endurance limite d'un jeu réduit à 3 *vs.* 3 nécessiterait des moyens d'analyse très complexes, dépendant d'une multitude de facteurs difficilement mesurables (impact sur la CE de la surface de jeu, des règles, des temps de travail et de récupération). Enfin, les méthodes basées sur les seuils ventilatoires ou lactiques ne semblent pas adéquates pour quantifier de manière longitudinale les CE d'exercices spécifiques au football, en raison principalement d'une logistique contraignante.

Perspectives

Les méthodes basées sur la FC exigent le port quotidien d'un équipement spécifique, avec le risque que certains émetteurs puissent être déconnectés involontairement au cours des séances. Le temps nécessaire au traitement des données semble très important pour des équipes de sports collectifs dont les journées sont rythmées par des entrainements quotidiens et/ou biquotidiens. En France, beaucoup de préparateurs physiques travaillent encore seuls, contrairement à de nombreux pays étrangers (Angleterre, Allemagne, Italie, Espagne), et ne peuvent assurer, en complément de la préparation des séances athlétiques, le suivi et l'analyse quotidiens des CE et de toutes les données de FC, biométriques, GPS, indices d'état et perception de l'effort. Des choix sont à faire pour les techniciens, qui ne s'orienteront plus forcément aujourd'hui en priorité sur les données de FC, mais peut être plus sur une association de méthodes simples, rapides et non invasives visant à quantifier et à estimer au mieux les CE et leurs effets.

1.11.2 Avantages, limites et perspectives de la méthode RPE

Une pénibilité liée à la durée et à la fréquence des efforts

La méthode RPE est aujourd'hui une des plus utilisées dans le football et témoigne de la pénibilité de l'effort (Akenhead *et al.*, 2016). La cotation RPE est étroitement liée à l'intensité de l'exercice, mais aussi et surtout à sa durée et à sa fréquence (ratio travail/récupération). L'étude n°1 a démontré dans ce sens qu'elle était une des méthodes globales qui tenait le mieux compte de l'organisation des exercices à hautes intensités au sein des séances d'entraînement. Ceci est à prendre en compte dans la mesure où les entraînements de football intègrent des exercices de natures différentes, **dissociés** («analytique) et/ou « **mixés** » (« intégrés »). La méthode RPE, bien que subjective, présente surtout l'avantage d'être facile à mettre en place avec des contraintes logistiques minimes.

Plusieurs limites peuvent cependant être évoquées lorsqu'elle est appliquée au football:

- elle ne permet pas de distinguer les CE spécifiques des exercices qui composent les séances
- dans le contexte particulier du football professionnel, où l'humeur des sportifs est un élément à prendre en compte, les CE RPE associées à des exercices aux plus hautes intensités, pourraient influencer la notation finale de la séance, surtout lorsqu'ils sont placés à la fin
- elle ne permet pas de distinguer les contraintes mécaniques (musculaires) et les contraintes cardiorespiratoires

Perspectives

Nos travaux de recherche illustrés par l'étude n°3 ont permis de proposer et valider une nouvelle méthode RPE par exercice, qui répond ainsi aux besoins d'une analyse plus qualitative des séances d'entraînement de football. De ce fait, cette nouvelle approche méthodologique offre l'avantage de réduire le risque d'une surcote de la CE globale par le ressenti d'un seul exercice jugé « très pénible ». La méthode globale RPE actuelle quantifie des CE, lesquelles provoquent des effets physiologiques aigus ou différés. L'étude n°2 a montré que des valeurs de CE supérieures induisaient des effets immédiats en termes de baisse de performance et de fatigue, contrairement à d'autres qui présentaient des CE plus faibles, mais dont les effets se sont manifestés le lendemain matin. Dans l'idéal, une méthode RPE qui permettrait d'identifier le type de fatigue induite par l'exercice serait un atout considérable pour les entraineurs.

Pour tenter de cerner les mécanismes qui influencent la perception de l'effort lors de différents types de travail physique, plusieurs publications ont distinguée la perception de l'effort musculaire **(RPE local)**, la perception respiratoire **(RPE central)** et la perception globale **(RPE global)** (Pandolf, 1978, 1982). Garcin *et al.* ont montré qu'un RPE ciblé sur les muscles actifs était aussi bien, voire mieux relié aux caractéristiques des exercices réalisés qu'un RPE global (Garcin *et al.*, 1998). Borg *et al.* ont montré pour leur part que l'arrêt de l'exercice était le plus souvent influencé par la fatigue musculaire des membres inférieurs plus que par la fatigue respiratoire (Borg *et al.*, 2010).

L'intérêt de distinguer différents types des RPE a été étudié dans d'autres sports collectifs (football australien), démontrant que chacun deux représentent des capacités sensorielles distinctes (Weston *et al.*, 2015). En situation d'entrainement spécifique au football, l'évaluation de l'effort à partir des RPE musculaires et globaux ont permis de comparer les contraintes de chaque exercice, en démontrant que les jeux réduits étaient plus exigeants sur le plan musculaire que les exercices techniques (Los Arcos *et al.*, 2014a).

Los Arcos *et al.* ont évalué les RPE à la suite d'entraînements et de matchs de football pendant neuf semaines, en distinguant un RPE « **musculaire** » et un RPE « **respiratoire** », avant de mesurer leur influence sur des changements potentiels de performances physiques (détente, sprints et endurance) (Los Arcos *et al.*, 2014b). Los Arcos *et al.* on établi les mêmes comparaisons entre joueurs titulaires et remplaçants (Los Arcos *et al.*, 2017). Les CE ont été calculées en multipliant la cotation par la durée de l'entraînement ou du match. Des corrélations négatives significatives ont été observées entre CE et performances physiques. Cela suggère que les paramètres volume et/ou RPE « musculaire » peuvent provoquer une fatigue aiguë sur les gains de performances de puissance musculaire des membres inférieurs. Le RPE « musculaire » pourrait être considéré, selon les auteurs, comme la cotation principale de la fatigue en compétition. Retenons que plus la CE est élevée, plus la fatigue est importante, et plus faibles sont les gains à l'arrêt de l'effort.

Si les deux types de RPE peuvent être analysés séparément, ils n'en restent pas moins liés sur le plan physiologique. En effet, si ces deux facteurs semblent se différencier lors d'efforts de très haute intensité (>100% de la VMA), cela serait moins le cas lors d'efforts continus à 70% de $\dot{V}O_{2max}$ (Green *et al.*, 2009).

Des scores différenciés pourraient ainsi faciliter l'interprétation des charges internes spécifiques et représenter dès lors un atout précieux pour faire correspondre les objectifs de travail et les réponses physiologiques attendues. La variabilité des données entre joueurs doit être cependant prise en compte lors de l'interprétation des scores RPE, ce qui nécessite un traitement individuel des évolutions et variations des RPE selon les exercices d'entraînement.

D'un point de vue expérimental, nous avons repris la méthodologie proposée par Foster (CE=RPE x durée) pour être en phase avec la plupart des publications scientifiques sur le sujet. Cependant, cette méthode a été développée lorsque la plupart des auteurs considéraient la perception de l'effort comme un indicateur de la seule intensité de l'exercice (Borg, 1982; Foster *et al.*, 2001). Depuis, de nombreux travaux ont démontré que la perception de l'effort correspondait à la distance ou à la durée relative aux capacités d'un individu pour une intensité donnée (Joseph *et al.*, 2008; Noakes, 2008). Agostinho *et al.* ont étudié pour leur part la qualité d'ajustement entre les CE programmées et les performances réalisées par des judokas (entraînements et compétitions), et se sont aperçus que cette dernière était meilleure avec la simple prise en compte de la valeur RPE comme indicateur de la CE qu'après multiplication de la perception de l'effort par la durée de l'exercice (Agostinho *et al.*, 2015).

De ce fait, la question se pose de savoir s'il est nécessaire ou non de multiplier RPE par la durée de l'exercice, ce qui laisse à l'heure actuelle de nombreux reviewers indécis. Si cette nouvelle approche trouve sa légitimité dans le futur, l'entraineur qui souhaitera déterminer une charge interne identique pour tous ces joueurs, devra fixer des durées d'exercices relatives aux capacités de chacun.

1.11.3 Choix de données GPS pour arriver à une quantification de la CE

Les données GPS comprennent des paramètres de volume, d'intensité et de fréquence. En conséquence, il devrait être possible de développer une méthode de quantification de la CE précise. Les algorithmes de certaines marques GPS pour quantifier les CE se concentrent sur la somme d'accélérations sur trois axes de déplacements, induisant de ce fait une variable complémentaire de volume. Cependant, les seuils d'accélérations mériteraient d'être précisés, ce qui n'est pas toujours le cas. Une enquête auprès de 82 clubs de l'élite mondiale a démontré qu'il n'existait pas de consensus autour des valeurs de seuils à retenir, fixés entre 1 et 4 $m.s^{-2}$ (Akenhead and Nassis, 2016). Le paramètre fréquence devrait lui aussi être intégré, en ayant connaissance de la durée des accélérations par seuils.

Le point de départ de notre réflexion est la compétition et ses caractéristiques. Grâce aux données GPS, il est maintenant possible d'identifier un certain nombre de critères de références :

*Des critères de **Volume** :*

- Distance totale de course (mètres)
- Nombre de sprints
- Nombre d'accélérations (répartis en différents seuils)
- Nombre de décélérations (répartis en différents seuils)
- Nombre de changements de direction

*Des critères de **Fréquence** :*

- Un ratio entre le nombre de sprints ou d'accélérations/temps

- Une moyenne des pics de vitesses atteintes/temps

*Des critères d'**Intensité** :*

Nous avons vu dans la première partie de notre étude qu'une des solutions pour témoigner de l'**intensité globale** du jeu était l'utilisation de ratios qui mettent en rapport des distances à haute et très haute intensité avec la distance totale. Cependant, ces ratios comportent des limites, dans la mesure où ils ne tiennent pas compte des autres intensités, moyennes et hautes, ainsi que des sauts. Ces sollicitations sont toutefois susceptibles d'agir sur le stress physiologique du sportif, et le fait de ne pas en tenir compte pourrait sous estimer les CE calculées.

Face à ces questionnements, l'évaluation de la CE d'un exercice ou d'un match, par les **GPS**, pourrait s'établir à partir d'une somme de marqueurs de volume, d'intensité et/ou de fréquence, sous forme de « Scoring » (**tableau 29**). Pour obtenir une CE relative aux capacités individuelles, le 100% de référence serait déterminé par une moyenne glissante des indices individuels de compétition d'un joueur, auquel seraient comparées les valeurs d'une séance ou d'un match.

	Paramètres GPS	Perf réalisée (%)	Perf réalisée	100% Référence
1	Temps de jeu	94,4	85	90
2	Distance totale parcourue	83,3	10000	12000
3	Sprints > 23 km.h^{-1}	80,0	40	50
4	Accélérations > 2 m.s^{2}	75,0	45	60
5	Accélérations > 3 m.s^{2}	80,0	40	50
6	Accélérations > 4 m.s^{2}	100,0	30	30
7	Décélérations > 2 m.s^{2}	75,0	45	60
8	Décélérations > 3 m.s^{2}	50,0	25	50
9	Décélérations > 4 m.s^{2}	66,7	20	30
10	Changements de direction	86,2	125	145
	CE Globale (%)	**79,1**		

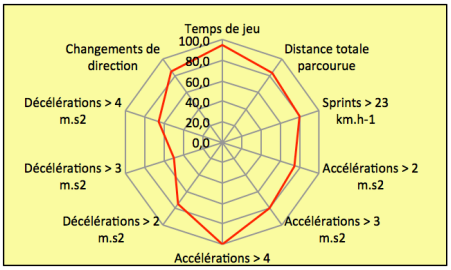


Tableau 29: Exemple d'une modélisation par « Scoring » du paramètre Intensité en compétition.

Une fois ces CE recueillies, elles pourraient être analysées et confrontées à un coefficient d'équipe et/ou individuel, représentant leurs effets physiologiques (**figure 16**). Ces effets seraient évalués à partir d'une batterie de tests spécifiques.

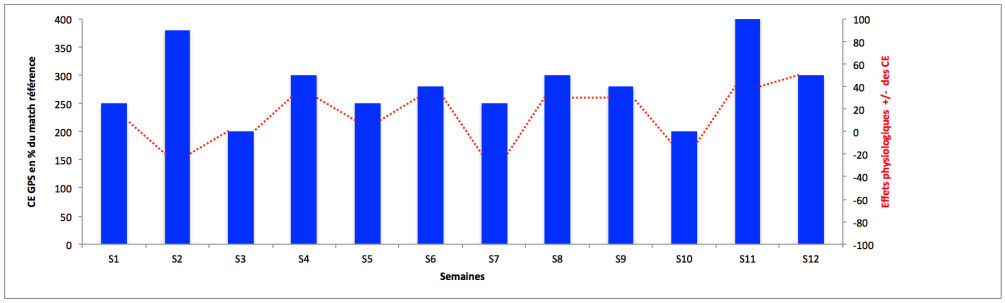


Figure 16: Représentation graphique des volumes de course totaux hebdomadaires, d'entraînement et de match d'une équipe de football.

Perspectives

Cette idée de Scoring nous semble digne d'intérêt pour appréhender la quantification de la CE avec l'outil GPS. Cependant, des coefficients de pondération devraient être appliqués à chaque paramètre, selon leur impact sur la physiologie du joueur. De nouveaux protocoles expérimentaux pourraient tenter d'établir par exemple des corrélations entre ces variables GPS et des RPE spécifiques (globaux, cardio-respiratoires et/ou musculaires).

1.12 Mesure de la performance en football et des effets des CE

1.12.1 Définition de la performance en football

A la différence des disciplines d'athlétisme, la performance en football se définit par une somme de performances individuelles. L'analyse de ces composantes doit être abordée de manière systémique, se trouvant sous l'influence d'autres paramètres (**figure 17**).

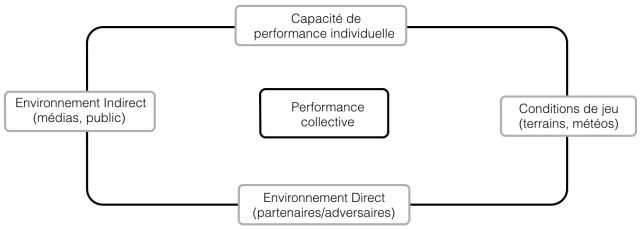


Figure 17: Processus de la performance en football

Le premier paramètre est représenté par une somme de capacités de performances individuelles. Elles sont conditionnées par les effets des CE effectuées à l'entrainement, et potentialisées par la « préparation invisible » des joueurs. Le dernier facteur nommé est essentiel, et intègre tout les aspects préparatoires à la compétition, à savoir la qualité du sommeil, la nutrition et les temps accordés aux soins (massage, étirements). On retrouve ensuite les conditions de jeu (surfaces en herbe ou synthétique, la qualité des aires de jeu et la météo), qui peuvent perturber les productions en compétition, sur les aspects techniques et tactiques. D'autres conditions environnementales sont à prendre en comte, et peuvent se décliner en deux catégories : d'une part les conditions proches (directes), représentées par le réseau de communication avec les partenaires, et d'autre part, les conditions d'opposition (indirectes) représentées par les adversaires mais aussi par la pression potentielle du public et des médias.

La performance collective en football peut se définir comme une agrégation de performances individuelles au sein de deux équipes qui s'affrontent sous influences environnementales.

La performance individuelle en compétition, s'évalue par l'aptitude du joueur à répondre positivement aux exigences et contraintes imposées par le match et son contexte. Les exigences liées au poste, sur le plan physiologique, tactique, technique et psychologique constituent les quatre critères qui déterminent la capacité de performance individuelle du joueur (**figure 18**).

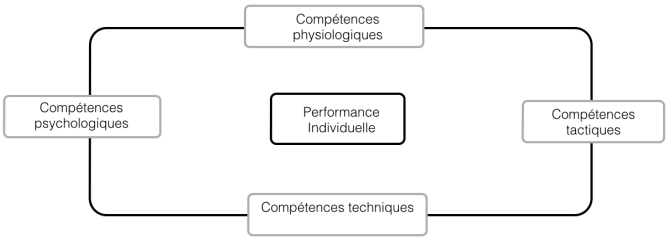


Figure 18 : Compétences spécifiques en football (d'après Hughes, 2012)

Les compétences décrites par Hugues *et al.* sont composées de facteurs innés et/ou d'apprentissage (Hughes, 2012; Hughes and Bartlett, 2002). Les CE ont pour objectif d'améliorer les différentes

compétences physiologiques des joueurs, définies en fonction de leur profil, de leur âge, mais aussi en fonction d'une périodisation spécifique.

Au final, nous pouvons penser que certaines de ces qualités sont interdépendantes et qu'elles peuvent interagir entre elles. A titre d'exemple, un joueur en aisance technique sera susceptible de parcourir moins de distance lors d'un jeu réduit par rapport à un de ses coéquipiers qui perdrait le ballon après chaque contrôle de balle. La CE de ce dernier se verrait significativement augmentée. Cela pourrait expliquer les variations interindividuelles que nous avons précédemment relevées dans la littérature.

Pour conclure, nous pouvons penser que ce même joueur, en déficit physique, serait susceptible d'être impacté par une fatigue croissante, ce qui pourrait réduire son efficacité tactique par manque de lucidité.

Nous pouvons définir la performance individuelle en football, sur le plan athlétique, comme l'aptitude à exprimer l'ensemble de ses propres qualités physiques, pour répondre au mieux aux exigences des entraînements et des matchs de compétition

1.12.2 Evaluation de la performance individuelle en compétition

Qu'est-ce qu'une performance optimale sur le plan physique en football ? Comment la définir ? Quels en sont les témoins ?

Les réponses à ces questions ne sont pas évidentes. Nos analyses du chapitre I ont montré que les valeurs GPS pouvaient témoigner objectivement d'une performance physique en compétition, sans qu'elle soit corrélée forcement par un résultat collectif final positif. Pour rappel, les plus grandes distances totales et à hautes intensités sont parfois réalisées par des équipes mal classées ou opposées à des adversaires de calibre supérieur (Bradley *et al.*, 2013; Di Salvo, 2009; Rampinini *et al.*, 2007a). Or un des critères principaux d'évaluation de la performance en football est le score final et pas forcement une distance métrée ou un nombre de sprints effectués. Nous pouvons faire l'hypothèse que dans un contexte de match à l'extérieur, avec un bloc-équipe bas, les joueurs peuvent être soumis à moins de volume de course et de sprints que lors d'un match à domicile où il faut faire le jeu, sans compromettre pour autant le résultat final.

Le système de Scoring que nous proposons permet de réaliser une photographie de la performance athlétique, et d'avoir ainsi la possibilité de comparer des CE de séances en référence à des critères de compétition. Il semble en revanche hasardeux de l'utiliser à des fins uniques d'évaluation de la performance, dans la mesure où l'objectif principal du football n'est pas en premier lieu de réaliser une performance athlétique.

Si nous faisons abstraction du potentiel des données GPS, nous pourrions être tenté de considérer des indices techniques pour juger de la disponibilité physique et mentale du joueur (*i.e.* % de passes réussies par zone d'influence). L'expertise que cela engage (nécessité d'avoir des analystes vidéo) est un obstacle de

taille pour beaucoup de clubs.

La synthèse de nos réflexions nous amène à nous rapprocher de l'évaluation personnelle du joueur par rapport à sa propre production et surtout par rapport à ses propres sensations. Quel préparateur physique n'a pas entendu à la fin d'une rencontre, « et coach, je n'avais pas de jus aujourd'hui ! » ?

En restant dans notre logique de distinction des paramètres cardio-respiratoires et neuromusculaires, nous pensons satisfaisante l'idée de solliciter l'avis du joueur par l'intermédiaire d'une notation de 1 à 5 pour chacun d'entre eux (**tableau 30**).

Barème d'évaluation du match					
	1	2	3	4	5
	Excellente	Bonne	Moyenne	Insuffisante	Très insuffisante
Question n°1	**Evaluation de la Capacité de performance cardio-respiratoire**				
	"Comment avez vous évalué votre capacité à enchainer les efforts tout au long du match ?"				
Question n°2	**Evaluation de la Capacité de performance neuromusculaire**				
	"Comment avez-vous jugé votre capacité d'accélération tout au long de votre match ?"				

Tableau 30: Exemple de proposition d'évaluation de la capacité de performance en match

Chaque question est notée indépendamment, la somme correspondant à une note générale sur 10 points. Ainsi, le préparateur physique a la possibilité de mettre en perspective un indice « d'opérationnalité » précompétitive et celui de performance d'après-match. Nous pouvons penser en conclusion que ces allers-retours permanents entre ces deux indices, pourront dans la durée, nous offrir les moyens pour mieux comprendre l'influence de ce que l'on propose aux joueurs à l'entraînement sur leurs performances réalisées en compétition.

1.12.3 Mesure des effets des CE

1.12.3.1 Contrôler les effets des CE : une nécessité

Effets lies à la compétition

La quantification de la CE est un élément déterminant pour optimiser l'harmonisation des contenus d'entraînement. Mais plus encore, **ce sont les effets physiologiques liés à ces CE**, en termes de fatigue et/ou d'adaptations positives, **qui méritent d'être étudiés**. L'importance de contrôler avec précision les effets physiologiques liés aux CE, indépendamment de leurs valeurs, n'est plus à démontrer (Jacobs *et al.*, 1982; Krustrup *et al.*, 2006; Mohr *et al.*, 2004). En compétition, Rampinini *et al.* notent que **la fatigue induite par un match** (évaluée dans un délais de 48h après match) **est déterminée par des facteurs centraux** et/ou **périphériques**, chacun d'eux étant en relation avec des indicateurs de fatigue spécifiques (contraction musculaire maximale volontaire, capacité de sprint et douleurs musculaires) (Rampinini *et al.*,

2011). Ascensão *et al.* ont analysé pour leur part les effets d'un match de football sur les niveaux plasmatiques du stress oxydatif en compétition, sur des marqueurs de dommages musculaires, reliés à des données fonctionnelles des membres inférieurs (témoins de force) (Ascensao *et al.*, 2008). Leurs résultats témoignent d'un retour à l'état basal après 72h. Ce constat s'applique également aux jeunes joueurs (Thorlund *et al.*, 2009) et aux joueurs amateurs (Robineau *et al.*, 2012).

Effets liés aux séances d'entraînement

Les semaines d'entrainement d'une équipe professionnelle de football génèrent des CE hebdomadaires individuelles qui dépendent de plusieurs facteurs. D'une part des temps de jeu en compétition (Los Arcos *et al.*, 2017)(notre étude n°3), mais aussi des effets induits par les contenus d'entraînement qui ne sont pas vécus de la même manière par tous les joueurs. Notons également l'influence d'un environnement changeant (météorologie, contexte de résultats sportifs, « mercato », blessures), ce qui rend extrêmement complexe la maitrise des effets cumulés des CE des exercices, des séances, d'une ou plusieurs semaines d'entraînement.

Les résultats de l'étude n°2 ont confirmé que des répétitions de courses supérieures ou égales à 100% de VMA généraient une **fatigue mécanique différée**, tandis les jeux réduits, qui ne comportaient aucune course de ce type, ont provoqué une **fatigue aiguë**, malgré des CE inférieures. Les travaux de Marrier *et al.* relèvent une **fatigue mécanique aiguë** liée à des courses à haute intensité lors de séances spécifiques de rugby à 7 (Marrier *et al.*, 2016), ce qui souligne la difficulté de bien estimer les délais de récupération nécessaires pour bénéficier des effets positifs de ces exercices.

Le suivi des CE : pour quel(s) objectif(s) ?

Le suivi des CE collectives hebdomadaires ne présente que peu d'intérêt, pour plusieurs raisons. Une fois la saison débutée, le cumul des CE va très vite varier entre les joueurs, malgré des séances de compensation pour les joueurs remplaçants qui s'avèrent souvent insuffisantes (étude n°3). Un suivi individuel des CE doit être mis obligatoirement en place, en faisant la distinction entre les joueurs titulaires, les remplaçants (dont les temps de jeu différent), les internationaux (cela peut augmenter les temps de jeu de manière importante), les blessés, ceux qui sont en réathlétisation et les jeunes joueurs du centre de formation qui viennent ponctuellement renforcer le groupe professionnel. Le seul intérêt d'une lecture collective des CE réside dans le fait que cela pourrait témoigner de la disponibilité générale de l'effectif.

Comment interpréter les CE évaluées et ce que l'on recherche dans leur interprétation pour optimiser les programmes hebdomadaires ?

Le premier objectif de la quantification des CE est de s'assurer que les variations des CE hebdomadaires et/ou mensuelles prescrites par le staff sont bien respectées (c'est à dire de provoquer **des contrastes maitrisés de CE**) (Foster, 1998; Windt and Gabbett, 2017; Windt *et al.*, 2017).

Les **facteurs de monotonie, de forme** et **de contrainte** sont des témoins qui peuvent valider une bonne programmation (Foster, 1998). Le deuxième objectif, est de veiller à l'équilibre entre les CE de l'ensemble de l'effectif. Les différences entre les joueurs peuvent être liées à des temps de jeu en compétition différents, mais aussi à leur capacité d'adaptation individuelle face aux CE prescrites. Maintenir le meilleur niveau de performance de toute l'équipe tout en protégeant l'intégrité physique pour diminuer au maximum le risque de blessures est la cible à atteindre.

Perspectives

L'étude n°2 a validé une méthode RPE par exercice qui permet une analyse qualitative des CE par exercice et/ou par catégories. Appliqué au football, le choix d'un RPE « musculaire » pourrait permettre d'identifier avec plus de précision les CE susceptibles de provoquer les fatigues (aiguës ou différées) qui méritent la plus grande vigilance.

En parallèle, l'estimation du % de **Puissance Musculaire Maximale des membres inférieurs** engagé lors des exercices (dépendante de la durée, de la fréquence, et du temps de récupération fixés), pourrait être le moyen d'analyser les deltas entre ce qui est prescrit par les staffs et ce qui est véritablement vécu par les joueurs. Sous la responsabilité du préparateur physique, les exercices d'entraînement seraient classés selon quatre types d'intensité, en pourcentage de la puissance musculaire maximale engagée (0-25% ; 25-50% ; 50-75% et 75-100% de Puissance musculaire maximale des membres inférieurs) (**tableau 32**).

Exercices d'échauffement	% P.Muscu Maximale	RPE « musculaire »	Durée
Footing collectif	0-25	2	15'
Gammes techniques	0-25	2	15'
Torro 8 c 2	0-25	2	10'
Travail d'appuis sur échelle de rythme	0-25	2	8'
Travail d'appuis sur cerceaux	0-25	2	8'
Travail d'appuis sur haies basses	0-25	2	8'
Exercices techniques			
« Passe et va »	0-25	3	12'
Travail au poste Centre et Reprise	0-25	3	15'
Jeux de conservation			
4 c 4 + 4 (40m x 20m) / 2 Zones	25-50	3	4 x 4'-2'
1 c 1 (8 x 8m)	75-100	8	10 x 1'-1'
Jeux réduits			
3 c 3 + G (39 x 28m)	50-75	7	6 x 3'-1'
6 c 6 en 3 zones, avec recherche de sprint lancés	50-75	3	3 x 8' R=2'
Jeux Grand terrain			
8 c 8 + G (surface à surface)	25-50	4	3 x 7'
Exercices athlétiques analytiques			
15-15 à 110% de VMA	50-75	6-7	2 x 8'
Répétitions de sprints 5''-45''	75-100	4-5	3 x 6' R=6'

Tableau 31: Exemple d'exercices spécifiques au football, avec leur % de Puissance musculaire maximale des membres inférieurs

Pour valider chaque format d'exercice, des protocoles expérimentaux pourraient étudier les corrélations entre RPE « musculaire», CE, intensités estimées par les entraineurs (% de Puissance Musculaire Maximale des membres inférieurs), et des tests de contrôle qui évalueraient les effets de ces CE spécifiques, comme cela a été le cas lors de l'étude n°2.

Cette méthodologie peut également s'appliquer aux jeux réduits, très souvent utilisés à l'entraînement (**tableau 32**).

On retrouve 4 dominantes :

* **Aérobie** (séance de régénération) : Jeux qui regroupent beaucoup de joueurs dans peu d'espace

* **Force** : Recherche de beaucoup d'accélérations et de décélérations, sans hautes vitesses. Ces jeux regroupent peu de joueurs dans des petits espaces, avec un « bloc équipe » bas

* **Résistance** : Recherche de hautes vitesses avec beaucoup de joueurs et beaucoup d'espace. Le « bloc équipe » est médian

* **Vitesse** : Recherche des plus hautes vitesses. Peu de joueurs dans de grands espaces. Le « bloc équipe » est haut afin de favoriser les contre-attaques

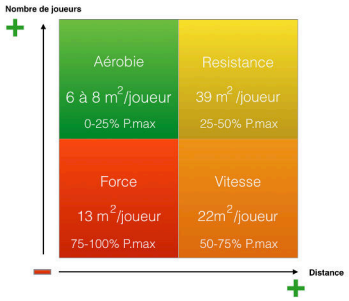


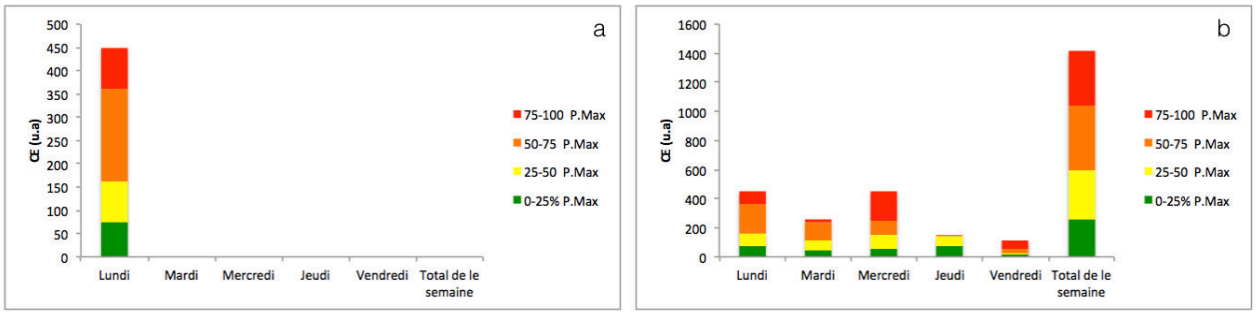
Tableau 32 : Base méthodologique des sollicitations de puissance musculaire maximale des membres inférieurs lors des jeux réduits

Au final, l'objectif est d'obtenir une identification de chaque exercice d'entraînement, avec son % de puissance musculaire maximale obtenu et sa CE spécifique (**tableau 33**).

Exercices d'échauffement	% P.Muscu Maximale	RPE « musculaire	Durée	CE-RPE (u.a)
Gammes athlétiques	**0-25**	2	15'	**30**
Torro 8 c 2	**0-25**	2	10'	**20**
Exercices techniques				
« Passe et va »	**0-25**	2	12'	**24**
Jeux de conservation				
4 c 4 + 4 (40m x 20m) / 2 Zones	**25-50**	4	4 x 4'-2'	**88**
Jeux réduits				
6 c 6 en 3 zones, avec recherche de sprint lancés	**50-75**	3	3 x 8' R=2'	**78**
Exercices athlétiques analytiques				
Répétitions de sprints 5''-45''	**75-100**	5	2 x 6' R=6'	**90**
Jeu Grand terrain				
11 c 11	**50-75**	4	2 x 12' R=6'	**120**
CE Totale (u.a)				**450**

Tableau 33 : Exemple de quantification d'une séance de football avec CE-RPE et % de Puissance Musculaire Maximale des membres inférieurs

La visualisation graphique permet de se rendre compte des proportions de chaque catégorie d'exercice dans la séance (**figures 19a et 19b**).



Figures 19a et 19b : (a) Représentations graphiques d'une quantification de séance et (b) d'une semaine d'entraînement de football (B), exprimée en RPE-Puissance Musculaire Maximale des membres inférieurs

L'étape suivante consiste alors à mesurer les effets physiologiques des CE cumulées afin de mieux comprendre l'impact des contenus d'entraînement proposés sur les performances et ressentis des joueurs. Pour cela, il est nécessaire de rassembler des informations provenant d'évaluations fournies par les joueurs (questionnaires de bien-être), en compléments de tests physiques évaluant précisément ces effets.

1.12.3.2 Moyens de contrôle des effets

Pour identifier la fatigue neuromusculaire et métabolique, il convient de choisir des tests qui répondent à plusieurs critères : être rapides à mettre en place, être non invasifs, peu contraignants pour les joueurs (c'est à dire rapide à effectuer et sans risque de blessure) et être pertinents en terme d'informations pour les staffs.

Les effets physiologiques des CE peuvent être mesurés :

- Sur le **plan neuromusculaire** :

Test CMJ. Nous avons montré dans l'étude n°2 que ce test était sensible aux CE d'exercices de haute intensité et qu'il identifiait les baisses de performances neuromusculaires après des séances de hautes intensités

- Sur le **plan métabolique** :

Test australien. La réalisation d'une performance lors d'un test de puissance maximale (1 série de courses navettes, sur une durée de 30 secondes), comparée à une valeur référence (la meilleure performance individuelle)(Relave, 2008) (**Figure 20**). La somme des distances cumulées (en mètre) représente la performance du sportif. Les exigences physiques sont maximales lors de cet effort, mais la durée de l'effort reste court, les courses n'atteignent pas des vitesses maximales et il lorsqu'il est placé après un échauffement, il est tout à fait possible d'envisager d'autres contenus physiques.

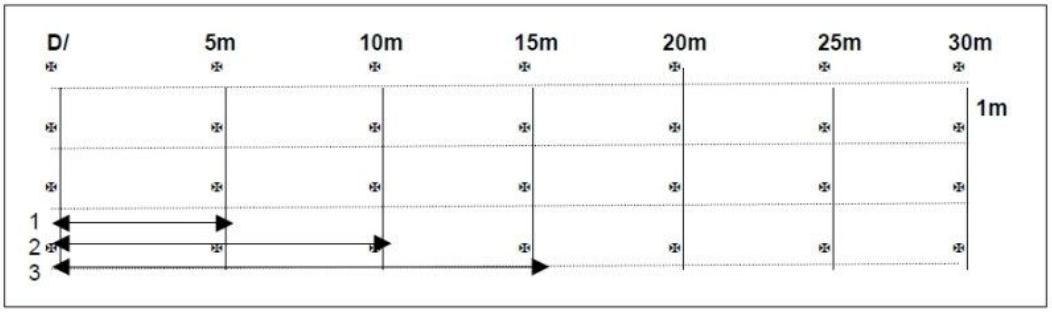


Figure 20: Dimensions des zones de course du test australien

- Sur le **plan cardio-respiratoire** :

1) **Test australien**. Ce même test recommande la réalisation de 6 navettes successives de 30 secondes, entrecoupées de 35 secondes de récupérations passives. Ce protocole d'endurance lactique est reconnu comme pertinent pour évaluer la résistance à la fatigue (Maso, 2002). Les muscles produisent d'importantes concentrations de lactate, et on peut faire l'hypothèse qu'un sportif en état de fatigue présentera une moins bonne tolérance à ces états d'acidoses.

D'autre part, la fatigue peut provoquer chez certains sportifs de moins fortes productions de lactate. En parallèle, l'analyse de la FC maximale, la moyenne de récupération entre les répétitions pourraient témoigner de la fatigue centrale et périphérique. La contrainte de temps supérieure au protocole de puissance lactique rend difficile une fréquence de test hebdomadaire. Un contrôle mensuel pourrait être un bon compromis, à condition de pouvoir consacrer une séance entière pour ce test et des évaluations complémentaires (biométrie, détente, souplesse…).

2) **Test de course à vitesse sous maximale**. Plusieurs auteurs ont proposé d'étudier les FC de récupération après un effort maximal ou sous maximal (>90% de FCmax) (Buchheit *et al.*, 2013a; Le Meur *et al.*, 2016). Les conclusions de ces études amènent à la prudence. Des baisses rapides de FC après un effort ne prédisent pas systématiquement un état de capacité physique optimal. En revanche, dans un contexte de fatigue prononcée, le suivi de la FC après un exercice sous maximal serait discriminant, validant son utilisation dans le suivi de l'athlète.

- Sur le **plan psychophysiologique** : une appréciation du joueur sur son ressenti lors de l'effort et de son état de forme. La volonté de rester proche des joueurs se concrétise une nouvelle fois par une appréciation du bien-être du joueur à la suite de cette évaluation. Cette note de perception de l'effort pourrait être un complément idéal aux autres marqueurs.

Le suivi régulier des effets de la CE n'est pas chose aisée dans le contexte du football professionnel. Les mentalités ne sont pas toujours ouvertes à ces nécessaires feed-back. Il semble pourtant indispensable de mettre en place tout au long de la saison une organisation de travail permettant d'évaluer les effets physiologiques des CE prescrites. L'objectif majeur est d'avoir la possibilité d'agir sur les contenus d'entraînement, de manière à favoriser le meilleur niveau de performance possible.

1.13 Suivi individuel quotidien des joueurs de football : Création d'interfaces spécifiques (logiciel « Training®»)

1.13.1 Le suivi des indices d'état

Le suivi journalier d'un certain nombre « d'indices d'état » a été développé afin d'anticiper les risques de surentrainement et risque potentiel de blessure (Hooper *et al.*, 1995; McCall *et al.*, 2016). Ils sont utilisés aujourd'hui largement pour le suivi de forme des sportifs et sont censés témoigner de l'impact des CE des séances et des matchs sur les organismes des joueurs (Buchheit *et al.*, 2016; Gastin *et al.*, 2013). Hooper *et al.* ont proposé à l'origine quatre indices (fatigue, qualité du sommeil, douleur musculaire et stress), largement repris par la communauté scientifique (Akenhead and Nassis, 2016; Buchheit *et al.*, 2016; Buchheit *et al.*, 2013a; Morin, 2016; Nedelec *et al.*, 2013; Thorpe *et al.*, 2015, 2016).

Au quotidien, le suivi de ces indices de forme donne de précieux indices aux staffs pour mettre les joueurs toujours dans les meilleures conditions, en adaptant au mieux les contenus des séances d'entraînement. En parallèle de nos recherches de terrain, nous avons développé au cours des trois dernières années un logiciel d'optimisation de la performance qui intègre des interfaces synthétisant l'ensemble de ces données, collectées par outils connectés (**figure 21**).

Nos travaux expérimentaux ont été synthétisés sur une interface spécifique, regroupant plusieurs graphiques :

- un pour la variable « fatigue »
- un pour la variable « douleurs musculaires »
- un pour la variable « stress »
- un pour la variable « sommeil »
- un pour la variable « maladie »
- un pour la variable « alimentation »

A notre connaissance, les deux dernières variables sont très peu prises en compte dans les questionnaires d'avant séances que proposent aujourd'hui de nombreuses applications. Pourtant, en nous appuyant sur notre expérience en clubs professionnels, il n'est pas rare de constater que de nombreux joueurs de football ne déjeunent pas (**figures 22a-22b**) et que certains n'alertent pas toujours le staff médical en cas, par exemple, de début d'angine ou de bronchite. Ces informations sont pourtant décisives dans l'aptitude que le joueur présente pour s'entraîner dans de bonnes conditions.

Les statistiques visuelles offrent un regard « à distance » des éléments, et peuvent permettre de mieux comprendre dans le temps les raisons de contre performances ou d'état de fatigue (statistiques quotidiennes, hebdomadaires, mensuelles et annuelles). Au regard de ces analyses, des actions peuvent

être mises en place par les staffs, comme l'instauration de petits déjeuners collectifs, ou la prescription de consignes d'isolement pour des joueurs ponctuellement des signes d'infection (gastroentérite, angine).

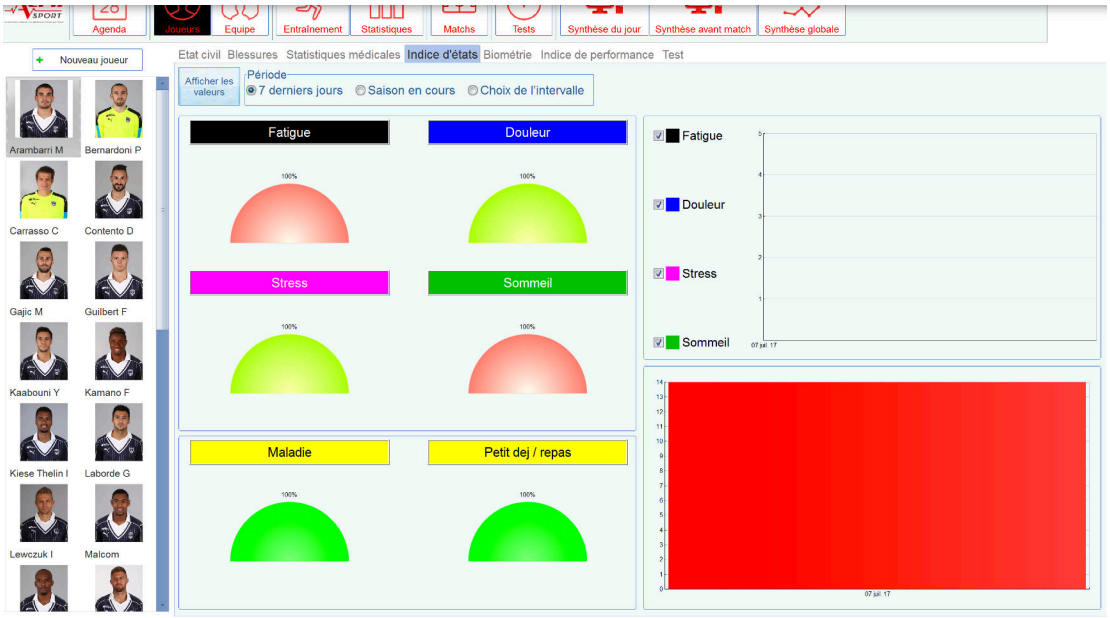
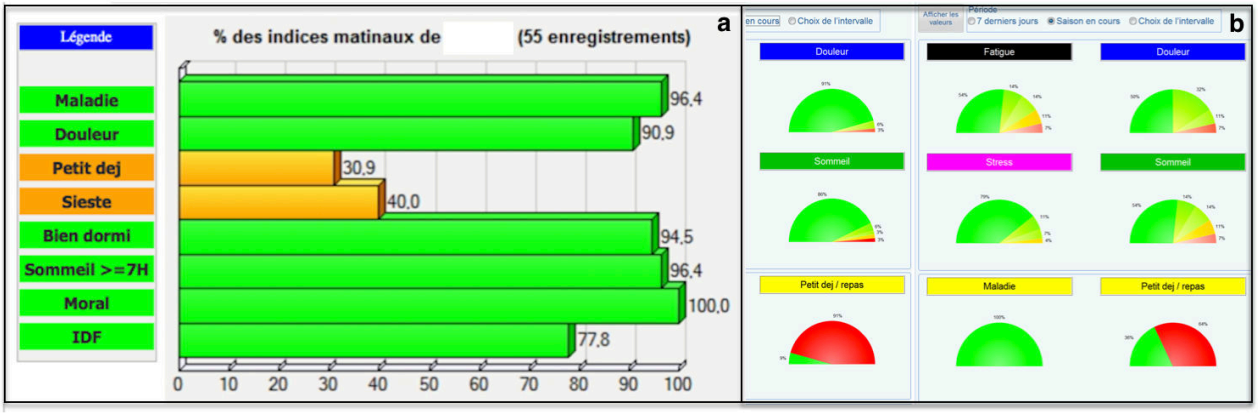


Figure 21: Interfaces mobile et de suivi quotidien des indices de bien-être (*Training*®) (données fictives)



Figures 22a et 22b: Exemple de suivi des indices d'état d'un joueur professionnel sur une période de 3 mois (*HBS Manager*®) (22A), et de deux joueurs sur l'ensemble d'une saison (22B) (*Training*®) (données personnelles non publiées)

Limites pratiques

Nous avons pu observer dans notre étude n°3 que ces indicateurs matinaux n'avaient pas été sensibles au CE d'exercices réalisés à haute et très haute intensité, malgré l'augmentation de volume par un coefficient de 3. Il semblerait que ces indicateurs soient sensibles aux fortes CE de matchs (variations de 17 à 26%), mais moins à celles d'entraînement (7 à 14%) (Thorpe *et al.*, 2016).

Cela démontre que l'intensité des efforts n'est pas suffisante pour impacter seule les organismes en terme de fatigue (aigue ou différée), perturbation du sommeil et/ou douleurs musculaires, qu'elle dépend très fortement du paramètre volume, ou que ces indicateurs ne sont pas faits pour être utilisés par rapport à des exercices isolés, mais plus dans le suivi longitudinal de l'entraînement. Des baisses potentielles de la

capacité de performance ont été pourtant identifiées, ce qui met en lumière la nécessité pour les entraineurs d'avoir à leur disposition **d'autres marqueurs complémentaires aux indices d'état** proposés par Hooper *et al.*, pour mesurer avec encore plus de précision le potentiel physique et psychophysiologique de leur effectif.

1.13.2 Le suivi des CE hebdomadaires à partir d'une méthode RPE par exercice

Une des forces de la méthode RPE est qu'elle permet de **maintenir le lien** avec le joueur (professionnel). Elle tient compte de son ressenti et l'entraineur peut ainsi établir ainsi une relation de confiance quotidienne avec lui. C'est un atout majeur quand on connaît l'importance de la **dimension psychologique** dans la performance de haut niveau. Cependant, le contexte du football professionnel est particulier, et nous savons que l'état psychologique du moment peut conditionner l'objectivité des notations des joueurs professionnels. Pour toutes ces raisons, il semble pertinent de ne plus appréhender la quantification des séances de football de manière globale, l'utilisation d'une évaluation des CE exercice par exercice ayant été validée par l'étude n°3.

Avec **la nouvelle méthode RPE par exercice**, l'entraineur a la possibilité de quantifier les CE de chaque composante de sa séance, ce qui lui permet non seulement de différencier les CE, mais aussi de mieux comprendre leur influence respective. Les préparateurs physiques peuvent constituer des bases de données d'exercices avec leurs CE spécifiques (en fonction de leur durée et de leur place dans la séance). Autre atout de cette visualisation par exercice, celui de mieux comprendre la distribution des notes de chaque joueur, plusieurs études ayant relevé d'importantes variations de CE interindividuelles évaluées avec les différentes méthodes de quantification (Akubat *et al.*, 2012; Manzi *et al.*, 2013; Manzi *et al.*, 2010). Impellizzeri *et al.* soulignent pour leur part les limites de programmation des CE des séances par les seules charges externes prévisionnelles, principalement lors des formes jouées où le stress physiologique (charge interne) est différent d'un individu à un autre (Impellizzeri *et al.*, 2005).

Nos travaux de développement se sont concrétisés également par une interface spécifique qui permet une gestion précise de la CE hebdomadaire (**figure 23**). Sur celle-ci, le préparateur physique détermine en début de semaine sa CE prévisionnelle, qui tient compte du calendrier de compétition et de ses objectifs de travail. Plusieurs niveaux de CE hebdomadaires sont proposés (de charge « légère » à « très élevées »), réparties en entraînements quotidiens et/ou biquotidiens. Les exercices sont prescrits en amont, avec leur durée, intensité et CE spécifique. Les codes couleurs identifient les niveaux de CE prévisionnelles. En complément, des indicateurs liés à la CE de semaine sont disponibles en haut de l'interface (contrainte, monotonie, Fitness) et valident la bonne organisation des CE quotidiennes.

L'agenda prévisionnel est complété par un agenda parallèle qui rassemble toutes les données liées aux CE effectivement réalisées. Ce sont les joueurs qui renseignent toutes les informations par l'intermédiaire

d'outils connectés (Smartphone, tablette), les calculs se faisant automatiquement sur le Cloud[7]. Grâce à cet interface spécifique, l'entraîneur peut mesurer chaque jour les éventuels décalages qui existent entre ce qu'il a prévu et ce qui a été effectivement réalisé, et corriger si besoin les CE prévisionnelle du lendemain.

Dernière information qui est accessible sur l'application, les indices de forme de l'effectif et un coefficient relatif aux conditions environnementales.

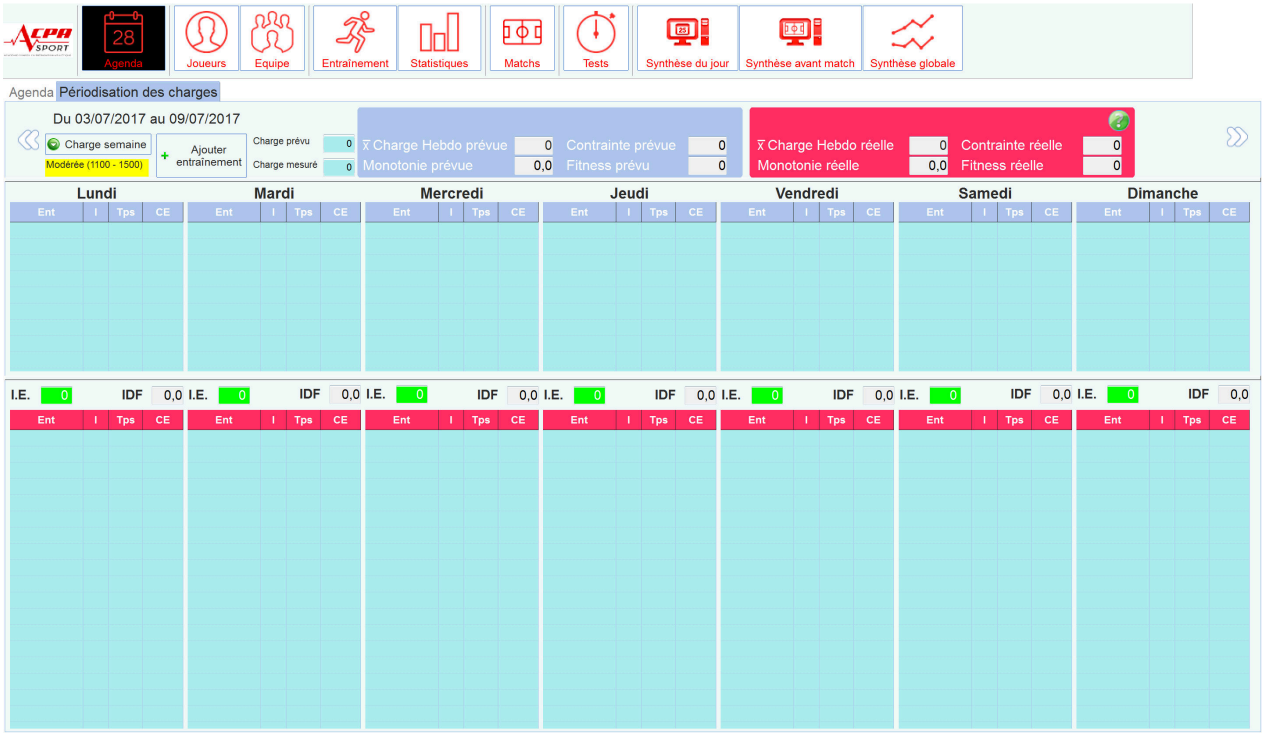


Figure 23 : Interface V1 de l'agenda de gestion des CE hebdomadaires par exercice (*Training*®)

Parmi les réserves qui peuvent être émises au regard du contexte particulier du football professionnel, les notations demandées aux joueurs peuvent prendre très vite une tournure routinière, le risque dans le temps étant de perdre en précision des données. Les systèmes de recueil d'information sont pourtant optimisés avec l'utilisation des Smartphones et/ou des tablettes installées dans les centres d'entraînement, mais force est de constater que ces habitudes ne sont pas encore bien ancrées dans les mentalités de tous les joueurs professionnels de notre pays, contrairement aux pays étrangers.

La méthode RPE est une **méthode subjective**, et à ce titre, elle reste **dépendante de l'implication et de l'honnêteté du joueur** de football, ce qui reste malheureusement difficilement contrôlable. Pour autant, le lien quotidien avec le joueur doit être maintenu. Une méthode de quantification RPE par exercice est une option intéressante pour **réduire les facteurs d'influence** d'un exercice à haute intensité sur la CE totale de la séance, permettant ainsi de **mieux comprendre les variations de CE interindividuelles**.

[7] Cloud=serveur internet dédié à l'application

1.13.3 Indice d'opérationnalité du joueur

La capacité d'opérationnalité du joueur est sous l'influence d'un certain nombre de variables (**tableau 34**). Ces dernières ont été sélectionnées par validation d'experts, après avoir interrogé 50 entraineurs et préparateurs physiques professionnels. Un coefficient de pondération a été attribué à chaque variable en fonction de son degré d'influence. Au final, cet indice quotidien doit permettre d'évaluer l'aptitude du joueur à s'entraîner avec plus ou moins d'efficacité.

Cet indice, est important pour le préparateur physique qui tentera grâce à lui d'anticiper les risques de méforme et par conséquence le risque potentiel de blessure.

	Variables
	Indices d'état
1	Sommeil
2	Fatigue
3	Stress
4	Douleurs musculaires
	Indices complémentaires
5	Collation avant entraînement
6	Maladie
7	Degré de motivation
	Indices fonctionnels
8	Mobilité cheville
9	Mobilité hanche
10	Souplesse chaine postérieure
11	Force adducteur

Tableau 34: Exemples de variables à prendre en compte pour déterminer l'indice d'opérationnalité quotidien du joueur.

Notre application comprend une interface spécifique d'avant séance, présentant l'ensemble des items pouvant influencer l'indice d'opérationnalité du joueur. L'ensemble de l'effectif est affiché, avec à l'écran les alertes signalées (**figure 24**).

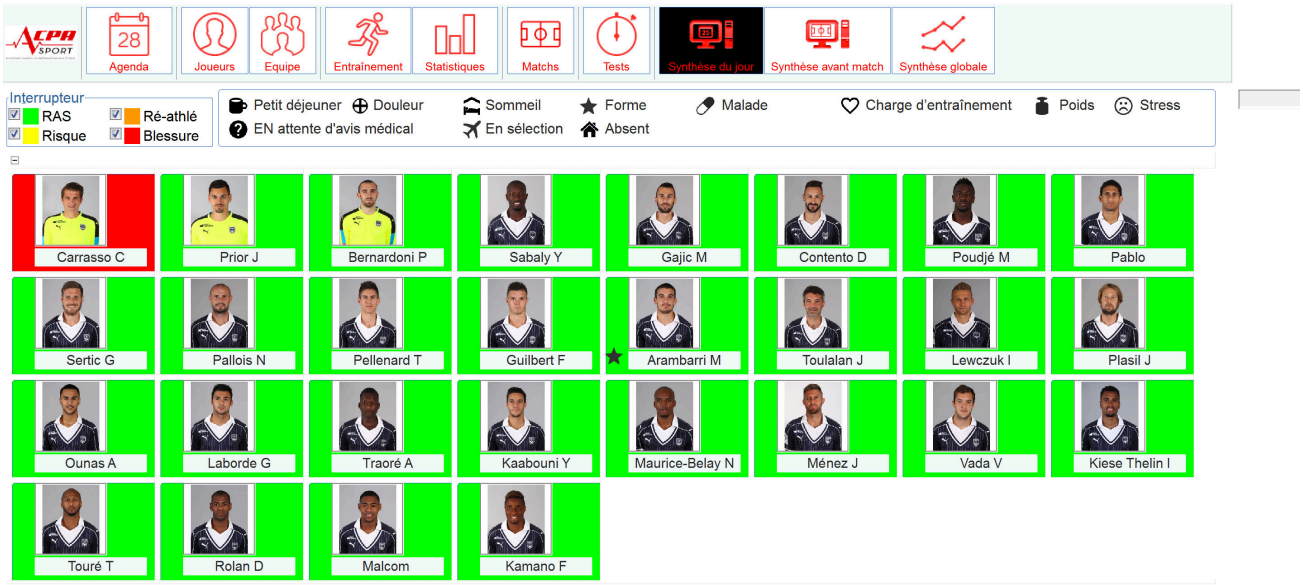


Figure 24: Exemple d'une interface de suivi des indices quotidiens des indices d'opérationnalité d'une équipe de football (*Training*®) (données fictives)

Grâce à cette interface, le staff a la possibilité de définir des conduites à tenir personnalisées avant le début de l'entraînement, ce qui contribuera à un meilleur accompagnement des sportifs qui lui sont confiés.

CONCLUSION

Le suivi de l'entraînement consiste à « garder une trace » de ce que fait l'athlète, dans le but d'améliorer l'interaction entre l'entraineur et le sportif (Foster *et al.*, 2017). C'est avec cette idée directrice que nous avons mené pendant trois ans nos travaux de recherche.

Nos principaux résultats ont montré que les méthodes de quantification de la charge d'entraînement pour les exercices spécifiques au football n'étaient pas interchangeables, mais complémentaires. Aussi bien pour des raisons d'ergonomie, de coût et de contraintes logistiques, la méthode RPE présente l'avantage de mieux tenir compte de l'organisation et de l'intensité des exercices au sein de la séance, par rapport aux méthodes utilisant la fréquence cardiaque.
Malgré tout, nos travaux ont souligné des limites de cette méthode lorsqu'elle est appliquée au football, validée en basket par ailleurs (Foster *et al.*, 2001). En effet, la notation globale ne nous semble pas suffisamment riche en termes d'informations, au regard des différents exercices analytiques et spécifiques qui composent une séance de football. Avoir la possibilité de mesurer les charges de chaque exercice pourrait permettre aux prescripteurs une meilleure compréhension de leurs effets.

Ces réflexions nous ont conduit à proposer une nouvelle méthode RPE par exercice, validée par comparaison avec la méthode initiale, qui permet une analyse qualitative des contenus d'entraînement, par dominantes physiologiques et/ou catégories d'exercices. Elle permet par ailleurs de relativiser le poids d'une intensité maximale d'un exercice sur la cotation globale de la séance. Appliquée au football, cette méthode pourrait encore évoluer dans le futur, en ne retenant qu'une cotation RPE « musculaire » comme témoin de la charge d'entraînement, en la multipliant ou non par la durée des exercices ou de la séance.

Nous avons également démontré que l'augmentation des volumes des exercices spécifiques au football provoquait des effets physiologiques aigus et différés en fonction de leur intensité. Connaître les délais de récupération induits par ces derniers ne peut se faire sur la seule interprétation des charges d'entraînement. L'utilisation d'un indice de Puissance Musculaire Maximale des membres inférieurs, attribué à chaque exercice, pourrait permettre de mieux quantifier les contraintes mécaniques et leurs effets en termes de fatigue et de baisse ponctuelle de performance.

Comme le souligne Foster *et al.*, en complément de la méthode RPE, les hautes technologies, dont font partie les GPS, semblent dignes d'intérêt, à condition toutefois de faire le choix de variables pertinentes et de les analyser ensuite dans un temps raisonnable. Le développement d'une méthode de quantification basée sur des données individualisées en fonction des profils physiologiques et physiques des joueurs

apparaît possible. Un indice de référence, construit à partir des paramètres de compétition, permettrait d'exprimer ainsi avec précision les CE des séances par comparaison.

Au final, chaque méthode présente ses propres atouts, ce qui nous conduit à réfléchir à une méthode de quantification qui reposerait sur la combinaison de chacun d'entre eux.

En complément de ces méthodes de quantification, l'entraîneur doit pouvoir compter sur des outils pour évaluer à chaque instant « l'opérationnalité » de ses joueurs. A ce titre, le suivi des indices d'état comme le sommeil, les douleurs musculaires, le stress et la fatigue est indispensable. Leur sensibilité respective semble dépendre moins de l'intensité des efforts que du volume total d'entrainement, ce qui justifie la prise en compte d'autres facteurs, comme la qualité de la nutrition, la surveillance des maladies infectieuses, les conditions environnementales, les paramètres biométriques, qui peuvent impacter la capacité de performance des joueurs.
Le monitoring occupe dés lors une place essentielle dans le suivi de la performance. L'informatique peut contribuer à l'amélioration de celle-ci, de part sa capacité à stocker et analyser des centaines de données quotidiennes, regroupées sur des interfaces d'aide à la décision.

Les limites de la performance sportive ont été longtemps un sujet de mythe et de débat, et semblent avoir atteint un état de stagnation depuis quelques années (Berthelot *et al.*, 2015). La première partie de notre travail confirme cette tendance pour le football, notamment pour les variables physiques et physiologiques. Il est difficile d'évaluer avec précision les limites de nos joueurs pour les années futures, qui seront dépendantes, comme le soulignent Berthelot *et al.*, des futures innovations technologiques et des possibles évolutions des réglementations (*i.e.* arbitrage vidéo, durée du match, nombre de joueurs remplaçants). Malgré tout, le résultat d'un match de football restera toujours indécis, dépendant de l'histoire même de la rencontre et de facteurs humains et psychologiques non maîtrisables. Un flair « à la Guy Roux », le talent individuel des joueurs auront toujours raison des systèmes informatiques les plus sophistiqués, ce qui heureusement nous protège de la seule vérité des chiffres et des technologies modernes.

BIBLIOGRAPHIE

A

Aagaard, P., Simonsen, E.B., Magnusson, S.P., Larsson, B., and Dyhre-Poulsen, P. (1998). A new concept for isokinetic hamstring: quadriceps muscle strength ratio. Am J Sports Med *26*, 231-237.

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

Agostinho, M.F., Philippe, A.G., Marcolino, G.S., Pereira, E.R., Busso, T., Candau, R.B., and Franchini, E. (2015). Perceived training intensity and performance changes quantification in judo. J Strength Cond Res *29*, 1570-1577.

Aguiar, M., Botelho, G., Lago, C., Macas, V., and Sampaio, J. (2012). A review on the effects of soccer small-sided games. J Hum Kinet *33*, 103-113.

Akenhead, R., French, D., Thompson, K.G., and Hayes, P.R. (2013). The acceleration dependent validity and reliability of 10 Hz GPS. J Sci Med Sport *17*, 562-566.

Akenhead, R., Harley, J., and Tweddle, S. (2016). Examining the external training load of an English Premier League football team with special reference to acceleration. J Strength Cond Res.

Akenhead, R., and Nassis, G.P. (2015). Training Load and Player Monitoring in High-Level Football: Current Practice and Perceptions. Int J Sports Physiol Perform.

Akenhead, R., and Nassis, G.P. (2016). Training Load and Player Monitoring in High-Level Football: Current Practice and Perceptions. Int J Sports Physiol Perform *11*, 587-593.

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

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

Andersson, H., Ekblom, B., and Krustrup, P. (2008a). Elite football on artificial turf versus natural grass: movement patterns, technical standards, and player impressions. J Sports Sci *26*, 113-122.

Andersson, H., Raastad, T., Nilsson, J., Paulsen, G., Garthe, I., and Kadi, F. (2008b). Neuromuscular fatigue and recovery in elite female soccer: effects of active recovery. Med Sci Sports Exerc *40*, 372-380.

Arts, F.J., and Kuipers, H. (1994). The relation between power output, oxygen uptake and heart rate in male athletes. Int J Sports Med *15*, 228-231.

Ascensao, A., Rebelo, A., Oliveira, E., Marques, F., Pereira, L., and Magalhaes, J. (2008). Biochemical impact of a soccer match - analysis of oxidative stress and muscle damage markers throughout recovery. Clin Biochem *41*, 841-851.

Astrand, P.O.R., K.; Dahl, HA. et al. (2003). Textbook of work physiology: physiological bases of exercise. Windsor (Canada) Human Kinetics.

Astrand, P.R., K. (1986). Textbook of work physiology. New York:McGraw-Hill.

B

Bangsbo, J. (1994a). Energy demands in competitive soccer. J Sports Sci *12 Spec No*, S5-12.

Bangsbo, J. (1994b). The physiology of soccer--with special reference to intense intermittent exercise. Acta Physiol Scand Suppl *619*, 1-155.

Bangsbo, J. (2002). Assessment and physiolgical capacity of elite soccer players. Science & Football IV, Routledge, 53-62.

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

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

Banister, E.W. (1991). Modeling Elite Athletic Performance. Physiological Testing of Elite Athletes.

Banister, E.W., and Calvert, T.W. (1980). Planning for future performance: implications for long term training. Can J Appl Sport Sci *5*, 170-176.

Banister, E.W., and Hamilton, C.L. (1985). Variations in iron status with fatigue modelled from training in female distance runners. Eur J Appl Physiol Occup Physiol *54*, 16-23.

Barbero-Alvarez, J., Boullosa, D.A., Nakamura, F.Y., Andrin, G., and Castagna, C. (2012). Physical and physiological demands of field and assistant soccer referees during America's cup. J Strength Cond Res *26*, 1383-1388.

Barbero-Alvarez, J.C., Coutts, A., Granda, J., Barbero-Alvarez, V., and Castagna, C. (2010). The validity and reliability of a global positioning satellite system device to assess speed and repeated sprint ability (RSA) in athletes. J Sci Med Sport *13*, 232-235.

Barros, R.M., Misuta, M.S., Menezes, R.P., Figueroa, P.J., Moura, F.A., Cunha, S.A., Anido, R., and Leite, N.J. (2007). Analysis of the distances covered by first division brazilian soccer players obtained with an automatic tracking method. J Sports Sci Med *6*, 233-242.

Bartlett, J.D., O'Connor, F., Pitchford, N., Torres-Ronda, L., and Robertson, S.J. (2016). Relationships Between Internal and External Training Load in Team Sport Athletes: Evidence for an Individualised Approach. Int J Sports Physiol Perform.

Ben Belgith, A.A., S. ; Maille, P. ; Noirez, P. ; Desgorces, F.-D. (2012). Quantification de la charge d'entrainement imposée au footballeur professionnel en phase de réhabilitation athlétqiue post-blessure. Science & Sports *Vol.27(3)*, pp. 169-174.

Berthelot, G., Sedeaud, A., Marck, A., Antero-Jacquemin, J., Schipman, J., Sauliere, G., Marc, A., Desgorces, F.D., and Toussaint, J.F. (2015). Has Athletic Performance Reached its Peak? Sports Med *45*, 1263-1271.

Bloomfield, J., Polman, R., and O'Donoghue, P. (2007). Physical Demands of Different Positions in FA Premier League Soccer. J Sports Sci Med *6*, 63-70.

Bonaventura, J.M., Sharpe, K., Knight, E., Fuller, K.L., Tanner, R.K., and Gore, C.J. (2015). Reliability and accuracy of six hand-held blood lactate analysers. J Sports Sci Med *14*, 203-214.

Borg, E. (2006). A comparison between three rating scales for perceived exertion and two different work tests. Scand J Med Sci Sports *16*, 57-69.

Borg, E., Borg, G., Larsson, K., Letzter, M., and Sundblad, B.M. (2010). An index for breathlessness and leg fatigue. Scand J Med Sci Sports *20*, 644-650.

Borg, G. (1960). The perception of muscular work. Publication Umeâ University *5*, 1-27.

Borg, G. (1962). Physical performance and perceived exertion. Studia psychologica et paedagogoca *Series altera INVESTIGATIONES XI*.

Borg, G. (1970). Perceived exertion as an indicator of somatic stress. Scand J Rehab Med *2 (2)*, 92-98.

Borg, G.A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. Med Sci Sports Exerc *14*, 377-381.

Borresen, J., and Lambert, M.I. (2008). Quantifying training load: a comparison of subjective and objective methods. Int J Sports Physiol Perform *3*, 16-30.

Bosco, C., Luhtanen, P., and Komi, P.V. (1983). A simple method for measurement of mechanical power in jumping. Eur J Appl Physiol Occup Physiol *50*, 273-282.

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

Bradley, P.S., Carling, C., Archer, D., Roberts, J., Dodds, A., Di Mascio, M., Paul, D., Diaz, A.G., Peart, D., and Krustrup, P. (2011). The effect of playing formation on high-intensity running and technical profiles in English FA Premier League soccer matches. J Sports Sci *29*, 821-830.

Bradley, P.S., Carling, C., Gomez Diaz, A., Hood, P., Barnes, C., Ade, J., Boddy, M., Krustrup, P., and Mohr, M. (2013). Match performance and physical capacity of players in the top three competitive standards of English professional soccer. Hum Mov Sci *32*, 808-821.

Bradley, P.S., Di Mascio, M., Peart, D., Olsen, P., and Sheldon, B. (2010). High-intensity activity profiles of elite soccer players at different performance levels. J Strength Cond Res *24*, 2343-2351.

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

Brook, C.G. (1971). Determination of body composition of children from skinfold measurements. Arch Dis Child *46*, 182-184.

Buchheit, M. (2014). Programming high-intensity training in handball. ASPETAR Sports Medicine Journal

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

Buchheit, M., Allen, A., Poon, T.K., Modonutti, M., Gregson, W., and Di Salvo, V. (2014b). Integrating different tracking systems in football: multiple camera semi-automatic system, local position measurement and GPS technologies. J Sports Sci *32*, 1844-1857.

Buchheit, M., Cholley, Y., and Lambert, P. (2016). Psychometric and Physiological Responses to a Preseason Competitive Camp in the Heat With a 6-Hour Time Difference in Elite Soccer Players. Int J Sports Physiol Perform *11*, 176-181.

Buchheit, M., and Laursen, P.B. (2013a). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis. Sports Med *43*, 313-338.

Buchheit, M., and Laursen, P.B. (2013b). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle. Part II: anaerobic energy, neuromuscular load and practical applications. Sports Med *43*, 927-954.

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

Buchheit, M., Racinais, S., Bilsborough, J.C., Bourdon, P.C., Voss, S.C., Hocking, J., Cordy, J., Mendez-Villanueva, A., and Coutts, A.J. (2013a). Monitoring fitness, fatigue and running performance during a pre-season training camp in elite football players. J Sci Med Sport *16*, 550-555.

Buchheit, M., Simpson, B.M., and Mendez-Villanueva, A. (2013b). Repeated high-speed activities during youth soccer games in relation to changes in maximal sprinting and aerobic speeds. Int J Sports Med *34*, 40-48.

Bujnovsky, D.M., T.; Zahalka, F.; Mala, L. (2015). Analysis of physical load among professional soccer players during matches with respect to field position. Journal pf Physical Education and Sport *14(1)*, 569-575.

Bunc, V., and Heller, J. (1989). Energy cost of running in similarly trained men and women. Eur J Appl Physiol Occup Physiol *59*, 178-183.

Burgess, D.J., Naughton, G., and Norton, K.I. (2006). Profile of movement demands of national football players in Australia. J Sci Med Sport *9*, 334-341.

C

Calvert, T.W.B., E.W. Savage, M.V.; Bach,T (1975). A Systems Model of the Effects of Training on Physical Performance. IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics *SMC-6, N°2*

Campos-Vazquez, M.A., Mendez-Villanueva, A., Gonzalez-Jurado, J.A., Leon-Prados, J.A., Santalla, A., and Suarez-Arrones, L. (2015). Relationships between rating-of-perceived-exertion- and heart-rate-derived internal training load in professional soccer players: a comparison of on-field integrated training sessions. Int J Sports Physiol Perform *10*, 587-592.

Carling, C., Bloomfield, J., Nelsen, L., and Reilly, T. (2008). The role of motion analysis in elite soccer: contemporary performance measurement techniques and work rate data. Sports Med *38*, 839-862.

Caru, B., Le Coultre, L., Aghemo, P., and Limas, F.P. (1970). Maximal aerobic and anaerobic muscular power in football players. J Sports Med Phys Fitness *10*, 100-103.

Casamichana, D., and Castellano, J. (2010). Time-motion, heart rate, perceptual and motor behaviour demands in small-sides soccer games: effects of pitch size. J Sports Sci *28*, 1615-1623.

Casamichana, D., Castellano, J., Calleja-Gonzalez, J., San Roman, J., and Castagna, C. (2013a). Relationship between indicators of training load in soccer players. J Strength Cond Res *27*, 369-374.

Casamichana, D., Castellano, J., and Dellal, A. (2013b). Influence of different training regimes on physical and physiological demands during small-sided soccer games: continuous vs. intermittent format. J Strength Cond Res *27*, 690-697.

Casamichana, D., Roman-Quintana, J.S., Castellano, J., and Calleja-Gonzalez, J. (2015). Influence of the Type of Marking and the Number of Players on Physiological and Physical Demands During Sided Games in Soccer. J Hum Kinet *47*, 259-268.

Casamichana, D., Suarez-Arrones, L., Castellano, J., and Roman-Quintana, J.S. (2014). Effect of number of touches and exercise duration on the kinematic profile and heart rate response during small-sided games in soccer. J Hum Kinet *41*, 113-123.

Castellano, J., Casamichana, D., Calleja-Gonzalez, J., Roman, J.S., and Ostojic, S.M. (2011). Reliability and Accuracy of 10 Hz GPS Devices for Short-Distance Exercise. J Sports Sci Med *10*, 233-234.

Castellano, J., Casamichana, D., and Dellal, A. (2013). Influence of game format and number of players on heart rate responses and physical demands in small-sided soccer games. J Strength Cond Res *27*, 1295-1303.

Cazorla, G. (1990). Test de terrain pour évaluer la capacité aérobie et la vitesse aérobie maximale. Actes du colloque international de la Guadeloupe Bordeaux : AREAPS, 151-173.

Cazorla, G.L., L. (1993). Comment évaluer et développer vos qualités aérobies: Epreuve de course navette et épreuve VAMEVAL. Editeur: AREAPS.

Chlif, M.J., H ; Temfemo, A ; Mezouk, A ; Manouvrier, C ; Choquet, D (2009). Physical and physiological profile of semi-professional soccer player: Toward an individualization training in specifically field position. Science & Sports *25*, 132-138.

Cicchetti, D.V. (1994). Guidelines, Criteria, and Rules of Thumb for Evaluating Normed and Standardized Assessment Instruments in Psychology. American Psychological Association Inc *6*, 284-290.

Cissik, J. (2012). Strength and conditioning: a concise introduction. Abington: Routledge Kindle Edition.

Clarke, N.D., Drust, B., Maclaren, D.P., and Reilly, T. (2008). Fluid provision and metabolic responses to soccer-specific exercise. Eur J Appl Physiol *104*, 1069-1077.

Clemente, F.M., Couceiro, M.S., Martins, F.M., Ivanova, M.O., and Mendes, R. (2013). Activity profiles of soccer players during the 2010 world cup. J Hum Kinet *38*, 201-211.

Cohen, J. (1988). Statistical Power Analysis for the behavioral sciences. Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, Hillsdale, New Jersey.

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

Condessa, L.A.T.C., C.E ; Coelho, D.B ; Rodrigues, V.M ; Chagas, M.H ; Garcia, E.S (2015). Analysis and comparison of intensity in specific soccer training sessions. Motriz, Rio Claro *21 n.1*, 54-60.

Cormack, S.J., Newton, R.U., McGuigan, M.R., and Doyle, T.L. (2008). Reliability of measures obtained during single and repeated countermovement jumps. Int J Sports Physiol Perform *3*, 131-144.

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

Coutts, A.J., Rampinini, E., Marcora, S.M., Castagna, C., and Impellizzeri, F.M. (2007). Heart rate and blood lactate correlates of perceived exertion during small-sided soccer games. J Sci Med Sport *12*, 79-84.

Crewe, H., Tucker, R., and Noakes, T.D. (2008). The rate of increase in rating of perceived exertion predicts the duration of exercise to fatigue at a fixed power output in different environmental conditions. Eur J Appl Physiol *103*, 569-577.

Cunniffe, B., Proctor, W., Baker, J.S., and Davies, B. (2009). An evaluation of the physiological demands of elite rugby union using Global Positioning System tracking software. J Strength Cond Res *23*, 1195-1203.

D

Da Silva, C.D., Bloomfield, J., and Marins, J.C. (2008). A review of stature, body mass and maximal oxygen uptake profiles of u17, u20 and first division players in brazilian soccer. J Sports Sci Med *7*, 309-319.

Davis, J.A. (1985). Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. Med Sci Sports Exerc *17*, 6-21.

Davis, J.A., Brewer, J., and Atkin, D. (1992). Pre-season physiological characteristics of English first and second division soccer players. J Sports Sci *10*, 541-547.

Day, M.L., McGuigan, M.R., Brice, G., and Foster, C. (2004). Monitoring exercise intensity during resistance training using the session RPE scale. J Strength Cond Res *18*, 353-358.

Dellal, A. (2010). Physical and technical activity of soccer players in the French First League-with special reference to their playing position. International SportMed Journal *11* 278-290.

Dellal, A., Chamari, K., Pintus, A., Girard, O., Cotte, T., and Keller, D. (2008). Heart rate responses during small-sided games and short intermittent running training in elite soccer players: a comparative study. J Strength Cond Res *22*, 1449-1457.

Dellal, A., Hill-Haas, S., Lago-Penas, C., and Chamari, K. (2011). Small-sided games in soccer: amateur vs. professional players' physiological responses, physical, and technical activities. J Strength Cond Res *25*, 2371-2381.

Dellal, A., Keller, D., Carling, C., Chaouachi, A., Wong del, P., and Chamari, K. (2010). Physiologic effects of directional changes in intermittent exercise in soccer players. J Strength Cond Res *24*, 3219-3226.

Dellal, A.C., K.; Natali, A.; Wong, Del P. (2012). Heart rate monitoring in soccer: interest and limits during competitive match play and training, pratical application. The Journal of Strengh and Conditioning Research.

Desgorces, F.D., and Noirez, P. (2008). Quantifying continuous exercise using the ratio of work completed to endurance limit associated with exercise-induced delayed-onset muscle soreness. Percept Mot Skills *106*, 104-112.

Desgorces, F.D., Senegas, X., Garcia, J., Decker, L., and Noirez, P. (2007). Methods to quantify intermittent exercises. Appl Physiol Nutr Metab *32*, 762-769.

Di Salvo, V., Baron, R., Tschan, H., Calderon Montero, F.J., Bachl, N., and Pigozzi, F. (2007). Performance characteristics according to playing position in elite soccer. Int J Sports Med *28*, 222-227.

Di Salvo, V., Gregson, W., Atkinson, G., Tordoff, P., and Drust, B. (2009). Analysis of high intensity activity in Premier League soccer. Int J Sports Med *30*, 205-212.

Di Salvo, V.C., A.; Mc Neill, B.; Cardinale, M. (2006). Valdiation of Prozone: A new video-based performance analysis system. International Journal of Performance Analysis in Sport *6*, 108-119.

Di Salvo, V.G., W.; Atkinson, G.; Tordoff, P.; Drust, B. (2009). Analysis of high intensity activity in premier league soccer. International Journal of Sports Medicine *30*, 205-212.

Doncaster, G., Marwood, S., Iga, J., and Unnithan, V. (2016). Influence of oxygen uptake kinetics on physical performance in youth soccer. Eur J Appl Physiol *116*, 1781-1794.

Drust, B.R., T.; Cable, N.T. (2000). Physiological responses to laboratory-based soccer-specific intermittent and continuous exercise. Journal of Sport Sciences *18:11*, 885-892.

Drust, B.R., T.; Rienzi, E. (1998). Analysis of work rate in soccer. Sports Exercise and Injury *4*, 151-155.

Durnin, J.V., and Rahaman, M.M. (1967). The assessment of the amount of fat in the human body from measurements of skinfold thickness. Br J Nutr *21*, 681-689.

Durnin, J.V., and Womersley, J. (1974). Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. Br J Nutr *32*, 77-97.

E

Edgecomb, S.J., and Norton, K.I. (2006). Comparison of global positioning and computer-based tracking systems for measuring player movement distance during Australian football. J Sci Med Sport *9*, 25-32.

Edwards, A.M., Bentley, M.B., Mann, M.E., and Seaholme, T.S. (2011). Self-pacing in interval training: a teleoanticipatory approach. Psychophysiology *48*, 136-141.

Edwards, S. (1993). High Performance Training and Racing. The Heart Rate Monitor Book, 113-123.

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

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

Eston, R. (2012). Use of ratings of perceived exertion in sports. Int J Sports Physiol Perform *7*, 175-182.

Eston, R., Faulkner, J., St Clair Gibson, A., Noakes, T., and Parfitt, G. (2007). The effect of antecedent fatiguing activity on the relationship between perceived exertion and physiological activity during a constant load exercise task. Psychophysiology *44*, 779-786.

F

Faina, M.G., C.; Lupo, S. et al. (1988). Définition of physiological profile of the soccer players. In: Reilly, T; Lees, A; Davis, K et al, editors Science & football London:E&FN Spon, 158-163.

Fanchini, M., Azzalin, A., Castagna, C., Schena, F., McCall, A., and Impellizzeri, F.M. (2011). Effect of bout duration on exercise intensity and technical performance of small-sided games in soccer. J Strength Cond Res *25*, 453-458.

Fanchini, M., Ferraresi, I., Modena, R., Schena, F., Coutts, A.J., and Impellizzeri, F.M. (2015a). Use of CR100 Scale for Session-RPE in Soccer and Interchangeability With CR10. Int J Sports Physiol Perform.

Fanchini, M., Ghielmetti, R., Coutts, A.J., Schena, F., and Impellizzeri, F.M. (2015b). Effect of training-session intensity distribution on session rating of perceived exertion in soccer players. Int J Sports Physiol Perform *10*, 426-430.

FIFA (2015). Approval of Electronic Performance and Tracking System (EPTS) devices. Federation internationale de Football Association Circular n°1494.

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

Foster, C., Florhaug, J.A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L.A., Parker, S., Doleshal, P., and Dodge, C. (2001). A new approach to monitoring exercise training. J Strength Cond Res *15*, 109-115.

Foster, C., Hector, L.L., Welsh, R., Schrager, M., Green, M.A., and Snyder, A.C. (1995). Effects of specific versus cross-training on running performance. Eur J Appl Physiol Occup Physiol *70*, 367-372.

Foster, C., Rodriguez-Marroyo, J.A., and de Koning, J.J. (2017). Monitoring Training Loads: The Past, the Present, and the Future. Int J Sports Physiol Perform *12*, S22-S28.

G

Gabbett, T.J., and Jenkins, D.G. (2011). Relationship between training load and injury in professional rugby league players. J Sci Med Sport *14*, 204-209.

Garcia, E.S.E.-S., L.C.; Garcia, A.M.; Nunes, V. (2005). Energy expenditure of professional soccer players during official games. Medicine in Science in Sports and Exercice *37*, 87.

Garcia-Tabar, I., Izquierdo, M., and Gorostiaga, E.M. (2017). On-field prediction vs monitoring of aerobic capacity markers using submaximal lactate and heart rate measures. Scand J Med Sci Sports *27*, 462-473.

Garcin, M., Coquart, J.B., Robin, S., and Matran, R. (2011). Prediction of time to exhaustion in competitive cyclists from a perceptually based scale. J Strength Cond Res *25*, 1393-1399.

Garcin, M., Vandewalle, H., and Monod, H. (1999). A new rating scale of perceived exertion based on subjective estimation of exhaustion time: a preliminary study. Int J Sports Med *20*, 40-43.

Garcin, M., Vautier, J.F., Vandewalle, H., and Monod, H. (1998). Ratings of perceived exertion (RPE) as an index of aerobic endurance during local and general exercises. Ergonomics *41*, 1105-1114.

Gastin, P.B., Meyer, D., and Robinson, D. (2013). Perceptions of wellness to monitor adaptive responses to training and competition in elite Australian football. J Strength Cond Res *27*, 2518-2526.

Gaudino, P., Iaia, F.M., Strudwick, A.J., Hawkins, R.D., Alberti, G., Atkinson, G., and Gregson, W. (2015). Factors influencing perception of effort (session rating of perceived exertion) during elite soccer training. Int J Sports Physiol Perform *10*, 860-864.

Gerodimos, V.K., K.; Paschalis, V.; Zafeiridis, A.; Katsareli, E.; Bilios, P.; Kellis, S. (2015). Reliability of concentric and eccentric strength of hip abductor and adductor muscles in young soccer players. Biology & Sport *32*, 351-356.

Girard, O., Mendez-Villanueva, A., and Bishop, D. (2011). Repeated-sprint ability - part I: factors contributing to fatigue. Sports Med *41*, 673-694.

Glaister, M., Howatson, G., Pattison, J.R., and McInnes, G. (2008). The reliability and validity of fatigue measures during multiple-sprint work: an issue revisited. J Strength Cond Res *22*, 1597-1601.

Green, J.M., McIntosh, J.R., Hornsby, J., Timme, L., Gover, L., and Mayes, J.L. (2009). Effect of exercise duration on session RPE at an individualized constant workload. Eur J Appl Physiol *107*, 501-507.

Green, S. (1992). Anthropometric and physiological characteristics of south australian soccer players. Australian Journal of Science and Medicine in Sport *24*, 3-7.

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

H

Hader, K., Mendez-Villanueva, A., Palazzi, D., Ahmaidi, S., and Buchheit, M. (2016). Metabolic Power Requirement of Change of Direction Speed in Young Soccer Players: Not All Is What It Seems. PLoS One *11*, e0149839.

Halouani, J., Chtourou, H., Dellal, A., Chaouachi, A., and Chamari, K. (2014). Physiological responses according to rules changes during 3 vs. 3 small-sided games in youth soccer players: stop-ball vs. small-goals rules. J Sports Sci *32*, 1485-1490.

Hammami, M.A. (2013). Effet de l'entraînement sur l'anthropométrie, les performances physiques et les réponses des axes somatotrope et cortico-ganotrope chez l'adolescent football de haut niveau. Thése/Université de Rennes 2.

Hammami, M.A., Ben Abderrahmane, A., Nebigh, A., Le Moal, E., Ben Ounis, O., Tabka, Z., and Zouhal, H. (2013). Effects of a soccer season on anthropometric characteristics and physical fitness in elite young soccer players. J Sports Sci *31*, 589-596.

Harley, J.A., Lovell, R.J., Barnes, C.A., Portas, M.D., and Weston, M. (2011). The interchangeability of global positioning system and semiautomated video-based performance data during elite soccer match play. J Strength Cond Res *25*, 2334-2336.

Hatton, T.J. (2013). How have Europeans grown so tall ? Oxford Economic Papers 66, 349-372.

Helgerud, J., Engen, L.C., Wisloff, U., and Hoff, J. (2001). Aerobic endurance training improves soccer performance. Med Sci Sports Exerc *33*, 1925-1931.

Helgerud, J., Rodas, G., Kemi, O.J., and Hoff, J. (2011). Strength and endurance in elite football players. Int J Sports Med *32*, 677-682.

Hill-Haas, S., Coutts, A., Rowsell, G., and Dawson, B. (2007). Variability of acute physiological responses and performance profiles of youth soccer players in small-sided games. J Sci Med Sport *11*, 487-490.

Hill-Haas, S.V., Coutts, A.J., Dawson, B.T., and Rowsell, G.J. (2010). Time-motion characteristics and physiological responses of small-sided games in elite youth players: the influence of player number and rule changes. J Strength Cond Res *24*, 2149-2156.

Hill-Haas, S.V., Coutts, A.J., Rowsell, G.J., and Dawson, B.T. (2009a). Generic versus small-sided game training in soccer. Int J Sports Med *30*, 636-642.

Hill-Haas, S.V., Dawson, B., Impellizzeri, F.M., and Coutts, A.J. (2011). Physiology of small-sided games training in football: a systematic review. Sports Med *41*, 199-220.

Hill-Haas, S.V., Rowsell, G.J., Dawson, B.T., and Coutts, A.J. (2009b). Acute physiological responses and time-motion characteristics of two small-sided training regimes in youth soccer players. J Strength Cond Res *23*, 111-115.

Hoff, J., and Helgerud, J. (2004). Endurance and strength training for soccer players: physiological considerations. Sports Med *34*, 165-180.

Hoff, J., Wisloff, U., Engen, L.C., Kemi, O.J., and Helgerud, J. (2002). Soccer specific aerobic endurance training. Br J Sports Med *36*, 218-221.

Hooper, S.L., Mackinnon, L.T., Howard, A., Gordon, R.D., and Bachmann, A.W. (1995). Markers for monitoring overtraining and recovery. Med Sci Sports Exerc *27*, 106-112.

Hopkins, W.G. (1991). Quantification of training in competitive sports. Methods and applications. Sports Med *12*, 161-183.

Hughes, M. (2012). Moneyball and soccer - an analysis of the key performance indicators of elite male soccer players by position. Journal of Human Sport & Exercise *7*, 402-412.

Hughes, M.D., and Bartlett, R.M. (2002). The use of performance indicators in performance analysis. J Sports Sci *20*, 739-754.

I

Impellizzeri, F.M., Marcora, S.M., Castagna, C., Reilly, T., Sassi, A., Iaia, F.M., and Rampinini, E. (2006). Physiological and performance effects of generic versus specific aerobic training in soccer players. Int J Sports Med *27*, 483-492.

Impellizzeri, F.M., Rampinini, E., Coutts, A.J., Sassi, A., and Marcora, S.M. (2004). Use of RPE-based training load in soccer. Med Sci Sports Exerc *36*, 1042-1047.

Impellizzeri, F.M., Rampinini, E., and Marcora, S.M. (2005). Physiological assessment of aerobic training in soccer. J Sports Sci *23*, 583-592.

J

Jacobs, I., Westlin, N., Karlsson, J., Rasmusson, M., and Houghton, B. (1982). Muscle glycogen and diet in elite soccer players. Eur J Appl Physiol Occup Physiol *48*, 297-302.

Jennings, D., Cormack, S., Coutts, A.J., Boyd, L., and Aughey, R.J. (2010). The validity and reliability of GPS units for measuring distance in team sport specific running patterns. Int J Sports Physiol Perform *5*, 328-341.

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

Johnston, J.L., Leong, M.S., Checkland, E.G., Zuberbuhler, P.C., Conger, P.R., and Quinney, H.A. (1988). Body fat assessed from body density and estimated from skinfold thickness in normal children and children with cystic fibrosis. Am J Clin Nutr *48*, 1362-1366.

Johnston, R.J., Watsford, M.L., Austin, D.J., Pine, M.J., and Spurrs, R.W. (2015). An Examination of the Relationship Between Movement Demands and Rating of Perceived Exertion in Australian Footballers. J Strength Cond Res *29*, 2026-2033.

Joseph, T., Johnson, B., Battista, R.A., Wright, G., Dodge, C., Porcari, J.P., de Koning, J.J., and Foster, C. (2008). Perception of fatigue during simulated competition. Med Sci Sports Exerc *40*, 381-386.

K

Karvonen, J., and Vuorimaa, T. (1988). Heart rate and exercise intensity during sports activities. Practical application. Sports Med *5*, 303-311.

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

Kelly, D.M., and Drust, B. (2009). The effect of pitch dimensions on heart rate responses and technical demands of small-sided soccer games in elite players. J Sci Med Sport *12*, 475-479.

Kelly, D.M., Gregson, W., Reilly, T., and Drust, B. (2013). The development of a soccer-specific training drill for elite-level players. J Strength Cond Res *27*, 938-943.

Kelly, D.M., Strudwick, A.J., Atkinson, G., Drust, B., and Gregson, W. (2016). The within-participant correlation between perception of effort and heart rate-based estimations of training load in elite soccer players. J Sports Sci *34*, 1-5.

Kindermann, W.G., H.; Coen, B.; Urhausen, A. (1993). Sports medical performance diagnostics in football. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin *44*, 232-236.

Knight, T.J. (2015). The Effect of Changing Player Numbers on the Physiological Responses and Time-motion Characteristics of a Soccer-Specific Training Drill. International Journal of Performance Analysis in Sport *15*, 452-470.

Knowles, J.E.B., J.D.; (1974). A movement analysis of player behaviour in soccer match performance. Proceedings of 8th Annual Conference, British Society of Sports Physiology (Salford).

Koklu, Y., Sert, O., Alemdaroglu, U., and Arslan, Y. (2015). Comparison of the physiological responses and time-motion characteristics of young soccer players in small-sided games: the effect of goalkeeper. J Strength Cond Res *29*, 964-971.

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

Krustrup, P., Ortenblad, N., Nielsen, J., Nybo, L., Gunnarsson, T.P., Iaia, F.M., Madsen, K., Stephens, F., Greenhaff, P., and Bangsbo, J. (2011). Maximal voluntary contraction force, SR function and glycogen resynthesis during the first 72 h after a high-level competitive soccer game. Eur J Appl Physiol *111*, 2987-2995.

L

Lagally, K.M., Robertson, R.J., Gallagher, K.I., Goss, F.L., Jakicic, J.M., Lephart, S.M., McCaw, S.T., and Goodpaster, B. (2002). Perceived exertion, electromyography, and blood lactate during acute bouts of resistance exercise. Med Sci Sports Exerc *34*, 552-559; discussion 560.

Lago, C.C., L.; Dominguez, E.; Sampaio, J. (2010). The effects of situational variables on distance covered at various spedds in elite soccer. European Journal of Sport Science *10:2*, 103-109.

Lambert, M.I., and Borresen, J. (2010). Measuring training load in sports. Int J Sports Physiol Perform *5*, 406-411.

Lane, A. (2001). Relationships between perceptions of performance expectations and mood among distance runners: the moderating effect of depressed mood. J Sci Med Sport *4*, 116-128.

Laursen, P.B., and Jenkins, D.G. (2002). The scientific basis for high-intensity interval training: optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. Sports Med *32*, 53-73.

Le Gall, F. (2002a). Institut National du Football: Suivi médical et physiologique. 28-29.

Le Gall, F.B., J.; Rochcongar, P. (2002b). Évolution de la puissance maximale anaérobie au cours de la croissance chez le footballeur. Science & Sports *17*, 177-188.

Le Gall, F.L., T.; Rochecongar, P. (1999). Evolution de la force musculaire des fléchisseurs et extenseurs du genou mesurée par dynamomètre isocinétique concentrique chez le footballeur de haut niveau. Science & Sports *14*, 167-172.

Le Meur, Y., Buchheit, M., Aubry, A., Coutts, A.J., and Hausswirth, C. (2016). Assessing Overreaching With HRR: What is the Minimal Exercise Intensity Required? Int J Sports Physiol Perform, 1-14.

Leger, L., and Boucher, R. (1980). An indirect continuous running multistage field test: the Universite de Montreal track test. Can J Appl Sport Sci *5*, 77-84.

Little, T., and Williams, A.G. (2006). Suitability of soccer training drills for endurance training. J Strength Cond Res *20*, 316-319.

Little, T., and Williams, A.G. (2007). Measures of exercise intensity during soccer training drills with professional soccer players. J Strength Cond Res *21*, 367-371.

Lockie, R.G., Murphy, A.J., Scott, B.R., and Janse de Jonge, X.A. (2012). Quantifying session ratings of perceived exertion for field-based speed training methods in team sport athletes. J Strength Cond Res *26*, 2721-2728.

Los Arcos, A., Martinez-Santos, R., Yanci, J., Martin, J., and Castagna, C. (2014a). Variability of objective and subjective intensities during ball drills in youth soccer players. J Strength Cond Res *28*, 752-757.

Los Arcos, A., Mendez-Villanueva, A., and Martinez-Santos, R. (2017). In-season training periodization of professional soccer players. Biol Sport *34*, 149-155.

Los Arcos, A., Vazquez, J.S., Martin, J., Lerga, J., Sanchez, F., Villagra, F., and Zulueta, J.J. (2015). Effects of Small-Sided Games vs. Interval Training in Aerobic Fitness and Physical Enjoyment in Young Elite Soccer Players. PLoS One *10*, e0137224.

Los Arcos, A., Yanci, J., Mendiguchia, J., and Gorostiaga, E.M. (2014b). Rating of muscular and respiratory perceived exertion in professional soccer players. J Strength Cond Res *28*, 3280-3288.

Lovell, T.W., Sirotic, A.C., Impellizzeri, F.M., and Coutts, A.J. (2013). Factors affecting perception of effort (session rating of perceived exertion) during rugby league training. Int J Sports Physiol Perform *8*, 62-69.

Lucia, A., Hoyos, J., Santalla, A., Earnest, C., and Chicharro, J.L. (2003). Tour de France versus Vuelta a Espana: which is harder? Med Sci Sports Exerc *35*, 872-878.

M

Mallo, J., and Navarro, E. (2008). Physical load imposed on soccer players during small-sided training games. J Sports Med Phys Fitness *48*, 166-171.

Malone, J.J., Di Michele, R., Morgans, R., Burgess, D., Morton, J.P., and Drust, B. (2015). Seasonal training-load quantification in elite English premier league soccer players. Int J Sports Physiol Perform *10*, 489-497.

Manzi, V., Bovenzi, A., Franco Impellizzeri, M., Carminati, I., and Castagna, C. (2013). Individual training-load and aerobic-fitness variables in premiership soccer players during the precompetitive season. J Strength Cond Res *27*, 631-636.

Manzi, V., D'Ottavio, S., Impellizzeri, F.M., Chaouachi, A., Chamari, K., and Castagna, C. (2010). Profile of weekly training load in elite male professional basketball players. J Strength Cond Res *24*, 1399-1406.

Margaria, R., Aghemo, P., and Rovelli, E. (1966). Measurement of muscular power (anaerobic) in man. J Appl Physiol *21*, 1662-1664.

Margaria, R., Oliva, R.D., Di Prampero, P.E., and Cerretelli, P. (1969). Energy utilization in intermittent exercise of supramaximal intensity. J Appl Physiol *26*, 752-756.

Marrier, B., Le Meur, Y., Robineau, J., Lacome, M., Couderc, A., Hausswirth, C., Piscione, J., and Morin, J.B. (2016). Quantifying Neuromuscular Fatigue Induced by an Intense Training Session in Rugby Sevens. Int J Sports Physiol Perform, 1-19.

Martinez-Lagunas, V., and Hartmann, U. (2014). Validity of the Yo-Yo Intermittent Recovery Test Level 1 for direct measurement or indirect estimation of maximal oxygen uptake in female soccer players. Int J Sports Physiol Perform *9*, 825-831.

Maso, F.C., G.; Godemet, M.; Lac, G.; Robert, A. (2002). Exigences physiologiques nécessaires à la pratique de rugby de haut niveau. Science et Sports *17*, 297-130.

Mayhew, S.R.W., H.A. (1985). Time motion analysis of professional soccer. Journal of Human Movement Studies *11*, 49-52.

McArdle, W.D., Zwiren, L., and Magel, J.R. (1969). Validity of the postexercise heart rate as a means of estimating heart rate during work of varying intensities. Res Q *40*, 523-528.

McCall, A., Dupont, G., and Ekstrand, J. (2016). Injury prevention strategies, coach compliance and player adherence of 33 of the UEFA Elite Club Injury Study teams: a survey of teams' head medical officers. Br J Sports Med *50*, 725-730.

McMillan, K., Helgerud, J., Macdonald, R., and Hoff, J. (2005). Physiological adaptations to soccer specific endurance training in professional youth soccer players. Br J Sports Med *39*, 273-277.

McNair, D.L., M.; Droppleman, LF (1971). Profile of mood states manual San Diego: Educational and Industrial Testing Service.

Minganti, C., Ferragina, A., Demarie, S., Verticchio, N., Meeusen, R., and Piacentini, M.F. (2011). The use of session RPE for interval training in master endurance athletes: should rest be included? J Sports Med Phys Fitness *51*, 547-554.

Mohr, M., Krustrup, P., and Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. J Sports Sci *21*, 519-528.

Mohr, M., Krustrup, P., Nybo, L., Nielsen, J.J., and Bangsbo, J. (2004). Muscle temperature and sprint performance during soccer matches--beneficial effect of re-warm-up at half-time. Scand J Med Sci Sports *14*, 156-162.

Mohr, M., Nybo, L., Grantham, J., and Racinais, S. (2012). Physiological responses and physical performance during football in the heat. PLoS One *7*, e39202.

Morcillo, J.A., Jimenez-Reyes, P., Cuadrado-Penafiel, V., Lozano, E., Ortega-Becerra, M., and Parraga, J. (2015). Relationships between repeated sprint ability, mechanical parameters, and blood metabolites in professional soccer players. J Strength Cond Res *29*, 1673-1682.

Morgans, R.O., P. ; Anderson, L. ; Drust, B. (2014). Principles and practices of training for soccer. Journal of Sport and Health Science *3*, 251-257.

Morin, J.B., and Samozino, P. (2016). Interpreting Power-Force-Velocity Profiles for Individualized and Specific Training. Int J Sports Physiol Perform *11*, 267-272.

Morin, S. (2014). Modeling of training effects: Review of carious studies. Science & Sports *29*, 237-247.

Morin, S. (2016). Conception d'un système informatique ergonomique pour modéliser et gérer l'entrainement: application au volley-ball professionnel. Thèse d'état Université de Picardie Jules Verne.

Morton, R.H., Fitz-Clarke, J.R., and Banister, E.W. (1990). Modeling human performance in running. J Appl Physiol (1985) *69*, 1171-1177.

Mujika, I., Busso, T., Lacoste, L., Barale, F., Geyssant, A., and Chatard, J.C. (1996). Modeled responses to training and taper in competitive swimmers. Med Sci Sports Exerc *28*, 251-258.

Mujika, I., Chatard, J.C., Busso, T., Geyssant, A., Barale, F., and Lacoste, L. (1995). Effects of training on performance in competitive swimming. Can J Appl Physiol *20*, 395-406.

Mujika, I., Santisteban, J., Angulo, P., and Padilla, S. (2007). Individualized aerobic-power training in an underperforming youth elite association football player. Int J Sports Physiol Perform *2*, 332-335.

N

Nassis, G.P., and Gabbett, T.J. (2016). Is workload associated with injuries and performance in elite football? A call for action. Br J Sports Med.

NCD-RisC (2016). A century of trends in adult human height. Elife *5*.

Nedelec, M., McCall, A., Carling, C., Le Gall, F., Berthoin, S., and Dupont, G. (2013). Physical performance and subjective ratings after a soccer-specific exercise simulation: comparison of natural grass versus artificial turf. J Sports Sci *31*, 529-536.

Ngo, J.K., Tsui, M.C., Smith, A.W., Carling, C., Chan, G.S., and Wong del, P. (2012). The effects of man-marking on work intensity in small-sided soccer games. J Sports Sci Med *11*, 109-114.

Noakes, T.D. (2004). Linear relationship between the perception of effort and the duration of constant load exercise that remains. J Appl Physiol (1985) *96*, 1571-1572; author reply 1572-1573.

Noakes, T.D. (2008). Rating of perceived exertion as a predictor of the duration of exercise that remains until exhaustion. Br J Sports Med *42*, 623-624.

Nowacki, P.E.C., D.Y.;Buhl, C.; Krummelbein, U. (1988). Biological performance of German soccer players (professional and juniors) tested by special ergometry and treadmill methods. Science & Football, London: E &FN Spon, 144-157.

O

Oberg, B., Moller, M., Gillquist, J., and Ekstrand, J. (1986). Isokinetic torque levels for knee extensors and knee flexors in soccer players. Int J Sports Med *7*, 50-53.

Ogushi, T.O., J.; Nagahama, H. et al. (1993). Work intensity during soccer training and match-play. Science and Football E and FN Spon, London, 121-123.

Ohashi, J.T., H.; Isokowa, M.; Suzuki.S. (1987). Measuring of movement speeds in soccer match play. Science and Football E and FN Spon, London, 329-333.

Oliver, J., Armstrong, N., and Williams, C. (2008). Changes in jump performance and muscle activity following soccer-specific exercise. J Sports Sci *26*, 141-148.

Owen A, T.C., Ford P. (2004). Small-sided games: the physiological and technical effect of altering pitch size and player numbers. Insight FACA J *7 (2)*, 50-53.

Owen, A.L., Wong del, P., McKenna, M., and Dellal, A. (2011). Heart rate responses and technical comparison between small- vs. large-sided games in elite professional soccer. J Strength Cond Res *25*, 2104-2110.

P

Pandolf, K.B. (1978). Influence of local and central factors in dominating rated perceived exertion during physical work. Percept Mot Skills *46*, 683-698.

Pandolf, K.B. (1982). Differentiated ratings of perceived exertion during physical exercise. Med Sci Sports Exerc *14*, 397-405.

Pareja-Blanco, F., Suarez-Arrones, L., Rodriguez-Rosell, D., Lopez-Segovia, M., Jimenez-Reyes, P., Bachero-Mena, B., and Gonzalez-Badillo, J.J. (2016). Evolution of Determinant Factors of Repeated Sprint Ability. J Hum Kinet *54*, 115-126.

Pate, R.R., and Kriska, A. (1984). Physiological basis of the sex difference in cardiorespiratory endurance. Sports Med *1*, 87-98.

Platonov, V.N. (1984). L'entraînement sportif: Théorie et Méthodologie. Editions Revue eps.
Pollock, M.L. (1973). The quantification of endurance training programs. Exerc Sport Sci Rev *1*, 155-188.

Pollock, M.L. (1977). Submaximal and maximal working capacity of elite distance runners. Part I: Cardiorespiratory aspects. Ann N Y Acad Sci *301*, 310-322.

Psotta, R., Blahus, P., Cochrane, D.J., and Martin, A.J. (2005). The assessment of an intermittent high intensity running test. J Sports Med Phys Fitness *45*, 248-256.

Puga, N.R., J.; Agostinho, J. et al. (1993). Physical profile of a first division Portuguese professional soccer team. In: Reilly, T; Lees, A; Clarys, J; Stibbe, A editors Science & football London:E&FN Spon, 40-42.

R

Rampinini, E., Bosio, A., Ferraresi, I., Petruolo, A., Morelli, A., and Sassi, A. (2011). Match-related fatigue in soccer players. Med Sci Sports Exerc *43*, 2161-2170.

Rampinini, E., Coutts, A.J., Castagna, C., Sassi, R., and Impellizzeri, F.M. (2007a). Variation in top level soccer match performance. Int J Sports Med *28*, 1018-1024.

Rampinini, E., Impellizzeri, F.M., Castagna, C., Abt, G., Chamari, K., Sassi, A., and Marcora, S.M. (2007b). Factors influencing physiological responses to small-sided soccer games. J Sports Sci *25*, 659-666.

Rampinini, E., Impellizzeri, F.M., Castagna, C., Coutts, A.J., and Wisloff, U. (2009). Technical performance during soccer matches of the Italian Serie A league: effect of fatigue and competitive level. J Sci Med Sport *12*, 227-233.

Randers, M.B., Mujika, I., Hewitt, A., Santisteban, J., Bischoff, R., Solano, R., Zubillaga, A., Peltola, E., Krustrup, P., and Mohr, M. (2010). Application of four different football match analysis systems: a comparative study. J Sports Sci *28*, 171-182.

Raven, P.B., Gettman, L.R., Pollock, M.L., and Cooper, K.H. (1976). A physiological evaluation of professional soccer players. Br J Sports Med *10*, 209-216.

Reilly, T. (1990). Football. Physiology of Sports (edited by Reilly, T; Secher, N; Snell, P; Williams, C) London: E &FN Spon, 371-426.

Reilly, T., Bangsbo, J., and Franks, A. (2000). Anthropometric and physiological predispositions for elite soccer. J Sports Sci *18*, 669-683.

Reilly, T., and Thomas, V. (1976). A motion analysis of work-rate in different positional roles in professional football match-play. Journal of Human Movement Studies.

Reilly, T., and Thomas, V. (1979). Estimated daily energy expenditures of professional association footballers. Ergonomics *22*, 541-548.

Relave, A.R., I.; Hautier, C. (2008). Proposition d'un test de terrain dans le suivi de la préparation physique du rugbyman: le 15"/1'. Science et Sports *23*, 156-161.

Rey, E., Padron-Cabo, A., Barcala-Furelos, R., and Mecias-Calvo, M. (2016). Effect of High and Low Flexibility Levels on Physical Fitness and Neuromuscular Properties in Professional Soccer Players. Int J Sports Med *37*, 878-883.

Rhodes, E.C., Mosher, R.E., McKenzie, D.C., Franks, I.M., Potts, J.E., and Wenger, H.A. (1986). Physiological profiles of the Canadian Olympic Soccer Team. Can J Appl Sport Sci *11*, 31-36.

Rico-Sanz, J. (1998). Body composition and nutritional assessments in soccer. Int J Sport Nutr *8*, 113-123.

Rienzi, E., Drust, B., Reilly, T., Carter, J.E., and Martin, A. (2000). Investigation of anthropometric and work-rate profiles of elite South American international soccer players. J Sports Med Phys Fitness *40*, 162-169.

Robineau, J., Jouaux, T., Lacroix, M., and Babault, N. (2012). Neuromuscular fatigue induced by a 90-minute soccer game modeling. J Strength Cond Res *26*, 555-562.

Robinson, D.M., Robinson, S.M., Hume, P.A., and Hopkins, W.G. (1991). Training intensity of elite male distance runners. Med Sci Sports Exerc *23*, 1078-1082.

Robinson, M.R., Hemani, G., Medina-Gomez, C., Mezzavilla, M., Esko, T., Shakhbazov, K., Powell, J.E., Vinkhuyzen, A., Berndt, S.I., Gustafsson, S.*, et al.* (2015). Population genetic differentiation of height and body mass index across Europe. Nat Genet *47*, 1357-1362.

Roksund, O.D., ; Kristoffersen, M.; Bogen, B.E.; Wisnes, A.; Engeseth, M.S,; Nilsen, A.K.; Iversen, V.V.; Maeland, S.; Gundersen, H. (2017). Higher drop in speed during a repeated sprint test in soccer players reporting former hamstring strain injury. Frontiers in Physiology, 8-25.

Rosch, D., Hodgson, R., Peterson, T.L., Graf-Baumann, T., Junge, A., Chomiak, J., and Dvorak, J. (2000). Assessment and evaluation of football performance. Am J Sports Med *28*, S29-39.

Rost, R., and Hollmann, W. (1983). Athlete's heart--a review of its historical assessment and new aspects. Int J Sports Med *4*, 147-165.

Russell, M., Rees, G., Benton, D., and Kingsley, M. (2011). An exercise protocol that replicates soccer match-play. Int J Sports Med *32*, 511-518.

S

Safania, A.M.A., R.; Nourshahi,M (2011). A comparison of small-sided games and interval training on same selected physical fitness factors in amateur soccer players. Journal of Social Sciences *7 (3)*, 349-353.

Saltin, B., and Astrand, P.O. (1967). Maximal oxygen uptake in athletes. J Appl Physiol *23*, 353-358.

Samozino, P. (2009). Capacités mécaniques des membres inférieurs et mouvments explosifs. Approches théoriques intégratives appliquées au saut vertical. Thèse de l'Université de St Etienne.

Samozino, P., Edouard, P., Sangnier, S., Brughelli, M., Gimenez, P., and Morin, J.B. (2014). Force-velocity profile: imbalance determination and effect on lower limb ballistic performance. Int J Sports Med *35*, 505-510.

Sampaio, J.E., Lago, C., Goncalves, B., Macas, V.M., and Leite, N. (2014). Effects of pacing, status and unbalance in time motion variables, heart rate and tactical behaviour when playing 5-a-side football small-sided games. J Sci Med Sport *17*, 229-233.

Sannicando, I.C., G (2016). Heart rate response comparison of young soccer players in "cage" small-sided and 8 vs. 8 games. Journal of Physical Education and Sport, 1122-1127.

Santos Andrade, M., Mascarin, N.C., Benedito-Silva, A.A., Carderelli Minozzo, F., Vancini, R.L., and Barbosa, D.E.L.C.A. (2016). Assessment of isokinetic peak torque reliability of the hip flexor, extensor, adductors and abductors muscles in female soccer players from 14 to 25 years old. J Sports Med Phys Fitness *56*, 843-848.

Sargent, A.J. (1921). The physical test of a man. American Physical Education Review *26*, 188-194.

Sargent, A.W. (1924). Some observations on the Sargent test of neuromusclar efficiency. American Physical Education Review *29*, 47-56.

Sarianides, G. (1985). Soccer: Pre-season conditioning and season maintenance for the professional soccer players. National Strength & Conditioning Association Journal *7*, 46-49.

Scott, B.R., Lockie, R.G., Knight, T.J., Clark, A.C., and Janse de Jonge, X.A. (2013). A comparison of methods to quantify the in-season training load of professional soccer players. Int J Sports Physiol Perform *8*, 195-202.

Seiler, K.S., and Kjerland, G.O. (2006). Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an "optimal" distribution? Scand J Med Sci Sports *16*, 49-56.

Seiler, S., and Hetlelid, K.J. (2005). The impact of rest duration on work intensity and RPE during interval training. Med Sci Sports Exerc *37*, 1601-1607.

Shephard, R.J. (1999). Biology and medicine of soccer: an update. J Sports Sci *17*, 757-786.

Singh-Manoux, A., Gourmelen, J., Ferrie, J., Silventoinen, K., Gueguen, A., Stringhini, S., Nabi, H., and Kivimaki, M. (2010). Trends in the association between height and socioeconomic indicators in France, 1970-2003. Econ Hum Biol *8*, 396-404.

Sjokvist, J., Laurent, M.C., Richardson, M., Curtner-Smith, M., Holmberg, H.C., and Bishop, P.A. (2011). Recovery from high-intensity training sessions in female soccer players. J Strength Cond Res *25*, 1726-1735.

Slaughter, M.H., Lohman, T.G., Boileau, R.A., Horswill, C.A., Stillman, R.J., Van Loan, M.D., and Bemben, D.A. (1988). Skinfold equations for estimation of body fatness in children and youth. Hum Biol *60*, 709-723.

Smaros, G. (1980). Energy usage during a football match. In: Vecciet, L ed Proceeding of the 1 st International Congress on Sports Medicine Applied to Football Rome: Guanillo, D, 795-801.

Smith, D.J. (2003). A framework for understanding the training process leading to elite performance. Sports Med *33*, 1103-1126.

Sporis, G., Ruzic, L., and Leko, G. (2008). The anaerobic endurance of elite soccer players improved after a high-intensity training intervention in the 8-week conditioning program. J Strength Cond Res *22*, 559-566.

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

Stroyer, J., Hansen, L., and Klausen, K. (2004). Physiological profile and activity pattern of young soccer players during match play. Med Sci Sports Exerc *36*, 168-174.

Suarez-Arrones, L., Nunez, J., Munguia-Izquierdo, D., Portillo, J., and Mendez-Villanueva, A. (2013). Impact of several matches in a day on physical performance in Rugby Sevens referees. Int J Sports Physiol Perform *8*, 496-501.

Suarez-Arrones, L., Torreno, N., Requena, B., Saez De Villarreal, E., Casamichana, D., Barbero-Alvarez, J.C., and Munguia-Izquierdo, D. (2015). Match-play activity profile in professional soccer players during official games and the relationship between external and internal load. J Sports Med Phys Fitness *55*, 1417-1422.

Swain, D.P., Leutholtz, B.C., King, M.E., Haas, L.A., and Branch, J.D. (1998). Relationship between % heart rate reserve and % VO2 reserve in treadmill exercise. Med Sci Sports Exerc *30*, 318-321.

T

Taha, T., and Thomas, S.G. (2003). Systems modelling of the relationship between training and performance. Sports Med *33*, 1061-1073.

Taylor, K.L., Cronin, J., Gill, N.D., Chapman, D.W., and Sheppard, J. (2010). Sources of variability in iso-inertial jump assessments. Int J Sports Physiol Perform *5*, 546-558.

Tessitore, A., Meeusen, R., Tiberi, M., Cortis, C., Pagano, R., and Capranica, L. (2005). Aerobic and anaerobic profiles, heart rate and match analysis in older soccer players. Ergonomics *48*, 1365-1377.

Thatcher, R., and Batterham, A.M. (2004). Development and validation of a sport-specific exercise protocol for elite youth soccer players. J Sports Med Phys Fitness *44*, 15-22.

Thevenet, D., Tardieu-Berger, M., Berthoin, S., and Prioux, J. (2007). Influence of recovery mode (passive vs. active) on time spent at maximal oxygen uptake during an intermittent session in young and endurance-trained athletes. Eur J Appl Physiol *99*, 133-142.

Thomas, V., and Reilly, T. (1979). Fitness assessment of English league soccer players through the competitive season. Br J Sports Med *13*, 103-109.

Thorlund, J.B., Aagaard, P., and Madsen, K. (2009). Rapid muscle force capacity changes after soccer match play. Int J Sports Med *30*, 273-278.

Thorpe, R.T., Strudwick, A.J., Buchheit, M., Atkinson, G., Drust, B., and Gregson, W. (2015). Monitoring Fatigue During the In-Season Competitive Phase in Elite Soccer Players. Int J Sports Physiol Perform *10*, 958-964.

Thorpe, R.T., Strudwick, A.J., Buchheit, M., Atkinson, G., Drust, B., and Gregson, W. (2016). Tracking Morning Fatigue Status Across In-Season Training Weeks in Elite Soccer Players. Int J Sports Physiol Perform *11*, 947-952.

Tierney, P.J., Young, A., Clarke, N.D., and Duncan, M.J. (2016). Match play demands of 11 versus 11 professional football using Global Positioning System tracking: Variations across common playing formations. Hum Mov Sci *49*, 1-8.

Tonnessen, E., Hem, E., Leirstein, S., Haugen, T., and Seiler, S. (2013). Maximal aerobic power characteristics of male professional soccer players, 1989-2012. Int J Sports Physiol Perform *8*, 323-329.

Tonnessen, E., Shalfawi, S.A., Haugen, T., and Enoksen, E. (2011). The effect of 40-m repeated sprint training on maximum sprinting speed, repeated sprint speed endurance, vertical jump, and aerobic capacity in young elite male soccer players. J Strength Cond Res *25*, 2364-2370.

Torres-Ronda, L., Goncalves, B., Marcelino, R., Torrents, C., Vicente, E., and Sampaio, J. (2015). Heart Rate, Time-Motion, and Body Impacts When Changing the Number of Teammates and Opponents in Soccer Small-Sided Games. J Strength Cond Res *29*, 2723-2730.

Trachtenberg, A. (1988). Soccer: Conditioning drills for soccer. National Strength & Conditioning Association Journal *10*, 50-52.

Tumilty, D. (1993). Physiological characteristics of elite soccer players. Sports Med *16*, 80-96.

V

Van Gool, D.V.G., D.; and Boutmans, J. (1988). The physiological load imposed on soccer players during real match-play. Science and Football (edited by Reilly, A, Lees, K Davis, K and Murphy, WJ) E and FN Spon, London, 51-59.

Vandewalle, H., Peres, G., and Monod, H. (1987). Standard anaerobic exercise tests. Sports Med *4*, 268-289.

Varley, M.C., Fairweather, I.H., and Aughey, R.J. (2012). Validity and reliability of GPS for measuring instantaneous velocity during acceleration, deceleration, and constant motion. J Sports Sci *30*, 121-127.

Vilar, L., Duarte, R., Silva, P., Chow, J.Y., and Davids, K. (2014). The influence of pitch dimensions on performance during small-sided and conditioned soccer games. J Sports Sci *32*, 1751-1759.

W

Wallace, L.K., Slattery, K.M., and Coutts, A.J. (2008). The ecological validity and application of the session-RPE method for quantifying training loads in swimming. J Strength Cond Res *23*, 33-38.

Wenger, H.A., and Bell, G.J. (1986). The interactions of intensity, frequency and duration of exercise training in altering cardiorespiratory fitness. Sports Med *3*, 346-356.

Weston, M., Siegler, J., Bahnert, A., McBrien, J., and Lovell, R. (2015). The application of differential ratings of perceived exertion to Australian Football League matches. J Sci Med Sport *18*, 704-708.

White, J.E.E., T.M.; Kane, J.L.; Groves, R. and Risman, A.B. (1988). Pre-season fitness profiles of professional soccer players. Science & Football, London: E &FN Spon, 164-171.

Whitehead, W. (1975). Conditioning for sport. EP Publishing co Ltd Yorkkshire, 40-42.

Windt, J., and Gabbett, T.J. (2016). How do training and competition workloads relate to injury? The workload-injury aetiology model. Br J Sports Med.

Windt, J., and Gabbett, T.J. (2017). How do training and competition workloads relate to injury? The workload-injury aetiology model. Br J Sports Med *51*, 428-435.

Windt, J., Gabbett, T.J., Ferris, D., and Khan, K.M. (2016). Training load--injury paradox: is greater preseason participation associated with lower in-season injury risk in elite rugby league players? Br J Sports Med.

Windt, J., Gabbett, T.J., Ferris, D., and Khan, K.M. (2017). Training load--injury paradox: is greater preseason participation associated with lower in-season injury risk in elite rugby league players? Br J Sports Med *51*, 645-650.

Wisloff, U., Castagna, C., Helgerud, J., Jones, R., and Hoff, J. (2004). Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. Br J Sports Med *38*, 285-288.

Wisloff, U., Helgerud, J., and Hoff, J. (1998). Strength and endurance of elite soccer players. Med Sci Sports Exerc *30*, 462-467.

Withers, R.T., Maricic, Z., Wasilewski, S., and Kelly, L. (1982). Match analysis of Australian professional soccer players. Journal of Human Movement Studies *8*, 159-176.

Withers, R.T., Roberts, G.D., and Davies, G.J. (1977). The maximum aerobic power, anaerobic power and body composition of South Australian male representatives in athletics, basketball, field hockey and soccer. J Sports Med Phys Fitness *17*, 391-400.

Witte, T.H., and Wilson, A.M. (2004). Accuracy of non-differential GPS for the determination of speed over ground. J Biomech *37*, 1891-1898.

Wood, R.E., Hayter, S., Rowbottom, D., and Stewart, I. (2005). Applying a mathematical model to training adaptation in a distance runner. Eur J Appl Physiol *94*, 310-316.

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

Z

Zakas, A. (2006). Bilateral isokinetic peak torque of quadriceps and hamstring muscles in professional soccer players with dominance on one or both two sides. J Sports Med Phys Fitness *46*, 28-35.

Zakas, A., Mandroukas, K., Vamvakoudis, E., Christoulas, K., and Aggelopoulou, N. (1995). Peak torque of quadriceps and hamstring muscles in basketball and soccer players of different divisions. J Sports Med Phys Fitness *35*, 199-205.

ANNEXES

ANNEXE 1 : ARTICLES SCIENTIFIQUES

ANNEXE 2 : ARTICLE MAGAZINE « Vestiaires » n°71, 2016

Science & Sports (2017) 32, 221—228

Disponible en ligne sur ScienceDirect www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France EM|consulte www.em-consulte.com

ARTICLE ORIGINAL

Quatre mois de charge d'entraînement globale et par exercice chez le footballeur professionnel

Four months of overall and by exercise training load in professional soccer player

J.C. Hourcade [a,*,b], G. Saulière [a,c], P. Noirez [a,b], J.F. Toussaint [a,b,d], F.D. Desgorces [a,e]

[a] *Institut de recherche bio-médicale et d'épidémiologie du sport, EA 7329, INSEP, 11, avenue du Tremblay, 75012 Paris, France*
[b] *Université Paris-Descartes, 75012 Paris, France*
[c] *Université Paris-Sud, 91405 Orsay, France*
[d] *Centre d'investigation en médecine du sport, Hôtel-Dieu, 75004 Paris, France*
[e] *Faculté des sciences et techniques, université de Limoges, 19100 Brive-la-Gaillarde, France*

Reçu le 7 décembre 2016 ; accepté le 31 mars 2017
Disponible sur Internet le 22 juin 2017

MOTS CLÉS
Charge d'entraînement ;
Football ;
Perception de l'effort ;
Entraînement

Résumé
Objectifs. — L'objectif de notre travail était d'analyser les charges d'entraînement (CE) d'une équipe professionnelle de football sur une période de 17 semaines de compétition.
Matériels et méthodes. — Les CE hebdomadaires et quotidiennes de 24 footballeurs professionnels ont été calculées et comparées en utilisant deux méthodes basées sur la perception de l'effort : la méthode séance-CR10 et une nouvelle méthode dérivée de celle-ci appliquée aux exercices (exercice-CR10) classés en trois catégories.
Résultats. — Les CE hebdomadaires calculées par les deux méthodes sont différentes 9 semaines sur 17 ($p < 0{,}001$), mais présentent une très bonne concordance (ICC = 0,82 [0,79 ; 0,84]) avec les coefficients de variation suivants : séance-CR10 : CV = 12,4 % et exercice-CR10 : CV = 13,7 %. Les quantifications des CE de chacune des méthodes présentent des différences ($p < 0{,}01$), avec des variations de significativité en fonction du nombre d'exercices perçus comme difficiles dans la séance. Les exercices spécifiques représentent 81,5 ± 4,9 % de la CE totale, ceux d'endurance 13 ± 4,1 % et ceux de puissance 5,4 ± 3,6 %. Bien que les CE hebdomadaires de la méthode séance-CR10 soient supérieures à celles de la méthode exercice-CR10, la concordance entre

* Auteur correspondant.
Adresse e-mail : hourcade.jeanchristophe@neuf.fr (J.C. Hourcade).

http://dx.doi.org/10.1016/j.scispo.2017.03.004
0765-1597/© 2017 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

les deux méthodes est excellente. Le niveau de concordance entre les CE des séances varie selon le nombre d'exercices perçus comme difficiles. L'ensemble de nos résultats suggère que l'on peut suivre les CE des joueurs de manière similaire avec l'une ou l'autre méthode. La méthode exercice-CR10 permet aux entraîneurs d'analyser leurs séances par catégories d'exercices et de calculer des CE moins influencées par les exercices à haute intensité.
© 2017 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

KEYWORDS
Training load;
Soccer;
Perceived exertion;
Training

Summary
Purposes. — The aim of our study was to analyze training loads (TL) of a professional soccer team, on 17 competition weeks.
Materials and methods. — Weekly and daily TL of 24 professional soccer players were calculated and compared using two methods based on perceived exertion: session-CR10 method and a new method derived, applied to each exercise (exercise-CR10) classified in three categories.
Results. — Weekly TL calculated by the two methods were different 9 weeks on 17 ($P < 0.001$) but showed very linked (ICC = 0.82 [0.79; 0.84]) with the following coefficients of variation: session-CR10: CV = 12.4% and exercise- CR10: CV = 13.7%. The TL quantification of each method has differences ($P < 0.01$), with variations in significance as a function of the number of exercises perceived as difficult in the session. Specific exercises represent 81.5 ± 4.9% of the total TL session, those aerobic 13 ± 4.1% and power 5.4 ± 3.6%. Although the TL session-CR10 method is higher compared to the exercise-CR10, link between the two methods is excellent. Even though this link varies according to the number of exercises perceived as difficult in the session, it suggests that we can follow the TL of players in a similar way with one or the other method. The exercise-CR10 method allows coaches to analyze their sessions with exercises categories and calculate TL less influenced by high intensity exercises.
© 2017 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

1. Introduction

La quantification de la charge d'entraînement (CE) est une préoccupation majeure des entraîneurs. Plusieurs méthodes d'évaluation sont disponibles, en fonction des disciplines sportives. Celles-ci s'appuient sur différents marqueurs de volume et/ou d'intensité [1] : fréquence cardiaque (FC) [2,3], perception de l'effort [4,5], lactate sanguin [6], endurance limite [7] et plus récemment certaines variables *globaux positioning system* (GPS) [8,9]. Le choix de la méthode se fait en fonction du type de sollicitation induit par l'activité sportive, mais aussi selon les ressources humaines ou matérielles disponibles [10]. Par exemple, les disciplines à dominante aérobie, peuvent utiliser préférentiellement les méthodes basées sur la FC [2,11]. Dans les disciplines collectives, compte tenu de la grande variété des efforts intermittents de haute intensité, l'utilisation de l'outil GPS augmente régulièrement, bonifiés par les progrès technologiques qui permettent d'obtenir des données de plus en plus précises [12,13]. En parallèle et pour des raisons de faisabilité dans un contexte de haut niveau, la méthode de quantification de la CE la plus utilisée en football est celle basée sur la perception de l'effort (séance-CR10) [10,14,15]. Dans de nombreux sports collectifs, les entraîneurs utilisent cette quantification de la CE pour planifier et ajuster leurs programmes d'entraînement [16,17]. L'échelle de perception de l'effort (CR10) utilisée par Foster et al. [4] est une évolution de celle proposée par Borg [18–20], les cotations de perception de l'effort étant reliées à de multiples paramètres physiologiques (fréquence cardiaque, consommation maximale d'oxygène, lactatémie) [21]. La charge d'entraînement est estimée en multipliant la note de perception de l'effort de fin de séance par la durée de cette même séance.

Si la méthode séance-CR10 a été rapportée comme valide pour les sports collectifs [22], son utilisation pourrait présenter certaines limites. En effet, la séance étant cotée dans sa globalité, il n'est pas possible de distinguer les CE particulières des efforts variés constituant une séance de football (exercices techniques réalisés à allure modérée ou sprint ; exercices prolongés ou intermittents), ni de différencier des séances proposant les mêmes exercices, mais organisés différemment. De plus, si de fortes corrélations entre les CE issues de la méthode séance-CR10 et celles provenant des méthodes basées sur la fréquence cardiaque ont été observées pour des exercices d'intensité basse à modérée [23], le niveau de corrélation pourrait être bien plus faible pour des efforts réalisés à haute et très haute intensité [14,23,24]. À notre connaissance, une quantification par exercice basée sur la perception de l'effort n'a pas été proposée jusqu'à présent. Une telle utilisation pourrait améliorer le niveau de précision des séances d'entraînement.

Peu d'études semblent avoir exploré la périodisation des CE issues de différentes méthodes de quantification en football. Les travaux de Malone et al. [25] portent sur l'analyse de 42 semaines d'une équipe de l'élite anglaise (présaison et période de compétition), mais ces derniers ne présentent que des valeurs moyennes quotidiennes d'entraînement. Deux autres études présentent des valeurs de perception de l'effort d'une semaine type [26] et d'une période de six semaines [27], pour de jeunes joueurs de catégorie U14 à U18. Les CE programmées dans ces catégories d'âge sont

généralement élevées pour atteindre les objectifs de développement des qualités physiques et techniques et diffèrent sensiblement de ce qui se fait dans l'élite.

L'objectif de notre étude est de quantifier la CE de footballeurs professionnels lors d'une période de 17 semaines de compétition en utilisant la méthode globale (séance-CR10) et une méthode dérivée de celle-ci, mais appliquée à chacun des exercices d'entraînement (exercice-CR10).

2. Méthode

Cette étude a été réalisée avec une équipe professionnelle française de football, lors de la phase retour de championnat de Ligue 1 (de janvier à mi-mai), période caractéristique de l'entraînement habituel où les variations sont bien moindres qu'en début de saison à la suite de la période de préparation.

2.1. Sujets

Vingt-quatre joueurs professionnels (26,8 ± 4,8 ans ; 76,9 ± 6,8 kg ; 180,7 ± 5,4 cm) ont participé à cette étude. Tous les sujets ont passé une visite médicale en début de saison et ont été informés du protocole et des objectifs de l'étude.

2.2. Protocole expérimental

Les séances d'entraînement ont eu lieu sur deux types de surfaces de jeu (terrain en herbe et surface synthétique), dans différentes conditions climatiques (−2 °C à 20 °C). Chaque entraînement a eu lieu en journée (le matin à 10 h et/ou l'après-midi à 15h30). Les matchs de compétition ont eu lieu généralement à 20 h ou l'après-midi (samedi ou dimanche), en fonction du calendrier de la Ligue de football professionnelle.

Soixante-dix-huit séances d'entraînement ont été réalisées par un groupe de 24 footballeurs au cours de 17 semaines de compétition. Le nombre de joueurs participant aux séances étant variable (blessures, absences, transferts, sélections, mises à la disposition de l'équipe réserve), ce sont au final 829 séances individuelles qui ont été analysées.

La perception de l'effort a été relevée en utilisant l'échelle CR10 décrite par Borg [28] et modifiée par Foster et al. [4]. Trente minutes après la fin de l'entraînement, les joueurs devaient évaluer les séances en utilisant CR10 graduée de 0 à 10 (repos : 0, effort maximal : 10) (Tableau 1). Cette notation s'est effectuée en deux étapes : dans un premier temps, chaque exercice était évalué séparément, puis la séance l'était par une note globale. Les données quotidiennes, transmises via Smartphones ou directement sur ordinateur, ont été collectées en utilisant le logiciel HBS Manager© (version bêta, France).

Les différents exercices ont été classés en 3 catégories pour analyser leur distribution :

- jeux et exercices spécifiques football qui regroupent tous les jeux d'opposition avec gardiens, jeux de conservation, exercices techniques et tactiques ;
- exercices d'endurance qui intègrent les exercices à dominante endurance aérobie prolongée et ceux spécifiques au développement de la puissance maximale aérobie ;
- exercices de puissance et de vitesse maximales qui rassemblent les exercices de puissance, de force—vitesse et d'appuis—coordination.

Tableau 1 Échelle de perception de l'effort (CR10). Trente minutes après la fin de l'entraînement, la question suivante a été posée à chaque joueur « Comment avez-vous ressenti la difficulté de l'effort (ou de l'exercice) ? ».

Score	Description
0	Repos
1	Très, très facile
2	Facile
3	Modéré
4	Légèrement difficile
5	Difficile
6	–
7	Très difficile
8	–
9	–
10	Maximum

2.3. Quantification de la charge d'entraînement

Le calcul des CE avec la méthode séance-CR10 consiste à multiplier la perception de l'effort issue de CR10 par la durée entière des séances (en minutes), selon l'équation suivante :

CE = durée × CR10, le résultat est exprimé en unité arbitraire (u.a).

Pour le calcul des CE avec la méthode exercice-CR10, l'équation suivante a été utilisée :

CE = durée exercice1 × CR10 Exercice1 + durée Exercice2 × CR10 Exercice2 ... Tous les sujets ont été familiarisés avec cette échelle durant une semaine avant le début de l'étude (mois de décembre).

2.4. Analyse statistique

La normalité des distributions a été vérifiée à l'aide du test de Kolmogorov-Smirnov. Les différences statistiques de CE entre les méthodes séance-CR10 et exercice-CR10, celles entre les joueurs titulaires et remplaçants ainsi que celles entre séances avant-veille de match ont été réalisées avec le test « t » de Student pour données appariées. L'échelle proposée par Cohen [29] a permis d'interpréter les tailles de l'effet. La magnitude des différences a été considérée comme petite (0,2), moyenne (0,5), ou large (0,8). Une analyse de variance (Anova) à deux voies répétées (semaine 1 vs. semaine 2 et séance-CR10 vs. exercice-CR10) a été utilisée pour déterminer les différences de CE entre les semaines, calculées avec les deux méthodes de quantification. Les moyennes des CE hebdomadaires ont été également comparées avec les coefficients de variation (CV) exprimés en pourcentages. Lorsqu'un effet significatif était observé, un test post-hoc de Tukey a été utilisé.

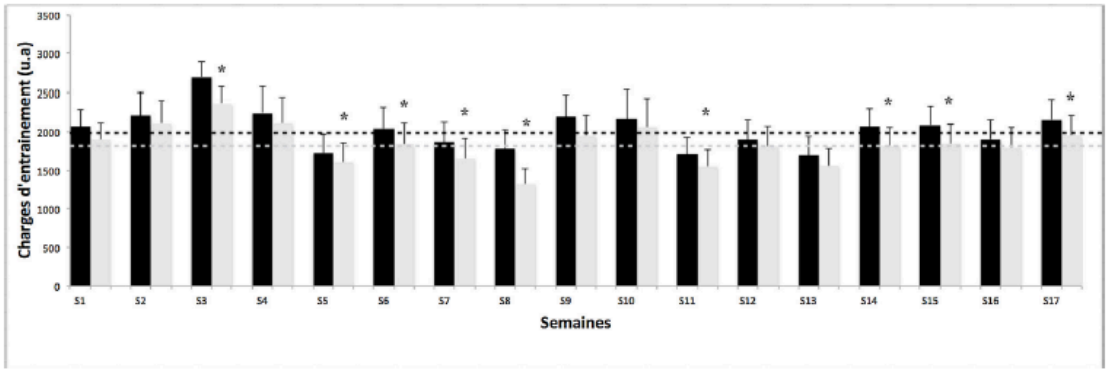


Figure 1 Charges d'entraînement hebdomadaires calculées avec les méthodes séance-CR10 (barres noires) et exercice-CR10 (barres grises) de semaine 1 (S1) à semaine 17 (S17). Ligne discontinue noire pour moyenne des CE de la méthode séance-CR10 et ligne discontinue grise pour moyenne des CE de la méthode exercice-CR10. * : différence significative entre les CE provenant des deux méthodes.

La concordance des deux méthodes de mesures des CE a été déterminée par la magnitude du coefficient de corrélation intraclasse (ICC). L'échelle proposée par Cicchetti a été utilisée [30]. Ces magnitudes ont été considérées comme : faible (moins de 0,40), moyenne (0,40 à 0,59), bonne (0,60 à 0,74) ou excellente (0,75 à 1,00). Les différences significatives ont été présentées en valeur du paramètre mesuré, correspondant à un intervalle de confiance de 95 % (CI_{95}). Les analyses statistiques ont été réalisées en utilisant le logiciel R (version 3.2.3, France). Le seuil de significativité statistique a été fixé à $p < 0,05$.

3. Résultats

3.1.1. CE hebdomadaires

Les CE hebdomadaires calculées avec la méthode séance-CR10 et exercice-CR10 montrent des différences durant 9 semaines sur 17 (Fig. 1 ; respectivement $F = 8,12$ et 9,53, $p < 0,001$). Les moyennes des CE hebdomadaires sont différentes (séance-CR10, 2030,9 ± 253 u.a et CV = 12,4 % ; exercice-CR10 1839 ± 252 u.a et CV = 13,7 %).

Ces CE issues des deux méthodes présentent le niveau de concordance suivant : ICC = 0,82 (0,79 ; 0,84]). La méthode exercice-CR10 permet d'observer les variations des CE selon le type d'exercice réalisé (Fig. 2A) et les proportions de ces exercices dans la CE totale : les exercices spécifiques au football représentent 81,5 ± 4,9 % de la CE totale, les exercices dédiés à l'endurance (prolongée et puissance aérobie) 13 ± 4,1 % et ceux de puissance et de vitesse maximales apparaissent pour une proportion faible (5,4 ± 3,6 %) (Fig. 2B).

Les CE individuelles évaluées varient en fonction du statut de joueur titulaire ou remplaçant ($p < 0,001$; séance-CR10 (1814 ± 342 u.a ; 1420 ± 240 u.a.), IC (352 ; 585), $d = 1,39$; exercice-CR10 (1694 ± 315 u.a ; 1232 ± 236 u.a), IC (317 ; 587), $d = 1,16$).

Les CE des séances de la semaine d'entraînement présentent des différences significatives entre les deux méthodes, ($p < 0,001$; IC (31,63 ; 57,06), $d = 1,20$), à l'exception des séances se déroulant l'avant-veille de match ($p = 0,053$).

3.1.2. Composition des séances

Sur un total de 829 séances individuelles, 228 comprenaient au moins un exercice d'intensité perçue comme « difficile » (CR10 ≥ 5), 601 séances n'en comprenaient aucun. Les valeurs des CE des séances ne comportant pas d'exercice à haute intensité, calculées par les deux méthodes, présentent des différences ($p < 0,001$; ICC = 0,81 [0,79 ; 0,84]), tout comme celles qui en intègrent un ($p < 0,003$; ICC = 0,73 [0,65 ; 0,81]) et celles qui en comportent plus de 2 ($p < 0,001$; ICC = 0,34 [0,23 ; 0,46]) (Fig. 3).

4. Discussion

Notre étude est la première à présenter les CE d'une équipe professionnelle de football, calculées grâce à deux méthodes de quantification basées sur la perception de l'effort lors d'une période prolongée. Les deux résultats principaux amènent aux constats suivants :

- la méthode séance-CR10 présente des CE hebdomadaires et quotidiennes supérieures à la méthode exercice-CR10, le nombre d'exercices perçus comme difficiles dans la séance expliquant, en partie, la variabilité des niveaux de concordance entre les deux méthodes ;
- les deux méthodes fournissent des CE avec des coefficients de variation proches, ce qui offre aux entraîneurs une alternative validée de quantification par exercice.

4.1. Méthode séance-CR10 vs. exercice-CR10 : des CE de séances différentes et de concordances variables, en fonction du nombre d'exercices « difficiles »

La méthode séance-CR10 fournit des CE plus hautes que celles issues de la méthode exercice-CR10 notamment

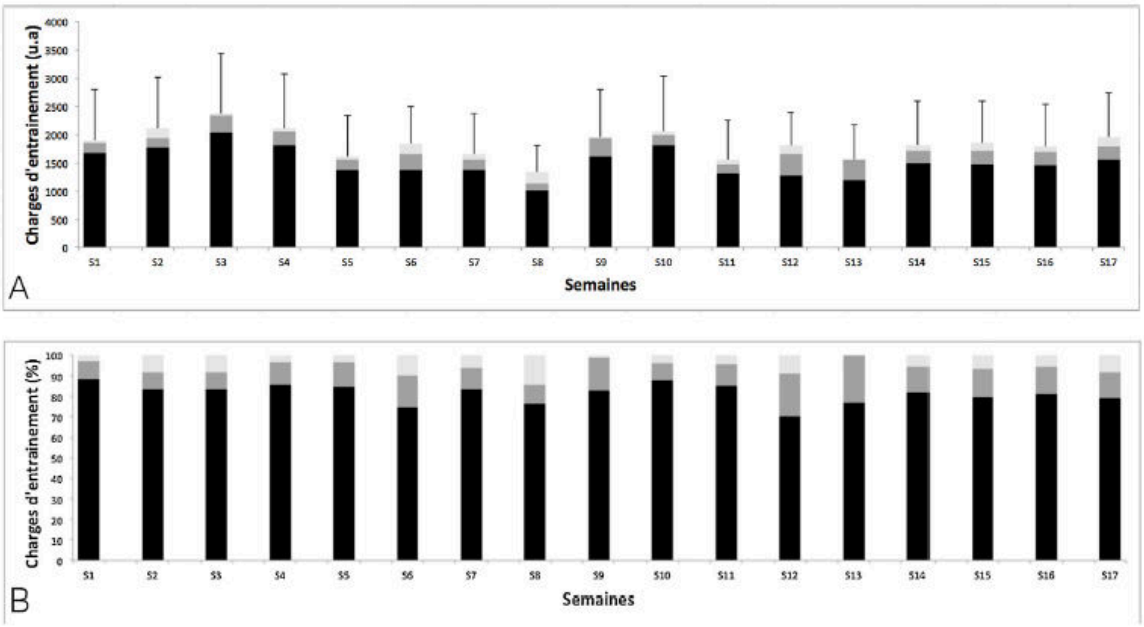


Figure 2 Charges d'entraînement hebdomadaires par catégorie d'exercice en unités arbitraires (A) et répartition en pourcentage (B) selon la méthode exercice-CR10 de semaine 1 (S1) à semaine 17 (S17). Exercices spécifiques au football (barre noire), exercices d'endurance (barre gris foncé), exercice de puissance et vitesse maximales (barre gris clair).

lorsque des exercices difficiles (RPE $\geq$ 5) composent la séance. Les concordances et différences de quantification des CE entre les deux méthodes semblent en effet dépendre du nombre d'exercices perçus comme difficiles dans la séance. Plus ces derniers sont nombreux, plus les différences de quantification sont significatives et plus les coefficients de corrélation intraclasse sont bas. Cela suggère l'existence d'un gradient dans les concordances entre les CE des deux méthodes, ces dernières diminuant avec l'augmentation du nombre d'exercices difficiles dans la séance. La CE calculée par la méthode séance-CR10 étant le produit de perception de l'effort multiplié par la durée totale de la séance, l'exercice difficile prend une place majeure dans la CE calculée. En effet, lorsqu'un ou plusieurs exercices sont perçus comme très difficiles au cours de la séance, les joueurs ne peuvent pas toujours bien récupérer entre chacun d'eux, la fatigue s'installe et pourrait influencer la réalisation et la perception des exercices restants [31]. Dans ce cas, il est primordial que les entraîneurs portent une attention toute particulière à l'organisation de l'entraînement et proposent une succession d'exercices permettant d'atteindre les objectifs qualitatifs et quantitatifs visés.

À l'inverse, il semblerait que la quantification par exercice réduise l'influence des exercices difficiles sur les valeurs de CE de la séance. La méthode de quantification par exercice permet de percevoir un exercice difficile, ce qui conduit à une CE élevée pour l'exercice en question, en relation à sa propre durée et non à la durée de l'ensemble de la séance. Les CE totales des séances issues de la méthode exercice-CR10 sont donc moins influencées par la présence d'exercices difficiles que la méthode globale. Il est à noter que cette méthode a été développée lorsque la plupart des auteurs considéraient la perception de l'effort comme un indicateur de la seule intensité de l'exercice [4,28]. Depuis, de nombreux travaux ont démontré que la perception de l'effort correspondait à la distance ou à la durée relative aux capacités d'un individu pour une intensité donnée [32,33]. La perception de l'effort combine à la fois intensité et durée d'exercice. Plus récemment, une étude d'Agostinho et al. [34] a étudié la qualité d'ajustement entre les CE programmées et les performances réalisées (entraînements et compétitions) par des judokas. La qualité d'ajustement était meilleure avec la simple prise en compte de la valeur de perception de l'effort comme indicateur de CE qu'après multiplication de la perception de l'effort par la durée d'exercice. Ainsi, la CE pourrait être quantifiée par la seule utilisation de la perception de l'effort (par séance ou par exercice).

4.2. Méthode séance-CR10 vs. exercice-CR10 : des quantifications de CE hebdomadaires avec des concordances satisfaisantes

Les quantifications des CE varient entre les méthodes séance-CR10 et exercice-CR10, avec des différences significatives pour 9 semaines sur 17. Si les CE sont globalement différentes, les concordances entre les deux méthodes sont majoritairement de bonnes à excellentes. Les variations de charge étant sensiblement constantes (Fig. 1), l'organisation hebdomadaire des CE serait évaluée de la même manière avec les deux méthodes. Comme indiqué par les coefficients de variation, les variations

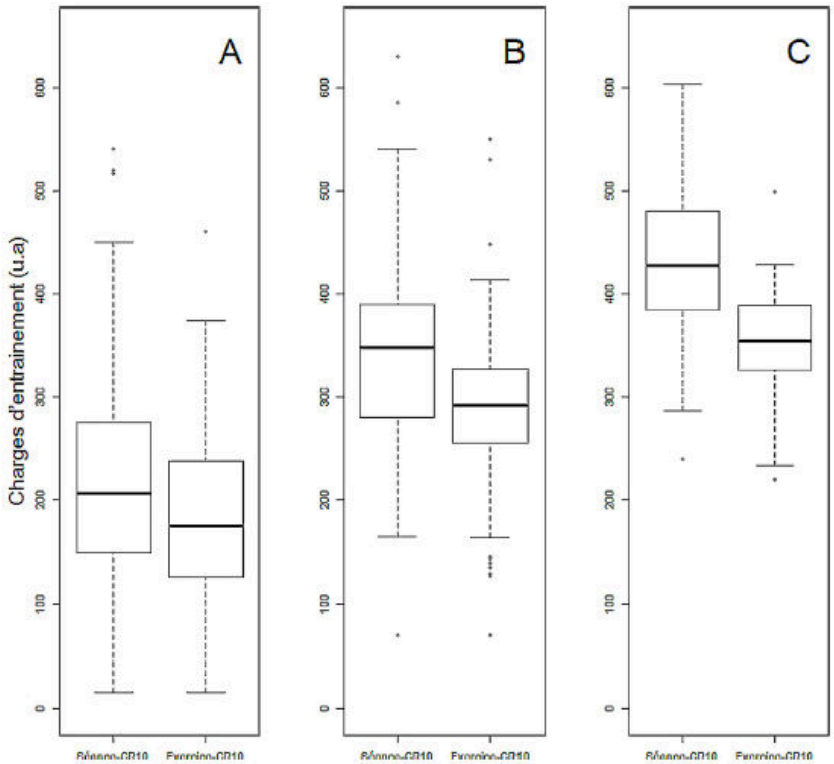


Figure 3 Charges d'entraînement pour les méthodes séance-CR10 et exercice-CR10 selon la présence d'exercices difficiles dans la séance. A. Séances sans exercice difficile. B. Séances comportant un exercice difficile. C. Séances comportant plus de deux exercices difficiles. Lignes noires pour la médiane et points noirs pour les valeurs aberrantes.

moyennes de charges hebdomadaires sont de l'ordre de 12 à 14 % selon la méthode employée. Cependant, certaines semaines présentent des augmentations (semaine 3) et des baisses (semaine 13) plus marquées, avec des différences entre les méthodes qui semblent notables (maximum d'augmentations et de baisses enregistrées par rapport à la moyenne pour séance-CR10 : +30 et −17 % et pour exercice-CR10 : +28 et −28 %). Ces variations de CE hebdomadaires répondent à des choix de stratégiques de programmation, à l'état de forme du moment des joueurs et/ou aux contraintes du calendrier des matchs de compétition. Comme les CE sont quantifiées à posteriori, les variations ne sont pas forcément celles qui sont recherchées et peuvent conduire dans certains cas à des erreurs d'ajustement. Il est à noter, qu'à l'origine, Foster et al. dans leurs premiers travaux (1998), proposaient des outils associés au calcul de CE par la méthode séance-CR10 [4]. Parmi ces outils, un calcul de monotonie de la CE hebdomadaire (moyenne des CE/écarts-types des CE) était proposé et des valeurs de monotonie supérieures à 2 étaient considérées par les auteurs comme négatives pour la préparation des sportifs. Dans notre étude, la monotonie moyenne des CE hebdomadaires était de 1,03 (±0,15), bien en dessous de la valeur suggérée comme critique. Sur des périodes de plusieurs semaines, le modèle étiologique de Windt et Gabbett permet d'optimiser la compréhension des adaptations positives et négatives des CE [35,36]. Ces auteurs proposent l'utilisation d'un ratio (« *acute: chronic workload ratio* ») pour identifier les risques potentiels de blessures suite à une variation trop importante d'une CE hebdomadaire par rapport à la moyenne de celles des trois semaines précédentes. Dans notre étude, ce ratio présente une valeur moyenne de 1,04 (±0,14), alors qu'une augmentation significative du risque de blessure a été rapportée pour des valeurs supérieures à 1,5 [36]. Il est à noter que les valeurs de monotonie et de « *l'acute: chronic ratio* » sont presque identiques, alors qu'elles semblent se fonder sur deux analyses opposées. En effet, la monotonie met en lumière le risque de programmer des CE sans contrastes, alors que « *l'acute: chronic ratio* » prévient des risques de contraste de CE trop importants.

La principale limite de la méthode de quantification séance-CR10 repose sur le fait qu'elle ne permet pas une analyse de l'entraînement et des exercices qui y sont réalisés. La méthode exercice-CR10 permet d'observer les variations de CE au cours de la séance. Dans le programme de l'équipe observée, une très forte proportion de la CE est atteinte grâce à des exercices spécifiques au football, qui combinent de nombreuses exigences de ce sport (jeux réduits, jeux de conservation, oppositions avec gardiens de

but). Les exercices mettant en avant l'endurance ou ceux privilégiant la puissance ou la vitesse maximale apparaissent donc dans des proportions plus réduites. Ces différences sont donc en parties dues à la catégorisation des exercices retenue dans la mesure où il est difficile de distinguer dans des exercices spécifiques au football le travail de sprint, d'endurance, de coordination ...

Cette étude nous permet d'initier des réflexions et analyses de la composition du programme d'entraînement qui sont impossibles lorsque la méthode séance-CR10 est utilisée. Par exemple, aucune semaine n'observe une proportion d'exercices spécifiques inférieure à 70 % de la CE totale. En outre, si dans certaines semaines la CE des exercices de puissance ou vitesse maximale peut être nulle, ce n'est pas le cas des exercices d'endurance. Ces résultats suggèrent donc que le travail d'endurance prend une part importante dans la programmation des CE ou que les exercices spécifiques au football intègrent plus facilement le travail de sprint ou de puissance maximale.

D'importantes différences de CE ont également été relevées entre les joueurs, principalement en fonction de leur statut de titulaire ou de remplaçant. Les séances complémentaires visant à compenser le manque de temps de jeu, ne suffisent pas à équilibrer les CE totales hebdomadaires entre ces deux catégories de joueurs. Quelques soit leur temps de jeu en match, les CE des joueurs remplaçants sont inférieures à celles des titulaires (séance-CR10, −24,11 % et exercice-CR10, −28,73 %). La programmation d'opposition à onze contre onze dans les 48 h suivant un match officiel, comme cela est le cas lors des tournois internationaux, pourrait être une bonne alternative aux séances de compensation qui s'avèrent au final insuffisantes. Ces oppositions pourraient s'organiser avec l'équipe réserve (centre de formation) dans les structures professionnelles ou ponctuellement avec des clubs partenaires dans le milieu amateur.

En résumé, l'intérêt principal d'une nouvelle méthode exercice-CR10 repose principalement sur la plus value apportée par la connaissance des CE spécifiques de chacun des exercices, validées par comparaison des coefficients de variation avec la méthode séance-CR10. L'entraîneur peut ainsi programmer plus facilement ses séances en s'appuyant sur une base de données organisée par catégories technico-tactiques et/ou dominantes athlétiques, qu'il enrichira dans le temps. Le fait de quantifier par séquence permet également de mieux comprendre l'effet d'un exercice sur un autre, et le cas échéant, de les planifier spécifiquement en fonction des objectifs physiques, mais aussi techniques et tactiques. Enfin, les variations de l'état psychologique des joueurs professionnels au cours de la saison (un statut de remplaçant, un avenir sportif incertain), peuvent influencer la perception globale d'une séance [37]. Une évaluation centrée plus précisément sur chacun des exercices pourrait limiter cette influence négative de l'humeur des sportifs (à prendre en compte par ailleurs) sur la quantification des CE des séances [38]. La méthode exercice-CR10 nécessite un peu plus de temps pour la notation et fait appel à un effort de mémoire plus important et pourrait être plus exigent. Pour cette raison, il serait judicieux de préconiser l'affichage du contenu de la séance avant l'entraînement, afin que les joueurs intègrent au préalable les exercices et la construction de celle-ci.

5. Conclusion

Notre étude est la première à présenter les CE d'une équipe professionnelle de football sur plusieurs mois de compétition, notamment en présentant la composition des séances. Nos résultats démontrent que la méthode séance-CR10 évalue des CE supérieures par rapport à la méthode exercice-CR10. La concordance entre les CE hebdomadaires est excellente alors que les concordances des CE des séances varient selon le nombre d'exercices perçus comme difficiles au cours de la séance. Les deux méthodes présentent cependant des coefficients de variation des CE proches, l'ensemble de nos résultats suggérant que l'on peut utiliser l'une ou l'autre méthode pour le suivi de l'entraînement des joueurs. Contrairement à la méthode séance-CR10, la méthode exercice-CR10 permet aux entraîneurs de distinguer les compositions des séances et d'avoir une analyse de leurs effets plus précise. Elle permet enfin de vérifier si les charges prescrites ont bien été atteintes en analysant individuellement les cotations des exercices cibles et de calculer une CE totale de séance moins influencée par le ou les exercices difficiles.

Pour conforter l'utilisation de cette nouvelle méthode exercice-CR10, il semblerait pertinent d'analyser les relations entre les CE issues de cette méthode et les données fournies par des outils technologiques tels que les GPS et/ou les délais de récupération des sportifs.

Déclaration de liens d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

Remerciements

Les auteurs remercient la Fédération française de football (FFF) pour son soutien financier.

Références

[1] Morin S. Modeling of training effects: review of carious studies. Sci Sports 2014;29:237—47.
[2] Banister EW. Modeling elite athletic performance. Physiological testing of elite athletes; 1991.
[3] Edwards S. High performance training and racing. The heart rate monitor book; 1993. p. 113—23.
[4] Foster C, Florhaug JA, Franklin J, Gottschall L, Hrovatin LA, Parker S, et al. A new approach to monitoring exercise training. J Strength Cond Res 2001;15(1):109—15.
[5] Garcin M, Vandewalle H, Monod H. A new rating scale of perceived exertion based on subjective estimation of exhaustion time: a preliminary study. Int J Sports Med 1999;20(1):40—3.
[6] Mujika I, Busso T, Lacoste L, Barale F, Geyssant A, Chatard JC. Modeled responses to training and taper in competitive swimmers. Med Sci Sports Exerc 1996;28(2):251—8.
[7] Desgorces FD, Senegas X, Garcia J, Decker L, Noirez P. Methods to quantify intermittent exercises. Appl Physiol Nutr Metab 2007;32(4):762—9.
[8] Buchheit M, Al Haddad H, Simpson BM, Palazzi D, Bourdon PC, Di Salvo V, et al. Monitoring accelerations with GPS in football: time to slow down? Int J Sports Physiol Perform 2014;9(3):442—5.

[9] Barbero-Alvarez JC, Coutts A, Granda J, Barbero-Alvarez V, Castagna C. The validity and reliability of a global positioning satellite system device to assess speed and repeated sprint ability (RSA) in athletes. J Sci Med Sport 2010;13(2):232—5.
[10] Akenhead R, Nassis GP. Training load and player monitoring in high-level football: current practice and perceptions. Int J Sports Physiol Perform 2016;11(5):587—93.
[11] Desgorces FD, Noirez P. Quantifying continuous exercise using the ratio of work completed to endurance limit associated with exercise-induced delayed-onset muscle soreness. Percept Mot Skills 2008;106(1):104—12.
[12] Boyd LJ, Ball K, Aughey RJ. The reliability of MinimaxX accelerometers for measuring physical activity in Australian football. Int J Sports Physiol Perform 2011;6(3):311—21.
[13] Cunniffe B, Proctor W, Baker JS, Davies B. An evaluation of the physiological demands of elite rugby union using Global Positioning System tracking software. J Strength Cond Res 2009;23(4):1195—203.
[14] Impellizzeri FM, Rampinini E, Coutts AJ, Sassi A, Marcora SM. Use of RPE-based training load in soccer. Med Sci Sports Exerc 2004;36(6):1042—7.
[15] Kelly DM, Strudwick AJ, Atkinson G, Drust B, Gregson W. The within-participant correlation between perception of effort and heart rate-based estimations of training load in elite soccer players. J Sports Sci 2016;34(14):1—5.
[16] Manzi V, D'Ottavio S, Impellizzeri FM, Chaouachi A, Chamari K, Castagna C. Profile of weekly training load in elite male professional basketball players. J Strength Cond Res 2010;24(5):1399—406.
[17] Gabbett TJ, Jenkins DG. Relationship between training load and injury in professional rugby league players. J Sci Med Sport 2011;14(3):204—9.
[18] Borg G. Perceived exertion as an indicator of somatic stress. Scand J Rehab Med 1970;2(2):92—8.
[19] Borg G. The perception of muscular work, 5. Publication Umeâ University; 1960. p. 1—27.
[20] Borg G, Physical performance, perceived exertion. Studia psychologica et paedagogoca. Series altera INVESTIGATIONES XI; 1962.
[21] Eston R. Use of ratings of perceived exertion in sports. Int J Sports Physiol Perform 2012;7(2):175—82.
[22] Fanchini M, Ferraresi I, Modena R, Schena F, Coutts AJ, Impellizzeri FM. Use of CR100 Scale for Session-RPE in Soccer and Interchangeability With CR10. Int J Sports Physiol Perform 2016;11(3):388—92.
[23] Alexiou H, Coutts AJ. A comparison of methods used for quantifying internal training load in women soccer players. Int J Sports Physiol Perform 2008;3(3):320—30.
[24] Borresen J, Lambert MI. Quantifying training load: a comparison of subjective and objective methods. Int J Sports Physiol Perform 2008;3(1):16—30.
[25] Malone JJ, Di Michele R, Morgans R, Burgess D, Morton JP, Drust B. Seasonal training-load quantification in elite English premier league soccer players. Int J Sports Physiol Perform 2015;10(4):489—97.
[26] Wrigley R, Drust B, Stratton G, Scott M, Gregson W. Quantification of the typical weekly in-season training load in elite junior soccer players. J Sports Sci 2012;30(15):1573—80.
[27] Akubat I, Patel E, Barrett S, Abt G. Methods of monitoring the training and match load and their relationship to changes in fitness in professional youth soccer players. J Sports Sci 2012;30(14):1473—80.
[28] Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. Med Sci Sports Exerc 1982;14(5):377—81.
[29] Cohen J. Statistical power analysis for the behavioral sciences. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, Hillsdale; 1988.
[30] Cicchetti DV, Guidelines. Criteria, and rules of thumb for evaluating normed and standardized assessment instruments in psychology. Am Psychol Assoc 1994;6(4):284—90.
[31] Eston R, Faulkner J, St Clair Gibson A, Noakes T, Parfitt G. The effect of antecedent fatiguing activity on the relationship between perceived exertion and physiological activity during a constant load exercise task. Psychophysiology 2007;44(5):779—86.
[32] Noakes TD. Rating of perceived exertion as a predictor of the duration of exercise that remains until exhaustion. Br J Sports Med 2008;42(7):623—4.
[33] Joseph T, Johnson B, Battista RA, Wright G, Dodge C, Porcari JP, et al. Perception of fatigue during simulated competition. Med Sci Sports Exerc 2008;40(2):381—6.
[34] Agostinho MF, Philippe AG, Marcolino GS, Pereira ER, Busso T, Candau RB, et al. Perceived training intensity and performance changes quantification in judo. J Strength Cond Res 2015;29(6):1570—7.
[35] Windt J, Gabbett TJ. How do training and competition workloads relate to injury? The workload-injury aetiology model. Br J Sports Med 2017;51(8):428—35.
[36] Windt J, Gabbett TJ, Ferris D, Khan KM. Training load—injury paradox: is greater preseason participation associated with lower in-season injury risk in elite rugby league players? Br J Sports Med 2017;51(8):645—50.
[37] Lane A. Relationships between perceptions of performance expectations and mood among distance runners: the moderating effect of depressed mood. J Sci Med Sport 2001;4(1):116—28.
[38] Hooper SL, Mackinnon LT, Howard A, Gordon RD, Bachmann AW. Markers for monitoring overtraining and recovery. Med Sci Sports Exerc 1995;27(1):106—12.

Original Paper DOI: Biol. Sport 2017;34:pp-pp

Effects of intensity distribution changes on performance and on training loads quantification

AUTHORS: Hourcade Jean-Christophe[1,2], Noirez Philippe[1,2], Sidney Michel[3], Toussaint Jean-François[1,2], Desgorces François[2,4]

[1] Université Paris Descartes, Paris, France
[2] IRMES, EA7329, INSEP, Paris, France
[3] Université de Lille, EA7369, URePSSS "Unité de Recherche Pluridisciplinaire Sport Santé Société", Lille, France
[4] University of Limoges, Sciences and technology faculty, Brive-la-Gaillarde, France

Corresponding author:
Jean-Christophe Hourcade
IRMES, INSEP, 11 av. Tremblay
75012 PARIS
France
E-mail: hourcade.jeanchristophe@neuf.fr

ABSTRACT: The present study analyses the effects of the high-intensity distribution change within sessions on physical performance and on training loads (TL) provided by quantification methods based on heart rate (HR) and on whole body indicators of exercise-induced physiological stress. Fourteen trained physical education students (21.9±1.2 years, 68.3±7.9 kg, 180±7.3 cm) performed two sessions with the same intensities, volumes and pauses but differing in the efforts' intensity distribution: one was composed of exercises dissociating the intensities (12 repetitions of 30 m sprints then 12 min interval runs) and the second mixed the intensities (30 m sprint followed by 60 s rest and 2 runs of 15 s-15 s at 100% and 50% of maximal aerobic velocity – MAV). Session TL was calculated using methods based on heart rate zones, training impulse, ratings of perceived exertion (session RPE) and endurance limit. Session-induced fatigue was observed using performances in repeated sprints and counter-movement jumps. The heart rate zone method provided higher TL for the mixed session (p=0.007), while training impulse described similar TL for the two sessions (p=0.420). The endurance limit method showed borderline significantly higher TL in dissociated sessions (p=0.058) and session RPE provided similar but the largest differences between sessions' TL (p=0.001). The dissociated session induced larger losses in counter-movement jumps (p=0.010) but lower speed decreases in sprints (p=0.007). Change in intensity distribution within sessions induced contradictory effects on performances and on TL quantification according to the method used. When high intensities are programmed, methods based on heart rate may present limitations for TL quantification, as such methods based on whole body indicators of exercise-induced physiological stress should be preferred.

CITATION: Hourcade JC, Noirez P, Sidney M et al. Effects of intensity distribution changes on performance and on training loads quantification. Biol Sport. 2017;34(4):xx-xx

Received: 2017-; Reviewed: 2016-; Re-submitted: 2016-; Accepted: 2016-; Published: 2017-.

Key words:
Rating of perceived exertion
Training programmes
Heart rate
Methodology
Physical conditioning

INTRODUCTION

According to modern sports history and to the differences observed between the competitive levels, it can be assumed that athletes increase their training loads (TL) to enhance their performance. Therefore, many authors assume that the relationship between training and performance can be reduced to a simple dose-response relationship [1, 2]. Surprisingly, if the methods and tools for the response measurements are largely available (measurements of physiological, physical or sport performances) the measurement of the training dose appears less evident [3, 4]. In the scientific literature, training is described and quantified by training volume (quantities) or by TL [4-6]. When training volume is used, volumes performed at low intensities are likely to be highly elevated, over-expressing low intensity volumes, which leads scientists and coaches to delineate volumes according to specific intensity zones [6, 7]. Conversely, TL has to express in a single value the exercise-induced physiological stress imposed on athletes by combining the exercise intensity, volume and density (i.e. exercise frequency) [5, 8]. To investigate the relationship between training and performance, this physiological stress is preferably expressed relative to the individual capabilities that can be identified as "internal TL" [8]. In some TL quantification methods, TL is the result of the multiplication of the exercise duration by a parameter describing the exercise intensity, which is, in some cases, the exercise heart rate (HR) [9, 10] or the session rating of perceived exertion (RPE) [11-13]. Other methods are based on the total cumulated work / endurance limit ratio [3] and, more recently, on new technologies such as the Global Positioning System [14, 15]. To date, published data provided by the new technological devices are not expressed relative to individual capabilities. Therefore, some TL quantification methods are based on one specific physiological parameter (HR), while others are based

on the larger assessment of the exercise-induced physiological stress (perceived exertion or level of endurance limit).

The first scientific method of TL quantification was developed for aerobic exercises and was based on HR records [2]. Thereafter, the validity of the RPE-based method has been tested by comparison with HR-based methods, suggesting that the exercises observed were still performed on an aerobic basis [11, 16]. Nevertheless, modern training largely uses high-intensity intervals to promote aerobic power and strength improvements [17]. Furthermore, whilst some training sessions may be composed of a separate distribution of exercise intensities according to the targeted physical capability (i.e., sprint, strength or endurance exercises being dissociated) [18, 19], other sessions may prescribe a mixed distribution of intensities modifying the effort [20, 21]. The mixed distribution of intensities within the exercise appears more and more popular in team, racket and combat sports [21]. The aim of this latter exercise type is to promote similar requirements to those of the competitive event. The effect on intensity distribution within the session has largely been reported for changing the physiological responses to exercise, whereas one study did not observe any effect of the intensity distribution change on sessions' TL calculated by the session-RPE method [19, 22]. It could be hypothesized that the accuracy of the TL quantification methods may depend on their components in regards to the composition of the exercise session.

The present study analyses the effects of the high-intensity distribution change within sessions on physical performance and on TL provided by quantification methods based on HR and on whole body indicators of the exercise-induced physiological stress.

MATERIALS AND METHODS

In the study, the TL of high-intensity interval sessions that were organized in dissociated and mixed manners were compared. With this in mind, models of dissociated and mixed efforts were built where the same exercise intensities, durations of work and pauses were prescribed. Each subject completed two testing sessions and two exercise sessions performed in a random order in which models of dissociated and mixed efforts were applied (**Figure 1**). In testing sessions, subjects' maximal physical capacities (maximal aerobic velocity [MAV], and endurance limits) were assessed; these sessions were interspersed by at least 48 h of recovery. This study was performed over a 3-week period.

All the testing and exercise sessions were performed on the same athletics track, in similar weather conditions (10 to 15°C) in the afternoon (starting at 4.00 p.m.), and in each session subjects were verbally encouraged to do their very best. No vigorous exercise was performed 24 h before testing or an exercise session of the study.

Participants

Fourteen physical education students took part in the study (age, 21.9±1.2 years; body mass, 68.3±7.9 kg; height, 180±7.3 cm). Participants physically trained at least 4 times a week and were all engaged in an official competitive sport season. All subjects were medically examined before they read and signed an informed consent form in accordance with the guidelines of the French Sport Sciences ethics committee.

Testing procedures

Each session was preceded by an identical specific warm-up (15 min) composed of low-intensity running, by global and specific muscle movements and by progressive sprints.

In the first testing session, subjects completed a sprint test until exhaustion to determine their endurance limit at maximal speed ($End_{limSprint}$). This test was similar to a Wingate test performed by running including a start performed at an "all out" pace without searching for effort management. Subjects were asked to perform a maximal run of 200 m (on a standard 400 m athletics track), and

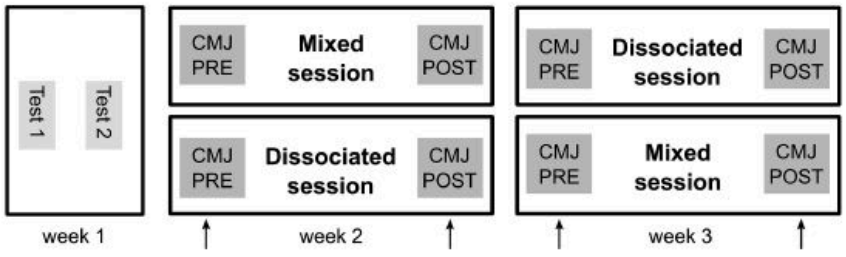


FIG. 1. Study design for weeks 1, 2 and 3. In week 1, testing sessions occurred (test 1 and test 2) and in weeks 2 and 3 dissociated and mixed sessions were performed. Counter-movement jumps (CMJ) were performed at the beginning and the end of the training sessions. Dissociated session: twelve 30 m sprints (pause of 90 s between sprints); 6 min pause; 12 min of interval exercise alternating 15 s at 100% of MAV and 15 s at 50% of MAV. Mixed session consisted in 12 repetitions of a set composed of: 30 m maximal sprint; 60 s pause; 2 runs of 15 s-15 s at 100% and 50% of MAV; 60 s pause.

speeds were assessed each 20 m by a subsequently analysed video recording (LongoMatch software, version 0.18). The individual endurance limit was identified as being the time point where speed loss exceeded 5% of the highest speed observed since the beginning of the test.

After a 20 min rest, subjects performed an incremental exercise test to exhaustion to determine their MAV using the University of Montreal Track Test [23]. The velocity of the first stage was set at 8 $km.h^{-1}$ and was increased by 1 $km.h^{-1}$ every two minutes. The last full stage completed corresponded to the MAV.

The second testing session took place after three days of recovery. Subjects performed, on a standard athletic track, a test to exhaustion at 100% of their individual MAV to determine their endurance limit at this velocity (End_{limMAV}). The individual running velocity was indicated to subjects by beeps.

Exercise sessions

The sessions organized in dissociated and mixed manner were performed by subjects in a random order. The dissociated session consisted firstly of repeated sprints (12 × 30 m at maximal velocity), interspersed with a 90 s rest pause. After the sprint set, a 6 min recovery pause was prescribed. After this pause, 12 min of interval exercise was performed by alternating 15 s at 100% of MAV and 15 s at 50% of MAV.

The mixed session consisted of 12 repetitions of a set composed of: 30 m maximal sprint followed by 60 s rest pause and 2 runs of 15 s-15 s at 100% and 50% of MAV, terminated by a 60 s rest pause. Consequently, intensities of exercises and pauses, and total durations of efforts and of pauses were similar in the models of dissociated and mixed organizations, but obviously the moments within the session when the exercises and pauses occurred were different.

During the sessions, the time assessment of each sprint was assessed using photocells (Polifemo, Microgate, Bolzano, Italy) and electronic chronometers with 0.001 s accuracy (Racetime 2, Microgate, Bolzano, Italy). To quantify the ability to resist fatigue during the repeated-sprint exercises the speed decrease (S_{dec}) was calculated by using the following equation:

$$S_{dec}(\%) = \left\{1 - \frac{(S_1 + S_2 + S_3 + \cdots + S_{final})}{S_{best} \times number of sprints}\right\} \times 100$$

This method is considered as the most valid and reliable method to quantify neuromuscular fatigue in repeated sprints [24].

HR was measured and recorded at rest, as well as every 5 s during each training and testing session, using HR monitors with individually coded HR transmitters to avoid interference (Polar RS400, Kempele, Finland).

Immediately after the warm up and at the end of each session, counter-movement jumps (CMJ) were performed on a Bosco carpet [25]. Subjects performed CMJ four times with twenty seconds of recovery between each jump. Vertical jump standardization was achieved through a 90-degree knee bend, keeping hands on the waist throughout the jump, avoiding undue lateral and frontal movements, and landing with extended legs. Any jump that did not meet the established criteria was excluded from calculations and was repeated. The average value of the three best jumps was used in the analysis to improve the accuracy of measurements, as recommended by Taylor and Cormack [26, 27]. The jump height was chosen as the dependent variable.

TL quantification

The TL of the dissociated and mixed sessions were calculated using four different methods.

The training impulse (TRIMPS) was determined as described by Banister [28] using the following equation: $TRIMP = TD \times HR_r \times 0.64 \times e^{(1.92 \times HR_r)}$; in which TD is the training duration of the effective training session expressed in minutes. HR_r is the HR reserve determined from the following equation: $[(HR_{ts} - HR_b) / (HR_{max} - HR_b)]$ where HR_{ts} is the average training session HR; HR_{max} and HR_b are respectively the maximal and basal HR. HR_b was self-measured in the supine position when the subjects awoke and HR_{max} was measured during the MAV test.

TL was also calculated using the summated heart rate (SHR) zone method as proposed by Edwards [10]. The product of the cumulated training duration (duration in minutes) for five HR zones multiplied by a coefficient relative to each zone was calculated (respectively, 50-60% of HR_{max} = 1; 60-70% HR_{max} = 2; 70-80% HR_{max} = 3; 80-90% HR_{max} = 4; 90-100% HR_{max} = 5). The results obtained for each zone were summed to provide a single "score" for the exercise session.

RPE was obtained using the category ratio scale (CR-10) modified by Foster et al. [11, 29]. Two weeks before the beginning of the study, subjects were familiarized with the CR-10 scale by using it during their training sessions. Subjects were asked to provide a rating (from rest: 0 to maximal exercise: 10) of the exercise every 6 min while exercising, and approximately 30 min after the cessation of the session to ensure that the perceived effort was referred to the whole session rather than the most recent exercise intensity. The sessions' TL was obtained by multiplying the session RPE by the entire duration (in minutes) of the training session: TL=duration x CR-10.

TL was also calculated using the work endurance recovery (WER) method [3]. The cumulated work at a given intensity was expressed relative to the endurance limit (End_{lim}) while the exercise frequency was determined using the work-recovery ratio expressed through the duration of the cumulated recovery periods and of the cumulated work [30, 31]. Then, the TL from the WER method was determined using the following equation: $CE = (CumulatedWork/End_{lim}) + + \ln(1 + DurationCumulatedWork/DurationCumulated\ Recovery)$ in which the cumulated work was calculated for a given exercise session as the sum of the work that had been completed at the intensity required, and End_{lim} was the individual result recorded for the cor-

responding test session. For each session, the cumulated work and End_{lim} were expressed in the same units (i.e., in minutes or seconds). Duration of cumulated recovery and work were calculated from the sum of the tasks completed in a given exercise session and were expressed in seconds.

Statistical analyses

Results are expressed as means ±SD values. Using the Shapiro-Wilk test the normality distribution of the data was assessed. Statistical differences for each parameter values between the two sessions were tested with Student's *t* test for paired data. Significant differences are presented in terms of the parameter estimates and corresponding 95% confidence intervals (CI_{95}). The scale proposed by Cohen [32] was used for interpretation; the following criteria were adopted to interpret the magnitude of the difference between test measures: <0.2 trivial, < 0.2-0.5 small, < 0.5-0.8 medium and >0.8 large. A two-way repeated-factor analysis of variance (ANOVA) was used to determine the differences in RPE records and sprint performances in the two sessions. The Bonferroni correction post hoc test was used when F was significant in the ANOVA according to the Greenhouse–Geisser procedure. Statistical analysis was undertaken using STATISTICA (Version 6.1, StatSoft, France). The level of significance was set at $p<0.05$.

RESULTS

Subjects' performances recorded during the two test sessions were as follow: $End_{limSprint}$ (11.9±0.87s), MAV (16.9±1.02 km.h^{-1}), End_{limMAV} (349±27.78s). **Table 1** reports the results in physical performances recorded over the exercise sessions. The decline in performance in the CMJ was significantly higher for the dissociated session [$t(13)=2.60$, $d=0.69$]. For both sessions a progressive decline in performances appeared throughout the sprints, with a higher speed loss ($F5.22, 91.59=2.214$, $p=0.017$) and a greater speed decrease [$t(13)=2.77$, $d=0.74$] observed in the mixed session.

RPE over the dissociated session were higher than in the mixed sessions, showing a combined effect of the type of session and of the repeated RPE values (**Figure 2**; $F9.42, 101.29=4.843$, $p=0.016$). RPE 30 min after the end of the session was also higher in the dissociated session compared to the mixed one [$t(13)=4.76$, $p=0.018$, IC (0.55; 1.45), $d=1.27$].

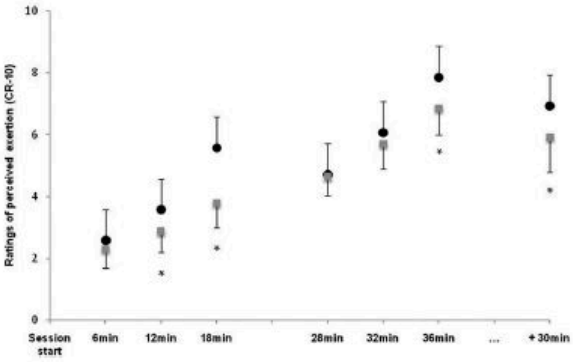


FIG. 2. Ratings of perceived exertion over the dissociated (black dots) and mixed sessions (grey squares), the sessions terminated at 36 min and + 30 min corresponded to the record performed 30 min after the session end. *: Significant differences between the two sessions. At all time points of a given training session a time effect was observed (except from end to +30 min records); for clarity of the figure, this time effect was not graphically presented.

TABLE I. Performances and statistical differences recorded in sprint, counter movement jumps (CMJ) and heart rate in the dissociated and mixed sessions.

Variables	Dissociated session	Mixed session	*t*	*P*	*CI*
Mean sprint times (s)	4.33 ± 0.12	4.38 ± 0.08	2.28	0.019 –	0.08 – 0.002
Sprint speed decreases (%)	0.05 ± 0.13	0.06 ± 0.15	2.77	0.007 –	0.01 – 0.001
CMJ decline (cm)	5.14 ± 1.86	3.69 ± 1.29	2.60	0.01	0.24 2.65
HR mean (bpm)	135.79 ± 5.73	136.07 ± 5.49	0.29	0.38 –	2.39 1.82
HR max (bpm)	192.71 ± 6.57	189.50 ± 5.82	5.16	< 0.001	1.87 4.55
Duration Hr zone 100-90% (s)	236.14 ± 37.53	103.21 ± 40.69	12.04	< 0.001	109.09 156.76
Duration Hr zone 90-80% (s)	541.21 ± 100.22	649.43 ± 74.81	4.99	< 0.001	49.52 166.90
Duration Hr zone 80-70% (s)	628.14 ± 209.55	1015.50 ± 129.77	4.99	< 0.001	219.83 554.88
Duration Hr zone 70-60% (s)	804.93 ± 238.72	676.36 ± 208.51	1.20	< 0.001 –	102.12 359.26
Duration Hr zone 60-50% (s)	779.21 ± 103.38	573 ± 117.22	5.48	< 0.001	124.94 287.48

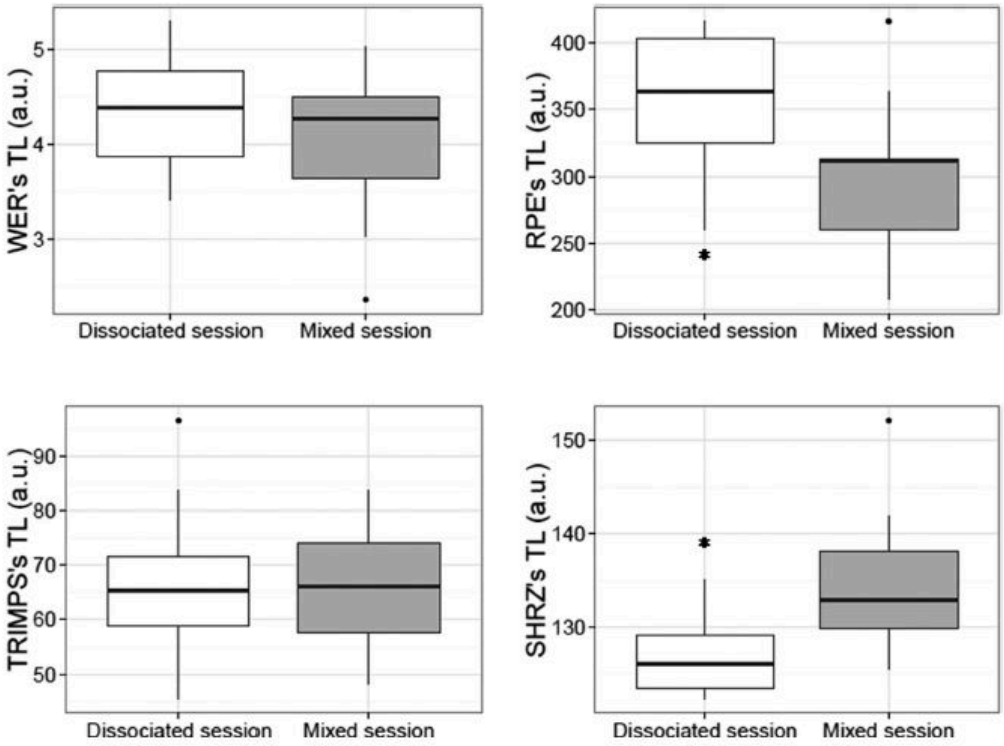


FIG. 3. Box plots for training loads in dissociated and mixed sessions using endurance limit based method (WER, up-left), training impulse method (TRIMP, down left), session ratings of perceived exertion method (RPE, up-right) and summated heart rate zone method (SHRZ, down right). *: Significant differences between the two sessions; TL differences for the WER method were on the verge of statistical significance (p=0.058). Continuous and horizontal black lines for medians, and black dots for outliers.

The two sessions did not exhibit significant differences in the mean HR recorded [$t(13)$=0.29, d=0.007], while HR_{max} was higher in the dissociated session [$t(13)$=5.16, d=1.38]. Longer times spent in the 100-90, 70-60 and 60-50% zones of HR_{max} were observed for the dissociated than for the mixed session [respectively, $t(13)$=12.04, d=3.21; $t(13)$=1.20, d=0.32; $t(13)$=5.48, d=1.46]. Times spent in 90-80 and 80-70% of HR_{max} were higher in the mixed session [respectively, $t(13)$=3.98, d=1.60 and $t(13)$=4.99, d=1.33].

TL calculated from the RPE-based method was higher in the dissociated session than in the mixed one [$t(13)$=4.76, p=0.001, IC (28.45; 75.55), d=1.27; **Figure 3**], while TL from the SHR-zone method was higher in the mixed session [$t(13)$=3.99, p=0.007, IC (3.57; 11.99), d=1.06]. When using the WER method, borderline significantly higher TL in the dissociated than in the mixed session was observed [$t(13)$=1.68, p=0.058, IC (-0.07; 0.61), d=0.44]. TL calculated from the TRIMPS method showed no significant difference between the sessions [$t(13)$=0.19, p=0.420, IC (-4.08;3.39), d=0.05].

DISCUSSION

The aim of the study was to analyse the effects of the dissociated and mixed high-intensity distributions on physical performances and on TL quantifications. Although prescribing the same total work and pauses, the dissociated and mixed intensity distributions have contrasting effects: *i)* similar sessions' mean HR but different times spent in HR zones; and *ii)* a smaller speed decrease in sprints but higher loss in CMJ performances in the dissociated distribution. In addition, for the same sessions, this study revealed marked differences in the TL provided by the four quantification methods.

Methods' components and calculated TL depend on distribution of intensities

The present study is the first to show, for the same sessions, that the TL provided by different quantification methods may greatly differ; the RPE-based and WER methods suggest that the dissociated session results in higher TL, the TRIMP method assumes similar TL for the two sessions, and the SHR-zone method results in lower TL for the dissociated than for the mixed session.

Among the TL quantification methods, those based on HR records have been the first used in the scientific literature and were used to validate new methods proposed thereafter [9-11]. Surprisingly, the TRIMP and SHR-zone methods do not assess the sessions similarly; the first method provides similar TL for the two sessions, whereas the second assumes that the mixed distribution of intensities results in higher TL. According to the fact that these methods are composed of the same component of exercise duration, TL differences result from the intensity component of the methods [2, 4, 11]. The TRIMP method is based on the session's mean HR, while the SHR-zone method is based on an HR-zone coefficient applied to the time spent in each zone [4]. The sessions resulted in similar mean HR resulting in the same TL quantification for the mixed and dissociated sessions when using the TRIMP method. Nevertheless, the time spent in the five HR zones differed between the sessions. The dissociated session presents a longer time spent in the 90-100% zone, suggesting that repeated runs of 15 s with 15 s of active recovery involved a higher level of maximal oxygen consumption [33]. However, time spent in zones 70-80 and 80-90% of HR_{max} are higher in the mixed session, resulting in the fact that the SHR-zone method provides higher TL for the mixed session than for the dissociated session.

Ones might assume that the use of exercise's mean HR presents limits for the assessment of the physiological demand of sessions with intervals performed at high intensities [34]. Conversely, TL provided by the SHR-zone method takes into account the marked differences appearing in the time spent in the five HR zones. However, it is noticeable that the coefficients of HR zones evolve linearly whereas the capacity to maintain intensities according to duration evolves in a logarithmic or exponential manner [35]. Consequently, the weight of the exercise's parts performed in higher HR zones may be underestimated compared to the lower ones. TL quantified using methods based on heart rate when sessions prescribe varied and high exercise intensities should be accepted cautiously [7]. The inability of HR to assess the intensities of sprint exercises is self-evident.

Conversely, the RPE-based and WER methods result in higher TL for the dissociated session, underlining the fact that changes in intensity distribution may have an effect on TL quantification. Our results differ from those of a recent study analysing mixed sessions which did not report alterations of session RPE [22]. Differences in sessions' TL appear significant with the RPE-based method and weaker with the WER method, which provides a small effect. These two quantification methods are based on whole assessments of the exercise-induced physiological stress by using RPE and the cumulated work according to the endurance limit. As no universal parameter can be used to assess a wide range of exercise intensity, exercise-induced physiological stress in sessions with varied high intensities may not be easy to assess [4].

Distribution of intensities influences the level of physical performances

Session-induced decreases in CMJ performance indicate that the two sessions induced neuromuscular fatigue with a higher decrease in the dissociated distribution, probably due to the occurrence of interval runs at MAV at the end of this latter exercise organization. Additionally, the speeds recorded over the repetition of sprints in the dissociated session decreased in a lower manner than in the mixed session, allowing cumulation of slightly more runs at V_{max}.

Nevertheless, RPE-based and WER methods provide a similar trend for higher TL in the dissociated session. Although these two methods are constituted by different parameters (objective or subjective), they may correspond to a similar assessment of exertion. TL provided by the WER method is a ratio of the cumulated work relative to the endurance limit, and many studies have shown that the RPE increases relatively to the percentage of distance completed or yet to be completed [36, 37]. The higher RPE values observed in the dissociated session could be linked to a longer relative distance covered in this session compared to the mixed one. Similarly, the WER method was based on the accumulation of efforts relative to individuals' capability. Subjects' capability to cumulate runs at 100% of MAV should differ in dissociated and mixed organizations; interval sessions with 15 s effort alternating with 15 s of active pauses were reported to allow a maximal effort of about 15 min, whereas runs should be maintained in a longer duration in the mixed distribution of intensities [38]. Conversely, the differences in the accumulation of sprints in the two sessions appear weak. Using different methods, RPE and WER assess the level of exhaustion the subjects have achieved and provide a similar appreciation of sessions' TL. However, the endurance limit used for the WER method was assessed using a continuous exercise test; an assessment in mixed conditions might be better.

The rate of RPE increase is linked to subjects' capacity to cumulate runs. This result underlines the fact that RPE describes not only the exercise intensity, as considered by the RPE-based method, but a combination of exercise duration, intensity and rest. Consequently, as suggested previously, it could be assumed that RPE alone may reflect the physiological stress induced by exercise without requiring to be multiplied by duration to obtain the exercise TL [39].

It could be assumed that methodological improvements are still required for training load quantification. Heart rate based methods should be limited to exercises performed at sub-maximal intensities. The TRIMP method may be exclusively used in continuous exercises, whereas a modification of the coefficients of heart rate zones should benefit the SHR-zone method. RPE and WER methods without having such limitations of components should require some modifications for better use in mixed exercises quantification. RPE by itself may be assumed as insufficient to quantify TL, rather requiring to be multiplied by exercise duration. The WER method should assess endurance limit in the given exercise conditions (i.e., in a mixed way when used by coaches) that could require several testing sessions.

CONCLUSIONS

The intensity distribution and therefore the exercise's organization may result in marked differences in TL quantification according to the method used. When high intensities characterize the training programme, the use of heart rate to quantify TL appears invalid. Conversely, methods based on whole body indicators (RPE and endurance limit) of the exercise-induced physiological stress should be preferred to quantify such sessions. Some improvement in these latter methods, such as testing the endurance limit according to the intensity distribution frequently used in a continuous way and assuming RPE itself as a TL measure, should improve their accuracy.

Acknowledgments: The authors thank the French Football Federation (FFF) for the financial support to conduct this study.

Conflict of interests: the authors declared no conflict of interests regarding the publication of this manuscript.

REFERENCES

1. Taha T, Thomas SG. Systems modelling of the relationship between training and performance. Sports Med. 2003; 33(14):1061-73.
2. Calvert TWB, E.W. Savage, M.V.; Bach,T. A Systems Model of the Effects of Training on Physical Performance. IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics. 1975; SMC-6, N°2
3. Desgorces FD, Senegas X, Garcia J, Decker L, Noirez P. Methods to quantify intermittent exercises. Appl Physiol Nutr Metab. 2007;32(4):762-9.
4. Lambert MI, Borresen J. Measuring training load in sports. Int J Sports Physiol Perform. 2010;5(3):406-11.
5. Smith DJ. A framework for understanding the training process leading to elite performance. Sports Med. 2003;33(15):1103-26.
6. Seiler KS, Kjerland GO. Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an "optimal" distribution? Scand J Med Sci Sports. 2006;16(1):49-56.
7. Desgorces FD, Noirez P. Quantifying continuous exercise using the ratio of work completed to endurance limit associated with exercise-induced delayed-onset muscle soreness. Percept Mot Skills. 2008;106(1):104-12.
8. Akenhead R, Harley J, Tweddle S. Examining the external training load of an English Premier League football team with special reference to acceleration. J Strength Cond Res. 2016.
9. Banister EW. Modeling Elite Athletic Performance. Physiological Testing of Elite Athletes. 1991.
10. Edwards S. High Performance Training and Racing. The Heart Rate Monitor Book. 1993:113-23.
11. Foster C, Florhaug JA, Franklin J, Gottschall L, Hrovatin LA, Parker S, et al. A new approach to monitoring exercise training. J Strength Cond Res. 2001;15(1):109-15.
12. Tabben M, Chaabene H, Franchini E, Tourny C, Chamari K, Coquart J. The influence of karate practice level and sex on physiological and perceptual responses in three modern karate training modalities. Biol Sport. 2014;31(3):201-7.
13. Tabben M, Tourny C, Haddad M, Chaabane H, Chamari K, Coquart JB. Validity and reliability of the session-RPE method for quantifying training load in karate athletes. J Sports Med Phys Fitness. 2015.
14. Coutts AJ, Duffield R. Validity and reliability of GPS devices for measuring movement demands of team sports. J Sci Med Sport. 2010;13(1):133-5.
15. Buchheit M, Allen A, Poon TK, Modonutti M, Gregson W, Di Salvo V. Integrating different tracking systems in football: multiple camera semi-automatic system, local position measurement and GPS technologies. J Sports Sci. 2014;32(20):1844-57.
16. Impellizzeri FM, Rampinini E, Coutts AJ, Sassi A, Marcora SM. Use of RPE-based training load in soccer. Med Sci Sports Exerc. 2004;36(6):1042-7.
17. Laursen PB, Jenkins DG. The scientific basis for high-intensity interval training: optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. Sports Med. 2002;32(1):53-73.
18. Bangsbo J, Mohr M, Krustrup P. Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. J Sports Sci. 2006; 24(7):665-74.
19. Stolen T, Chamari K, Castagna C, Wisloff U. Physiology of soccer: an update. Sports Med. 2005; 35(6):501-36.
20. Castellano J, Casamichana D, Dellal A. Influence of game format and number of players on heart rate responses and physical demands in small-sided soccer games. J Strength Cond Res. 2013; 27(5):1295-303.
21. Casamichana D, Castellano J, Calleja-Gonzalez J, San Roman J, Castagna C. Relationship between indicators of training load in soccer players. J Strength Cond Res. 2013;27(2):369-74.
22. Fanchini M, Ghielmetti R, Coutts AJ, Schena F, Impellizzeri FM. Effect of training-session intensity distribution on session rating of perceived exertion in soccer players. Int J Sports Physiol Perform. 2015;10(4):426-30.
23. Leger L, Boucher R. An indirect continuous running multistage field test: the Universite de Montreal track test. Can J Appl Sport Sci. 1980; 5(2):77-84.
24. Glaister M, Howatson G, Pattison JR, McInnes G. The reliability and validity of fatigue measures during multiple-sprint work: an issue revisited. J Strength Cond Res. 2008; 22(5):1597-601.
25. Bosco C, Luhtanen P, Komi PV. A simple method for measurement of mechanical power in jumping. Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 1983;50(2):273-82.
26. Taylor KL, Cronin J, Gill ND, Chapman DW, Sheppard J. Sources of variability in iso-inertial jump assessments. Int J Sports Physiol Perform. 2010;5(4):546-58.
27. Cormack SJ, Newton RU, McGuigan MR, Doyle TL. Reliability of measures obtained during single and repeated countermovement jumps. Int J Sports Physiol Perform. 2008; 3(2):131-44.
28. Banister EW, Hamilton CL. Variations in iron status with fatigue modelled from training in female distance runners. Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 1985;54(1):16-23.
29. Haddad MC, A.; Castagna, C.; Hue, O.; Wong, D.P, Tabben, M.; Behm, D.G.; Chamari, K. Validity and psychometric evaluation of the French version of RPE scale in young fit males when monitoring training loads. Sciences & Sports. 2013;28(2):e29-e5.
30. Margaria R, Oliva RD, Di Prampero PE, Cerretelli P. Energy utilization in intermittent exercise of supramaximal intensity. J Appl Physiol. 1969; 26(6):752-6.

31. Morton RH, Fitz-Clarke JR, Banister EW. Modeling human performance in running. J Appl Physiol (1985). 1990;69(3):1171-7.
32. Cohen J. Statistical Power Analysis for the behavioral sciences. Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, Hillsdale, New Jersey. 1988.
33. Thevenet D, Tardieu-Berger M, Berthoin S, Prioux J. Influence of recovery mode (passive vs. active) on time spent at maximal oxygen uptake during an intermittent session in young and endurance-trained athletes. Eur J Appl Physiol. 2007; 99(2):133-42.
34. Alexiou H, Coutts AJ. A comparison of methods used for quantifying internal training load in women soccer players. Int J Sports Physiol Perform. 2008; 3(3):320-30.
35. Achten J, Jeukendrup AE. Heart rate monitoring: applications and limitations. Sports Med. 2003;33(7):517-38.
36. Joseph T, Johnson B, Battista RA, Wright G, Dodge C, Porcari JP, et al. Perception of fatigue during simulated competition. Med Sci Sports Exerc. 2008;40(2):381-6.
37. Noakes TD. Linear relationship between the perception of effort and the duration of constant load exercise that remains. J Appl Physiol (1985). 2004; 96(4):1571-2; author reply 2-3.
38. Dellal A, Chamari K, 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. J Strength Cond Res. 2008; 22(5):1449-57.
39. Agostinho MF, Philippe AG, Marcolino GS, Pereira ER, Busso T, Candau RB, et al. Perceived training intensity and performance changes quantification in judo. J Strength Cond Res. 2015;29(6):1570-7.

Journal of Strength and Conditioning Research

Acute and delayed performance loses following increases in volume of high intensity soccer-specific exercises

--Manuscript Draft--

Manuscript Number:	
Full Title:	Acute and delayed performance loses following increases in volume of high intensity soccer-specific exercises
Short Title:	Performances after soccer-specific exercises
Article Type:	Original Research
Keywords:	Maximal muscle power; training programs; fatigue; athletes
Corresponding Author:	Jean-Christophe Hourcade, PhD Universite Paris Descartes FRANCE
Corresponding Author Secondary Information:	
Corresponding Author's Institution:	Universite Paris Descartes
Corresponding Author's Secondary Institution:	
First Author:	Jean-Christophe Hourcade, PhD
First Author Secondary Information:	
Order of Authors:	Jean-Christophe Hourcade, PhD
	Noirez Philippe, PhD
	Michel Sidney, PhD
	Jean-François Toussaint, MD
	François-Denis Desgorces, PhD
Order of Authors Secondary Information:	
Manuscript Region of Origin:	FRANCE
Abstract:	The present study analyses the effects on physical performances of volume increases in soccer-specific exercises performed at high intensity. In a random order, twelve young professional players (18.8±1 years, 181.1±6.7 cm, 75.5±6.6 kg) performed three types of soccer-specific exercise: one small-sided game (SSG) and two soccer-specific training (SST: repeated sprints and aerobic runs). Each type of exercise was performed twice, at low and high training volume (threefold increase of low volume). Exercises' training load was afterwards calculated using the method based on perceived exertion. Acute and delayed sessions' effects were assessed by changes in exercise heart-rate and blood lactate, counter-movement jumps, speed and distance achieved during a final game performed after the soccer-specific exercises and by ratings of wellness. The exercise volume increase resulted in similar increases of training load ($p=0.15$). In SSG, the volume increase enhanced the time spent in the higher heart-rate zone ($p<0.05$) and blood lactate concentration ($p=0.018$). Speed and distance achieved in the final game were lower after SSG than after aerobic-SST exercise ($p<0.05$). Jumping performances decreased in the morning following SST exercises ($p<0.001$). No relationships between training load and ratings of wellness changes appeared ($p>0.05$). Acute negative effects of volume increase appeared after SSG while negative effects were delayed following SST which resulted in maximal power capacity loses. Performances differed according to the type of soccer-specific sessions performed. SST sessions should be prescribed after sufficient recovery delays whereas volumes of SSG should carefully take into account the rest of the session and players' fatigue level.
Suggested Reviewers:	Dupont Grégory, PhD

Powered by Editorial Manager® and ProduXion Manager® from Aries Systems Corporation

INTRODUCTION

In competitive soccer, the evolution of the game requires to highly develop the aerobic and muscular power (4, 25). Based on these capabilities, elite soccer players are able to repeat runs at high intensities interspersed by random recovery times (19). If for many years, analytic exercises have constituted physical training in soccer (without ball), since more than a decade, coaches program specific physical exercises performed with the ball (physical drills or small sided games) (9, 22). The aim of these latter exercises is to get as close as possible to the requirements of the competitive match (24, 27). Some authors compared the physiological effects of analytic and specific exercises with ball and confirmed that some soccer-specific exercises were as effective as analytic runs in maintaining aerobic fitness (11, 14).

Since the 80's, physical conditioning of soccer players was strongly influenced by aerobic work (34, 39) with increasing proportions of "interval training", exercises being performed in an analytic way without ball. Nowadays, the term of high-intensity interval training seems preferably used and lead in four types of exercise (7): *1)* short interval *2)* long interval *3)* repeated sprint ability *4)* intermittent runs. In soccer, these types of high-intensity interval exercise are prescribed mainly into exercises performed with ball such as "small-sided games" (SSG) (20, 28) or as "soccer specific training" (SST) (23, 24). Usually, SSG are used to achieve intensities near maximal oxygen uptake, by using long intervals. Different types of SSG organization may be programmed (3 *vs.* 3, 4 *vs.* 4, 5 *vs.* 5, with or without goalkeepers) (26). Conversely, SST based on short or long interval runs and on repeated sprints according to coaches aims are performed without opponent (1).

Training loads (TL) are defined as "the physiological stress imposed on athletes by the exercise" and are characterized by the interaction of three parameters, volume, intensity and frequency of exercises and / or sessions (33, 40). Training programs and related TL manage for the highest possible physiological adaptations and lowest risks of injury and fatigue (17, 29). Associated with performance change, perceived ratings of wellness (fatigue, stress,

muscle soreness, sleep quality) may be a way for the monitoring of fatigue (21). In the exercise parameters, exercise volume is one of the easiest parameter allowing changes in training programs. Nevertheless, very few studies have analyzed the effects of volume changes of soccer specific exercises performed at high intensities on subsequent performances (24, 30).

The aim of this study is to analyze the effects of the exercise volume increase on athletes' physical performances following soccer-specific exercises performed at high and very high intensities. These effects were assessed by using parameters and tests specific to exercises' intensities such as heart-rate, jump performances and running distances in a final soccer game.

METHODS

Experimental approach to the problem

This study was conducted with a team of young professional players (training center of French League 1) during the first period of the 2015-2016 competitive season. Six soccer sessions were performed in a random order, that were built according to session usually prescribed in elite soccer and according to sessions used in previous studies (26). For each session, after a standardized warm-up, six players performed the low exercise volume while the other performed the high volume (threefold increase of the low volume; figure 1). Following this exercise, a complete final soccer game was performed. When the first 3 sessions were performed, subjects completed the low or high volume sessions they hadn't previously performed. Acute and delayed fatigue effects were assessed by using heart rate (HR) records, performances in counter movement jump (CMJ), perceived ratings of wellness, blood lactate sampling and GPS data. All sessions were made on artificial grass, and in similar weather conditions (14°C à 18°C) and the same hour (16h30 PM). No vigorous training exercises were utilized within 48 hours before competition.

Subjects

Twelve young professional soccer players from the same team took part in the experiment. They were trained for at least 6 days a week, with a competitive match each week. Means of age, height, body mass and maximal aerobic velocity (MAV) were as follow: 18.8±1 years, 181.1±6.7 cm, 75.5±6.6 kg, 17.3±0.9 $km.h^{-1}$. No physical limitations, health problems, or injuries that could affect testing or training were found after a medical examination. All participants gave their voluntary written consent to participate in the study. This study was in accordance with the guidelines of the local ethics committee.

Procedures

Measurements of MAV

All players performed the "Vameval" field test, a progressive and exhausting exercise on a specific track (200m) that determines the velocity associated with their maximal oxygen uptake (MAV) (10). The velocity of the first stage was set at 8 $km.h^{-1}$ and was increased by 0.5 $km.h^{-1}$ each minute. The last stage fully reached, completed by the time spent in the next stage, corresponded to the MAV (15).

Warm-up

Each session was preceded by the same specific warm-up. Low run, global and specific movements, dynamic stretching, speed and technical ball exercises were performed. The same process was undertaken in the morning following the session for CMJ testing.

Aerobic-SST

The exercise consisted in offensive actions towards the goal, between two strikers, one central, one side. After a deep pass axial player, the side player would have to overflow and center in a delimited zone (5x5m near the penalty point). The central striker should try to score. From the end of the action, the two players had to return to the starting position by performing again the fastest possible effort. No limitation for the ball touches and the players changed their

position in each new try. The low volume was fixed at 7min (1 set of 10 runs at 100% MAV) for a working/recovery time ratio of 15-30s, and at 21min for the high volume (3 sets of 10 runs). Recovery time between bouts and sets (3min) were run at 50% of MAV. The intensities were defined and individualized according to individual MAV. In order to take into account the time required for the center or shooting, a weighting coefficient to fix the individual distances was applied (6).

Sprint-SST

Sprint-SST consisted in sprints performed at maximal speed on a 30m distance towards the goal, followed by a change of direction before receiving a ball transmitted by the coach. After controlling, the player had to score. To achieve maximal high intensity, both groups were placed side by side, players were thus carrying a kind of "man to man" competition. To achieve players' maximum involvement, the game score was recorded. The low volume was fixed at 7min (1 set of 7 sprints) for a working/recovery time ratio of 10-50s, and at 21min for the high volume (3 sets de 7 sprints). Rest pauses between bouts and sets (3min) were assumed as passives. An acceleration threshold set at 5.5m.s^{-2}, was required to validate the achievement of sprint intensity (2).

SSG

The SSG were implemented with a number of players fixed on a 3 *vs.* 3 including goalkeepers with normal size goals used (2.4x7.32m). The pitch sizes were 38x25m (respectively, length and width). When the ball was outside the field, the game restarted by goalkeepers. The defense system was defined by individual marking (« man to man »), in the area. Offside rule was not included. Each player was only allowed a maximum of 2 touches on the ball.

The low volume was fixed at 7min (2 sets of 3-1min), and high volume at 23min, (6 sets of 3-1min). The SSG high duration was slightly higher than other (+2min) for respecting the work ratio session 1/3.

Final game

The final game consisted in 6-a-side game with Goalkeepers. The pitch sizes were 67x43m. Normal size goals used (2.4x7.32m). When the ball was kicked out of play, immediate access to replacement soccer ball was made possible by having a supply of balls placed in the goals and along the boundary line surrounding the entire pitch. The defense system was defined by "zone marking" in the all area. Offside rule was included. Each player was only allowed a maximum of 3 touches on the ball. The team organization included 3 defenders, 2 midfielders, and 1 striker. Time game was fixed on 2 x 7min interspersed by 3min of recovery.

Measurement of Muscular Power

Vertical jump tests (CMJ) with Optojump Next kit (Microgate, Bolzano, Italy) were carried out after the warm-up and after the sessions, and in the morning following the session. Players then performed a set of four repetitions of CMJ, with a recovery of twenty seconds between each jump. Vertical jump standardization was achieved through a 90 degree knee bend, keeping hands on the waist throughout the jump, avoiding undue lateral and frontal movements, and landing with extended legs. Any jump that did not meet the established criteria was excluded from calculations and a new jump was performed. The average value of three best jumps was used in the analysis to improve the accuracy of measurements, as recommended by Taylor and Cormack (13, 36). The maximum jump height was chosen as the dependent variable. These tests were scheduled to evaluate possible performance changes, as a result of exercise volume increases.

Training load quantification

For a better understanding of exercise effects, the exercise volume increase was also expressed through individual training load calculations (18). TL was quantified using the method based on ratings of perceived exertion (RPE) obtained using the category ratio scale (CR-10) described by Borg (5) and modified by Foster (17). The original Borg's CR10-scale

was modified with verbal anchors (from rest, 0, to maximal exercise, 10) and asked to provide a rating of the overall intensity of the exercise bout. The players' assessment of the session-RPE was multiplied by the entire duration (in minutes) of the training session:

TL=duration x CR-10.

Each player's session RPE was collected about 30min after each training session to ensure that the perceived effort was referred to the whole session rather than the most recent exercise intensity. All players had been familiarized with this scale for rating perceived exertion before the commencement of the study (scale usually used by the fitness coach).

Blood sampling

Capillary blood samples were drawn from one finger pulp within 3min following each specific exercise using a « lactate pro 2 » (Lactate Pro2, Arkay, Kyoto, Japon). Blood samples were taken from each player in every exercise, and they were drawn, when it was possible, from the same players in the same order. All test meter were new for our study with auto calibration.

Heart rate monitoring

HR was measured and recorded at rest, as well as every 5s during each training session, using HR monitors with individually coded HR transmitters to avoid interference (Polar Team2, Kempele, Finlande). Training HR data was expressed an average and percentage of HR max and classified into five zones: 50-60%, 60-70%, 70-80%, 80-90%, and 90-100% of HR max, such as proposed by Edwards (16).

Time-motion characteristics

A commercially GPS unit (Fieldwiz GPS, Switzerland) was placed on the player's upper back into a sleeveless undershirt. The receivers were placed as recommended by the manufactured and were not occluded. Based on signals from at least three satellites, the receiver is able to calculate and record data on position, time, distances and speeds with a time-resolution of 10

Hz. The data from each receiver were treated in the same way and data were extracted using specific Fieldwiz cloud platform.

For high intensities, two parameters of exercise density were used, one for sprint (number of sprints above 23 $km.h^{-1}$ in a given time period) and one for acceleration (number of acceleration above to 4 $m.s^{-2}$ in a given time period).

Perceived ratings of wellness

A psychometric questionnaire was used after 15 hours rest to assess general indicators of player wellness. The questionnaire was composed of 4 questions relating to perceived Delayed Onset Muscle Soreness (DOMS), fatigue, stress and sleep quality. Each question was scored on a 7-point scale, with 1 and 7 representing respectively *very very poor* and *very very good perceived* wellness (**table 1**) (21).

Statistical analyses

Normality of distributions was verified using the Kolmogorov-Smirnov test. Mean and standard deviations (mean±SD) were calculated for each parameter. The scale proposed by Cohen allowed to interpret the effect sizes (12). The following criteria were adopted to interpret the magnitude of the difference between test measures: <0.2 trivial, <0.2-0.5 small, <0.5-0.8 medium and >0.8 large. Relationships between measured parameters (running speeds, HR, CMJ, TL, wellness ratings) were explored using Pearson's product-moment correlation. Two-ways repeated measures analysis of variance (ANOVA) was used to examine for differences in the sessions. The Bonferroni correction post-hoc test was used when F was significant in the ANOVA according to the Greenhouse-Geisser procedure. Results are presented in terms of the parameter estimates and corresponding 95% confidence intervals (CI_{95}). Statistical analysis was undertaken using STATISTICA (Version 6.1, Statsoft, France). The level of significance was set at $p<0.05$.

RESULTS

Training load

The exercise volume increase resulted in similar TL increases in the three types of exercise (p=0.15) (**table 2**).

Exercises characteristics

All the players achieved the accelerations expected during Sprint-SST, whatever the exercise volume and according to the acceleration threshold value.

Peaks running speeds were higher in Sprint-SST than Aerobic-SST and SSG, whatever the level volume exercise [in each exercise type, p<0.001; respectively, IC (3.13; 5.42), d=1.66 and IC (4.71; 5.91), d=3.93]. No differences in average speed were shown between the sequences of the two SST exercises (p>0.05).

In Aerobic-SST, no difference was observed in the sprint-density measured at low and high volume exercise (p=0.18, 0.10±0.13 *vs.* 0.04±0.04, d=0.43) whereas difference appeared in SSG (p=0.04; 0.12±0.87 *vs.* 0.04±0.03, d=0.68). Sprint density in the Sprint-SST session was defined by the study protocol and was unchanged by exercise change.

Sprint density of Sprint-SST was higher than in Aerobic-SST and in SSG performed at low volume [respectively, p<0.001; IC (0.80; 0.98), d=6.93; IC (0.79; 0.96), d=7.07] and at high volume [respectively, p<0.001; IC (0.93; 0.98), d=26.88; IC (0.94; 0.98), d=36.78].

For Aerobic-SST, we observed that the acceleration density did not change from low to high volume (p>0.05). We could make the same observation for the Sprint-SST sessions (p>0.05) and for SSG (p=0.53).

The SSG acceleration density was lower those of Aerobic and Sprint-SST for low volume exercise [respectively, p<0.001, IC (0.05; 0.46), d=0.83; p=0.003, IC (0.65; 0.90), d=4.22). For high volume, the acceleration density in Aerobic-SST was higher than in Sprint-SST, and acceleration density in Sprint-SST was higher than in SSG [respectively p<0.001, IC (0.08; 0.59), d=0.9; IC (0.08; 1.38), d=2.9].

The exercise volume increase in SSG resulted in a decrease of average speed [p=0.010; IC (3.53; 18.03), d=0.47]. During the SSG high volume session the distance achieved during the last repetition of three minutes exercise was lower than during the first one (6/6) [p=0.04; IC (3.10; 29.64), d=1.14].

Heart rate measurements

ANOVA shows differences between sessions' mean HR (p=0.03). Mean HR in SSG was higher than in Sprint-SST, for low and high exercises' volume [respectively, p=0.02; IC (5.76; 22.07), d=1.57; p<0.001; IC (1.96; 16.54), d=1.17] and mean HR in Aerobic-SST was higher than in Sprint-SST for high TL [p=0.004; IC (-0.02; 22.88), d=0.92].

ANOVA shows sessions differences in the percentage of time spent in heart-rate zones (p<0.05). In SSG, the percentage of time spent in zone 5 significantly increased from the low to the high volume while time spent in zone 4 decreased when exercise volume increased [Respectively, p=0.04; IC (-3.75; 23.86), d=0.67; p=0.02, IC (-2.83; 36.31), d=0.79].

During SSG session performed with high volume, the repetition of sets induced an increase of HR from the first 3-min set to the last one [p=0.04; IC (1.44; 12.56), d=1.16].

In low volume sessions, mean HR of the final game following SSG was higher than following Sprint-SST [p<0.001; IC (4.12; 25.7), d=1.27]. The exercise volume increase did not affect the mean HR of the final game in all the exercise types (p>0.05).

Blood lactate concentrations

The exercise volume increase did not induce any changes in blood lactate concentrations of Sprint-SST (p=0.09) or Aerobic-SST (p=0.48). An increase is observed in SSG session [p=0.03; IC (0.04; 5.38), d=0.78]. SSG blood lactate concentrations in high volume session were higher than those of Aerobic-SST [p=0.003; IC (2.19; 7.16), d=1.44] and sprint-SST [p=0.04; IC (0.96; 6.98), d=0.70].

Muscular Power

No difference in performance was observed between CMJ1 and CMJ2 whatever the session and the exercise volume performed (p>0.05). In SST sessions (Sprint and Aerobic), CMJ3 was lower than CMJ1 following the low exercise volume sessions [both p<0.001; respectively, IC (1.36; 4.95), d=1.35; IC (1.60; 4.30), d=1.67] and CMJ2 [respectively, p<0.001, IC (1.12, 3.91), d=1.38; p=0.03, IC (0.66; 2.63), d=1.28] (**figures 2A and 2B**). The same results were observed with the high volumes: CMJ3 was lower than CMJ2 [both p<0.001; respectively, IC (1.42; 5.43), d=1.31; IC (1.04; 4.68), d=1.20] and CMJ1 [p<0.001; respectively, IC (0.78; 5.90), d=1.00; IC (0.85; 5.07), d=1.07].

Only in Sprint-SST, CMJ3 recorded after the high volume session appeared lower than after the low volume [p=0.019; IC (-0.17; 6.53), d=0.73].

Final game

The exercise volume increase did not affect the distances completed during the final game (p>0.05). However, the distance was lower after the SSG than Aerobic-SST sessions, for low volume [p<0.001; IC (93.15; 339.51), d=1.12] and high volume [p=0.020; IC (-0.024; 230.74), d=0.63] (**figure 3**).

Perceived ratings of wellness

Despite the exercise volume increase, ANOVA showed no changes in ratings of wellness (fatigue, DOMS, sleep quality and stress) measured in the morning following the sessions (p>0.05).

DISCUSSION

The aim of this study was to analyze the effects on physical performance of the volume increase of soccer-specific exercises performed at high and very high intensities. The main results show: *i)* the volume increase in SSG induced acute performance losses *ii)* SST exercises led to delayed fatigue observed through decreases in jump performances in the morning following the session.

Acute performance losses

In sprint and aerobic-SST, the sprint and acceleration densities did not evolved from low to high exercise volumes with highest values being recorded in sprint-SST. Sprint and acceleration densities were lower in SSG when compared with Sprint and aerobic-SST, furthermore, sprint density of SSG reduced with exercise volume increase. Obviously, the low values of speed and acceleration in the SSG session were due to the exercise composition that did not allow prolonged running distances lowering the possibility to achieve high speeds.

Mean HR of SSG and Aerobic-SST were higher than those of the Sprint-SST session. The SSG session performed with high volume provided the highest mean HR that is due to the exercise intensities (near MAV) combined with short recovery periods. Although the exercise volume increase did not affect the mean HR in the Sprint-SST sessions, those of SSG and Aerobic-SST sessions increased with the enhancement of volume. Such HR drift observed over the exercise highlights an enhanced oxygen requirement for completing the exercise which could be due to an increased level of fatigue and/or of core temperature. Furthermore, during SSG, the distribution of the time spent in HR zones also evolved with the exercise volume increase. The time spent in the higher zone (*i.e.*, 90-100% of HRmax) increased by more than 23% when the time spent in the 80-90% zone was reduced in similar proportions. This HR drift observed with the exercise volume increase during SSG occurs accordingly with a decrease of running distance recorded in the last 3min exercise bouts of SSG. Such decrease in completed distance may be a counterpart of the HR increase, supporting the acute fatigue effect of the SSG session. Furthermore, the exercise volume increase also induced an enhancement of the blood lactate concentrations in SSG, such increase did not appear in the SST sessions.

Mean HR during the final game are neither influenced by the number of sets nor by the type of the exercise performed. In addition, the exercise volume increase had no effect on the total distance covered during the final game.

However, in low or high exercise volumes, the distance covered after the SSG sessions were lower than after SST. SSG intensity, which strongly involves the aerobic metabolism, may enhance fatigue levels during the sessions leading to reduced running distances of the final game.

Declines in delayed performance

After one night of recovery (+15 hours), decreases in CMJ performances were observed following the sprint and Aerobic SST sessions at low and high volumes. However, following the high volume, the performance decreases in Sprint-SST sessions appeared higher than after Aerobic sessions. In the SSG session, no decrease in jump performance was observed despite the acute effects of the session on HR, blood lactate and sprint density. Sessions comparison highlights that CMJ decreases appeared in Sprint and aerobic-SST sessions where densities of sprint and acceleration, and highest peak speeds were recorded. The highest jumping performance loss appeared in sprint-SST which presents the highest intensity insights (peak speed, sprint and acceleration densities). Consequently, sprint density of SST sessions could partly explain performance losses in CMJ that were markedly majored by high peak speed and acceleration density of sprint-SST. Such intensity influence appears combined with an exercise volume effect in sprint-SST.

The performance decreases in CMJ after specific soccer exercises have been previously analyzed, but to our knowledge, rarely after specific soccer exercises of high and very high intensities. Intense physical exercise have been reported to reduce CMJ performance (31) (32). Sjökvist et al. reported similar delayed decreases in jump performance but following session with significantly highest exercise volumes that those observed in our protocol (50 *vs.* 23min)

(35). In this study, decreases in CMJ performance occurred after 24h (not at 48 and 72h) of recovery following soccer-training session performed at high intensity. According to the primary influence of maximal power in soccer, these reduced CMJ performances in the mornings following the Sprint-SST highlights the possible negative effects of such sessions on soccer performance. This power loss is observed 15 hours after the sessions, suggesting that players are still in a recovery phase and are not able to express their maximal capacities. It is therefore advisable to prescribe sufficient recovery times for players before programing new exercises involving the highest intensity levels.

Morning fatigue monitoring

Wellness measures are reported as being useful tools for monitoring positive training responses during pre-season training, related to TL variations (8). The variations of the fatigue status were related with the cumulated running distance at high intensities (>14.4 km/h) during the in-season competitive phase. Conversely, no relationship appears between muscle soreness and sleep quality and training data (37). A marked level of training volume and intensity should be required for inducing acute changed of ratings. This is suggested by some studies showing that increases in fatigue, DOMS and disturbed sleep were linked to high TL (3, 37). When TL appeared lower following the match, variations in perceived ratings of wellness were lower (38). In our study, wellness ratings were unchanged, despite the very high exercise intensities achieved, suggesting that the exercise volume of our single sessions was insufficient to influence such measures.

PRACTICAL APPLICATIONS

This study is the first to analyze the effects on physical performances of soccer-specific exercises performed at low and high exercise volumes. It provides new insights for coaches for training programs optimization. Firstly, high sprint density and high peak of running

speeds of the Sprint-SST session, and, in a lower manner of Aerobic-SST can lower subjects' capacities for maximal power production, even when the exercise volume is low. Following such sessions, a recovery time longer than 15 hours appears required before players are able to express entirely their maximal capacities. Secondly, SSG, which mostly relate to training of maximal aerobic power, may induce an immediate decrease of players' performance capacity. HR drift, enhanced blood lactate concentrations and reduced sprint density recorded during the SSG sessions underline the increase in metabolic requirement for completing the exercise. According to the aims of the coach, that can be technical, tactical or physical, the place of the SSG within the session should vary. Nevertheless, this session-induced acute fatigue effect is likely to be temporary. More studies and data remain required for a better management of soccer training programs, including recovery phases, but our study might be a first step to facilitate coaches' decisions.

References

1. Abt G, Siegler JC, Akubat I, and Castagna C. The effects of a constant sprint-to-rest ratio and recovery mode on repeated sprint performance. *J Strength Cond Res* 25: 1695-1702, 2011.
2. Akenhead R and Nassis GP. Training Load and Player Monitoring in High-Level Football: Current Practice and Perceptions. *Int J Sports Physiol Perform*, 2015.
3. Andersson H, Raastad T, Nilsson J, Paulsen G, Garthe I, and Kadi F. Neuromuscular fatigue and recovery in elite female soccer: effects of active recovery. *Med Sci Sports Exerc* 40: 372-380, 2008.
4. Bangsbo J, Mohr M, and Krustrup P. Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *J Sports Sci* 24: 665-674, 2006.
5. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* 14: 377-381, 1982.
6. Buchheit M. Programming high-intensity training in handball. *ASPETAR Sports Medicine Journal* 2014.
7. Buchheit M and Laursen PB. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle. Part II: anaerobic energy, neuromuscular load and practical applications. *Sports Med* 43: 927-954, 2013.
8. Buchheit M, Racinais S, Bilsborough JC, Bourdon PC, Voss SC, Hocking J, Cordy J, Mendez-Villanueva A, and Coutts AJ. Monitoring fitness, fatigue and running performance during a pre-season training camp in elite football players. *J Sci Med Sport* 16: 550-555, 2013.
9. Casamichana D, Roman-Quintana JS, Castellano J, and Calleja-Gonzalez J. Influence of the Type of Marking and the Number of Players on Physiological and Physical Demands During Sided Games in Soccer. *J Hum Kinet* 47: 259-268, 2015.
10. Cazorla GL, L. . Comment évaluer et développer vos qualités aérobies: Epreuve de course navette et épreuve VAMEVAL. *Editeur: AREAPS*, 1993.
11. Clarke ND, Drust B, Maclaren DP, and Reilly T. Fluid provision and metabolic responses to soccer-specific exercise. *Eur J Appl Physiol* 104: 1069-1077, 2008.
12. Cohen J. Statistical Power Analysis for the behavioral sciences. *Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, Hillsdale, New Jersey*, 1988.
13. Cormack SJ, Newton RU, McGuigan MR, and Doyle TL. Reliability of measures obtained during single and repeated countermovement jumps. *Int J Sports Physiol Perform* 3: 131-144, 2008.

14. 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: 1449-1457, 2008.

15. Dellal A, Hill-Haas S, Lago-Penas C, and Chamari K. Small-sided games in soccer: amateur vs. professional players' physiological responses, physical, and technical activities. *J Strength Cond Res* 25: 2371-2381, 2011.

16. Edwards S. High Performance Training and Racing. *The Heart Rate Monitor Book*: 113-123, 1993.

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

18. Foster C, Florhaug JA, Franklin J, Gottschall L, Hrovatin LA, Parker S, Doleshal P, and Dodge C. A new approach to monitoring exercise training. *J Strength Cond Res* 15: 109-115, 2001.

19. Hader K, Mendez-Villanueva A, Palazzi D, Ahmaidi S, and Buchheit M. Metabolic Power Requirement of Change of Direction Speed in Young Soccer Players: Not All Is What It Seems. *PLoS One* 11: e0149839, 2016.

20. Hill-Haas SV, Dawson B, Impellizzeri FM, and Coutts AJ. Physiology of small-sided games training in football: a systematic review. *Sports Med* 41: 199-220, 2011.

21. Hooper SL, Mackinnon LT, Howard A, Gordon RD, and Bachmann AW. Markers for monitoring overtraining and recovery. *Med Sci Sports Exerc* 27: 106-112, 1995.

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

23. Kelly DM, Gregson W, Reilly T, and Drust B. The development of a soccer-specific training drill for elite-level players. *J Strength Cond Res* 27: 938-943, 2013.

24. Knight TJ. The Effect of Changing Player Numbers on the Physiological Responses and Time-motion Characteristics of a Soccer-Specific Training Drill. *International Journal of Performance Analysis in Sport* 15: 452-470, 2015.

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

26. Little T and Williams AG. Measures of exercise intensity during soccer training drills with professional soccer players. *J Strength Cond Res* 21: 367-371, 2007.

27. Los Arcos A, Vazquez JS, Martin J, Lerga J, Sanchez F, Villagra F, and Zulueta JJ. Effects of Small-Sided Games vs. Interval Training in Aerobic Fitness and Physical Enjoyment in Young Elite Soccer Players. *PLoS One* 10: e0137224, 2015.

28. Mallo J and Navarro E. Physical load imposed on soccer players during small-sided training games. *J Sports Med Phys Fitness* 48: 166-171, 2008.

29. Malone JJ, Di Michele R, Morgans R, Burgess D, Morton JP, and Drust B. Seasonal training-load quantification in elite English premier league soccer players. *Int J Sports Physiol Perform* 10: 489-497, 2015.

30. McMillan K, Helgerud J, Macdonald R, and Hoff J. Physiological adaptations to soccer specific endurance training in professional youth soccer players. *Br J Sports Med* 39: 273-277, 2005.

31. Morcillo JA, Jimenez-Reyes P, Cuadrado-Penafiel V, Lozano E, Ortega-Becerra M, and Parraga J. Relationships between repeated sprint ability, mechanical parameters, and blood metabolites in professional soccer players. *J Strength Cond Res* 29: 1673-1682, 2015.

32. Oliver J, Armstrong N, and Williams C. Changes in jump performance and muscle activity following soccer-specific exercise. *J Sports Sci* 26: 141-148, 2008.

33. Pollock ML. The quantification of endurance training programs. *Exerc Sport Sci Rev* 1: 155-188, 1973.

34. Sarianides G. Soccer: Pre-season conditioning and season maintenance for the professional soccer players. *National Strength & Conditioning Association Journal* 7: 46-49, 1985.

35. Sjokvist J, Laurent MC, Richardson M, Curtner-Smith M, Holmberg HC, and Bishop PA. Recovery from high-intensity training sessions in female soccer players. *J Strength Cond Res* 25: 1726-1735, 2011.

36. Taylor KL, Cronin J, Gill ND, Chapman DW, and Sheppard J. Sources of variability in iso-inertial jump assessments. *Int J Sports Physiol Perform* 5: 546-558, 2010.

37. Thorpe RT, Strudwick AJ, Buchheit M, Atkinson G, Drust B, and Gregson W. Monitoring Fatigue During the In-Season Competitive Phase in Elite Soccer Players. *Int J Sports Physiol Perform* 10: 958-964, 2015.

38. Thorpe RT, Strudwick AJ, Buchheit M, Atkinson G, Drust B, and Gregson W. Tracking Morning Fatigue Status Across In-Season Training Weeks in Elite Soccer Players. *Int J Sports Physiol Perform* 11: 947-952, 2016.

39. Trachtenberg A. Soccer: Conditioning drills for soccer. *National Strength & Conditioning Association Journal* 10: 50-52, 1988.

40. Wenger HA and Bell GJ. The interactions of intensity, frequency and duration of exercise training in altering cardiorespiratory fitness. *Sports Med* 3: 346-356, 1986.

Figure legends

Table 1: Questionnaire for ratings of players' wellness.

Table 2: Characteristics and effects of aerobic and sprint soccer-specific sessions (Aerobic-SST and Sprint-SST) and of small-sided game (SSG). *: significant differences between low and high exercise volumes; #: Significant differences with SSG; $: significant differences between Aerobic and Sprint-SST.

Figure 1: Simplified design of a session, SSG for small sided game, SST for soccer specific training and CMJ for Counter Movement Jump.

Figure 2: Performance in Counter Movement Jump (CMJ) in aerobic and sprint soccer-specific sessions (Aerobic-SST and Sprint-SST) and in small-sided game (SSG) for low (grey bars) and high exercise volumes (black bars). Δ: significant differences between CMJ1 and CMJ2; *: significant differences between low and high exercise volumes.

Figure 3: Running distances achieved in the final soccer game performed after the sessions for low (grey bars) and high exercise volumes (black bars). #: significant differences between SSG and Aerobic-SST performed with the same exercise volume.

Table

Variables	
Stress	
1	No Stress
2	Very low
3	Low
4	Moderate
5	important
6	Very important
7	Maximal
Fatigue	
1	No fatigue
2	Very low
3	Low
4	Moderate
5	important
6	Very important
7	Maximal
Delayed Onset Muscle Soreness	
1	No pain
2	Very low muscular fatigue
3	Low muscular fatigue
4	Muscular fatigue
5	Low muscular pain
6	Moderate muscular pain
7	Very important muscular pain
Sleep	
1	Excellent
2	Very good
3	good
4	Moderate
5	Bad
6	Very bad without insomnia
7	Very bad with insomnia

Table

	Aerobic-SST sessions		Sprint-SST sessions		SSG sessions	
	Low Volume	High Volume	Low Volume	High Volume	Low Volume	High Volume
Training Loads Increase	Increase by 2.35 ± 0.84		Increase by 2.59 ± 1.66		Increase by 2.35 ± 0.50	
Blood Lactate (mmol.l^{-1})	4.20 ± 1.98	4.26 ± 2.21 #	3.84 ± 1.84	5.46 ± 2.78 #	6.22 ± 1.18	8.93 ± 1.93 *
Wellness ratings						
Sleep	4.07 ± 1.39	4.67 ± 1.19	4.20 ± 1.51	3.56 ± 1.32	5.13 ± 0.66	4.08 ± 1.20
Delayed Onset Muscle Soreness	5.35 ± 1.31	4.43 ± 1.79	5.37 ± 0.96	3.44 ± 1.72	4.90 ± 0.90	4.32 ± 1.33
Stress	6.87 ± 0.40	6.77 ± 0.77	6.77 ± 0.52	6.87 ± 0.40	6.88 ± 0.38	6.77 ± 0.52
Fatigue	4.33 ± 1.51	4.32 ± 1.20	4.55 ± 0.83	3.69 ± 0.90	4.55 ± 0.83	3.50 ± 1.34
Time motion data						
Sprint density	0.10 ± 0.13 $	0.04 ± 0.04 $	1.0 ± 0.00 $ #	1.0 ± 0.00 $ #	0.12 ± 0.12	0.04 ± 0.03 *
Acceleration density	1.26 ± 0.31 $ #	1.32 ± 0.40 $ #	1.0 ± 0.00 $ #	0.98 ± 0.04 $ #	0.22 ± 0.18 $	0.20 ± 0.12 $
Peak running speed	24.3 ± 2.5 $	25.29 ± 2.21 $ #	28.78 ± 0.71 $ #	29.3 ± 1.0 $ #	23.4 ± 1.3	24.0 ± 0.8
Exercises Average speed (m/min)	91.1 ± 4.6	91.9 ± 0.7	95.0 ± 1.1	97.98 ± 1.7	153.7 ± 6.6	146.4 ± 14.5 $*
Final Game Average speed (m/min)	137.3 ± 12.9	131.4 ± 13.8	128.3 ± 9.6	128.7 ± 13.1	121.9 ± 8.6	123.7 ± 13.1
Heart Rate (HR)						
% HR mean session	76.9 ± 5.4	79.0 ± 5.0 *	78.1 ± 5.5	77.4 ± 5.2	77.9 ± 6.6	80.5 ± 5.9 *
% HR mean Exercise	83.0 ± 6.8	85.8 ± 4.6	80.6 ± 5.4	80.1 ± 5.3	88.7 ± 3.4	90.7 ± 3.4
% HR mean Final Game	83.2 ± 4.0	82.4 ± 4.8	86.5 ± 3.5	84.8 ± 4.9	79.6 ± 5.6	82.8 ± 4.9
Durations in HR max zones						
% Total time in 50-60 % HR max zone	0.3 ± 0.7	0.3 ± 1.0	0.5 ± 1.0	0.8 ± 1.1	0.3 ± 1.1	0.0 ± 0.0
% Total time in 60-70 % HR max zone	6.4 ± 12.5	1.1 ± 2.0	8.1 ± 8.1	9.7 ± 9.0	3.3 ± 3.0	1.0 ± 2.7
% Total time in 70-80 % HR max zone	24.2 ± 24.7	18.0 ± 20.5	34.3 ± 20.4	43.4 ± 20.2	10.9 ± 5.9	6.9 ± 5.3
% Total time in 80-90 % HR max zone	48.1 ± 37.8	53.8 ± 27.0	41.6 ± 20.4	43.8 ± 24.9	30.0 ± 12.3	20.0 ± 8.1 *
% Total time in 90-100 % HR max zone	21.1 ± 34.7	26.7 ± 36.1	15.5 ± 30.3	2.4 ± 4.2	55.4 ± 17.1	72.2 ± 13.9 *

Figure 1

Click here to download Figure Figure 1.tiff

Figure

Click here to download Figure Figure 3.tiff

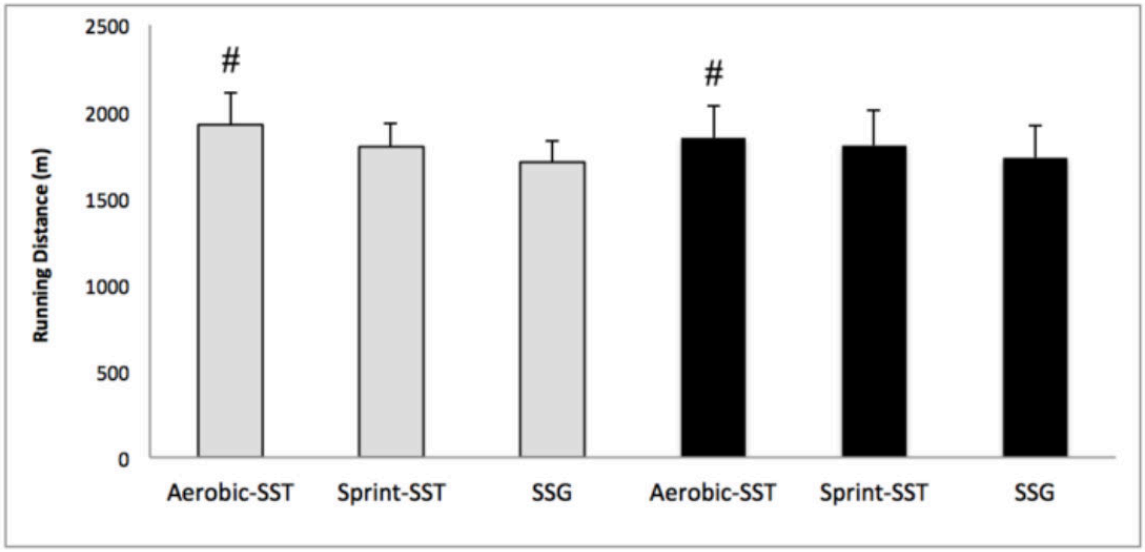
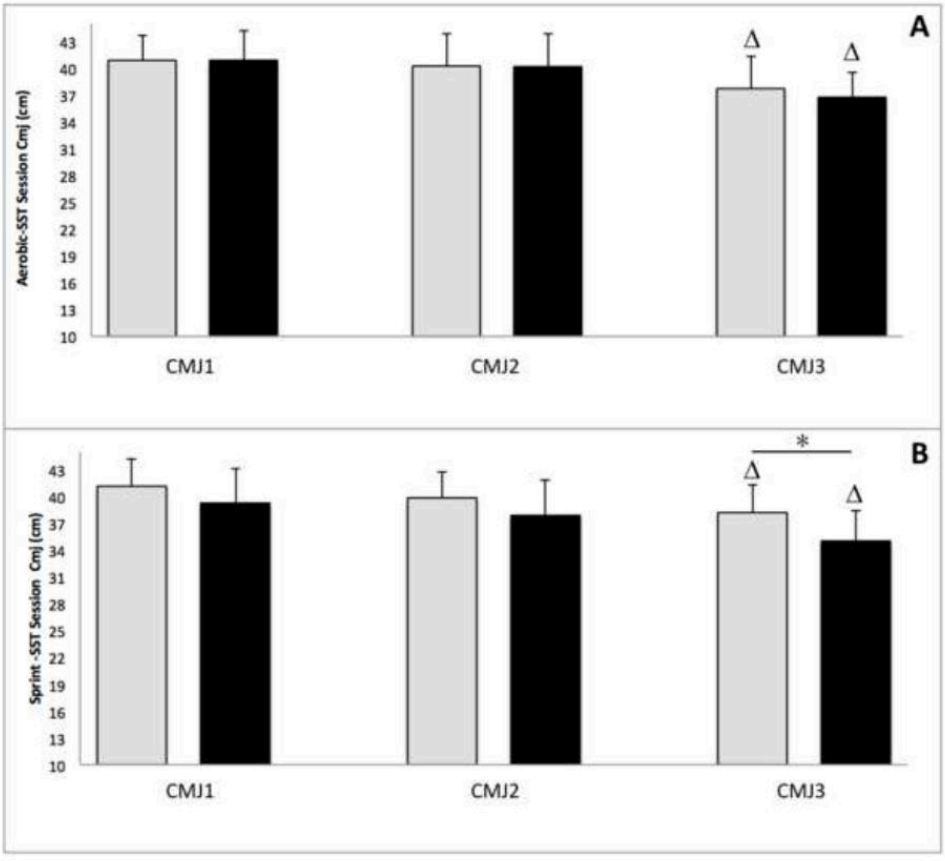


Figure 2

Click here to download Figure Figure 2.tiff



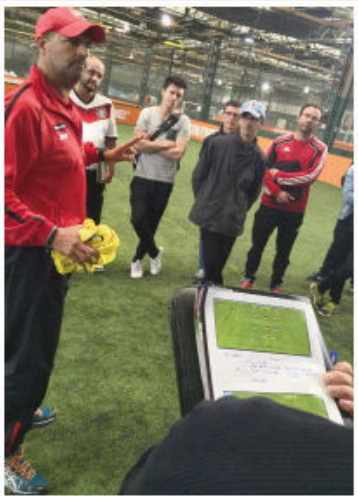
AMATEUR

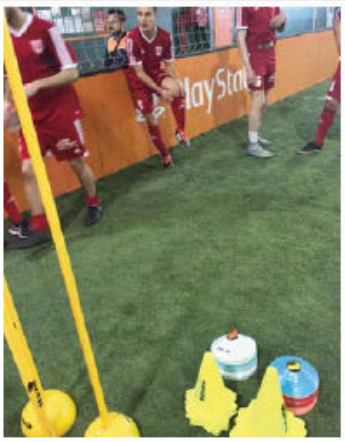
QUELLE PRÉPARATION PHYSIQUE ESTIVALE EN SENIOR ?

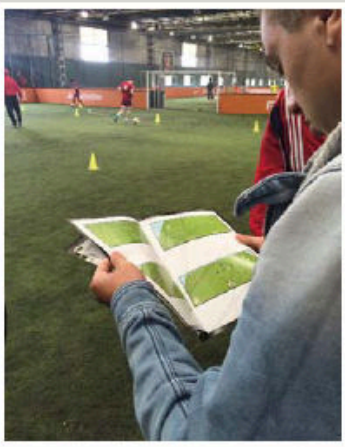
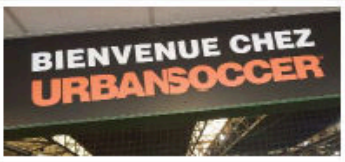
EXEMPLE D'UNE PROGRAMMATION SUR 6 SEMAINES.

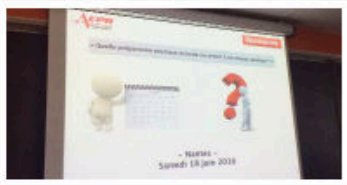
Chaque année à la même époque, des milliers d'éducateurs reprennent le chemin de l'entraînement en vue d'entamer une préparation physique estivale sur laquelle ils fondent toujours de grands espoirs ! Une période charnière visant à mettre toutes les chances de son côté pour bien démarrer la saison. Mais encore faut-il que cette programmation soit cohérente et adaptée. Car en effet, l'expérience montre que beaucoup d'entraîneurs se contentent aujourd'hui encore de reproduire ce qu'on leur faisait subir, hier, lorsqu'ils étaient joueurs, sans maîtriser la méthodologie, l'évaluation de la charge ni la progressivité qu'une bonne préparation exige. Voilà pourquoi nous avons choisi d'organiser, le 18 juin dernier, un "Atelier *VESTIAIRES*" à la fois théorique et pratique à l'UrbanSoccer de Saint-Sébastien sur Loire, près de Nantes, devant une cinquantaine d'éducateurs locaux et en présence de Frédéric Bodineau, CTR de la Ligue Atlantique, et de Philippe Constantin, président de l'AEF 44. Une matinée animée par Jean-Christophe Hourcade (voir par ailleurs) dont l'objectif était de présenter les enjeux et de la préparation physique estivale en senior, à un niveau amateur, tout en proposant un exemple de programmation sur 6 semaines. Voici ici l'entière retranscription de cette intervention, à aborder comme un outil pratique à l'élaboration de votre préparation.

Par **Jean-Christophe HOURCADE,**
Préparateur physique professionnel. Directeur de l'académie ACPASPORT (www.acpasport.com)







Major de promotion au Certificat d'Entraîneur Préparateur Physique

Ancien entraîneur des Coq Rouges de Bordeaux (1992-2000) avec lesquels il est passé de la 2ème division départementale à la DH en 7 ans (voir *Vestiaires* n°70), Jean-Christophe Hourcade s'est ensuite spécialisé dans le domaine de la préparation physique. Avec succès. De Toulouse (National) à Valenciennes (L1) en passant par le Saint-Etienne d'Elie Baup (2004-2006), Rodez (CFA) et Tours (L2), celui qui fut major de promotion au Certificat d'Entraîneur Préparateur Physique (FFF) est reconnu aujourd'hui comme étant l'un des meilleurs experts français en la matière. Fondateur et Directeur de l'Académie Conseil en Préparation Physique (ACPASPORT) et auteur de l'ouvrage "*Les 30 questions les plus souvent posées en préparation physique*", dans la collection "*Les guides Vestiaires*", Jean-Christophe Hourcade est à la recherche aujourd'hui d'une nouvelle aventure. Il est en stand-by, comme on dit. Ce qui fut l'opportunité pour nous de lui demander de nous consacrer une matinée, à Nantes, dans le cadre d'un "*Atelier Vestiaires*" des plus réussis !

Suite page suivante ►►►

DOSSIER

I. Les désadaptations liées à la trêve

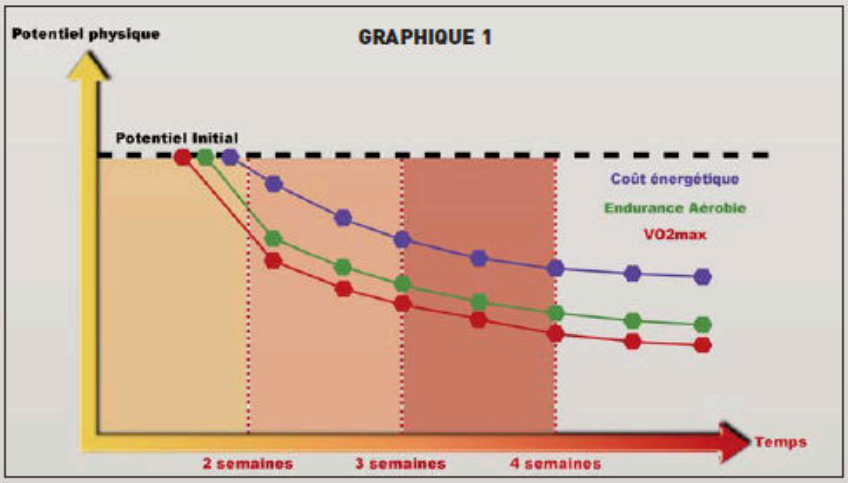
Commençons d'abord par cette question : Pourquoi fait-on une préparation physique à la reprise ? Cela est-il vraiment nécessaire ou est-ce une simple habitude qui colle bien à cette période d'avant-saison et à la volonté de se "remettre en route", tous ensemble ? Pour répondre à cette question, il convient d'aller voir dans les fondements scientifiques. Et là, que constate-t-on ? Qu'entre 2 et 3 semaines d'inactivité, le footballeur connaît une chute de son potentiel physique. En effet, lorsqu'on observe les 3 principales "familles" s'agissant des qualités athlétiques - le VO2max, l'endurance aérobie (capacité à maintenir des rythmes élevés sans être prisonnier du lactate, lequel vient perturber la physiologie du sportif et en particulier la contraction musculaire) et le coût énergétique (capacité à faire des efforts, des sauts, des changements de direction avec le moindre coût sur le plan phyique), on s'aperçoit qu'il y a bien une perte, mais pas dans les mêmes proportions, comme l'ont démontré les travaux de Laurent Bosquet, Doyen de l'Université de Poitiers (**Graphique 1**).

➔Une baisse de 15 à 20% du VO2max après 3 semaines d'inactivité

La qualité qui baisse le plus, dans un premier temps, est VO2max (voir définition par ailleurs). Au bout de 3 semaines, le joueur a perdu entre 15 et 20% de son potentiel ! Ce qui n'est pas anodin puisqu'il s'agit là d'un paramètre qui s'avérera déterminant pour tenir 90 minutes et encaisser un certain nombre d'efforts tout au long de la saison. L'endurance aérobie, elle, est également en baisse, tandis que le coût énergétique apparaît comme étant la qualité la moins impactée. Toujours est-il qu'après un mois d'inactivité, ces 3 qualités se situent à un niveau très bas. Trop bas pour pratiquer le football en compétition. Voilà donc ce qui justifie de refaire une préparation, idéalement sur 6 semaines en ce qui nous concerne. Avec l'objectif de repotentialiser ces 3 qualités.

➔Un impact aussi sur la souplesse articulaire, le pourcentage de masse grasse…

Notez que les trois principales "familles" que nous avons évoquées (VO2max, Endurance aérobie et Coût énergétique) ne sont pas les seules qualités à diminuer durant la trêve. On constate aussi des pertes annexes comme autant de dommages collatéraux, au niveau par exemple de la souplesse articulaire, de l'amplitude de la hanche, du pourcentage de masse grasse (biométrie), ou encore un déséquilibre sur le plan sanguin, etc. Et c'est bien logique puisque les joueurs mangent moins bien, boivent peut-être plus d'alcool ou de boissons sucrées type sodas, dorment moins, bougent moins… Il n'est pas rare de voir, à la reprise en amateur, un écart de 1 à 2 kilos chez les plus affutés, et jusqu'à 4 à 5 kilos chez d'autres qui ont une tendance à l'embonpoint ! Tout cela va avoir inévitablement une répercussion sur l'organisme. D'où la nécessité de mettre en place une programmation afin de retrouver un état de forme adaptée à la pratique du football de compétition, quel que soit le niveau.



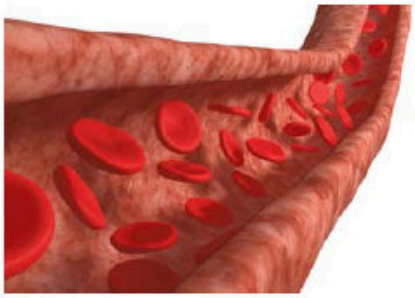
LES POINTS A RETENIR

- L'inactivité prolongée (plus de 1 semaine) entraîne une baisse du potentiel physique.
- Les 3 principales "familles" sont impactées : le VO2max, la capacité aérobie et le coût énergétique.
- Le VO2max est la qualité qui chute le plus vite : 15-20 % après 3 semaines.
- D'autres pertes annexes sont constatées : souplesse articulaire, pourcentage de masse grasse, etc.
- Mettre en place une programmation de 6 semaines afin de retrouver un état de forme adaptée à la pratique du football de compétition, quel que soit le niveau, s'avère indispensable.

estivale

Le VO2max :
Comme une autoroute avec ses axes secondaires…

Le VO2max représente la "caisse" du joueur. C'est la capacité de l'individu à optimiser le transport et la captation de l'oxygène vers et par le muscle, pour une meilleure contraction à l'effort. Lorsqu'on arrête de s'entraîner pendant un certain temps, la pompe cardiaque est contrainte de fonctionner deux fois plus vite pour amener deux fois plus d'oxygène vers les muscles, et ce afin de compenser la réduction du réseau capillaire sanguin permettant le transport de ce même oxygène vers les muscles. C'est comme un réseau routier ! Par défaut, l'organisme utilise "seulement" les autoroutes. Mais si vous vous entraînez, il va développer un réseau secondaire permettant d'amener plus efficacement, et à moindre effort pour le cœur, l'oxygène vers les muscles. Réseau qui va disparaître progressivement avec l'arrêt de l'activité…



Avant de vous lancer…

Six semaines, c'est grosso modo le temps dont vous allez disposer, en amateur, pour votre préparation estivale, même si l'on est peut-être plus proche de 4 semaines pour une équipe de niveau départemental, qui reprend généralement la deuxième quinzaine d'août. Toujours est-il que toute programmation s'appuie sur 3 paramètres fondamentaux : le **nombre de semaines de préparation**, le **nombre de séances hebdomadaires**, et le **nombre de matches amicaux**. Voilà ce qu'il faut déterminer en priorité lorsque vous partez d'une feuille blanche pour concevoir votre programmation.

Suite page suivante ►►►

DOSSIER

II. Les 3 grands principes d'une

I) Respect de la cinétique Charge-Intensité

Dans le cadre d'une programmation sur 6 semaines, les 3-4 premières semaines seront incluses dans une période (ou microcycle) dite de "développement". La charge de travail va, dans un premier temps, augmenter progressivement pour diminer ensuite à partir de la 4ème semaine (**Graphique 2**). Voilà la première information à connaître. Imposer à vos joueurs une charge de travail identique entre le premier et le dernier jour de préparation serait une grossière erreur. La deuxième à ne pas commettre serait d'attaquer dès la première semaine par 2 entraînements quotidiens ! Je caricature ici volontairement, mais ce qu'il faut retenir, c'est que votre programmation ne peut aller sans une forme de progressivité, sinon vous courez à la catastrophe en termes de blessures ! Et c'est pareil en professionnel. Lorsqu'on s'arrête 1 mois, on ne repart pas tambour battant. Comme le disait Robert Duverne, il y a quelques années, on va d'abord *"entraîner les joueurs à s'entraîner"*.

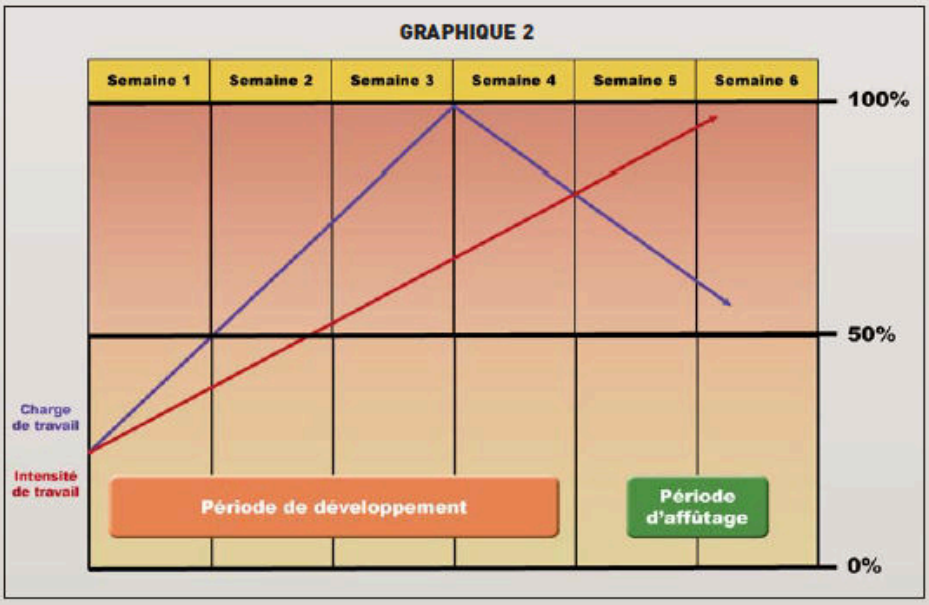
➔ Période d'affûtage : Ne pas annuler des séances, mais en réduire la durée

En fin de phase de développement, on va diminuer la charge. C'est la période dite d'affûtage (voir page 40). Plus on va se rapprocher de la compétition - souvent le 1er match de Coupe en amateur - plus on va abaisser le volume total de travail afin de provoquer un phénomène de "rebond" sensé nous faire atteindre notre "pic de forme" le jour J. Mais attention : diminuer le volume total ne veut pas dire "annuler des séances" ! Il faut impérativement conserver leur nombre, mais en réduire simplement la durée, généralement de moitié. Un procédé qui n'est pas toujours facile à faire comprendre aux entraîneurs : ce n'est pas parce qu'on travaille 45 minutes au lieu de 1h30 qu'on fait une mauvaise séance. C'est sûr que si vous perdez la moitié du temps à marcher, boire ou discuter, vous n'aurez travaillé au final que 10 minutes ! Mais si vous optimisez le déroulé de la séance, alors vous pourrez faire 45 minutes très qualitatives. Voilà pour la charge.

➔ Les 2 cinétiques s'inversent à la fin de la période de développement

La deuxième cinétique de notre programmation concerne l'intensité du travail, qui va se caractériser, entre autres, par une augmentation des pourcentages de VMA dans le cadre du travail foncier. En début de préparation, elle démarre à un niveau faible pour augmenter ensuite progressivement. Pas question ici de commencer par des sprints dès le premier jour ! Les 2 premières semaines seront plutôt axées sur des efforts modérés en continu ou en fractionné, avant de se diriger de plus en plus vers de la vitesse et de la force vitesse. En pratique, cette élévation de l'intensité va donc se traduire par des allures de course de plus en plus intenses. Et c'est bien logique puisque l'objectif *in fine* est de se calquer sur les exigences et la réalité du jeu. Qu'on soit en Ligue 1 ou en district, il y a une exigence de compétition. Et il faut en tenir compte dans la préparation de ses joueurs. Enfin, notez que lorsqu'on arrive à la fin de la période de développement, les 2 cinétiques s'inversent, matérialisant le début de la période d'affûtage.

GRAPHIQUE 2



programmation sur 6 semaines

2) Le contrôle de la charge d'entraînement

Le deuxième grand principe est le contrôle de la charge d'entraînement. Avant de voir comment l'évaluer, rappelons qu'elle correspond au rapport volume/intensité/fréquence. Dans les années 70, le volume était relié à la durée des séances, la fréquence à leur nombre hebdomadaire, et l'intensité aux pourcentages de VO2max. Ce n'est plus le cas. Grâce à l'utilisation des outils technologiques, le volume correspond désormais à la distance totale parcourue sur la séance. L'intensité, elle, se rapporte à la vitesse relative (nombre de mètres parcourus par minute). Si vos joueurs ont parcouru 11 000 mètres en 1h30, vous aurez une fréquence relative de 122 mètres par minute. C'est celle que l'on retrouve habituellement dans un match de Ligue 1, par exemple. Enfin, la fréquence est à mettre en lien avec le nombre d'efforts à haute intensité. Lorsqu'on est sur un travail foncier, il y a du volume, une certaine intensité spécifique, mais la fréquence sur les efforts à haute intensité est nulle, car il n'y a pas de sprint. La charge d'entraînement s'obtient non pas en multipliant mais en additionnant ce rapport volume/intensité/fréquence.

NOTE

La charge est soit cardio-respiratoire, centrale (au niveau du cœur), soit neuro-musculaire, périphérique (au niveau des muscles). La fatigue physiologique ressentie est liée à ces deux grandes familles.

➔L'évaluation de vos séances sur une échelle de perception de l'effort

Oui mais voilà, comment quantifier la charge lorsqu'on ne dispose pas de matériel adapté, type GPS, etc. ? De nombreuses méthodes existent, qui utilisent différents types de marqueurs d'intensité. En football, on a longtemps utilisé les méthodes basées sur la fréquence cardiaque. Alors certes, elles fonctionnent très bien en début de saison sur du travail aérobie (efforts en continu). Mais lorsqu'on fait du sprint, du travail intermittent, du travail de force… qu'est-ce qu'on en fait de la fréquence cardiaque ?! L'idée est donc de se tourner plutôt vers des marqueurs d'intensité basés sur le ressenti des joueurs, particulièrement adaptés à un niveau amateur. C'est la méthode RPE : l'évaluation de vos séances d'entraînement sur une échelle de perception de l'effort. Cette méthode, qui a aussi ses limites, est néanmoins validée d'un point de vue scientifique. Trente minutes à la fin de chaque séance (c'est le protocole), on va donc demander aux joueurs d'évaluer personnellement la difficulté de la séance, sur une échelle de 1 à 10. C'est l'échelle modifiée de Foster (**voir Graphique 3**). Attention : la note 5 ne correspond pas à une difficulté "moyenne" mais "difficile" ! N'oubliez jamais de donner ce tableau à vos joueurs afin qu'ils ne se trompent pas.

GRAPHIQUE 3

Indices	Appréciation
0	*Repos*
1	*Très très facile*
2	*Facile*
3	*Modérée*
4	*Assez difficile*
5	*Difficile*
6	
7	*Très difficile*
8	
9	
10	*Maximal*

L'échelle modifiée de Foster

➔Un outil psychophysiologique très intéressant pour l'entraîneur

L'un des atouts de cette méthode est d'être une échelle psychophysiologique qui tient compte de l'état de fatigue physique et mental dans lequel le joueur se trouve lorsqu'il arrive à l'entraînement (après avoir passé une journée sur les chantiers, par exemple). C'est donc un outil d'évaluation et de contrôle hyper intéressant pour l'entraîneur. Si les joueurs se l'appro-

Suite page suivante ►►►

GRAPHIQUE 4

Calcul de la charge d'entrainement

Durée de la séance x Indice de séance

Durée de séance (min)	Indice de séance	Appréciation	Charge d'entraînement (u.a)
60	2	Facile	120
75	7	Très difficile	525

prient et jouent le jeu le plus honnêtement possible, ça va vous aider. Soit ! Mais comment calculer la charge d'entraînement individuelle ? En multipliant la durée de la séance par l'indice ressenti par le joueur. La charge d'entraînement étant alors exprimée en Unités Arbitraires. Par exemple, 1 heure d'entraînement évaluée à 2 = 120 u.a. (**voir Graphique 4**). Il suffit ensuite de faire la moyenne des notes de son équipe afin d'obtenir la charge "globale" de la séance. Alors bien sûr, cette méthode reste subjective, ce qui est l'une de ses limites. Il y en a d'autres... Mais il n'en demeure pas moins qu'elle s'avère utile pour le coach, quel que soit le type de travail (endurance, vitesse, renforcement...).

➔ Ajuster ses séances et déterminer des charges prévisionnelles

Et pour cause, on peut ensuite se référer aux tableaux dessous (**voir Graphique 5**) pour ajuster son travail en fonction du ressenti des joueurs, et déterminer des charges prévisionnelles. Par exemple, sachez qu'aux alentours de la 4ème semaine de préparation, on est généralement entre 1900 à 2500 points la semaine, match amical compris. Lorsqu'on va passer à la 5ème semaine, on se situera plutôt aux alentours de 1000 points. Ainsi, dans le cas où l'on doit programmer une semaine d'entraînement à 1000 points, sur 4 séances, il faudra concevoir 4 entraînements à 250 points ou bien 1 à 400 et 3 à 200... L'idée par la suite sera évidemment d'affiner cette approche avec l'utilisation d'outils objectifs, comme les GPS, même à un niveau amateur. Car ce n'est pas réservé à l'élite ! Il existe aujourd'hui de bons produits pour seulement 350 euros. C'est un bon investissement à faire pour un club amateur, qui permettra à l'entraîneur d'avoir une idée plus précise de ce qu'il fait, tant d'un point de vue qualitatif que quantitatif, et de croiser ses données avec celles récupérer via la méthode RPE.

GRAPHIQUE 5

RPE	Séances
700-750	*Match*
500-700	*Séance très élevée (risque de fatigue)*
350-500	*Séance élevée*
200-350	*Séance modérée*
< 200	*Séance légère*
0	*Repos*

RPE	Semaine
> 2500	*Semaine très élevée (baisse de perf : surmenage)*
1900 -2500	*Semaine élevée*
1500-1900	*Semaine modérée*
700-1500	*Semaine légère*

D'après Hourcade et Marrier, 2015

3) La notion de progressivité

Les 4 qualités que l'on va mettre véritablement au centre de nos préoccupations dans cette période de préparation sont le VO2max, la capacité à répéter les sprints, la force et le travail de vitesse (**voir Graphique 6**). Le développement de VO2max passe d'un travail d'endurance capacité (capacité aérobie) à un travail d'endurance puissance (puissance aérobie). La PMA (capacité à répéter les sprints), inscrite au cœur de notre préparation, sera programmée sur les semaines 3 et 4 (intermittents moyens voire courts : 15/15, 30/30, 1 minute/1minute, mais aussi du 5/25, 10/10…). Quant au travail de force et de vitesse, qui privilégient les aspects neuromusculaires (on travaille aussi bien sur le muscle que sur les facteurs nerveux), il interviendra sur les 2 dernières semaines. Un travail réalisé le plus souvent sous forme d'ateliers (élastiques, vestes lestées, médecine-ball…). Nécessité ici de varier le travail pour éviter la monotonie.

Le stage de préparation : un moment fort de la préparation

Chaque entraîneur devrait faire l'effort de programmer un stage de préparation, de 2 à 3 jours, car cela reste un moment fort de la préparation. Après, où le placer, c'est une autre histoire ! Car l'idée évidemment est d'avoir l'effectif le plus complet possible. Or, avec les départs différés en vacances, c'est toujours compliqué… Lorsque j'entraînais en amateur, il m'arrivait d'attendre quasiment la troisième semaine d'août pour faire ce stage sur un week-end. Mais je l'organisais, toujours. Même sur 2 jours, sans moyens financiers, on peut faire des choses très sympas en matière de cohésion. Lors de ma dernière année à Valenciennes (Ligue 1, ndlr), nous étions partis en pleine nature, et on a fait dormir les joueurs en forêt, à même le sol, en survêtement ! Il n'y avait pas un sac de couchage ! Le matin, ils allaient se laver dans le ruisseau… Ce sont des moments à part qui conditionnent ensuite beaucoup de choses sur la saison.

GRAPHIQUE 6

VO2max | CAPACITE A REPETER LES SPRINTS | FORCE | VITESSE

Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Semaine 5	Semaine 6
Cap.Aérob	Puiss.Aérob	PMA	PMA	Fce-Vitesse	Vitesse
EVALUATIONS Tests : * TUB II * VAMEVAL * 30-15 VIFT * Bangsbo (navette 30m) TRAVAIL AEROBIE	TRAVAIL PAR INTERVALLE LONGS * Fartlek * Intervalles longs : - 4'-4' (4 à 6 à 85% VMA*) - 2'-2' (6 à 8 à 95% VMA*) * Alternance Exercices * analytiques / Intégrés	TRAVAIL PAR INTERVALLE MOYENS ET COURTS * Intervalles courts : - 1'-1' (8 à 12 à 85% VIFT) - 15"-15" (2 à 3 x 8' de 85 à 105% VIFT) * Alternance Exercices * analytiques / Intégrés	TRAVAIL PAR INTERVALLE COURTS * Intervalles courts : - 15"-15" (2 à 3 x 8' à 85 à 105% VIFT) - -10"-10" (2 à 3 x 5' de 85 à 105% VIFT) * -5"-25" (« All Out ») * analytiques / Intégrés	TRAVAIL PAR ATELIERS * Pliométrie - Haies - Banc * Explosivité - Parachutes - Bullet-Belt - Elastiques de force - Chariot - Veste lestée	TRAVAIL PAR ATELIERS * Vitesse de démarrage - signaux visuels - signaux sonores - signaux auditifs * Vitesse vélocité - en ligne - avec changements de direction
* Sorties VTT de 45' à 2h * RUN and BIKE * Aviron en équipes * Biathlon (enchaînement de 2 disciplines)		DEVELOPPEMENT VO2max	DEVELOPPEMENT CAPACITE A REPETER SPRINTS STAGE		
	MATCH AMICAL N°1	MATCH AMICAL N°2	MATCH AMICAL N°3	MATCH AMICAL N°4	MATCH AMICAL N°5
RENFORCEMENT MUSCULAIRE GENERALISE * Circuits Training (2 à 3/semaine)		RENFORCEMENT MUSCULAIRE ORIENTE * Avec matériel spécifique sur le terrain		RENFORCEMENT MUSCULAIRE SPECIFIQUE * Avec matériel spécifique sur le terrain	

PROPRIOCEPTION-COORDINATION-PREVENTION

Suite page suivante ►►►

➔Travail aérobie : Cassez la routine !

Dans le travail de capacité aérobie (semaine 1), je trouve intéressant de sortir du travail classique à base de course, en forêt ou ailleurs. Par exemple le *run and bike*, un qui pédale l'autre qui court, fonctionne très bien. Il suffit de trouver parmi vos joueurs 1 VTT pour 2... C'est très ludique et efficace. J'ai eu l'occasion aussi à Tours (Ligue 2) d'organiser des triathlons, car on avait la chance d'être situé juste à côté d'une base nautique. On faisait une heure d'aviron (donc renforcement du haut du corps et de la ceinture abdo-lombaire) puis 45 minutes de VTT, avant de terminer par de la course autour d'un petit lac. Ce sont des séances qui ont fait un carton ! Ce qu'il faut retenir de tout ça, c'est que vous devez prendre le temps d'observer votre environnement pour voir ce qu'il est possible de faire, avec l'objectif de surprendre vos joueurs, et de casser la routine.

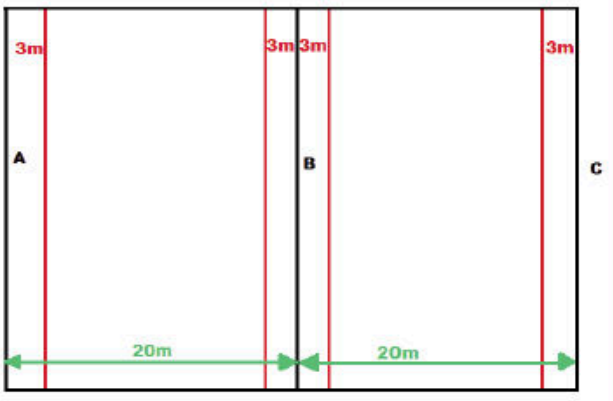
➔Puissance aérobie : Travailler avec et sans ballon

Dans le travail de puissance aérobie (semaine 2), on va être généralement sur des intervalles plutôt longs, avec des pourcentages de VMA compris entre 85 et 95% (70-80% pour le travail de capacité aérobie). Il me semble important ici, sur un 4 minutes/4minutes par exemple, d'alterner entre un groupe qui va courir, pendant qu'un autre est sur un jeu réduit, puis on inverse. À ce moment de la préparation, c'est 50% du travail avec ballon et 50% sans ballon. Je ne suis pas un adepte de l'entraînement 100% intégré. Je considère que le travail athlétique doit être mesuré, calibré. Alors oui, il faut laisser de la place au jeu, mais il me semble important aussi, tant d'un point de vue physique que mental, de se mettre de temps en temps "le cul par terre" et enchaîner les lignes droites. Ensuite, dans la saison, ce rapport 50/50 se transforme pour ma part en 1 tier/2 tiers. Un tiers sans ballon, 2 tiers avec ballon. Si je fais par exemple 3 blocs de 8 minutes en intermittent, il y en aura 1 sur les 3 qui comportera de la course en ligne. Et les 2 autres seront sous forme d'enchaînements techniques, sur du 15/15 ou 30/30. Et les groupes tournent... On en parlait récemment avec Jean-Pierre Papin : en football, les joueurs n'ont pas le ballon 95% du temps ! Ils courent ! Il faut donc aussi les préparer à ça. Si on ne fait que du ballon, on occulte selon moi une partie spécifique de l'activité.

Le test VMA :
Le 30/15 VIFT plutôt que le VAMEVAL ou TUB II...

Dès la première semaine, je suis adepte de programmer un test d'évaluation. Les plus connus pour la dominante aérobie sont le TUB II (effort discontinu) et le VAMEVAL (effort continu), l'objectif étant de mesurer une Vitesse Maximale Aérobie (VMA) qu'on pourra utiliser ensuite pour personnaliser le travail de PMA. Pour ma part, je préconise le test 30/15 VIFT de Martin Buchheit (**voir graphique 7**), responsable du pôle performance du PSG. Il s'agit d'un test intermittent avec des paliers qui, contrairement au Léger-Boucher, ne sont pas sur 20 mais sur 40 mètres. Il y a 3 zones, A-B-C, et la course commence à 8 km/h, pour augmenter ensuite de 0,5 km/h toutes les 30 secondes. Le joueur doit être dans des objectifs de cibles à chaque bip. Le test prend fin lorsqu'il n'est plus capable d'entrer dans les zones de tolérance 3 fois de suite. Au final, ce test permet de mesurer une "vitesse finale intermittente". Je m'explique. Avec le VAMEVAL ou TUB II, on obtient une VMA qui correspond à 100% de nos capacités aérobies. Or, on s'en sert pour programmer ensuite des intensité supérieures, entre 105 et 120-130%... Parallèlement à cela, on s'aperçoit en match que des joueurs ayant la même VMA ne donnent pas le sentiment de boxer dans la même catégorie ! Pourquoi ? Parce qu'il existe une réserve anaérobie qui, en fin de test, s'avère différente d'un individu à l'autre. Le test VIFT, lui, tient compte précisément de cette variable. Il est donc plus pointu, plus pertinent, et au final moins limitant dans l'interprétation des qualités physiologiques du joueur.

GRAPHIQUE 7



Pas de match amical à la fin de la première semaine

Traditionnellement, on organise 4 à 5 matches amicaux durant la préparation estivale. C'est vrai qu'un match par semaine, c'est bien, excepté le premier week-end de reprise (semaine 1). On peut faire une petite revue d'effectif avec les joueurs qui sont venus s'entraîner, certes, mais pas une opposition contre un adversaire après seulement 5-6 jours et 3-4 entraînements. C'est prendre de gros risques ! Je préconise plutôt de programmer le premier match amical lors de la 2ème semaine, après quasiment 15 jours d'entraînement. Cela me semble plus raisonnable. Et cohérent.

➔ Vitesse : Pensez aux changements de direction et aux départs lancés !

Pour le travail de vitesse (semaine 6), on est sur des contenus classiques, de la vitesse de démarrage, avec plusieurs signaux de départ (visuel, sonore, auditif). Mais il y a aussi la vitesse-vélocité, qui correspond à des accélérations qui dépassent les 4-5 mètres/seconde. Des efforts plus longs, supérieurs à 3 secondes, en travaillant beaucoup sur les changements de direction. C'est essentiel. Or, sur ce que je vois en club, 99% des exercices de vitesse s'effectuent en ligne droite ! Et tout le monde travaille la vitesse en départ arrêté… Là aussi, ça m'interpelle. En match, combien de fois le joueur est-il arrêté avant de faire un sprint ? Rarement. Le footballeur accélère en étant déjà en mouvement. Et nous on l'entraîne départ arrêté ! Pourquoi ? Parce qu'on est encore prisonnier des modèles d'athlétisme. Mon conseil : Matérialisez des zones de mise en action et faites accélérer les joueurs une fois lancés. L'idée, comme toujours, est de les préparer à ce qu'ils vont vivre réellement en match.

➔ Renforcement musculaire général, orienté et spécifique : Au moins 2 à 3 fois par semaine

Dans le domaine du renforcement musculaire, il y a 3 modules à mettre en place au moins 2 à 3 fois par semaine - sinon cela ne sert à rien - le plus souvent sous forme de circuit training en début ou fin de séance : un renforcement général sur les semaines 1 et 2 (haut et bas du corps), un renforcement orienté sur les semaines 3 et 4 (membres inférieurs avec matériel spécifique : élastique, médecine-ball, chariots lestés, parachutes…) et un renforcement spécifique sur les 2 dernières semaines (travail de pliométrie, bonds, multi bonds, associés à du travail technique). Notez que pour le renforcement musculaire orienté, il est possible aujourd'hui d'acheter du matériel bon marché. C'est vraiment un plus pour vos séances car cela permettra d'en faire varier les contenus, de surprendre vos joueurs, gage d'une meilleure concentration et implication.

➔ Proprioception-coordination-prévention : A inscrire en fil rouge de la préparation

Dès le départ et jusqu'à la fin de votre préparation, et même au-delà, le travail de proprioception-coordination-prévention doit s'inscrire en fil rouge. Parmi les bienfaits de ces exercices (pliométrie basse, cerceaux, lattes, coupelles…) on peut souligner la sensibilité au niveau de la voûte plantaire. En effet, dans le cadre du phénomène de désadaptation dont on parlait tout à l'heure, il faut savoir qu'il existe tout un tas de capteurs qui vont perdre en sensibilité après un arrêt prolongé. Intégrer ce travail de proprioception-coordination-prévention sur des échauffements ou circuits training va donc permettre au joueur de regagner en maîtrise des appuis. Attention toutefois à ne pas imposer 30 minutes d'un tel travail dès la première séance ! Vous risquez de "charger" les mollets (mal préparés) et de voir apparaître des blessures. Ce type d'exercice coûte plus qu'il n'y paraît. Il faut donc, là encore, respecter une forme de progressivité.

Suite page suivante ►►►

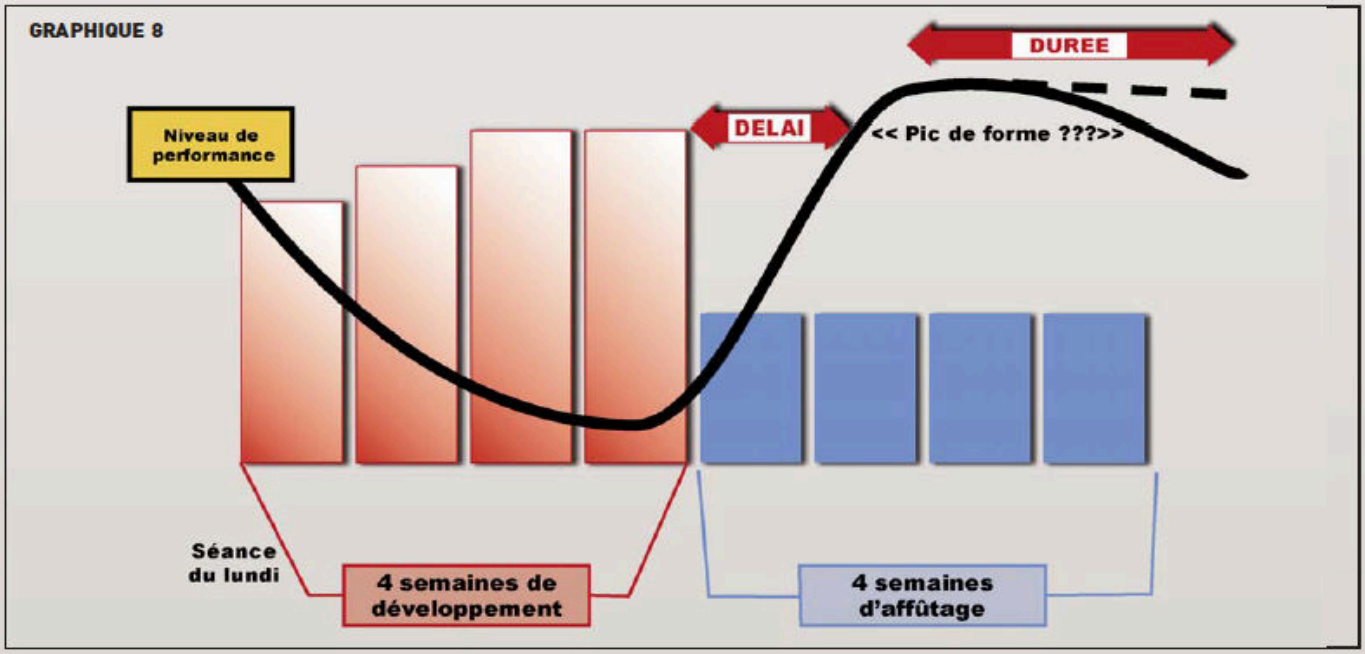
Graphique 8 « Supercompensation Kinetics of Physical Qualities During a Taper in Team Sport Athletes » (Marrier 2017)

DOSSIER

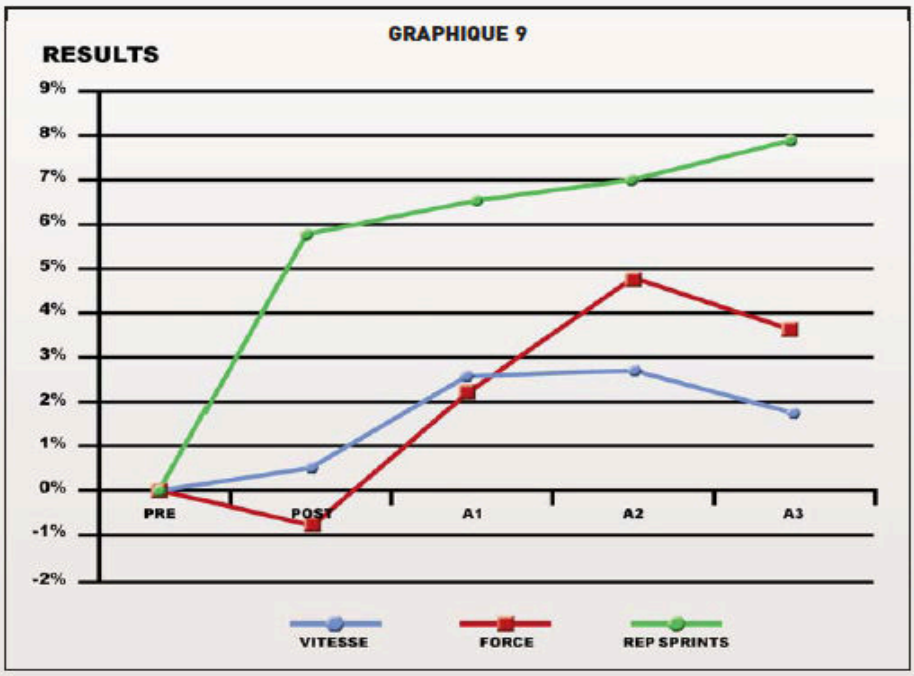
III. La phase d'affûtage

Je m'appuie ici sur les travaux de Bruno Marrier, professeur agrégé d'éducation physique, préparateur physique de l'équipe nationale de rugby à 7, et qui vient de terminer une expérimentation avec le pôle France de la discipline. Des travaux qu'il a réalisés sur une phase de 4 semaines de développement, suivie d'une période d'affûtage de 4 semaines également. On sait qu'il y a un délai entre la fin du microcycle de développement et le bénéfice de la période d'affûtage, lequel doit nous amener à un supposé pic de forme (**voir Graphique 8**). La question est de savoir quel est ce délai ? Et existe-t-il vraiment un pic de forme ? Si oui, combien de temps dure-t-il ? Après les 4 semaines de développement, Bruno Marrier a baissé la charge de

GRAPHIQUE 8



Graphique 9 « Supercompensation Kinetics of Physical Qualities During a Taper in Team Sport Athletes» (Marrier 2017)



44%, tout en maintenant l'intensité. On n'est pas loin des 50% que je préconisais tout à l'heure…(voir page 34, ndlr). Ses joueurs ont été évalués **(voir Graphique 9)** lors du pré-protocole (PRE), puis à la fin des 4 semaines de développement (POST), et enfin après chacune des 3 semaines d'affûtage (A1, A2 et A3). Alors qu'observe-t-on à l'analyse de ces résultats basés sur les qualités de vitesse, de force et de répétition des sprints ?

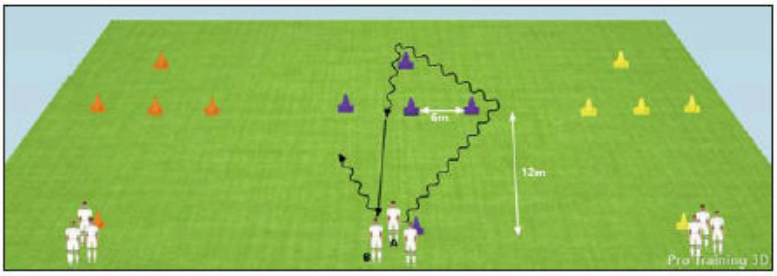
➔ Un gain de près de 6% pour la qualité force, au terme de la 2ème semaine !

À la fin de la phase de développement, on a une qualité, la force, qui a diminué de près de 1%. En revanche, et ce en dépit de l'augmentation de la charge d'entraînement, les joueurs ont un peu progressé en vitesse (0,5%) et surtout en répétition de sprints, de près de 6%. Mais là où les résultats deviennent vraiment probants, c'est lors des 3 semaines d'affûtage. En effet, on observe après la 1ère semaine que la force monte en flèche (de -1% à 2%, soit un gain de 3%), tandis que la répétition des sprints et la vitesse progressent également de manière significative. Idem sur la 2ème semaine (moins significatif pour la vitesse), avec toujours une progression spectaculaire de la qualité force (un gain de près de 6% au total). Enfin, au terme de la 3ème semaine d'affûtage, les qualités commencent à décliner, exceptée la répétition des sprints qui continue de progresser. Alors quelles conclusions tirer de ces résultats ? On peut d'ores et déjà affirmer que le pic de forme est bel et bien là, et qu'il intervient majoritairement au bout de la 2ème semaine d'affûtage. En termes de stratégie, cela doit interpeller l'entraîneur qui devra en tenir compte dans sa programmation. On sait aussi maintenant que les bénéfices constatés le sont majoritairement pendant 2 semaines.

➔ Et après ? On ne repasse pas de 50 à 100% de charge !

Et après, Que faire ? Et bien il faut remettre de la charge. Mais pas n'importe comment ! Il convient de respecter à nouveau une forme de progressivité pendant 2 à 3 semaines. Si vous faites des séances d'une heure, ne passez de suite à des séances de 2 heures. Enfin, derniers conseils : faites des séances "football" après la période de préparation afin de maintenir les adaptations énergétiques (faire un rappel toutes les 3 semaines). Quant aux qualités neuromusculaires (force et vitesse), se dégradent rapidement, faites un rappel chaque semaine.

EXERCICE 1 : Travail évolutif



Voici un exercice permettant de travailler plusieurs supports physiologiques : la capacité aérobie (spécifique ou Fartlek), la vitesse (capacité à répéter des sprints), l'intermittent PMA, et l'intermittent Force. Les joueurs travaillent par 3.

- Capacité aérobie : Le joueur part en conduite de balle et contourne 2 plots avant de passer le ballon à son partenaire (comme sur le schéma). Un travail continu réalisé à 70-75% de la VMA (75-80 pour la capacité aérobie spécifique). Pour le Fartlek, le joueur change de rythme sur les 12 derniers mètres après avoir fait la passe.

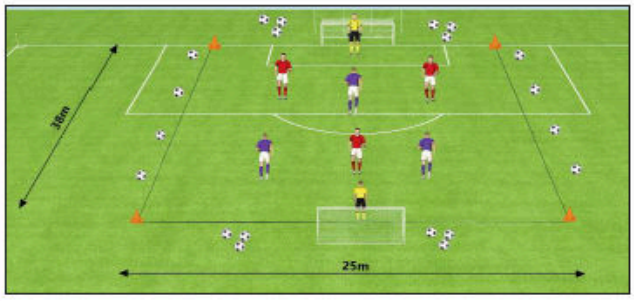
- Vitesse : Le joueur contourne les plots (sans ballon) et démarre un sprint depuis le plot le plus haut (départ lancé) jusqu'au point de départ, soit une vingtaine de mètres (efforts inférieur à 5 secondes). Le temps de récupération sera de 30 secondes.

- Intermittent PMA : Le joueur part en conduite de balle et contourne 2 plots avant de passer le ballon à son partenaire (comme sur le schéma), mais le tout en moins de 10 secondes ! Puis 20 secondes de récupération (= passage de ses 2 partenaires). Les distances de courses doivent varier d'un atelier à l'autre, en fonction des groupes de niveau.

- Intermittent Force : Le joueur part en conduite de balle et contourne 2 plots avant de passer le ballon à son partenaire (comme sur le schéma). Là, il effectue un effort en "8" autour des 3 plots centraux, à haute intensité, avant de revenir au point de départ.

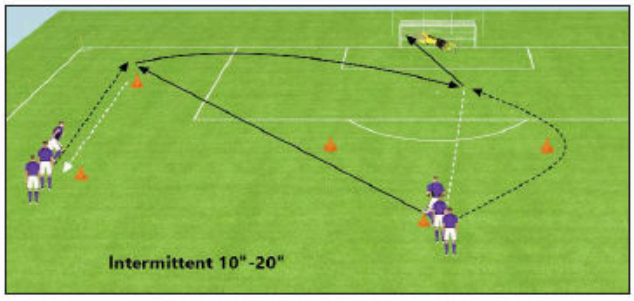
EXERCICE 2 : Jeu à 3 contre 3

Sur une surface de 38x25m, jeu à 3 contre 3 avec but mobile. Travail contextualisé. Une séquence dure 3 minutes (suivie de 1 minute de récupération). Chaque ballon sorti = 1 ballon repart du gardien (préparer les sources de balle). Les joueurs ont 2 touches de balle (libre à la récupération). Marquage individuel dans l'action. Faire 6 blocs de 3 minutes + 1 de récupération.



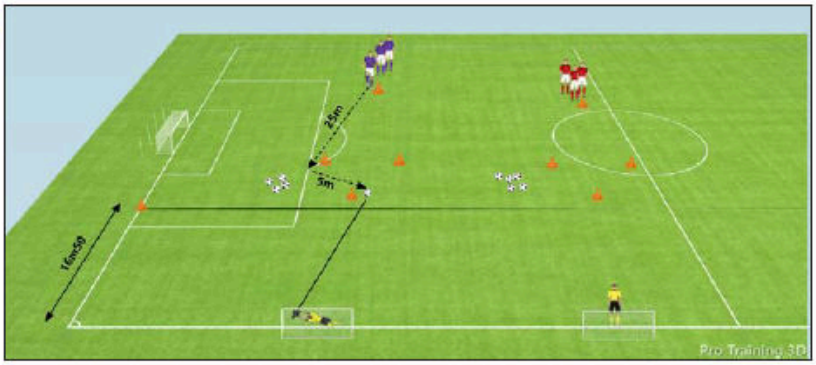
EXERCICE 3 : 10/20 intégré au poste

Travail intermittent (dominante PMA) : Sur 10 secondes, le joueur au départ de la séquence doit passer à son partenaire excentré et se retrouver à la réception du centre, avant de réaliser une course de replacement (contre effort) jusqu'au point de départ. Idem pour le centreur. Puis 20 secondes de récupération pendant le passage des 2 autres binômes. Pour un travail en endurance spécifique, on fera du 10/30.



EXERCICE 4 : Capacité à répéter les sprints

Travail intégré. Le joueur a 10 secondes pour effectuer une course de 30 mètres (25 + 5) et frapper au but. Puis 30 secondes de récupération. Faire 7 à 8 répétitions.



LISTE DES TABLEAUX

Page 14 **Tableau 1**: Caractéristiques des principales études relatives à l'analyse des déplacements du footballeur, de 1976 à 2016

Page 25 **Tableau 2**: Dénominations des types d'efforts et vitesses associées (Bangsbo 1991 ; Mohr 2003)

Page 25 **Tableau 3**: Appellations et zones de vitesse proposée par les systèmes Amisco Pro® et Prozone Sports Ltd®

Page 28 **Tableau 4**: Présentation chronologique des études avec leurs données spécifiques d'intensité, de 1974 à 2011.

Page 28 **Tableau 5**: Valeurs d'équipe pour les distances de « haute et très haute intensité », de 2013 à 2015, Système GPS (GPSports® SPI Pro X et GPS Stat sports®)

Page 33 **Tableau 6**: Paramètres de Fréquence associés à la littérature

Page 34 **Tableau 7**: Paramètres de Fréquence obtenus à partir du pourcentage de la distance totale parcourue

Page 35 **Tableau 8**: Paramètres de Fréquence obtenus à partir du pourcentage du temps de jeu total

Page 36 **Tableau 9**: Paramètres de Fréquence obtenus par GPS, associés aux postes et aux systèmes de jeu

Page 39 **Tableau 10**: Exemple d'un programme d'entraînement hebdomadaire d'une équipe professionnelle de Ligue 1 (données personnelles non publiées)

Page 51 **Tableau 11**: Moyennes de taille, poids et pourcentage de matière grasse (%MG) par périodes depuis 1975

Page 54 **Tableau 12**: Exemples de consommations maximales d'oxygène ($\dot{V}O_{2max}$), de 1970 à 2015

Page 56 **Tableau 13**: Consommations maximales d'oxygène ($\dot{V}O_{2max}$) en fonction du niveau de pratique (d'après Tonnessen *et al.* 2013) (*a,b,c>d,e (sauf c *vs.*e) > f (p<0,001)

Page 67 **Tableau 14**: Principales méthodes de la quantification de la charge d'entraînement

Page 69 **Tableau 15**: Exemple de calcul d'une CE à partir de la méthode TRIMP (Banister et Hamilton 1985)

Page 70 **Tableau 16**: Zones de fréquences cardiaques et coefficients spécifiques (d'après Edwards 1993)

Page 70 **Tableau 17**: Exemple de calcul d'une CE avec la méthode SHRZ (Edwards 1993)

Page 72 **Tableau 18**: Echelle de perception de l'effort modifiée par Foster (2001)

Page 72 **Tableau 19**: Principales échelles basées sur le perception de l'effort (Echelles RPE)

Page 73 **Tableau 20**: Exemple de calcul d'une CE avec la méthode RPE (Foster 2001)

Page 76 **Tableau 21**: Exemple de calcul de la monotonie de 3 semaines de compétition en football (Foster 1998)

Page 78 **Tableau 22**: Facteurs de pondération pour chaque zone d'intensité d'entraînement (Lucia 2003)

Page 78 **Tableau 23**: Exemple de calcul de la CE avec la méthode des seuils ventilatoires (Lucia 2003)

Page 79 **Tableau 24**: Facteurs de pondération pour chaque zone d'intensité d'entraînement (Wood 1998)

Page 79 **Tableau 25**: Exemple de calcul de la CE avec la méthode des seuils ventilatoires (Wood 1998)

Page 81 **Tableau 26**: Exemple de calcul de la CE avec la méthode WER (Desgorces 2007)

Page 81 **Tableau 27**: Zones, seuils et coefficients de la méthode LTZones (Mujika 1996)

Page 82 **Tableau 28**: Exemple de calcul de la CE avec la méthode LTZones (Mujika 1996)

Page 131 **Tableau 29**: Exemple d'une modélisation par « Scoring » du paramètre Intensité en compétition

Page 134 **Tableau 30**: Exemple de proposition d'évaluation de la capacité de performance en match

Page 136 **Tableau 31**: Exemple d'exercices spécifiques au football, avec leur % de Puissance musculaire maximale des membres inférieurs

Page 137 **Tableau 32**: Base méthodologique des sollicitations de puissance musculaire maximale des membres inférieurs lors des jeux réduits

Page 137 **Tableau 33**: Exemple de quantification d'une séance de football avec CE-RPE et % de Puissance Musculaire Maximale des membres inférieurs

Page 144 **Tableau 34**: Exemples de variables à prendre en compte pour déterminer l'indice d'opérationnalité quotidien du joueur.

LISTE DES FIGURES

Page 16 **Figure 1**: Principales études répertoriant les distances moyennes parcourues en match par des équipes professionnelles européennes masculines depuis 1974 (NR=Ecart-type Non Renseigné)

Page 18 **Figure 2**: Comparatifs des distances parcourues en fonctions des postes depuis 1974.

Page 19 **Figure 3**: Principales études répertoriant les distances moyennes parcourues en match par les défenseurs depuis 1974

Page 20 **Figure 4**: Comparaisons des distances parcourues en compétition entre la 1 ère et la 2ème mi-temps depuis 1978

Page 44 **Figure 5**: Exemple d'un jeu réduit à 3 *vs.* 3 utilisé pour solliciter la consommation maximale d'oxygène (6 x 3min-1min, marquage individuel, départ sources de balles au niveau des gardiens de but, encouragements du coach)

Page 46 **Figure 6**: Exemple d'un travail intermittent court, individualisé par postes, en 10s-20s à 110% de la VMA

Page 47 **Figure 7**: Exemple d'exercices de répétitions de sprints « intégrés », sous forme de compétition entre deux équipes

Page 50 **Figure 8**: Evolutions anthropométriques (taille et poids) des joueurs professionnels de football européens depuis 1975, en comparaison avec les courbes de tendance des populations française et européenne. ( ): Nombre d'études associées (données personnelles non publiées)

Page 51 **Figure 9**: Evolutions anthropométriques (taille et poids) des joueurs internationaux français lors des coupes du monde et championnats d'Europe depuis 1978. Bleu=taille ; Rouge=poids (données personnelles non publiées)

Page 52 **Figure 10**: Evolutions anthropométriques (poids et pourcentage de MG) des joueurs professionnels de football européens depuis 1975. ( ): Nombre d'études associées (données personnelles non publiées)

Page 59 **Figures 11a et 11b**: Tests de détente verticale le plus fréquemment utilisés en football depuis 1975 (Avec l'aimable autorisation du CEP de Dijon)

Page 59 **Figure 12**: Systèmes d'évaluation portatifs

Page 61 **Figure 13**: Evolution des performances en détente verticale (Bloc rouge=Sargent test ; Bloc bleu= CMJ). ( ) : nombre d'études concernées

Page 66 **Figures 14a et 14b**: (a) Processus d'entrainement (Impellizzeri *et al.*, 2005) et (b) modèle biocybernétique des effets de l'entrainement (Morin, 2014)

Page 83 **Figure 15**: Relation entre les CE calculées avec les méthodes « Player Load » (Catapult®) et RPE

Page 131 **Figure 16**: Représentation graphique des volumes de course totaux hebdomadaires, d'entraînement et de match d'une équipe de football

Page 132 **Figure 17**: Processus de la performance en football

Page 132 **Figure 18**: Compétences spécifiques en football (d'après Hughes, 2012)

Page 138 **Figures 19a et 19b**: Représentations graphiques d'une quantification de séance (A) et d'une semaine d'entraînement de football (B), exprimée en RPE-Puissance Musculaire Maximale des membres inférieurs

Page 139 **Figure 20**: Dimensions des zones de course du test australien

Page 141 **Figures 21**: Interfaces mobile et de suivi quotidien des indices de bien-être (Training©) (données fictives)

Page 141 **Figures 22a et 22b**: Exemple de suivi des indices d'état d'un joueur professionnel sur une période de 3 mois (HBS Manager®) (a), et de deux joueurs sur l'ensemble d'une saison (b) (*Training®)* (données personnelles non publiées)

Page 143 **Figure 23**: Interface V1 de l'agenda de gestion des CE hebdomadaires par exercice (Training©)

Page 145 **Figures 24**: Exemple d'une interface de suivi des indices quotidiens des indices d'opérationnalité d'une équipe de football (Training©) (données fictives)

LISTE DES EQUATIONS

Page 24 **Equation 1**: Equation de pondération entre échelles RPE et CR10

Page 58 **Equation 2**: Calcul de la puissance maximale (d'après Le Gall 2002)

Page 60 **Equation 3**: Calcul de la puissance maximale (d'après Le Gall 2002)

Page 63 **Equation 4**: Calcul de l'indice de capacité à répéter les sprints (d'après Girard *et al.* 2011)

Page 68 **Equation 5**: Calcul de la CE avec la méthode TRIMP (d'après Banister et Calvert 1980)

Page 69 **Equation 6**: Calcul de la CE avec la méthode TRIMP (d'après Banister et Hamilton 1985)

Page 70 **Equation 7**: Calcul de la CE avec la méthode SHRZ

Page 72 **Equation 8**: Calcul de la CE avec la méthode RPE

Page 75 **Equation 9**: Calcul de l'indice de monotonie (Foster 1998)

Page 77 **Equation 10**: Calcul de l'indice de contrainte (Foster 1998)

Page 77 **Equation 11**: Calcul de l'indice de forme (Foster 1998)

Page 78 **Equation 12**: Calcul de la CE avec la méthode des seuils ventilatoires (Lucia 2003)

Page 79 **Equation 13**: Calcul de la CE avec la méthode des seuils ventilatoires (Wood 2005)

Page 80 **Equation 14**: Calcul de la CE avec la méthode WER (Desgorces 2007)

Page 82 **Equation 15**: Calcul de la CE avec la méthode LTZones (Mujika 1996)

Page 83 **Equation 16**: Calcul de la CE « Player Load » avec l'algorithme GPS de Catapult® (Casamichana 2013)

Page 83 **Equation 17**: Calcul de la CE « Body Load » avec l'algorithme GPS de GPSports® (d'après Di Prampero 2005)