



Association pour la Recherche et l'Évaluation en Activité Physique et en Sport

1 Analyse de l'évolution des exigences physiques, physiologique et biologique du match de football

Georges CAZORLA

1 : Association pour la Recherche et l'Évaluation en Activité Physique et en Sport

2 : Cellule Recherche. Fédération Française de Football.

**Document dédié à la Commission Médicale Nationale et à la Direction
Technique Nationale de la Fédération Royale Marocaine de Football**

Mai 2016

1- Introduction. En général, quelle que soit l'activité sportive considérée, les contenus d'entraînement devraient logiquement dépendre des exigences de la pratique et plus particulièrement de celles de la compétition. Entraîner n'est-il pas tenter d'adapter un sportif dont il convient de bien connaître les capacités, à l'ensemble des exigences de la performance envisagée au meilleur niveau possible de son sport ici le football.

Encore est-il indispensable de bien connaître à la fois ce que sont les exigences actuelles, voire futures de la compétition, ce que sont les capacités des footballeurs à entraîner et comment au cours d'une saison sportive orienter, contrôler et suivre le développement de leurs qualités requises par le match. En d'autres termes, les exigences de la compétition représentent le but vers lequel doivent tendre préparation physique et entraînement alors que les capacités du footballeur en constituent le point de départ.

En fonction du moment de la saison, les contenus des séances de préparation physique et d'entraînement devraient se situer entre ces deux extrêmes sur les trajectoires que constituent : la planification, la programmation et la périodisation de l'entraînement. Représenté par la figure 1, cet ensemble constitue le modèle dont nous étudierons la phase initiale : l'analyse de l'évolution des exigences du match d'hier à aujourd'hui et peut-être celles de demain....

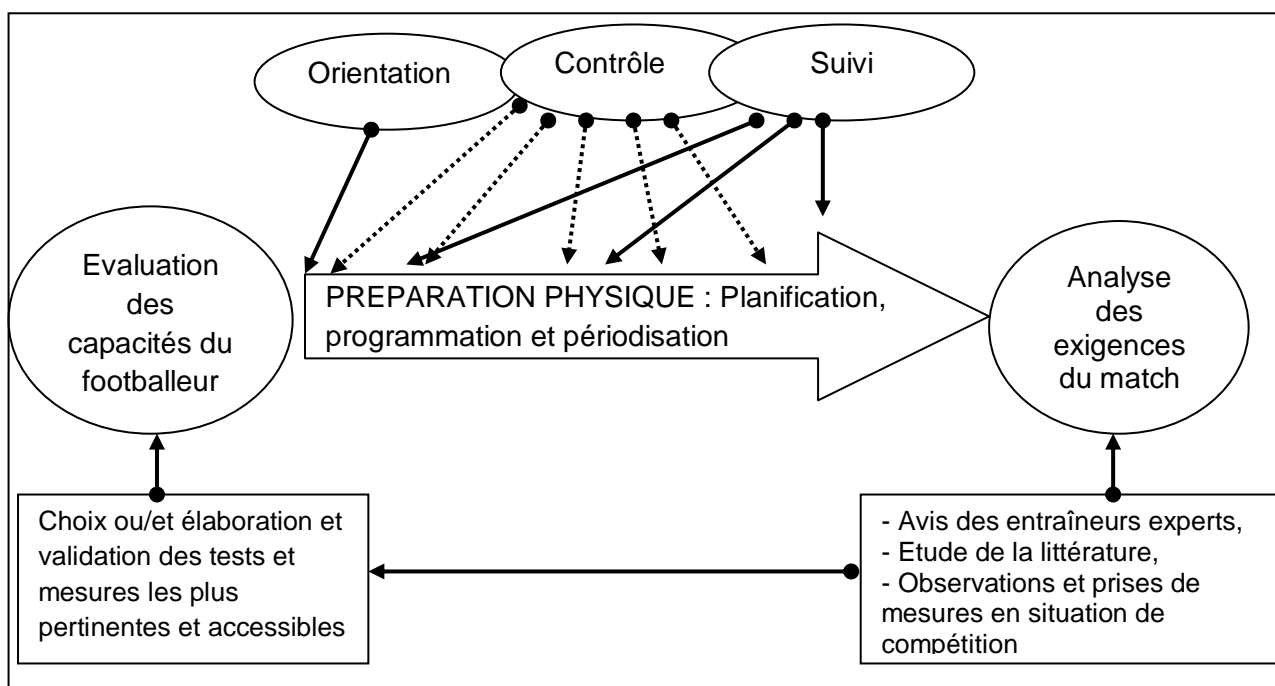


Figure 1 : Ensemble des conditions intervenant dans le processus de préparation physique et d'entraînement.

* Cellule Recherche. Fédération Française de Football

Comme les autres sports de haut niveau, le football évolue... Quelles ont été, sont et en seront probablement ses exigences ?

En utilisant toujours la même technique d'observation de matches de championnats nationaux depuis les années 80, nos résultats permettent de mieux rendre compte de l'évolution tant des différents déplacements que des modalités technico-tactiques réalisés en cours de jeu. Les quelques statistiques présentées dans les tableaux 1 et 2 sont très significatives à cet égard.

2- Etat sur la question

Si travaux et publications portant sur l'observation des actions de match en situation réelle de compétition sont légion, actions observées que nous définirons comme « *charges externes* » du match, pour des raisons de règlement, le port par le joueur d'appareils de recueil d'informations physiologiques et l'intervention extérieure nécessaires aux recueils biologiques étant proscrits au cours d'un match officiel, plus rares sont les données dans ces domaines.

Les connaissances limitées sur les répercussions physiologiques et surtout biologiques réelles du match, répercussions que nous désignerons comme « *charges internes* » ne sont souvent qu'extrapolées supportant ainsi d'importantes marges d'erreurs.

3- Analyse des charges « externes »

3-1 Technique d'observation utilisée et distances parcourues au cours du match.

Selon les publications relatives à la charge externe, au total, la distance parcourue au cours d'un match varierait entre 8 et 13 km. Cette disparité peut s'expliquer par les techniques d'observation utilisées (voir notamment dans ce livre la contribution de Bekraoui, Cazorla, Léger, 2014) mais aussi par les systèmes de jeu mis en place, par la culture du football propre à chaque pays, par l'ancienneté de certaines de ces études et par la meilleure préparation actuelle du joueur.

Pour étudier l'évolution de la charge externe du match au cours des 30 dernières années nous avons maintenu le même type d'observation. Les vidéos des matches ont toujours été enregistrées par trois cameramen expérimentés. L'analyse des observations a consisté à compter le nombre de foulées effectuées par chaque joueur dans les différentes modalités de déplacement habituellement utilisées en cours de match. Connaissant la distance moyenne des foulées des différentes modalités de déplacement de chacun des joueurs, distance mesurée à l'entraînement entre deux cellules photoélectriques placées à 10m l'une de l'autre, nous avons pu ainsi calculer la vitesse et la distance de chacune d'elles (Tableau 3). En outre, les analyses ont été réalisées à partir d'un moniteur équipé d'une horloge précise, ce qui a permis de vérifier et de confirmer les vitesses correspondant à chaque déplacement. Les niveaux de validité et de fidélité des résultats obtenus par trois expérimentateurs indépendants chargés de décrypter les images vidéo ont été dument testés.

A partir de cette technique mais aussi à partir de la technique utilisée par Reilly et Thomas (1976) dont nos résultats sont très proches, on remarque une grande stabilité de la moyenne des distances totales parcourues (autour de 8000 ± 1000 m) entre les années 1980 (Goubet, 1989) et plus récemment (Cazorla et al. 2009). Par contre, on peut noter une augmentation de plus en plus importante des actions de grande intensité qui sont passées d'une moyenne de 88 ± 12 par joueur et par match dans les années 1970 (Reilly et Thomas 1976) à 119 ± 8 en 1998 (Cazorla et Farhi 1998) et plus récemment 173 ± 46 (Cazorla et al. 2009).

Environ le quart de la distance totale est consacré à des courses à vitesses rapides proches de la vitesse aérobie maximale (VAM), ou très rapides, supra maximales ($> VAM$), voire à la répétition d'accélération-sprints courts. Le reste de cette distance est parcouru à des vitesses nettement infra maximales ou course de remplacement, voire à de la marche.

Les distances les plus longues sont parcourues par les milieux de terrain et les arrières latéraux, alors que les arrières centraux parcourent les distances les plus courtes; les attaquants se situent entre ces deux extrémités. Toujours selon le poste occupé, sprints et courses intenses représentent des pourcentages de la distance totale allant de 23 % (arrières centraux) à 38 % (attaquants). Le tableau 1, issu de la synthèse des travaux de Reilly et Thomas, 1976 et de nos propres travaux (Cazorla et Farhi, 1998), donnent les valeurs moyennes des différentes modalités de déplacement en fonction des postes.

En moyenne, environ 750 m et 1500 m sont couverts respectivement en sprints et en courses intenses. Bien qu'il n'existe pas de différences statistiquement significatives, les attaquants et les défenseurs latéraux présentent généralement des distances supérieures (900 m) en accélérations-sprints et en courses intenses (1600 m), alors que les défenseurs centraux présentent les distances les plus faibles : 500 et 1300 m. Les milieux de terrain se situent à des valeurs proches des attaquants (800 et 1500 m).

Tableau 1 : Pourcentages de la distance totale parcourue au cours de matches selon les différentes modalités de déplacement et selon les différents postes occupés sur le terrain. Calculés à partir de Reilly et Thomas (1976) et de ceux de nos propres résultats (*) (Cazorla, Farhi, 1998)

% distance totale	Défenseurs centraux	Défenseurs latéraux	Milieux	Attaquants
Marche	22.9 à 35.7%*	27.8 à 28.8%*	20.7 à 31.5 %*	27.5 à 28.6 %*
Course lente	41.1%* à 49%	41.4* à 43.4%	38.0* à 46.4%	37.2* à 38.9 %
Course intense	16.9 %* à 19.6%	19.3 à 19.7 %*	19.7* à 22.4%	20.9% à 23.1%*
Accélération-Sprint	6.3* à 8.5%	9.5 à 10.2 %*	10.5 à 11%*	12.7 à 13.1%*
Distance totale parcourue (m)	7621* à 7759	8006* à 8245	8097* à 9805	7104* à 8397

3-2 Caractéristiques des courses observées

Quel que soit le poste, les distances moyennes respectives des accélérations-sprints et des courses intenses se situaient dans les années 1980 à $20,2 \pm 13$ m pour les sprints et à $21,8 \pm 15,2$ m pour les courses intenses alors que dans les années 2000 elles ne sont plus que respectivement de $17,2 \pm 12$ m et de $18,05 \pm 14,5$ m. Remarquons que, plutôt que de sprints, leurs distances très courtes permet de les caractériser comme accélérations. Par contre, selon les postes, le nombre d'accélérations et de courses intenses étaient déjà très variables dans les années 1980 (Tableau 2) ce qui montrait :

- une importante répétition d'accélérations relativement courtes, linéaires ou avec des changements de direction, avec et sans ballon qui, selon les postes, représentaient de 6 à 13% de la distance totale parcourue,
- une alternance d'accélérations, de duels avec et sans ballon, de courses intenses et courtes (100 à 130 % de VAM, représentant de 16 à près de 23 % de la distance totale) et de courses à vitesse modérée voire de la marche permettant une récupération active.
- de 70 à 110 accélérations (88 ± 14) et de 98 à 124 blocages changements de direction (111 ± 10) par joueur et par match.

Selon les postes, les durées de récupération entre les accélérations ou les courses intenses se sont avérées très variables aussi. Les attaquants et les milieux présentaient les intervalles les plus réduits : entre 6s et 1 min 48. A l'opposé, c'étaient les défenseurs centraux qui montrèrent les intervalles les plus longs.

En utilisant les observations les plus récentes il est actuellement possible de relever une action intense toujours de courte durée ($2,8 \pm 1,6$ s) toutes les 26 s pour les attaquants, 29 s pour les milieux et 35 s pour les défenseurs. Ce ne sont là que des moyennes qui ne tiennent pas compte des aspects aléatoires du match.

Comme les courses individuelles sans ballon représentaient près de 96 % de la durée totale d'une rencontre (Reilly et Thomas, 1976 ; Withers et al., 1982) données proches de ce qu'elles sont actuellement, on peut estimer que l'aptitude à la course intense de courte durée et souvent répétée, constitue une des principales exigences du football. La faculté de récupérer

rapidement entre deux courses intenses constitue l'exigence corollaire de ces modalités de déplacement.

Tableau 2 : Nombre et durée totale des sprints et des courses intenses selon le poste (Années 1980)

		Défenseurs centraux	Défenseurs latéraux	Milieux	Attaquants
Accélérations-Sprints (20,2±13 m)	nombre	28	31	39	47
	durée totale (s)	71	136	124	110
Courses intenses (21,8±15 m)	nombre	82	96	90	105
	durée totale (s)	442	514	483	434

3-3 Répertoire des actions techniques

- Actuellement comme dans les trente dernières années, les durées totales des arrêts complets sont relativement brèves (en moyenne 45±21s par match et par joueur, avec des extrêmes relevés de 15s et de 3 min 20s) ce qui signifie que la plupart des accélérations et courses intenses sont réalisés alors que le joueur est déjà en mouvement. Selon les postes, les rapports de la durée d'activité : faible intensité / haute intensité se situent comme suit : attaquant 26/3 ; arrière latéral 17/7 ; milieu 19/2 ; arrière central 33/1. Toutefois, ces rapports diminuent avec l'augmentation du niveau de jeu surtout au cours des dix dernières années.

Ceci nous permet de penser que la capacité d'utiliser l'oxygène afin de reconstituer plus efficacement les réserves de phosphorylcréatine (PCr) utilisées au cours des actions intenses et donc de mieux récupérer pour maintenir une activité constante, constitue une importante exigence supplémentaire.

- **Le nombre de contacts avec le ballon** était aussi très faible : en moyenne entre 50 et 55 contacts par match et par joueur (Withers et coll., 1982). Bien que le nombre de contacts par joueurs et par match ait significativement augmenté au cours des années 2000 (86±38) ceci démontre clairement qu'un joueur n'a que peu d'occasions de mettre en pratique sa technique et son adresse durant le match et donc la nécessité pour lui de parfaitement les maîtriser.

- Aujourd'hui comme hier **Têtes et sauts** varient selon les postes... et les études. Selon les auteurs, on peut en dénombrer en moyenne 10 par joueur par match (Withers et coll., 1982), 16±6 (Cazorla et al. 2009) à 20 (Reilly et Thomas, 1976). Cependant, il y a accord concernant les postes pour indiquer que les défenseurs latéraux et les milieux de terrain sont moins impliqués dans les luttes aériennes que les attaquants et surtout que les défenseurs centraux. Outre les qualités de détente verticale pure, les joueurs évoluant à ces deux postes, doivent aussi faire preuve d'un bon "timing" et d'un bon placement leur permettant d'exprimer l'efficacité de leur jeu de tête.

- **Tacles** : En moyenne au cours de match, quel que soit son poste, chaque joueur était et est amené à réaliser entre 6 et 12 tacles (8±2). La réalisation de ces techniques, outre les qualités d'amplitude musculo-articulaire requises au niveau de l'articulation coxo-fémorale et des membres inférieurs, fait aussi appel à des qualités mentales non négligeables : agressivité, cran...

- **Blocages, changements de direction** : Au cours d'une rencontre, un nombre important de blocages-changements de direction (entre 40 et 70 ; M ~ 50 selon Withers et coll., 1982) était réalisé par chacun des joueurs. Dans une récente étude réalisée à partir de GPS porté par les joueurs, nous avons dénombré au total plus de 700 changements de direction par joueurs et par match ! (résultats personnels non publiés). Cependant lorsque seuls les changements de direction réalisés au cours d'accélérations-sprints étaient pris en compte, ce nombre tombait à 112±38. Ces actions qui permettent de prendre son adversaire direct à contre-pied, exigent une forte puissance de la part des muscles des membres inférieurs afin de s'opposer à l'inertie

de la masse du corps en action. En outre, l'association des contractions concentriques et excentriques développée par ces actions peut aussi expliquer les concentrations élevées de créatinephosphokinase (CPK), témoins de probables lyses membranaires, souvent relevées chez les footballeurs et de celles de C-Réactive Protéines (CRP) témoins de processus inflammatoires induits localement (Cazorla, Benezzedine-Boussaidi et Duclos, 2009)

3-4 Résultats de nos propres travaux

Outre nos résultats personnels précédemment référencés, ceux plus récemment obtenus résultent de l'étude de 22 footballeurs professionnels. Au-delà de la quantification des différentes actions constituant la charge externe du match, l'originalité de la présente étude a été d'analyser les intensités respectives des différents déplacements en regard de leurs répercussions physiologiques et biologiques. (Cazorla, Benezzedine-Boussaidi et Duclos, 2009)

3-4-1 Distances totales parcourues selon les différentes modalités de déplacement.

Pour étudier l'évolution de la charge externe du match au cours des 30 dernières années nous avons maintenu le même type d'observation. Le match a donc été enregistré par trois caméramen expérimentés. L'analyse des observations consiste à compter le nombre de foulées effectuées par chaque joueur dans les différentes modalités de déplacement habituellement utilisées en cours de match. Connaissant la distance moyenne des foulées de chacun des joueurs mesurée à l'entraînement respectivement dans ces différentes modalités de déplacements, nous avons pu ainsi calculer la distance totale parcourue dans chacune d'elles (Tableau 3). Les niveaux de validité et de fidélité des résultats obtenus par trois expérimentateurs indépendants chargés de décrypter les images vidéo ont été dûment testés.

3-4-2 Répartition des différentes modalités de déplacement en match.

En regroupant toutes les accélérations, et en définissant leurs valeurs brutes en pourcentages de la distance maximale, selon les postes occupés on peut constater (Figure 1) que ce sont les attaquants qui présentent la distance la plus importante en accélérations-sprints et en courses intenses mais la plus faible en déplacements de récupération (marche et courses à allures modérées) qui, cependant, représentent près de la moitié des déplacements. Les attaquants ont donc plus d'actions intenses et moins de temps de récupérations entre elles que les autres joueurs. Pour ce qui concerne les actions intenses, les milieux se situent immédiatement en dessous mais on peut remarquer que ce sont eux qui présentent la distance totale et le nombre de répétitions significativement au dessus des valeurs des joueurs occupant les autres postes pour les accélérations-sprints avec changements de direction (Tableau 3).

3-4-3 Vitesse des différentes modalités de déplacement.

Comme les différentes modalités de déplacement étaient réalisées et filmées à l'entraînement entre deux paires de cellules photoélectriques placées à 10 m l'une de l'autre, nous avons pu aussi calculer la durée de chaque foulée ce qui a ensuite permis d'obtenir la vitesse de ces déplacements (Figure 2).

Tableau 3 : Synthèse des distances (m) obtenues dans chaque modalité de déplacement et par poste.

	Marche	Courses à allure modérée	Courses rapides	Sprints avec élan	Sprints départ arrêté	Sprints après changt de direction	Sprints avec ballon	Pas chassés	Déplact en arrière	Total
DEFENSEURS										
Moyenne	2445,8	1957,8	1078,5	328,3	215,8	267,3	404,8	387,3	571,5	7657,1
Ecart type	443,8	665,4	127	82,8	91,3	93,3	122	106,1	287,6	817,2
MILIEUX										
Moyenne	2290,3	2502	1287,7	404,7	347	504	620,3	403	297	8656
Ecart type	346,6	280,6	151,4	70,9	118	55,8	144,4	261,4	74,5	268,2
ATTAQUANTS										
Moyenne	2025,3	1567,7	1214,3	641,7	438,7	282	497	217,3	197,7	7081,7
Ecart type	172,4	420,4	341,2	74,4	160,6	112,8	83	56	35,3	453,6

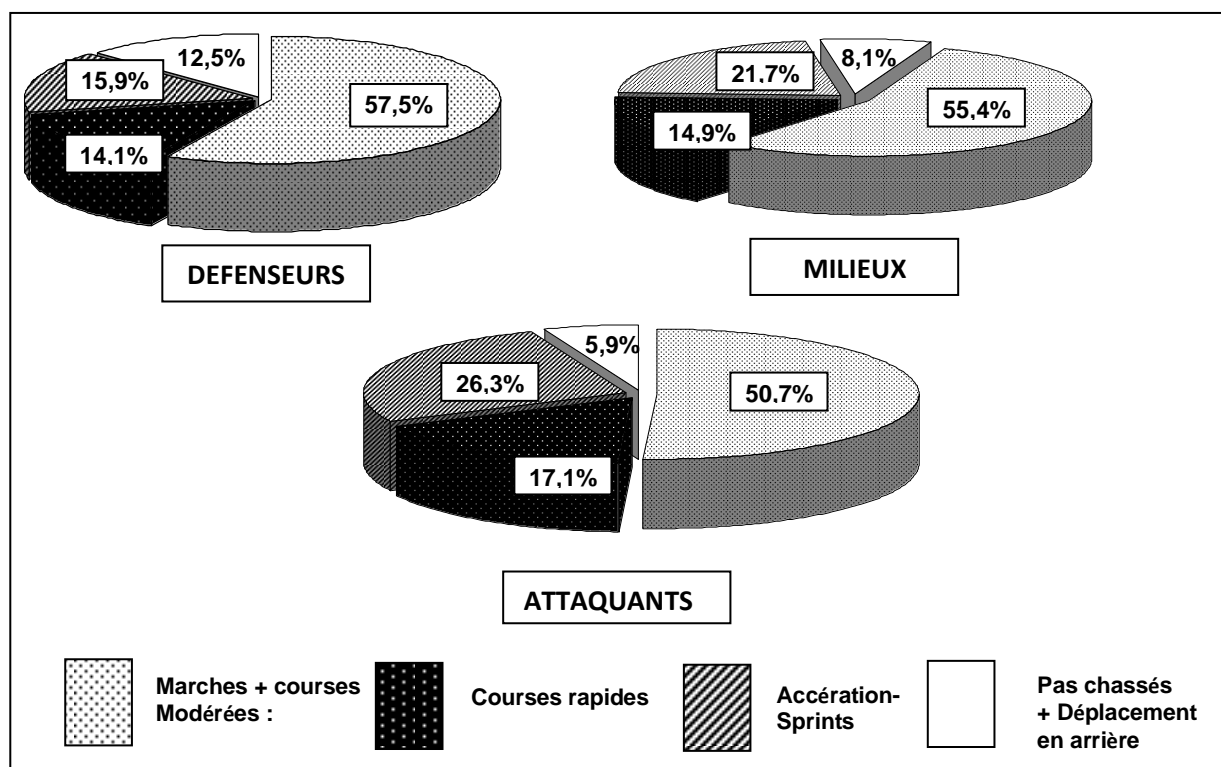


Figure 2 : Pourcentages de la distance totale parcourus selon les différentes modalités de déplacement en fonctions des postes de jeu.

3-4-4 Intensités des courses en pourcentages de VAM

La connaissance de la vitesse aérobie maximale (VAM) de chaque joueur obtenue au test VAM-EVAL (Cazorla et Léger 1993) réalisé dans la semaine précédant le match a permis de calculer en pourcentages de leur VAM respective, les intensités de leurs déplacements dans les différentes modalités utilisées au cours du match (Figure 3). Ces intensités peuvent donner aux entraîneurs de bonnes pistes pour la gestion de celles des exercices à mettre en place au cours de la préparation physique de leurs joueurs.

On peut remarquer que les vitesses de course les plus élevées ne sont en moyenne que de 24,2 ±2 km/h probablement assez éloignée du pic de vitesse maximale, ce qui indirectement témoigne que la distance très courte de ces courses les situe plus dans des zones d'accélération.

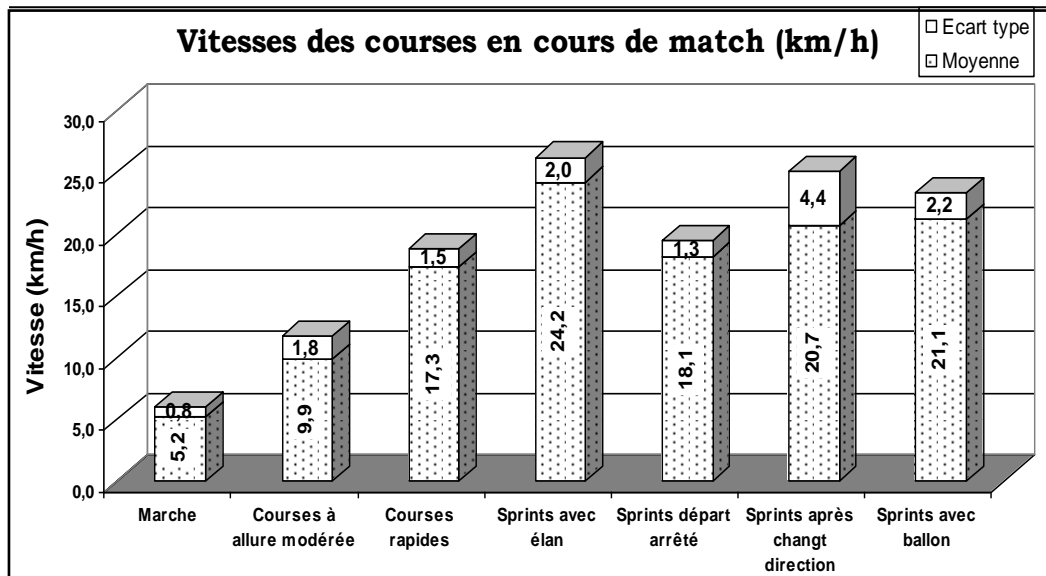


Figure 2 : Vitesses de la marche et des différentes courses relevées au cours du match.

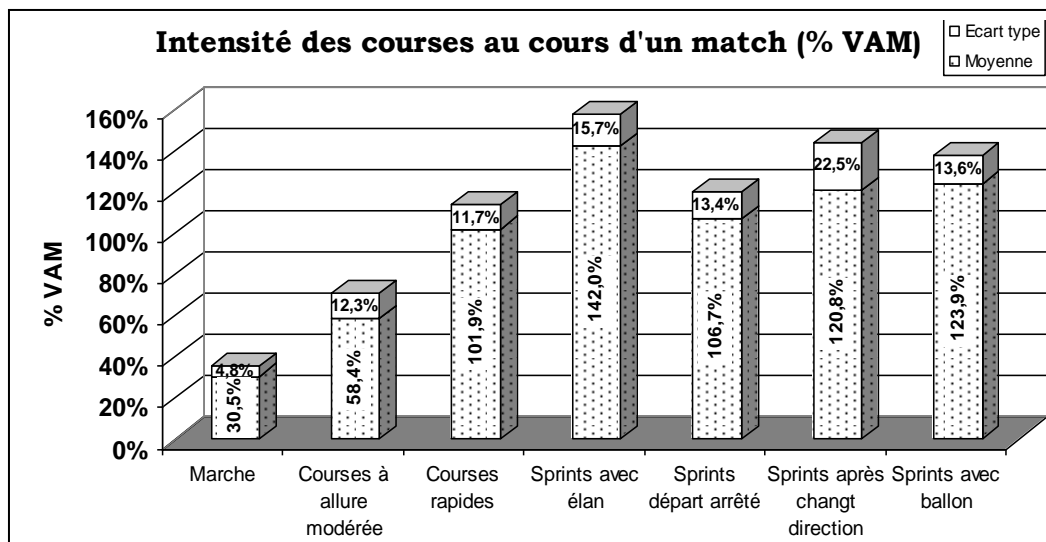


Figure 3 : En fonction de la vitesse aérobie maximale (VAM) obtenue par chacun des joueurs au test triangulaire Vam-Eval, pourcentages de cette VAM que représentent les vitesses mesurées au cours de chaque modalité de déplacement au cours du match.

3-4-5 Durées, distances et répétitions des courses intenses et des accélérations-sprints au cours du match.

En cumulant les courses rapides et les différentes accélérations-sprints, nous pouvons noter que 30%, 35,8% et 43,4% des distances parcourues en match le sont respectivement par les défenseurs, les milieux et les attaquants à des intensités allant de 101% de VAM pour les courses rapides à 142% pour les accélérations-sprints avec élan. Les intensités plus faibles de la marche (30,5% de VAM) et de la course à allure modérée (58,4% de VAM) peuvent être considérées comme des vitesses de récupération active entre les actions courtes et intenses.

Celles-ci se distribuent en moyenne par poste (Tableau 4) de la façon suivante : 146 actions intenses pour les défenseurs, 180 pour les milieux et 184 pour les attaquants. A partir des informations données dans les tableaux 4, 5 et 6, il est possible de calculer la durée moyenne de chaque course intense. C'est ce que nous avons fait pour chacun des joueurs. Le tableau 6 synthétise les résultats obtenus. On notera que les durées des différentes courses intenses se situent entre $2,17 \pm 1,28s$ et $3,84 \pm 0,14s$. Les étendues que nous avons relevées lors de l'analyse individuelle des résultats se situent entre 1s12 pour le minimum et 6s88 pour le maximum. Si nous retenons les durées moyennes des courses intenses par poste, et leur nombre, il est possible de calculer qu'un défenseur reproduit une action intenses toutes les 34s, un attaquant toutes les 26,30s et un milieu toutes les 27s. Comme par ailleurs les distances moyennes parcourues en sprint se situent entre 15 et 20m ceci donne des indications pour la mise en place de situations d'entraînement spécifiquement adaptées aux contraintes du match : répétition de différentes modalité de sprints de 20m avec et sans ballon, toutes les 30s.

Tableau 4 : Nombre de répétitions dans chacune des modalités de déplacement au cours du match

	Marche	Courses à allure modérée	Courses rapides	Sprints avec élan	Sprints départ arrêté	Sprints après changt de direction	Sprints avec ballon	Pas chassés	Déplact en arrière	Total
DEFENSEURS										
Moyenne	68,3	53,5	65,5	22,5	16,5	15,5	26,3	19,8	28,5	310
Ecart type	8,2	11,3	19,3	9,4	5,7	4,5	7,8	9,9	7,9	18,5
MILIEUX										
Moyenne	61,3	60,3	76	27,7	22,3	28,3	31	18,3	22	347,2
Ecart type	14,6	5,7	20,1	4,9	6,4	10,8	8,9	9,1	4,6	9,5
ATTAQUANTS										
Moyenne	59,7	45,7	84,3	31	22,7	19,3	30	18,3	30,3	341,3
Ecart type	10,1	13,8	10,7	5,6	7,2	6,7	10,8	6	12,1	33,3

Tableau 5 : Distance moyenne (m) parcourue respectivement dans chacune des répétitions des différentes modalités de déplacement au cours du match

	Marche	Courses à allure modérée	Courses rapides	Sprints avec élan	Sprints départ arrêté	Sprints après changt de direction	Sprints avec ballon	Distances pas chassés	Déplact en reculant
DEFENSEURS									
Moyenne	33	34,1	16,5	14,6	15,5	17,2	15,4	17,4	29,9
Ecart type	4,3	6,2	3,1	8,6	6	1,6	2,9	12,6	9,6
MILIEUX									
Moyenne	35,3	38,5	16,9	14,6	15,6	17,8	20	20,6	13,8
Ecart type	3,8	8,2	2,8	0,5	2,2	13,7	15,5	9,4	4
ATTAQUANTS									
Moyenne	34,3	30,3	14,4	20,7	19,3	14,6	16,6	16,2	8,5
Ecart type	5,4	14	4,5	0,9	0,7	6,7	7,5	7,5	3,1

Tableau 6 : Durée moyenne (s. 1/100) de chaque course intense en fonction du poste

n = 22	Courses rapides	Sprints avec élan	Sprints départ arrêté	Sprints après changt de direction	Sprints avec ballon	Moyennes
--------	-----------------	-------------------	-----------------------	-----------------------------------	---------------------	----------

DEFENSEURS

Moyenne	3,43	2,17	3,08	2,99	2,63	2,86
Ecart type	0,65	1,28	1,19	0,28	0,49	0,78

MILIEUX

Moyenne	3,52	2,17	3,1	3,1	3,41	3,06
Ecart type	0,58	0,07	0,44	2,38	2,64	1,22

ATTAQUANTS

Moyenne	3	3,08	3,84	2,54	2,83	3,06
Ecart type	0,94	0,13	0,14	1,17	1,28	0,73

3-4-6 Evolution des exigences physiques du match au cours des trente dernières années

Sur la base de nos propres résultats issus de la même technique d'observation en match de nombreux joueurs (n : 78) au cours des trente dernières années, avec les limites que nous avons préalablement soulignées, trois caractéristiques semblent se dégager (tableau 7):

- Une distance totale parcourue par joueur et par match relativement constante proche de 8 000m
- Une augmentation du nombre d'actions intenses de courte durée (durée moyenne entre 2 à 4s) et de sprints courts (distance moyenne proche de 20m)
- Mais une sensible diminution de la durée des actions intenses et de la distance des accélérations-sprints.

Tableau 7		
Caractéristiques du match	Hier-Aujourd'hui	Demain ?
Distance totale parcourue entre 8000 et 11000 m selon les postes de jeu.	Stable	Stable
Nombre de répétitions de courses et d'actions techniques très courtes d'intensité supra maximale	En augmentation	Augmenté
Nombre de sprints	En augmentation	Augmenté
Ceux-ci sont rarement linéaires mais présentent de nombreux changements de direction	En augmentation	Augmenté
Durées des actions intenses se situent en moyenne entre 2 et 4s	En diminution	Diminuées
Distance moyenne des courses intenses et des sprints moyenne proche de 20m	En diminution	Diminuées

Si nous faisons l'hypothèse que ces évolutions entre hier et aujourd'hui se confirment demain, elles permettent quelques pistes de réflexion sur ce que pourraient être les exigences du football de demain :

- accélération du jeu nécessitant une maîtrise des conditions technico-tactiques à plus grande vitesse,
- augmentation du nombre d'actions intenses et de sprints mais de durées sensiblement moindre. Il est probable que cette diminution résulte d'une plus forte proximité et pression

des défenseurs sur les attaquants. Conséquence, ceux-ci devront faire montre de maîtrises techniques et de déplacements efficaces dans des espaces de plus en plus réduits. Au plan, physique ceci signifie probablement aussi un développement plus important de la puissance musculaire,

- des temps de récupération plus courts entre les actions intenses, nécessitant une amélioration constante de la récupération en augmentant de pouvoir oxydatif musculaire gage d'un meilleur turn-over des liaisons ATP-PCr.

A partir de l'analyse de l'évolution des exigences du match et de l'extrapolation possible de ce qu'elles sont susceptibles de devenir demain, les préparateurs physiques en général mais de façon élargie, les formateurs des jeunes futurs footballeurs, disposent des éléments utiles pour sélectionner les tests d'évaluation les plus congruents et pour préparer efficacement le joueur d'aujourd'hui et celui de demain.

3-5 Conséquences pour l'évaluation et la préparation du joueur

En conclusion de cette première partie, en se référant à l'accumulation statistique de l'évolution des caractéristiques des matches entre 1970 et 2009, selon les postes, il était déjà possible d'établir un profil des exigences et un portrait-robot du joueur de haut niveau de fin de siècle dernier. Compte tenu de cette évolution, la question posée est de savoir s'il est, et sera encore d'actualité au cours des années futures ?

3-5-1 Evaluation de la VAM. D'une manière générale, une bonne capacité aérobie était, est et sera toujours nécessaire pour soutenir un match de 90 min joué à intensité élevée (Bangsbo et Michalsik, 2002). Son importance s'avère plus cruciale pour les milieux de terrain et les arrières latéraux. La capacité aérobie constitue en quelque sorte une "toile de fond" favorable à l'expression renouvelée des autres capacités au nombre desquelles la vitesse et la puissance musculaire prennent une place prépondérante.

Autrement dit, une puissance maximale aérobie (VO_2max) relativement élevée (entre 60 et 65 $ml.min^{-1}.kg^{-1}$ chez le joueur professionnel, ce qui correspond à des vitesses aérobies maximales situées entre 17 et 18,5 km/h), une vitesse d'action et de réaction élevée et une importante aptitude à les reproduire souvent tout le long du match (Bishop et Spencer, 2004) constituent les principales qualités physiologiques et physiques du footballeur.

Tests conseillés. Nous conseillons deux tests actuellement validés pour obtenir la vitesse aérobie maximale (VAM) permettant aussi d'extrapoler VO_2max : le test VAM-EVAL (Cazorla, Léger 1993) et le test de l'université de Bordeaux2 : TUB2 (Cazorla, 1990).

Le nombre peu important et les durées très courtes où le joueur est en possession du ballon, exigent une parfaite maîtrise technique sur laquelle, surtout aux postes d'attaquant et de défenseur central, peuvent reposer des actions décisives pour le gain ou la perte d'une rencontre. Bien qu'en totale disproportion avec l'ensemble des autres possibilités physiques offertes par le match, l'investissement technique s'avère donc d'une importance capitale dans la formation et l'entraînement du joueur. La condition physique dont la puissance aérobie maximale et les qualités athlétiques qui potentialisent l'efficacité technique et en permettent, non seulement l'expression mais aussi le maintien à un haut niveau durant toute une rencontre, constituent deux conditions indispensables du football actuel et prendront probablement une importance accrue dans le football futur.

3-5-2 Evaluation des capacités à répéter des accélérations-sprints. Les durées très courtes des actions répétées du match (démarrage-accélérations-sprint, sans et avec blocage changement de direction, saut, duels avec et sans ballon...) se situent toujours entre 2 et 4

secondes. Lorsqu'il s'agit d'accélération-sprints, ces durées correspondent aux distances proches de vingt mètres relevées au cours des matches. Ces distances s'avèrent trop courtes pour atteindre le pic de vitesse maximale situé en moyenne entre 30 et 40m. Dans ces conditions, la qualité principale du joueur est moins sa vitesse maximale de pointe que sa capacité d'accélération. Cette qualité dépend en grande partie de la puissance des membres inférieurs dont l'évaluation et le développement s'avèrent indispensables. Aujourd'hui, bien que les durées des actions et les distances parcourues soient demeurées relativement stables, leur nombre a considérablement augmenté. Cette augmentation résulte non seulement des systèmes de jeu mis en place mais aussi d'une évolution du règlement (le gardien de but doit relancer plus rapidement le ballon et celui-ci est remis plus vite dans l'aire de jeu lorsqu'il en est sorti), et surtout d'une meilleure formation et préparation du joueur. Cette évolution laisse augurer ce que sont et seront probablement les caractéristiques du football actuel et celles des années futures : encore plus d'actions intenses dans des intervalles de temps et d'espaces de plus en plus réduits et sous la pression immédiate d'un ou de plusieurs adversaires.

Tests conseillés. Le squat jump (SJ) et le counter movement jump (CMJ), tests de détente verticale les bras croisés sur la poitrine permettent de rendre compte de la qualité « d'exposivité » et indirectement de la puissance des membres inférieurs du joueur.

Pour l'ensemble des tests suivants il convient d'utiliser des cellules photoélectriques.

Le 10 et le 20m linéaires et/ou avec changements de direction, départ arrêté et départ lancé sont les types de tests les plus spécifiques pour juger des qualités d'accélération et de coordination spécifiques au football

Pour apprécier l'aptitude à répéter des actions intenses ou/et des accélération-sprints de courte durée, nous suggérons le test du 12 x 20m avec une récupération passive de 30s entre chaque accélération-sprint. D'abord, chronométrer la meilleure performance sur 20m et, après 5min de repos, commencer le test proprement dit. Calculer la performance moyenne sur 20m (somme des 12 performances / 12) et établir la différence : moyenne des 12 performances moins la meilleure performance sur 20m. Plus cette différence est importante, moins bonne est l'aptitude à répéter des sprints ce qui indirectement témoigne d'un niveau de fatigue spécifique à corriger lors de la préparation physique du joueur. Notons que plus de 90% de VO_2 max sont atteints à la fin de ce test (résultats personnels en cours de publication) ce qui montre que l'enchaînement de sprints rapprochés peut aussi contribuer au développement de la puissance aérobie maximale et *du pouvoir oxydatif musculaire*¹.

4- Charge interne ou répercussions physiologiques et biologiques des actions du match

Hormis quelques études qui, à partir de biopsies musculaires se sont intéressées à l'utilisation des réserves en glycogène au cours de rencontres simulées (Jacobs et al, 1982 ; Ekblom, 1986 ; Leatt et Jacobs, 1988 ; Bangsbo et al. 1991; Bangsbo, 1994 ; Bangsbo, 1995, et plus récemment Bangsbo et al. 2006, Krstrup et Mohr, 2006) très souvent les répercussions de la charge externe sur l'organisme du joueur (ou charge interne) n'ont fait appel qu'aux deux moyens les plus accessibles : l'enregistrement de la fréquence cardiaque (FC) et les prélèvements capillaires permettant de mesurer les concentrations sanguines du lactate. Malheureusement, à cause de leurs limites respectives, l'utilisation de ces deux moyens est à l'origine d'interprétations erronées concernant la dépense énergétique et plus globalement les métabolismes mis en jeu en cours de match.

¹ **Pouvoir oxydatif musculaire** : capacité du muscle à utiliser l'oxygène délivré et ce, grâce à l'amélioration de la capillarisation périmusculaire, à l'augmentation intramusculaire de la concentration en myoglobine, du nombre de mitochondries et donc des concentrations en enzymes oxydatifs.

4-1 D'où le joueur de football puise-t-il l'énergie qui lui est nécessaire en cours de match ?

Du point de vue de la dépense d'énergie, les sprints peuvent être caractérisés comme des exercices à débits très élevés dont il est très difficile d'évaluer l'importance. En ne considérant qu'une seule action musculaire maximale de très courte durée de 2 à 3s comme chacune de celles relevés en match, l'étude de Hultman et Sjöholm (1983) montre que l'activation très précoce de la glycolyse lactique peut contribuer entre 20 et 30% à l'apport énergétique total alors que l'apport par voie oxydative représenterait déjà environ 3%, le reste résulterait du catabolisme de la PCr.

Si l'exercice musculaire maximal se prolonge sans interruption, la part relative de l'hydrolyse de la PCr diminue au profit de celle de la voie oxydative alors que celle de la glycolyse lactique demeure relativement stable, proche de 45% quelle que soit la durée comprise entre 6 et 30s. Ce cas de figure est cependant très rare en football plutôt caractérisé par l'enchaînement aléatoire d'actions très courtes et très intenses.

Dans ce cas, la répétition, par exemple de 12 accélérations-sprints linéaires ou avec changements de directions de 3 à 5s séparés entre eux de 30 à 40s de récupération passive, peut augmenter la part relative de la voie oxydative jusqu'à plus de 50% de l'apport énergétique total alors que celle de l'hydrolyse de la PCr ne représente plus que 15 à 20%, le reste dépendant de la glycolyse lactique (Ross et Leveritt 2001; Spencer et al. 2005; 2006 ; Aziz et al 2007; Castagna et al. 2007 ; Spencer et al 2008 ; Impellizzeri et al 2008 ; Mendez-Villanueva et al 2008)

En réalité ces accélérations-sprints ne sont pas isolés. Les nécessités du jeu peuvent imposer l'exécution d'une série d'accélérations-sprints très rapprochés ou conduire à maintenir entre eux une vitesse sollicitant les processus aérobie de façon proche de leur débit maximal ou VO_{2max} .

Ces conditions pourraient expliquer l'augmentation de la concentration sanguine en lactate relevée par Agnevik (1975). Selon cet auteur, les concentrations sanguines de lactate oscilleraient autour de 8 millimoles pendant toute la durée des matches amicaux expérimentaux utilisés. Cependant, plusieurs études ultérieures (Jacobs et al., 1982 ; Goubet, 1989) ont fourni des valeurs moyennes moins élevées, plus proches de 5 millimoles par litre de sang. Il est vrai que dans ces études les prélèvements étaient réalisés pendant l'arrêt de la mi-temps et à la fin des matches.

Ces résultats permettent de retenir que :

1) selon Agnevik (1970-1975) la glycolyse anaérobie pourrait être sollicitée de façon assez importante au cours d'un match de football, appréciation contestée par Jacobs et al. (1982).

2) quel que soit son niveau de sollicitation, la glycolyse lactique ne pourrait à elle seule assumer qu'une part relative minoritaire du travail fourni au cours d'une rencontre.

La plus grande part de l'énergie mesurée en valeur brute dépendrait donc de la sollicitation du complexe ATP-phosphorylcréatine (PCr) et des processus aérobie.

Ces derniers interviendraient principalement au cours des déplacements à vitesses moins élevées, au cours de la marche et des arrêts pour, à la fois payer les dettes d'oxygène contractées pendant les phases de jeu les plus intenses, oxyder les métabolites produits, reconstituer les réserves d'oxygène liées à l'hémoglobine et à la myoglobine et contribuer à reformer les molécules de PCr via la synthèse mitochondriale de nouvelles molécules d'ATP.

4-2 Actions très courtes, très intenses et répétées.

Au plan physiologique la répétition d'actions courtes et très intenses induit la nécessité d'un important renouvellement de l'ATP grâce au catabolisme de la PCr, deux substrats à très forte énergie potentielle mais à très faible réserve qui, dans les conditions particulières du match

alimentent le travail musculaire (Quirstoff et al., 1992 ; Trump et al., 1996 ; Bogdanis et al., 1993,1994,1996,1998).

Rappelons cependant que dans le contexte d'un match, toutes les actions intenses ne sont pas réalisées de façon exhaustive et leurs durées de 2 à 4 s permettent de penser qu'elles ne sont pas de nature à épuiser les réserves en PCr.

Après chaque action technique, la reconstitution de la partie entamée des réserves devient prioritaire pour répondre aux besoins des actions intenses subséquentes. Cette récupération nécessite la présence d'oxygène et la vitesse de resynthèse de la PCr dépend de la quantité d'oxygène que le muscle est capable d'utiliser (Quirstorff et al, 1992).

Comme l'ont montré les travaux de Bogdanis et al, (1996) ; Trump et al., (1996), il est possible d'améliorer la vitesse de resynthèse de la PCr entre plusieurs exercices courts et intenses grâce à un bon développement préalable du pouvoir oxydatif musculaire.

Autrement dit, ces résultats obtenus de façon expérimentale, expliquent et légitiment parfaitement le développement de la capacité aérobie (endurance, puissance maximale et pouvoir oxydatif musculaire) comme condition importante de la préparation physique du joueur.

Dans la chronologie d'une saison sportive, le développement ou le maintien de l'endurance aérobie spécifique devrait surtout occuper l'intersaison. Ensuite, le développement de la puissance aérobie par des courses en fartlek et des exercices intermittents courts et intenses, devrait être programmé vers la fin de l'intersaison et les premières semaines du début de reprise de l'entraînement collectif. Cette qualité est à entretenir au cours de toute la saison, alors que le développement du pouvoir oxydatif musculaire répétition par exemple par 10 à 20 répétitions d'accélération-sprints courts (15 à 25m) et rapprochés (récupération passive de 30 à 40s), ne sera abordé qu'à partir de la quatrième semaine après la reprise de l'entraînement lorsque les « terrains physiologique et musculaire » auront été suffisamment développés. Cette qualité est à entretenir, voire à développer ensuite tout le long de la saison.

Les actions très courtes (2 à 4 s) du match n'utilisent que de façon limitée les réserves en PCr. Un délai de l'ordre de 1 à 2 min est suffisant pour les reconstituer. Notons que les réserves en O₂ immédiatement disponibles (O₂ lié à la myoglobine et à l'hémoglobine) peuvent aussi contribuer au catabolisme du glycogène musculaire et ainsi ajouter leur contribution énergétique, même minime, à ce type d'actions. Cependant, leur répétition peut non seulement progressivement épuiser ces réserves en PCr mais aussi enclencher très tôt la glycolyse lactique comme source énergétique additionnelle.

Par contre, la répétition d'accélération-sprints, de blocages redémarrages, de changements brutaux de direction, d'actions courtes et très intenses qui sollicitent des contractions musculaires de type excentrique comme ceux produits au cours d'un match de football, notamment par les milieux de terrain, peut non seulement être très coûteuse en énergie (tableau 8) mais aussi être délétère pour les structures membranaires des cellules musculaires et donc à terme, pour la fonction musculaire elle-même lorsque la récupération devient insuffisante.

Tableau 8 : Deux différents types de course continue de 4 min à trois différents pourcentages de VAM (Bekraoui, Boussaidi, Cazorla, Léger : article soumis)			
% VAM	VO ₂ (ml.min ⁻¹ .kg ⁻¹) Course en ligne	VO ₂ (ml.min ⁻¹ .kg ⁻¹) Course avec changements de direction	Différence VO ₂ (ml.min ⁻¹ .kg ⁻¹)
60	34,1 ± 2,5	50,7 ± 5,1	16,6
70	39,9 ± 2,3	55,1 ± 4,9	15,2
80	45,3 ± 2,4	Les sujets n'ont pas pu tenir les 4 minutes demandées	::

4-3 Effets biologiques des répétitions cumulées d'actions courtes et intenses

La caractéristique principale de l'évolution du jeu est incontestablement les délais de plus en plus courts dans lesquels se situent les répétitions d'actions musculaires intenses comme les courses mais aussi les sauts, les dribbles, les duels avec et sans ballon entraînant une mise en jeu de la glycolyse lactique qui, dans certaines circonstances peut s'avérer relativement importante comme en témoignent les concentrations de lactate sanguin (en moyenne 5 à 11 mmol. L⁻¹ au cours des actions du match) recueillies à l'issue ou en cours de matchs. En outre, comme on peut le prévoir, l'augmentation des durées individuelles de jeu laisse penser que de plus en plus, le joueur de haut niveau des années futures devra avoir de bonnes capacités dans ce domaine aussi.

4-4 Actions cumulées pendant la durée complète du match

Si en prend en compte l'intensité moyenne individuellement développée durant la totalité d'un match, les pourcentages de la puissance aérobie maximale évalués sont supérieurs à 85 % pendant 80 minutes. Comme l'ont montré certaines études utilisant des échantillons musculaires prélevés par biopsies après match, dans ces conditions on peut penser que les réserves en glycogène musculaire, voire hépatique, sont très largement sollicitées.

La cinétique de reconstitution des réserves en glycogène est relativement lente : de 24 à 48 heures, peut constituer un facteur limitant la récupération dans des intervalles aussi courts entre le match et la reprise d'entraînements intenses.

Cette cinétique dépend de plusieurs facteurs : importance de la déplétion des réserves en glycogène résultant du match, mode de récupération (la récupération active ou toutes autres formes d'activité entretenues dans les 24 à 36 heures après un match de forte intensité, contrarient la reconstitution des réserves), niveau d'entraînement du joueur (cinétique plus longue en début de reprise d'entraînement), diététique...peut être améliorée par un apport nutritionnel plus riche en glucides, plus particulièrement par ceux à index glycémiques élevés lors des premiers moments après le match et par ceux à index glycémiques plus faibles au cours des deux repas qui suivent le jour du match.

4-5 Glycémie au cours et à l'issue du match.

Au cours du match, les réserves en glycogènes hépatiques sont sollicitées et le glucose circulant contribue aussi à l'apport énergétique musculaire du footballeur. Alors qu'à l'issue de chaque mi-temps, Leatt (1986) n'enregistre chez des joueurs de l'équipe nationale canadienne qu'une faible diminution de la glycémie (respectivement 0.71 mmol.l⁻¹ et 0.93 mmol.l⁻¹) par contre, Ekblom (1986) note une baisse beaucoup plus importante (1.7 ± 0.3 mmol.l⁻¹) situant les joueurs suédois observés en hypoglycémie (glycémie normale entre 4.4 et 5.5 mmol.L⁻¹). Dans cette même étude, trois des joueurs montrèrent une hypoglycémie à la limite des conséquences fâcheuses (entre 3 et 3.2 mmol.L⁻¹). Le glucose étant le seul substrat utilisé par les cellules nerveuses, s'ajoutant à une déshydratation transitoire, l'hypoglycémie peut entraîner chez le footballeur non seulement une perturbation du fonctionnement musculaire mais aussi des troubles des processus cognitifs et de la commande neuro motrice à l'origine des maladresses et des mauvaises options technico-tactiques souvent constatées en fin de chaque mi-temps.

De nombreux auteurs ont étudié les effets d'un apport de glucose ou de ses polymères sur le maintien de la performance musculaire et mentale. Il est unanimement reconnu qu'un apport exogène de glucose dilué en solution hypotonique, permet de prolonger l'exercice d'endurance (Hargreaves et al., 1984 ; Björkman et al., 1984 ; Reynolds et Ekblom, 1985). Les concentrations les mieux adaptées à une bonne vidange gastrique et à une absorption intestinale optimisée voisinent habituellement les 20g de glucose par litre d'eau. En outre, les travaux de Nunimaa et al. (1977) et de Reynolds et Ekblom (1985) suggèrent que l'ingestion

de glucose au cours de l'exercice maintient non seulement la qualité du travail musculaire mais aussi celle des processus mentaux et des coordinations neuro motrices.

Concernant le football, au cours de dix matches expérimentaux, Muckle (1973) constata que les équipes dont les joueurs avaient bénéficié d'un apport exogène de glucose marquaient plus de buts, en "encaissaient" significativement moins et parcouraient des distances en cours de match beaucoup plus importantes que ceux n'ayant rien absorbé. Seul, Leatt (1986) n'enregistra aucune modification. En conséquence, sauf pour cette dernière étude, la majorité des auteurs suggèrent l'ingestion de solution de glucose pendant le match.

Si les circonstances de jeu le permettent, il semble que la meilleure façon de procéder est de répartir l'apport en glucose en 3 à 4 prises par mi-temps à raison de quelques gorgées par prise (environ 20 à 40 ml par gorgée) de telle sorte que le joueur puisse absorber 9 ml par kilogramme de masse corporelle d'une solution contenant environ 20 g de glucose par litre d'eau dont la température devrait se situer entre 10 et 15°C.

Remarque. Ces prises doivent se faire après au moins 15 minutes d'échauffement, voire pendant le match mais surtout pas au repos dans l'heure qui précède, ce qui provoquerait exactement les effets inverses de ceux recherchés et pourrait entraîner une hypoglycémie et donc la contreperformance. En effet, absorber du sucre au repos provoque immédiatement une hyperglycémie qui, à son tour, entraîne une augmentation de la libération d'insuline (pic insulinémique) et un abaissement de la production du glucagon par le pancréas. L'insuline active les transporteurs membranaires du glucose (GLUT4) favorisant la pénétration dans la cellule du glucose sanguin. Dans la cellule, les effets combinés de l'insuline et du glucose pénétrant activent la glycogène synthétase (Ebeling et al. 1993) et au contraire inhibent de façon concomitante la glycogène phosphorylase deux enzymes intracellulaire dont les effets antagonistes permettent respectivement d'orienter le glucose vers sa mise en réserve sous forme de glycogène (musculaire, hépatique) et de triglycérides dans le tissu adipeux et à l'opposé, bloque la première étape du catabolisme du glycogène. Cette double action se traduit finalement d'une part, par une hypoglycémie et d'autre part, par un blocage de la glycogénolyse et de la glycolyse intra cellulaire. On conçoit alors que, privé de la possibilité d'utiliser pleinement ses réserves en substrats énergétiques, le fonctionnement musculaire en subisse des conséquences préjudiciables à la performance.

4-6 Pertes hydriques au cours du match

Un autre effet de la pratique du football, surtout sous des climats chauds et/ou chauds et humides, est la déperdition liquidienne qui, dans certaines limites, peut perturber la performance physique et présenter certains dangers sur la santé du footballeur.

Le début du championnat se situant en France et dans la plupart des pays d'Europe et du Maghreb au cœur de l'été, les premiers entraînements et matches interviennent souvent à des périodes de fortes chaleurs alors que l'organisme des joueurs n'est pas encore parfaitement acclimaté. Cette question prend toute son acuité dans les pays aux climats chauds et humides et dans certains départements et territoires d'Outre-Mer. L'importance de la sudation pose alors le problème des déperditions liquidiennes de l'organisme.

Les déperditions liquidiennes ont un effet négatif non seulement sur la performance physique, mais aussi sur la thermorégulation (Edwards et Noakes, 2009). De nombreuses études ont montré que la diminution des réserves liquidiennes de l'organisme s'accompagne d'une réduction importante de l'aptitude à l'exercice. La compensation incomplète des pertes liquidiennes détermine également une augmentation anormale de la température corporelle et de la fréquence cardiaque au cours de l'exercice (Adolph, 1947 ; Saltin, 1964). Ceci se manifeste déjà pour des déperditions liquidiennes de l'ordre de 1% de la masse corporelle (MC) ; lorsque ce déficit atteint 4 à 5% de la MC du sportif, la diminution de son aptitude à

fournir un travail physique intense et prolongé peut être de l'ordre de 20 à 30%. A 10% de la MC, l'exercice musculaire réalisé en ambiance chaude s'accompagne d'un risque très important de collapsus cardio-vasculaire (Adolph, 1947).

La plupart des observations réalisées chez les footballeurs montrent cependant des pertes liquidiennes qui n'atteignent pas cette extrême limite. Smaros (1980), Leatt (1986) et Ekblom (1986) situent ces déperditions entre 1 et 2.5kg dans des conditions de températures assez fraîches. Par contre, Mustapha et Mahmoud (1979), à l'issue de matches internationaux, relevèrent des pertes liquidiennes de l'ordre de 4 à 5kg chez des footballeurs africains.

Pour un sportif de 70kg, ces pertes représentent donc des pourcentages pouvant se situer entre 2 et 7% de la MC, ce qui entraîne une baisse de la performance physique et probablement des troubles de la thermorégulation à l'origine de perturbations du métabolisme énergétique.

En conséquence, il est très fortement recommandé de boire de l'eau normale et fraîche (10-15°C) non seulement pendant et après mais aussi avant la rencontre et ce, sans attendre les sensations de soif qui sont toujours postérieures au déclenchement des processus entraînant les effets négatifs précités. En général, l'eau dite "minérale" est largement suffisante pour rééquilibrer les pertes en électrolytes liées à la sueur, surtout si le footballeur est entraîné. Un apport massif de chlorure de sodium sous forme de plaquettes de sel ne se justifie pas sauf si le sportif n'est pas acclimaté à d'éventuelles ambiances très chaudes et surtout très humides et si en outre il est peu entraîné.

5 Fatigue et récupération au cours et après un match de football

Outre la dépense énergétique, la précision de la commande neuro-motrice, la qualité contractile des unités motrices mises en jeu, l'élasticité musculaire et les rapports segmentaires des articulations sollicitées, contribuent aussi à l'efficacité des actions très intenses qui caractérisent le match...à la condition qu'une bonne homéostasie soit maintenue au cours de la rencontre. La fatigue aussi bien centrale que périphérique en est le principal facteur perturbant.

Si seuls les aspects physiologiques et biologiques sont pris en compte, dans leur brève revue de questions, Mohr et al. (2005) développée ensuite par Reilly et al. (2008), mettent en évidence trois moments du match où la fatigue pourrait être induite par des facteurs différents : après une série d'actions intenses, à la reprise du match après l'arrêt de la mi-temps et à la fin du match.

Selon cette revue de questions, la fatigue liée à l'enchaînement de plusieurs actions intenses ne serait pas due comme il est souvent évoqué, à une baisse de la concentration en glycogène, à l'accumulation de lactate, à l'acidose musculaire et au catabolisme de la PCr mais à une perturbation ionique située au niveau membranaire directement dépendante des flux importants des potentiels d'action commandant le travail musculaire.

La fatigue habituellement perçue en reprise de la deuxième mi-temps serait due à une température musculaire plus basse comparée à celle de la fin de la première mi-temps. Ainsi, il suffirait que les joueurs maintiennent une activité musculaire même de faible intensité dans l'intervalle entre les deux mi-temps pour éviter ce type de fatigue préjudiciable à leur performance.

Enfin plusieurs études ont montré que la fatigue observée en fin de match pouvait être effectivement expliquée par la baisse des réserves en glycogène.

En outre, il est probable que le cumul, voire l'inter actions de la chaleur en ambiance humide, la déshydratation (Edwards et Noakes, 2009), la baisse de la glycémie peuvent ensemble altérer les fonctions cérébrales et donc les commandes neuro motrices expliquant la détérioration de la performance. La fatigue et ses conséquences sur la qualité de prestation des joueurs peuvent donc se manifester non seulement à différentes périodes du match mais dépendre aussi de mécanismes physiologiques différents.

5-1 Paramètres biologiques susceptibles d'être modifiés par les exigences du match

Tout ce qui précède ne concerne que les substrats énergétiques phosphagènes (ATP-PCr) et glycogène.

Comme le football est à la fois un sport de courses, de sauts, de blocages, de changements de direction et de duels dans lequel les chocs et les traumatismes musculaires des membres inférieurs doivent être aussi considérés, faute de données propres au football, sur la base de résultats expérimentaux de travaux réalisés avec d'autres disciplines, on ne peut actuellement que se limiter à des hypothèses, voire à des spéculations.

Lors d'exercices intenses et/ou excentriques, la fatigue se traduit par une élévation de la myoglobémie et des enzymes musculaires circulantes (Créatinephosphokinase : CPK, lactico-déshydrogénase : LDH, Malondialdéhyde : MDA, 3-méthylhistidine...), synonyme d'altérations de la cellule musculaire, tant au niveau membranaire qu'à celui de ses structures contractiles. D'une manière générale, l'activité des radicaux libres apparaît comme un bon moyen d'évaluer le stress métabolique subi par le muscle en activité mais leur durée de vie trop courte rend actuellement impossible ce type d'évaluation.

L'accumulation de fatigues aiguës non compensées peut mener à un état de fatigue chronique dont la gestion est toujours délicate. Plusieurs hypothèses ont été avancées pour tenter d'en déterminer l'avènement mais les résultats acquis restent trop souvent contradictoires ou circonstanciés.

- Une succession de déplétions chroniques du glycogène pourrait perturber les métabolismes des acides aminés et des lipides en induisant de fortes hypoglycémies d'exercice.
- Une oxydation accrue de la glutamine circulante pourrait induire une hypo-réactivité du système immunitaire (baisse de la réaction aux inflammations et aux traumatismes cellulaires), conduisant à une inhibition des signaux d'alarme liés à l'entraînement trop intense.
- L'oxydation des acides aminés ramifiés pourrait favoriser l'entrée du tryptophane libre au niveau cérébral, un précurseur de la synthèse de 5-HT (sérotonine). Cette hormone induirait alors un état de fatigue latente (asthénie) et une baisse de la sensibilité aux traumatismes musculaires et tendineux.

A l'instar des exercices intenses et/ou excentriques, une succession de matchs et d'entraînements intenses pourrait causer des dommages musculaires provoquant une rhabdomyolyse avec myoglobémie et myogloburie, ce qui est délétère pour le fonctionnement rénal (baisse du taux de filtration glomérulaire induisant une intoxication progressive de l'organisme). Elle pourrait en conséquence induire certaines modifications structurales des cellules musculaires comme :

- des changements de perméabilité au niveau de la membrane (attestés par les dosages élevés de CPK et de myoglobine)
- et des altérations de l'architecture dans son ensemble (attestées par le dosage de myoglobine et de troponine I) Sorichter et al. 1997.

Dans ce cas, quels seraient les délais de retour aux concentrations normales traduisant probablement un état de récupération complète ?

- Le dosage de la CPK circulante a permis d'établir des cinétiques de stabilisation:
 - 1- à la suite d'exercices intenses sur 48-72 heures
 - 2- à la suite d'exercices excentriques sur 72-96 heures
- Le dosage de la myoglobine circulante a permis d'établir des cinétiques de stabilisation:
 - 1- à la suite d'exercices intenses sur 36 heures
 - 2- à la suite d'exercices excentriques sur 36-48 heures.
 - 3- Il en va de même pour la troponine I, un marqueur fiable de la déstructuration de

l'appareil contractile musculaire

Globalement, tout indique ici aussi qu'un délai minimum de 48 heures de récupération après un match intense s'avèrerait indispensable.

5-2 Constat et voies pour des recherches futures Comme le football est une activité physique associant des phases intenses et d'exercices nécessitant des contractions musculaires à la fois concentriques et excentriques, mais aussi des traumatismes liés aux contacts et aux chocs répétés lors des matchs, les spécificités des stress mécaniques et métaboliques de la pratique pourraient nécessiter un temps de récupération supérieur aux modèles faisant actuellement référence mais ne prenant pas en compte la spécificité d'un match.

. A notre connaissance, il n'existe pas non plus d'étude sur la durée nécessaire à la reconstitution moléculaire au niveau des lésions cellulaires après un traumatisme lié à une série de chocs sur le muscle en activité. Cependant, il est bien connu que l'hématome intramusculaire augmente substantiellement le délai de cette reconstitution moléculaire.

En conclusion de cette partie, faute d'autres arguments plus spécifiques au football, ces données purement expérimentales et issues de protocoles très éloignés des contraintes physiques, physiologiques et biologiques d'un match de football, nous invitent, sans être alarmistes, à être réservés quant à la pratique de matches trop rapprochés et ce, pendant des périodes plus ou moins longues dans une saison si les charges externes et internes des entraînements et les conditions de récupération dans les intervalles ne sont pas parfaitement connues et gérées.

REFERENCES

- Adolph (E.F.), 1947 - Physiology of man in the desert. Interscience publishers. NY.
- Agnevik (G), 1975. Football, 1970. Traduit du suédois par M. Robin et J.R. Lacour sous le titre : *Etude physiologique du football*. Saint Etienne.
- Aziz (AR), Mukherjee (S), Chia (MY), Teh (KC), 2007. Relationship between measured maximal oxygen uptake and aerobic endurance performance with running repeated sprint ability in young elite soccer players. *J Sports Med Phys Fitness*. ;47(4):401-7.
- Bangsbo (J), Norregaard (L.) and Thorso (F), 1991. Activity profile of competition soccer. *Can. J. Sport Sci.* 16:110-16.
- Bangsbo, (J.), 1994. The physiology of soccer – with special reference to intense intermittent exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 151 (suppl. 619).
- Bangsbo (J), 1995. The physiology of intermittent activity in football. In: Science and football (3) Edited by T.Reilly, J.Bangsbo and M. Hughes, 43-53.
- Bangsbo (J) and Michalsik (L.), 2002. Assessment of the physiological capacity of elite soccer players. In: *Science and Football IV. W. Pinks. T. Reilly, and A. Murphy (Eds). London: Routledge, pp. 53-62.*
- Bangsbo (J) Bencke (J.), Kjaer (M.), Krstrup (P.), Mohr (M.), Steensberg (A.), 2006. Muscle and Blood Metabolites during a Soccer Game: Implications for Sprint Performance. *Med. Sci. Sports Exerc* 38(6), 1165-1174.
- Bishop (D), Spencer (M), 2004. Determinant of repeated-sprint ability in welltrained team-sport athletes and endurance-trained athletes. *J Sport Med Phys Fitness* ; 44(1):1-7
- Bjorkman (O) et al. 1984. Influence of glucose and fructose ingestion on the capacity for long term exercise in well trained men. *Clinical physiology* 4: 483-494.
- Bogdanis (G.C.), Nevill (M.E.), Lakomy (H.KA), Boobis (LH.) 1993. Human metabolism during repeated maximal sprint cycling. *J Physiol (London)*; 467:77P.
- Bogdanis (G.C.), Nevill (M.E.), Boobis (L.H.) and Lakomy (H.K.), 1994. Muscle metabolism during repeated sprints exercise in man. *J Physiol.* 475 p.
- Bogdanis (G.C.), Nevill (M.E.), Lakomy (H.K.), and Boobis (L.H.), 1996. Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. *J.Appl.Physiol*, 80(3):876-84.

- Bogdanis (G.C.), Nevill (M.E.), Lakomy (H.K.A.), and Boobis (H.L.), 1998. Power output and muscle metabolism during and following recovery from 10 and 20 s from maximal sprint exercise in humans. *Acta Physiol Scand.* 163: 261-72.
- Castagna (C), Manzi (V), D'Ottavio (S), Annino (G), Padua (E), Bishop (D.) 2007 Relation between maximal aerobic power and the ability to repeat sprints in young basketball players. *Strength Cond Res.*;21(4):1172-6.
- Cazorla (G) et Léger (L. 1993. Comment évaluer et développer vos capacités aérobies. Epreuve de course navette et épreuve Vam-Eval (Edit. AREAPS).
- Cazorla (G) 1990. Tests de terrain pour évaluer la capacité aérobie et la vitesse aérobie maximale. Dans : Actes du Colloque International de la Guadeloupe. 151-73.
- Cazorla (G), Farhi (A). 1998. Football. Exigences physiques et physiologiques actuelles. *Revue EPS.* 273 : 60-66,
- Cazorla, (G), Zazoui, (M), & Zahi, (B). 2009. Etude de la charge physique d'un match de football: Conséquences pour l'évaluation et la préparation du joueur. *Etude de la charge externe* In Zoudji B (Ed.), *Science et Football: Recherches et Connaissances Actuelles* (pp. 103-120). Valenciennes, France. : Presses Universitaires de Valenciennes.
- Cazorla, (G), Benezzeddine-Boussaidi (L), Duclos (M.), 2009. Etude de la charge physique d'un match de football: Conséquences pour l'évaluation et la préparation du joueur. *Etude de la charge interne*. In Zoudji B (Ed.), *Science et Football: Recherches et Connaissances Actuelles* (pp. 103-120). Valenciennes, France. : Presses Universitaires de Valenciennes.
- Ebeling (P), Bourey (R), Koranyi (L) et al. 1993. Mechanism of enhanced insulin sensitivity in athletes. Increased blood flow, muscle glucose transport protein (GLUT4) concentration and glycogen synthase activity. *J Clin Invest* 92:1623-1631.
- Goubet (P), 1989. Evaluation directe en cours de match des courses et des contraintes énergétiques du footballeur. Mémoire pour le diplôme Brevet d'Etat d'Eduteur Sportif 3^{ème} degré, Formation Continue. Ministère de la Jeunesse et des Sport.
- Hargreaves (M.) et al. 1984. Effects of glucose ingestion on muscle glycogen usage during exercise. *Med. Sci. in Sports and Exerc.*, 17: 360-363.
- Hultman (E.) et Sjöholm (H.), 1983. Substrate availability. In *Biochemistry of exercise*, edited by H.G. Knuttgen, Vogel and J.R. Poortmans. Champaign: Human Kinetics: 63-75.
- Impellizzeri (FM), Rampinini (E), Castagna (C), Bishop (D), Ferrari Bravo (D), Tibaudi (A), Wisloff (U). 2008 Validity of a Repeated-Sprint Test for Football. *Int J Sports Med.* Apr 16
- Jacobs, Westlin (N.), Rasmussen (M.), Houghton (B.), 1982: Muscle glycogen and diet in elite soccer players. *Eur. J. of Appl. Physiol* 48: 297-302.
- Krustrup (P.), Mohr (M.), Steensberg (A.), et al., 2006. Muscle and blood metabolites during a soccer game: implications for sprint performance. *Med Sci Sports Exerc* ; 38: 1165-74
- Leatt (P.B.), 1986. The effect of glucose polymer ingestion on skeletal muscle glycogen depletion during soccer match play and its resynthesis following a match. University of Toronto. M. Sc. Thesis graduate Department of community health.
- Leatt (P.B); Jacobs (I), 1988. The effect of glucose polymer ingestion on skeletal muscle glycogen utilization during soccer match. In: Reilly T; Less A.; Davids K; Murphy WJ (eds) *Science and football*. Spon London : 42-47.
- Mendez-Villanueva (A.), Hamer (P.) Bishop (D), 2008. Fatigue in repeated-sprint exercise is related to muscle power factors and reduced neuromuscular activity. *Eur J Physiol*.
- Mustapha (K.Y.) et Mahmoud (N.E.A.) 1979. Evaporative water loss in african soccer players. *J. Sports Med. and Phys. Fit*.
- Muckle (D.S.) 1973. Glucose syrup ingestion and team performance in soccer. *Brit. J. Sports Med.*, 7: 340-343.
- Nünimaa et coll. 1977. Characteristics of the successful. *J Sports Med and Physical Fitness*, 17: 83-96.
- Quristoff et al. 1992. Absence of phosphocreatine resynthesis in human calf muscle during ischemic recovery. *Biochemical Journ*, 291:681-86.
- Reilly (T) et Thomas (V) 1976. A motion analysis of work-rate in different positional roles in professional football match-play. *J. Human Movement studies*, 2: 87-97.
- Reilly (T), 2000. The physiological demand of soccer. In *Soccer and Science: In an Interdisciplinary Perspective*, J. Bangsbo (Ed.) Copenhagen: Munksgaard, 91-105.

Reilly (T.), Drust (B.), Clarke (N.). 2008. Muscle Fatigue during Football Match-Play. *Sports Med* 2008; 38 (5): 357-367

Reynolds (G.) et Ekblom (B.), 1986. Glucose ingestion and performance following exhaustion, 1985b, cité par Ekblom.

Ross (A) et Leveritt (M), 2001 Long-term metabolic and skeletal muscle adaptations to short-sprint training: implications for sprint training and tapering. *Sports Med.*;31(15):1063-82

Saltin (B.) 1964- Aerobic and anaerobic work capacity after deshydration. *J. Appl. Physiol.* 19 :1114.

Smaros (G.) 1980. Energy usage during football match. In : Vecchiet (Ed) Ist international congress on sports medicine applied to football : 795-801, Rome.

Spencer (M), Bishop (D), Dawson (B), Goodman (C), 2005. Physiological and metabolic responses of repeated-sprint activities: specific to field-based team sports. *Sports Med*; 35(12):1025–44.

Spencer (M), Bishop (D), Dawson (B), Goodman (C), Duffield (R.), 2006. Metabolism and performance in repeated cycle sprints: active versus passive recovery. *Med Sci Sports Exerc*;38(8):1492–9.

Spencer (M), Dawson (B), Goodman (C), Dascombe (B), Bishop (D), 2008. Performance and metabolism in repeated sprint exercise: effect of recovery intensity. *Eur J Appl Physiol.* Apr 29

Sorichter (S), Mair, Koller (A) et al. 1997 : Skeletal I as troponin a marker of exercise-induced muscle metabolism damage. *J Appl Physiol.* 83(4): 1076-82.

Trump (M.E.), Heigenhauser (G.J.F.), Putman (C.T.) et Spriet (L.L.), 1996. Importance of muscle phosphocreatine during intermittent maximal cycling. *J. Appl. Physio.* 80 (5): 1574-80.