

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

EFFETS DE L'ENTRAÎNEMENT EN MUSCULATION SUR LE VO₂ MAX ET
AUTRES QUALITÉS ATHLÉTIQUES CHEZ LE FOOTBALLEUR U-19

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN KINANTHROPOLOGIE

PAR

JUSTIN-EMMANUEL IBO-BAINGUIÉ

DÉCEMBRE 2016

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.07-2011). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Je remercie mes parents Emmanuel et Diane pour tous leurs encouragements malgré la distance qui nous sépare. Je remercie également ma grand-mère Pauline qui m'a toujours poussé à faire ce que j'aime, c'est ainsi que je me suis orienté dans ce domaine. A mon frère Nicolas et mes amis du HQC merci tout simplement d'avoir toujours été là pour moi. Ensuite ma sœur Maryse qui a toujours été une source d'inspiration. Pour terminer merci à ma cousine Lydie pour son aide précieuse.

Je voudrais également remercier mon directeur de maîtrise monsieur Alain Steve Comtois pour sa disponibilité, sa patience et surtout sa conviction en la faisabilité de ce projet. Je remercie aussi tout le Département des sciences de l'activité physique de l'UQAM. En particulier monsieur Paul Hénault de m'avoir permis de réaliser mon dernier stage de baccalauréat à l'étranger. Sans ce stage, l'idée de faire un projet de maîtrise sur deux continents, n'aurais jamais été possible.

Je remercie également messieurs Athanasio Destounis et Enrique Villalobos ces deux collègues que j'ai rencontré lors de mes études et qui ont su m'épauler et m'orienter à chaque fois que j'en ai eu besoin. Je n'oublierai jamais ce que vous avez fait pour moi.

Merci à mon employeur, la compagnie Serco et en particulier à monsieur Miville Gauthier pour son support, sa flexibilité et sa compréhension lors de mes études.

Un grand merci la grande famille de l'Asec Mimosas en particulier à son président, maître Ouegnin. Merci également à son directeur général monsieur Benoît You qui a été intéressé par ce projet, également le coach principal de l'académie mimosifcom, monsieur Julien Chevalier, qui par son ouverture d'esprit et sa disponibilité a permis

la réalisation de ce projet. Un grand merci également à tous les joueurs ayant participé à cette étude.

En dernier lieu merci à M. Pascal Théault, coach principal de l'académie lors de mon stage en 2008. Tout simplement par son attitude son professionnalisme et sa passion du football a déclenché en moi l'envie de progresser, me développer et de toujours vouloir faire mieux dans ce domaine. Comme disait Montaigne: « Éduquer, ce n'est pas remplir des vases mais allumer des feux.» Mille fois merci

DÉDICACE

Je dédie ce mémoire à mon grand-père
Nick qui a toujours cru que j'atteindrai
tous les objectifs que je me suis fixés.
Ce mémoire en est une belle illustration

AVANT-PROPOS

La présente recherche s'inscrit dans un cadre réflexif concernant la morphologie type du footballeur. Par conséquent, elle traite du style d'entraînement émergent de ce sport, plus particulièrement le travail en musculation. Il semble être de croyance populaire qu'un footballeur plus lourd sera moins rapide, moins agile ou encore possédera une moins bonne endurance cardiorespiratoire que ses pairs. Cependant, il ne semblait pas y avoir de recherches confirmant ou infirmant cette hypothèse. Toutefois, en faisant une recherche informelle sur les footballeurs les plus lourds au niveau professionnel, on y retrouve des vedettes comme Cristiano Ronaldo, Zlatan Ibrahimovic, Yaya Touré, Thibaut Courtois, etc. Ces joueurs sont très dominants dans leurs équipes respectives. Malgré qu'ils possèdent un indice de masse corporel très élevé, ces joueurs sont loin d'être les moins rapides ou les moins agiles. Ainsi le fait d'être plus lourd ne semble pas vraiment avoir d'incidence sur la performance du footballeur.

Vivant en Amérique du Nord et étant exposé à des ligues d'autres sports professionnels tels que la NFL, la NBA, la LNH, le chercheur a toujours été impressionné par le physique des sportifs évoluant dans ces ligues. En effet, ces athlètes sont très rapides et très agiles malgré le fait qu'ils possèdent un indice de masse corporel élevé. De plus, ces athlètes évoluent dans des sports demandant également une bonne endurance cardiorespiratoire. En comparant de plus près le physique de ses athlètes à celui du footballeur, on remarque qu'ils possèdent tous une masse musculaire imposante et un pourcentage de gras très faible. Le chercheur s'est donc intéressé aux habitudes d'entraînement en musculation des sportifs émergent de ces différentes ligues. Ainsi, en comparant l'entraînement musculaire réalisé par ces athlètes à celui du footballeur, une chose était flagrante. Les sportifs issus de ces ligues avaient un volume d'entraînement musculaire beaucoup plus élevé que le

footballeur. Le chercheur s'est donc demandé ce qui adviendrait d'un footballeur qui serait soumis à un régime d'entraînement en musculation similaire à celui des sportifs des ligues mentionnées précédemment.

La recherche initiale a été dessinée pour des joueurs universitaires canadiens. Cependant, le chercheur s'est vu confronter à plusieurs difficultés, comme des joueurs absents lors de séances en salle de musculation ou lors des tests, des blessures ou encore des abandons du programme. L'étude initiale comptait 20 sujets au départ et s'est terminée qu'avec 4 participants. La bonne nouvelle pour le chercheur était les résultats significatifs qui venaient confirmer son hypothèse de départ.

Ainsi, le chercheur qui avait déjà préalablement effectué un stage avec l'académie de l'Asec Mimosas, propose le projet aux responsables de cette équipe qui furent tout de suite emballés par l'idée. Cependant, de nouvelles difficultés s'imposent: le chercheur principal ne pouvait être sur place pour l'ensemble de l'étude, le club possède une salle de musculation moins équipée, il y a aussi l'absence d'analyseur de gaz et de scanner corporel permettant de réduire la marge d'erreur au niveau des résultats de tests. Ainsi, nous nous sommes tournés vers des tests plus simples à conduire tels que la mesure des plis cutanés et le test sur terrain VAMÉVAL.

Le chercheur s'est donc déplacé en Côte d'Ivoire pour diriger la période d'apprentissage des mouvements du programme de musculation et son fonctionnement. Il était également sur place pour la période de pré tests ainsi que la première semaine du programme. Le professionnalisme de l'entraîneur principal M. Chevalier et celui du reste de son staff, nous a permis de mener le projet à terme. Le staff sur place s'assurait au bon fonctionnement du programme tandis que les communications hebdomadaire avec l'entraîneur principal, permettait au chercheur d'avoir un suivi sur les progressions des joueurs en salle de musculation. Le chercheur s'est ensuite déplacé à nouveau pour observer la dernière semaine du programme et effectuer les post tests.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	i
DÉDICACE	iii
AVANT-PROPOS	iv
TABLE DES MATIÈRES.....	vi
LISTE DES FIGURES	ix
LISTE DES TABLEAUX	x
LISTE DES ABRÉVIATIONS,SIGLES ET ACRONYMES.....	xi
RÉSUMÉ	xii
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I:	
REVUE DE LITTÉRATURE	4
1.1. ASPECTS PHYSIOLOGIQUES	4
1.1.1. L'endurance cardiorespiratoire	5
1.1.2. La consommation maximale d'oxygène (VO ₂ max):.....	6
1.1.3. Le seuil de lactate (LT).....	8
1.1.4. L'économie de course/travail (R.E.)	10
1.1.5. Les fibres musculaires.....	12
1.2. LA DEMANDE DU SPORT	13
1.2.1. Aérobic et football	15
1.2.2. Anaérobic et football.....	16
1.2.3. Les sprints répétés (RSA)	17
1.3. L'ENTRAÎNEMENT EN MUSCULATION	20
1.3.1. Hypertrophie	22

1.3.2. L'entraînement en force et en puissance	24
1.3.3. Le profil physiologique d'autres sports.....	27
1.3.4. Le programme d'entraînement.....	38
CHAPITRE II:	
OBJETCIFS ET QUESTION DE RECHERCHE.....	42
2.1. Question de recherche.....	42
2.2. Objectifs.....	42
2.3. Hypothèse	43
CHAPITRE III:	
MÉTHODOLOGIE	44
3.1. LES SUJETS.....	44
3.2. LES VARIABLES DÉPENDANTES	44
3.3. LES VARIABLES INDÉPENDANTES	45
3.4. LES TESTS ET LE MATÉRIEL.....	45
3.4.1. Test de composition corporelle	46
3.4.2. Test de pourcentage de gras	46
3.4.3. Test d'aptitude aérobie (VAMÉVAL)	46
3.4.4. Test de sprints répétés (RSA).....	46
3.4.5. Test d'agilité (Illinois)	47
3.4.6. Test du sprint de 30 mètres	47
3.4.7. Test de sauts en longueur (broad jump)	47
3.5 LES PROCÉDURES	48
3.5.1. Tests en laboratoire	48
3.5.2. Tests sur le terrain.....	49
3.5.3. Variables dépendantes.....	54
3.5.4. Le programme de musculation.....	55

3.6. ANALYSES STATISTIQUES	61
CHAPITRE IV:	
LES RÉSULTATS	62
4.1. MESURES ANTROPOMÉTRIQUES	62
4.2. MESURES DE VITESSES.....	63
4.3. MESURES DE FORCES ET D'AGILITÉ	65
4.4. MESURES CARDIORESPIRATOIRES	66
CHAPITRE V:.....	
DISCUSSION.....	67
5.1. EFFET DU PROGRAMME SUR LES MESURES ANTHROPOMÉTRIQUES.....	67
5.2. L'EFFET DU PROGRAMME SUR LES QUALITÉS CARDIORESPIRATOIRES ...	71
5.3. L'EFFET DU PROGRAMME SUR LES MESURES DE VITESSE	73
5.4. L'EFFET DU PROGRAMME SUR LES MESURES DE FORCE ET D'AGILITÉ ..	76
5.5. LIMITATIONS.....	78
CONCLUSION	80
ANNEXE A: RÉSULTATS INDIVIDUELS DES MESURES ANTHROPOMÉTRIQUES	82
ANNEXE B: RÉSULTATS INDIVIDUELS DES MESURES DE VITESSE AU SPRINT 30M. ET AU RSA (6 X30-M)	83
ANNEXE C: RÉSULTATS INDIVIDUELS DU TEST DE FORCE DES MEMBRES INFÉRIEURS	84
ANNEXE D: JOURNAL DE BORD INDIVIDUEL DES CHARGES.....	85
ANNEXE E: CONSIDÉRATIONS ÉTHIQUES	86
BIBLIOGRAPHIE	87

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1: Sprints intermittents vs sprints répétés.....	19
Figure 1.2: Caractéristiques des capacités cardiorespiratoires des participants pré et post intervention.....	25
Figure 1.3: Taille (cm) des joueurs des Canadiens de Montréal de 1917 à 2003	30
Figure 1.4: Poids (kg) des joueurs des Canadiens de Montréal de 1917 à 2003	31
Figure 3.1: Schéma représentant le test de VAMÉVAL.....	50
Figure 3.2: Schéma représentant le test de RSA	52
Figure 3.3: Schéma représentant le test d'agilité Illinois.....	54
Figure 3.4: Résumé du programme de musculation suivi par les joueurs de l'académie Mimosifcom.....	60
Figure 4.1: Vitesse moyenne durant les épreuves de sprints répétés (RSA) et sprint unique sur une distance de 30 m.pré et post intervention	64

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1: Pourcentage de gras des joueurs des Canadiens de Montréal de 1981 à 2003.....	32
Tableau 1.2: VO ₂ max (ml/kg/min) des joueurs des Canadiens de Montréal de 1981 à 2003.....	33
Tableau 1.3: Comparatif de différentes aptitudes des joueurs de	35
Tableau 3.1: Extrapolation de la VMA en VO ₂ max.	51
Tableau 4.1: Caractéristiques anthropométriques des participants pré et post intervention	62
Tableau 4.2: Caractéristiques de vitesse des participants pré et post intervention	63
Tableau 4.3: Caractéristiques de force et d'agilité des participants pré et post intervention	65
Tableau 4.4: Caractéristiques des capacités cardiorespiratoires des participants pré et post intervention	66

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

IRM	Répétition maximale
ATP	Adénosine triphosphate
FC max	Fréquences cardiaques maximales
FC	Fréquences cardiaques
FIFA	Fédération internationale de football association
Fmax	Force maximale
FT	Fibres rapides
H ⁺	Ions d'hydrogène
IMC	Indice de Masse Corporelle
Kg	Kilogramme
LT	Seuil de lactate
min	Minute
MLSS	Taux maximal à l'état stable de lactate sanguin
MLSSc	Concentration maximale de l'état stable de lactate sanguin)
MLSSw	Charge de travail maximale à l'état stable de lactate sanguin
mmol	Millimole
PCr	Phosphocréatine
RE	Économie de course
RSA	Habilité à répéter des sprints
s	Secondes
SASL	Seuil d'accumulation sanguin de lactate
ST	Fibres lentes
VMA	Vitesse maximale aérobie
VO ₂	Volume d'oxygène consommé
VO ₂ max	Consommation maximale d'oxygène
VO ₂ max (ml/kg/min)	Volume d'oxygène consommé maximal par kg par minute

RÉSUMÉ

La présente étude a pour but principal d'analyser l'effet d'un programme d'entraînement en musculation sur le $VO_2\text{max}$ et la masse musculaire des footballeurs. Le pourcentage de gras a été mesuré à l'aide d'un caliper d'Harpenden. L'aptitude aérobie a été calculée à partir du test VAMÉVAL. En deuxième lieu l'étude évalue également l'effet du programme de musculation sur certaines aptitudes physique du footballeur. La vitesse de course a donc été estimée avec un test de sprints sur 30 mètres. L'habilité à répéter des sprints a été mesuré par le test de RSA (6 x 30-m avec 20s. de pauses). L'agilité des joueurs a été mesurée à partir du test d'Illinois et enfin, la puissance des jambes a été évaluée grâce au test de saut en longueur (départ arrêté). Au total 20 joueurs ont participé à cette étude sur une période de 12 semaines (excluant pré et post tests). Cette étude avait pour but de répondre aux questions suivantes: Est-ce que l'entraînement en musculation diminue le $VO_2\text{max}$ du footballeur ? Et est-ce que l'entraînement en musculation peut avoir un impact sur d'autres qualités physiques du footballeur ?

Une analyse descriptive des données a été effectuée grâce au logiciel SPSS (version 16) et les données sont présentées comme valeurs moyennes \pm écart type. Ainsi, les variables dépendantes ont été comparées par le test T de Student apparié. Une différence significative entre les mesures pré et post intervention a été considérée lorsque que $p < 0,05$.

Les principaux résultats présentés dans ce résumé établissent une différence significative entre le pré et post test. En effet, cette étude démontre qu'un programme de musculation chez le footballeur apporte des gains hypertrophiques significatifs: le poids (kg) des joueurs augmente de 63,7 (5,8) à 64,8 (6,2), le gras corporel (%) diminue de 9,8 (1,4) à 8,2 (1,2). L'IMC (kg/m^2) augmente de 20,7 (1,6) à 21,0 (1,6), la masse maigre (kg) des joueurs passe de 57,5 (5,7) à 59,5 (6,1). Ces gains hypertrophiques sont combinés à une amélioration significative du

VO₂max (ml/kg/min) s'améliorant de 58,78 (0,6) à 59,6 (0,6). La présente étude démontre également que l'implémentation d'un programme de musculation chez le footballeur améliore significativement: la vitesse des sprints (s) sur 30 m, de 4,22 (0,1) à 3,98(0,2), la vitesse des sprints au RSA (s): 4,46 (0,2) à 4.25 (0,2). Tandis qu'une amélioration significative au test Illinois de 15,69 (0,1) à 15,16 (0,1) indique que le programme de musculation améliore également l'agilité du footballeur. Pour terminer, l'amélioration significative au test de saut en longueur (m): 2,26 (0,1) à 2,45 (0,1) confirme qu'un programme de musculation améliore aussi la force des membres inférieurs du footballeur.

Cependant, il faut noter certaines limitations dans cette étude comme l'absence de groupe témoins, les tests utilisés pour la composition corporel et l'endurance aérobie. Toutefois, l'hypothèse initiale peut tout de même être confirmée. En conclusion, l'implémentation d'un programme de musculation en raison de 2 fois par semaine chez le footballeur d'élite occasionne une hypertrophie tout en améliorant son VO₂max, et certaines qualités physiques.

MOTS CLÉS: football, programme de musculation, patrons de mouvements, hypertrophie, puissance, VO₂max, vitesse, sprints répétés, agilité, force des jambes.

INTRODUCTION

Le football, également appelé soccer, est sans contredit le sport le plus populaire de la planète. Mis à part les Jeux Olympiques, il n'y a aucune autre activité sportive, qui soulève autant d'engouement. La phase finale de la coupe du monde 2014 a attiré environ 3,2 milliards de spectateurs; 208 pays ont pris part aux phases éliminatoires de la coupe du monde afin d'obtenir une place parmi les 32 pays participants à la phase finale de cette compétition (FIFAworldcup.com 2014).

Le football compte environ 265 millions de joueurs et 5 millions d'arbitres et officiels sont activement impliqués, soit 4% de la population mondiale, selon la fédération internationale de football association FIFA (Haugen et Seiler, 2015). L'engouement pour ce sport ne semble pas uniquement se limiter aux adeptes de cette discipline, mais semble également attirer un bon nombre de chercheurs et de professionnels qui espèrent améliorer les capacités physiques, tactiques et psychologiques des footballeurs. C'est dans cette dernière catégorie de personne, se spécialisant dans la préparation physique, que nous nous situons, en vue d'apporter notre contribution aux recherches dans ce domaine sportif. Ainsi le centre d'intérêt de ce travail de recherche porte particulièrement sur les capacités physiques et physiologiques du footballeur masculin, en sorte, que cette étude va tenter de vérifier l'effet de l'entraînement en musculation sur les capacités cardiorespiratoires des joueurs de football. Pour ce faire, une approche définitionnelle de ce sport s'impose.

Il est nécessaire de mentionner que sur le plan physiologique, plusieurs travaux définissent le football comme un sport se caractérisant par de l'exercice intermittent avec des périodes de petites activités intenses, alternées de longues phases, à un niveau d'intensité basse à modérée (Reilly, 1997). Le football est donc un sport qui

fait appel à la force musculaire, à l'endurance (Wisløff et al., 1997) ainsi qu'à la vitesse et l'agilité (Little et Williams, 2005).

Malgré ces informations, le travail en salle de musculation semble généralement négligé dans ce sport. La recherche de Gil et al. (2007), démontre que les joueurs ayant les Indice de masse corporel (IMC) les plus élevés ont le moins bon $VO_2\text{max}$, sont plus lents et moins agiles. C'est peut être partant du principe que le travail répétitif en salle de musculation peut apporter des gains hypertrophiques qui seront directement liés à une augmentation du IMC qu'il semble encore existé une réticence face au travail répétitif en salle de musculation chez le footballeur. En effet, peut être que la vieille garde du football relie les gains hypertrophiques occasionnés par l'entraînement en musculation, a une augmentation du IMC et ainsi à une diminution soit des capacités cardiorespiratoires, de la vitesse ou encore de l'agilité du footballeur. Cependant, dans la littérature scientifique, il ne semble pas avoir suffisamment de données qui appuient cette théorie. Cependant, la même étude de Gil et al. (2007), établit que les joueurs ayant le plus bas pourcentage de gras, sont les plus agiles, plus rapides et possèdent un meilleur volume maximal d'oxygène ou $VO_2\text{max}$ (Gil et al., 2007) au football. Le but principal de cette recherche est donc de prendre le contre-pied de cette croyance populaire, en soumettant des footballeurs élites (centre de formation professionnel) à un programme d'entraînement en salle de musculation et de vérifier s'il y a réellement des gains hypertrophiques associés au programme de musculation et si tel est le cas, vérifier l'incidence de ces changements sur le $VO_2\text{max}$ de ces footballeurs.

Afin de bien comprendre la demande cardiorespiratoire chez le joueur de football, plusieurs explications sont de mise. En effet, il faut noter qu'un match de football se dispute minimalement pendant 90 minutes. Par conséquent, il est classé dans la catégorie de sport aérobie. De plus, un footballeur professionnel effectue entre 8 et 12

km durant un match de 90 minutes (Hoff et Helgerud, 2004) et cela dépend surtout du rôle qu'il joue dans son équipe (Reilly, 1996). Cependant, il faut également souligner que plusieurs types d'actions impliquent le joueur, lors d'un match de football, à savoir, le saut, le tir, les duels, les virages, les dribbles, les sprints, le contrôle du ballon sous la pression, courir à des vitesses différentes, ou encore les tacles glissés. Ainsi, il faut distinguer ainsi deux voies énergétiques aérobies et anaérobies utilisées pendant les matchs (Stolen et al., 2005).

La présente recherche est donc axée sur plusieurs éléments de connaissances. C'est ainsi que le chapitre I présente l'état des connaissances se rapportant à la problématique, tel que la demande physiologique, l'endurance cardiorespiratoire, la demande du sport, la musculation ainsi que la comparaison physiologique des footballeurs à d'autres sportifs. Le deuxième chapitre traite des objectifs et questions de recherche. Tandis que les trois chapitres suivant exhibent respectivement la méthodologie, les résultats et la discussion. Les deux dernières sections exposent les limitations et les conclusions de cette étude.

CHAPITRE I: REVUE DE LITTÉRATURE

Afin de comprendre les éléments qui peuvent influencer la performance du footballeur, il faut d'abord se pencher sur certaines notions physiologiques. Les principales notions qui seront traitées toucheront essentiellement au travail cardiorespiratoire et au travail musculaire du footballeur.

Il est évident que le football est un sport qui implique une énorme demande d'endurance cardiorespiratoire, due notamment à la longueur des matchs, 90 minutes et plus. Toutefois, Hoff et Helgerud (2004), expliquent que l'endurance n'est pas l'élément le plus important lors d'actions décisives au football. En effet, tout en restant dans le contexte aérobie du match de football, les actions les plus intéressantes au cours d'une partie sont représentées par des actions de travail à hautes intensités telles que des sprints, tacles et tirs (Hoff et Helgerud, 2004). Il faut alors comprendre que sur le plan physiologique malgré la longueur des matchs, le footballeur, doit faire appel aux deux modes de fonctionnement des systèmes énergétiques: aérobie et anaérobie. Nous les analyserons en débutant par la première citée.

1.1. ASPECTS PHYSIOLOGIQUES

Relativement aux processus aérobie et anaérobie, sur le plan physiologique, il y a deux phases de dégradation de glucose dans l'organisme. La première phase comprend une fermentation en 10 étapes d'acide pyruvique. Ces réactions comportent les transferts d'énergie en l'absence d'oxygène; elles sont dites anaérobies (McArdle, et al. 2001). Puis, lors de la deuxième phase du catabolisme, le glucose et les

molécules d'acide pyruvique sont dégradés en gaz carbonique et en eau dans les mitochondries. Les transferts d'énergie résultant de ces réactions mettent en jeu le transport d'électrons et la phosphorylation oxydative; elles sont dites aérobies (McArdle et al. 2001).

Les travaux de Bangsbo (1998), traitant de l'analyse d'un match de football invoquent le pourcentage d'utilisation des deux filières énergétiques lors d'un match. Ainsi, 98% de l'énergie est dérivé du métabolisme aérobie à cause de la durée des matchs. Le 2% restant est généré par le processus anaérobie (Bangsbo, 1998). Toujours du point de vue physiologique, il faut souligner que pour ces deux éléments, les substrats utilisés par l'organisme vont être très distincts. Lors d'un effort physique, les substrats utilisés par l'athlète vont varier en fonction de la vitesse de course (Costill, 1979).

1.1.1. L'ENDURANCE CARDIORESPIRATOIRE

Le terme «cardio» est un des mots les plus utilisés lorsqu'on parle d'activité physique, autant chez le sportif de haut niveau que chez le sédentaire. On l'utilise pour décrire la capacité cardiorespiratoire ou plutôt l'endurance cardiorespiratoire. Dans le domaine scientifique, l'endurance cardiorespiratoire a longtemps été reconnue comme un des éléments fondamentaux de la forme physique (Astrand et Rodahl, 1986). En d'autres mots, c'est la capacité du système cardiorespiratoire à maintenir un effort prolongé. Ainsi, il va de soi que l'endurance cardiorespiratoire est un élément déterminant, chez le footballeur qui fournit un effort important sur des périodes plus ou moins longues.

Du point de vue physiologique, ce type d'effort fait principalement appel au processus aérobie de fourniture d'ATP. Plusieurs chercheurs se sont penchés sur le sujet, notamment Pate et Kriska (1984), qui relatent des variances interindividuelles dans la performance d'endurance aérobie grâce à un modèle incorporant 3 facteurs majeurs. Ces travaux ont donc permis de subdiviser l'endurance cardiorespiratoire en trois principales variables: le $VO_2\text{max}$, le seuil de lactate (LT) de l'anglais *lactate threshold*, et l'économie de travail ou économie de course (RE) de l'anglais *running economy* (Hoff et Helgerud, 2004; Pate et Kriska, 1984).

Afin d'assimiler l'importance de chacun des trois éléments de l'endurance cardiorespiratoire, il est nécessaire de bien comprendre à quel niveau d'interaction le fonctionnement de chacun de ces éléments peut avoir une incidence sur la performance du footballeur. Toutefois, Astrand et Rodahl (1986), mentionnent que le $VO_2\text{max}$ est probablement le facteur le plus déterminant en ce qui a trait à l'endurance aérobie dans le sport.

1.1.2. LA CONSOMMATION MAXIMALE D'OXYGÈNE ($VO_2\text{MAX}$):

Le $VO_2\text{max}$ est l'élément le plus connu en ce qui a trait à l'endurance cardiorespiratoire. Il est défini comme étant le plus haut taux d'oxygène que le corps peut consommer et utiliser (Bassett et Howley, 2000). Autrement dit, c'est l'oxygène total que peut utiliser un individu durant un exercice physique d'intensité élevée. Ainsi, plus l'intensité de l'activité va augmenter, plus les fréquences cardiaques et l'utilisation en oxygène seront importantes pour le sportif. A un moment donné, la consommation d'oxygène de l'athlète n'augmente plus, plafonne et se stabilise

malgré l'augmentation de la charge de travail, le sportif atteint ainsi son volume maximal d'oxygène (Stolen et al., 2005).

Afin de mesurer le $VO_2\text{max}$ au football, les tests en laboratoire sont les plus directs et les plus précis. Il est donc recommandé d'effectuer des tests sur tapis roulant, pour contrôler les données se rapprochant le plus des situations réelles du match de football (Stolen et al., 2005). Cependant, ces tests demandent un équipement spécifique et utilise beaucoup de temps. Pour ces raisons, certains tests sur le terrain ont été proposés comme solutions de rechange pratique aux évaluations de laboratoire comme le test navette de 20 m, le VAMÉVAL, ou encore le Yoyo test (Leger et Gadoury, 1989; Cazorla 1990; Bangsbo 2008). Ainsi, ces tests sont couramment utilisés par les entraîneurs, préparateurs physique et les scientifiques du sport, pour évaluer la capacité aérobie des joueurs de football.

De façon générale, chez les footballeurs masculins, le $VO_2\text{max}$ varie entre 50 et 75 ml/kg/min (Stolen et al., 2005). Il en va de soi que, généralement, les athlètes qui performant très bien dans les activités d'endurance semblent posséder les meilleurs $VO_2\text{max}$ (Jung, 2003). De plus, d'autres recherches renforcent la démonstration d'une corrélation entre $VO_2\text{max}$ et la performance. Ainsi Apor, (1988) mentionne que les quatre équipes les mieux classées dans la 1^{ère} division de football Hongrois se classaient également dans le même ordre au niveau du $VO_2\text{max}$. Cette hypothèse est également soutenue par les résultats de Wisloff et al. (1998) qui démontrent une différence significative du $VO_2\text{max}$ entre l'équipe en tête et celles classées inférieurement dans le championnat norvégien division d'élite.

Étant donné que le football est considéré comme un sport d'endurance, le $VO_2\text{max}$ semble être la priorité chez les spécialistes de la préparation physique au football. Cependant, il faut noter que d'autres facteurs doivent être pris en considération, afin

d'améliorer la performance, quel que soit le type de sport. Il faut penser, entre autres, aux éléments techniques, tactiques et psychologiques. De plus la recherche de Basset et Howley (2000), explique que lors d'évènement de course, le coureur ayant le plus haut $VO_2\text{max}$ ne correspond pas nécessairement à la meilleure performance. Il est donc important de comprendre que le $VO_2\text{max}$ n'est pas forcément l'élément le plus important, dans le cadre d'évènement « d'une activité naturelle » comme la course. Cette étude réaffirme l'idée de la présence de plusieurs autres facteurs déterminants lors d'une activité aussi complexe que le football. C'est dans cette même optique que nous allons également tenter d'analyser le deuxième élément de l'endurance cardiorespiratoire, le seuil de lactate (LT) et voir à quel niveau l'augmentation de la concentration d'acide lactate chez le footballeur peut jouer sur ses performances.

1.1.3. LE SEUIL DE LACTATE (LT)

Le seuil de lactate (LT) est défini comme le niveau d'intensité de travail où la concentration de lactate dans le sang commence à augmenter graduellement lors d'un exercice continu (Davis, 1985). En d'autres mots, c'est le moment où le lactate sanguin dépasse les valeurs de repos lors d'un exercice continu (Kindermann et al., 1979).

Les études de Billat et al. (2003), établissent que le taux maximal à l'état stable de lactate sanguin (MLSS) est défini comme le moment où la concentration maximale lactate (MLSSc) et la charge de travail (MLSSw) peuvent être maintenues au fil du temps, sans accumulation du lactate dans le flux sanguin. Le taux maximal de concentration à l'état stable de lactate sanguin (MLSSc), donne traditionnellement des concentrations en moyenne de 4.0 mmol/L (Billat et al., 2003). Toutefois, cette même

étude explique qu'un écart du taux maximal à l'état stable de lactate sanguin (MLSS) peut varier de 2 à 8 mmol chez les athlètes, sans nuire à leur performance (Billat et al., 2003). C'est donc lorsque ces valeurs dépassent l'état d'équilibre de lactate maximal qu'il n'y a plus de stabilité. On atteint alors le seuil d'accumulation sanguin de lactate (SASL).

Le SASL est donc le moment à partir duquel le joueur ne peut plus maintenir son effort pendant une période prolongée. Le sportif se dirige donc progressivement et inévitablement vers l'épuisement. Souvent, cette étape se fait très rapidement. D'ailleurs, Glaister, (2005) indique que l'accumulation de lactate sanguin est responsable de l'arrêt de l'effort physique. Cependant, au football, puisque les courses sont en grande partie inférieures à 15 secondes, le taux de lactate sanguin n'atteint pas les limites du SASL (Bangsbo et al., 1991). Néanmoins, il est important de noter qu'en raison de la longueur des matchs de football, il a été observé des enregistrements de concentration de lactate sanguin, en fin de partie, variant de 5 à 7 mmol/L (Stolen et al., 2005). Toutefois, d'autres travaux expliquent que, plus le SASL s'installe tardivement, meilleure sera la performance chez l'athlète, parce qu'un seuil d'accumulation de lactate sanguin plus élevé signifie, en théorie, que les joueurs peuvent maintenir une intensité physique moyenne plus élevée, durant un match de football, sans accumulation de lactate (McMillan et al., 2005).

Il faut alors noter que, tout comme le volume de consommation maximale d'oxygène, l'amélioration du délai du SASL semble être un élément déterminant dans la performance d'un athlète. En conséquence, des recherches indiquent qu'un coureur avec un SASL élevé est capable de courir à un haut pourcentage de son $VO_2\max$, avant que son taux de production de lactate dépasse son taux d'élimination de lactate (Jung, 2003). Ainsi, plus tardivement le SASL sera atteint, meilleure sera la performance du footballeur. Ces conclusions permettent de trancher dans la

controverse. Il serait donc intéressant pour le préparateur physique du footballeur de travailler à ralentir l'accumulation du seuil de lactate. Penchons-nous sur le dernier élément de l'endurance cardiorespiratoire, l'économie de course pour vérifier s'il est tout aussi important pour le préparateur physique de s'y attarder.

1.1.4. L'ÉCONOMIE DE COURSE/TRAVAIL (R.E.)

L'économie de course (RE), également appelé économie de mouvement ou économie de travail, se définit par une différence de coûts énergétiques entre deux individus pour accomplir une même tâche dans les mêmes conditions (McArdle et al., 2001). L'économie de course est donc la relation entre le VO_2 max et la vitesse de course ou encore l'oxygène requis à l'intensité d'un exercice donné. (Jones et Carter, 2000). En d'autres mots, si nous avons plusieurs individus qui courent à la même vitesse, celui qui a besoin du volume d'oxygène consommé le plus bas pour accomplir cette tâche est considérée comme celui ayant la meilleure économie de course et par conséquent devrait avoir la meilleure performance.

Nécessairement, de nombreux travaux relatent le fait qu'il existe une forte association entre la RE et la performance de la distance courue. Et à ce propos, Noakes (1998) exprime l'économie de course comme étant un déterminant important du succès dans la distance courue. Ainsi, la RE semble être un meilleur outil de prédiction de la performance que le VO_2 max chez les coureurs élites qui ont un VO_2 max similaire (Flecher et al., 2009). Sachant que le plus gros du travail en endurance chez le footballeur se fait lors de ses déplacements, on comprend qu'au niveau de la demande cardiorespiratoire de ce sportif, celui ayant la meilleure économie de course sera sûrement le plus avantageux. Malgré cela, les préparateurs physique au football

semblent prioriser l'importance du $VO_2\text{max}$ par rapport aux deux autres composantes de l'endurance cardiorespiratoire (RE et LT).

Dans la littérature, une des raisons fondamentales de cette pensée semble, qu'auparavant, les facteurs influençant l'économie de course ne s'expliquaient pas très bien. Les travaux de Pate et Kriska (1984) mentionnaient que certaines prédispositions, comme des traits anatomiques, des habiletés mécaniques, des habiletés neuromusculaires, et l'emmagasinement de l'énergie élastique, pouvaient rentrer en compte pour déterminer l'économie de course. Cependant, Saunders et al., (2004) mentionnent plus précisément qu'un certain nombre de facteurs physiologiques et biomécaniques semblent influencer la RE chez le coureur d'élite. De plus, ces auteurs indiquent que la musculation permet aux muscles d'utiliser l'énergie plus élastique et de réduire la quantité d'énergie gaspillée par les forces de freinage. D'autres facteurs comme une exposition à l'altitude améliore les aspects métaboliques du squelette musculaire, ce qui facilite une utilisation plus efficace de l'oxygène (Saunders et al., 2004).

En résumé, il convient de dire que tout comme les deux notions précédentes, le rôle de l'économie de course n'est pas à négliger lors de la préparation physique du footballeur. Incontestablement, la somme des trois éléments de l'endurance cardiorespiratoire (le $VO_2\text{max}$, seuil de lactate et économie de course) devrait être prise en considération pour améliorer les performances du joueur.

1.1.5. LES FIBRES MUSCULAIRES

Mis à part les éléments de l'endurance cardiorespiratoire, présentés ci-dessus, plusieurs autres facteurs peuvent venir influencer la performance d'un sportif comme la distribution des fibres musculaires. Cette distribution diffère selon le type d'activité pratiquée par ce sportif.

Au football, la demande physique varie selon le poste occupé par le joueur, il est donc intéressant de se pencher également sur la distribution de ces fibres musculaires du joueur. Tout d'abord, il existe trois types de fibres musculaires, à savoir les fibres lentes ou encore appelées type I qui possèdent un haut degré d'endurance aérobie. Ensuite il existe les fibres de types rapides, qui elles, possèdent à l'inverse une faible endurance en aérobie. Ces dernières sont subdivisées en deux catégories, soit les fibres de type IIa et les fibres de type IIx. Les fibres de type IIa développent beaucoup plus de force que les fibres de types I, tandis que les fibres de types IIx sont préférentiellement sollicitées dans les activités à caractère court et explosif (Kenny, Wilmore et Costill, 1998).

Il est important de noter que chez le footballeur, malgré la longueur des matchs, il est très rare de retrouver un grand nombre des fibres I, comme chez les coureurs de fond et de longues distances par exemple. Le joueur professionnel du football possède surtout un plus grand nombre, de fibres rapides (Glaister 2005). Les études suggèrent que la nature du sport explique cette tendance. En effet, les actions les plus déterminantes dans ce sport se déroulent dans un contexte de puissance. C'est donc sans surprise qu'il est plus courant de retrouver des fibres hypertrophiques (IIa et IIx) chez les joueurs de football, en raison de leur vitesse et de leur travail d'intermittence à haute intensité (Glaister, 2005; Spencer et al., 2005).

L'analyse des fibres musculaires par biopsie musculaire, s'avère être un moyen efficace de déterminer la performance du joueur de football en match et surtout lors de sprints consécutifs (Krustrup et al., 2006). Ainsi, ces analyses indiquent qu'il y a une incidence sur la distribution des fibres musculaires selon le poste occupé par chaque joueur. Chez les défenseurs et les attaquants, il est plus avantageux d'avoir des fibres de types IIX, vu que la demande est souvent explosive et urgente pour les déplacements courts mais rapides. Toutefois, les milieux de terrain semblent détenir plus de fibres de types IIA. Cela doit s'expliquer par une demande plus grande en endurance, dans la mesure où il y a plus de terrain à couvrir, avec les déplacements qui sont continus et moins explosifs (Bangsbo et Mizumo, 1988).

En résumé, un bon nombre d'éléments physiologiques jouent un rôle important dans la performance du footballeur, notamment la distribution des fibres musculaires qui diffère en fonction du poste occupé par le joueur. De plus, l'endurance cardiorespiratoire, (le VO_2 max, le seuil de lactate, et l'économie de course), ne sont pas à négliger dans la préparation physique du footballeur. Toutes ces différences sont directement liées à la demande du sport. Il est donc fondamental pour le préparateur physique de comprendre la demande de ce sport.

1.2. LA DEMANDE DU SPORT

Le football est considéré comme un sport hybride qui se caractérise par des exercices intermittents, avec des bouts d'activités courtes et intenses, alternés par des périodes plus longues d'exercices de bas niveau et d'intensité modérée (Reilly, 1997). Les voies ou processus métaboliques prédominantes lors d'une partie compétitive de football sont aérobies (Bangsbo, 1994). Le footballeur se déplace de 8 à 12 km lors

des matchs, en fonction de son rôle dans l'équipe (Bangsbo et al., 1991). Il effectue des sprints d'une moyenne de 2 à 4 secondes, toutes les 90 secondes (Reilly, 1997). Les sprints constituent 1 à 11 % des distances parcourues lors de matchs (Bangsbo et al., 1991); ce qui correspond à 0,5 à 3 % du temps où la balle est jouée (Bangsbo et al., 1991). L'ensemble des déplacements lors d'un match se traduit par de la marche à 24%, du jogging, de 20%, de la course à 36%, des sprints 11%, des déplacements en reculant à 7% et de 2% de déplacements en possession du ballon (Reilly, 1996). Mis à part les éléments associés aux déplacements, il y a également, de très courtes et multiples actions intenses qui comprennent sauts, changements de directions, tacles, courses très rapides et sprints, à chaque 3 à 5 secondes (Krustrup et al., 2006). Le footballeur effectue également autour de 1200 à 1400 changements de direction, toutes les 2 à 4 secondes, lors d'un match (Bloomfield et al., 2007). Il faut donc souligner que de nombreuses recherches abondent dans le même sens pour décrire le football comme un sport qui requiert de l'endurance combiné à une bonne force musculaire (Little et Williams, 2005; Wisløff et al., 1997), de la vitesse, ainsi que de la flexibilité (Bloomfield et Wilson, 1998). Ainsi, la particularité de ce sport est que les footballeurs doivent bien évidemment combiner endurance et la puissance qui s'exprime par le rapport entre la force et la vitesse.

Néanmoins, d'autres auteurs traitent d'une approche différente en ce qui a trait à la demande du football. En effet, plusieurs travaux se penchent sur la demande métabolique exprimée lors d'un match. De ce fait, Bangsbo (1998), soulignent que, parce que les matchs durent 90 minutes, approximativement 98% de l'énergie est dérivé du métabolisme aérobie. Le 2 % restant est généré par le processus anaérobie (Bangsbo, 1998). Une fois de plus, il est bien important pour le préparateur physique au football de maîtriser le type d'intervention lié aux processus aérobie et anaérobie, afin de préconiser de meilleures méthodes d'entraînement pour les athlètes.

1.2.1. AÉROBIE ET FOOTBALL

Tel que mentionné précédemment, les matchs de football se déroulent pendant 90 minutes. Ainsi, approximativement 98% de l'énergie provient du métabolisme aérobie (Astrand et Rodahl, 1986). Par définition, le travail aérobie traite d'activité physique faisant appel à une demande d'oxygène. Plus une activité sera longue, plus elle implique une demande en oxygène.

Relativement au football, les études expliquent qu'un joueur parcourt 10,80 km en moyenne, durant un match de 90 minutes (Bangsbo et al., 1991). Cependant, il ne faut pas oublier que dans ce sport, on note une différence en fonction des postes occupés par les joueurs. Certains travaux illustrent effectivement cette disparité. En effet, lors d'une étude portant sur deux équipes de la ligue élite de Norvège, les tests progressifs effectués en laboratoire ont démontré clairement la différence entre la capacité maximale d'oxygène consommée et la position du joueur sur le terrain (Helgerud et al., 2001). D'autres travaux viennent corroborer cette étude, Bangsbo et al. (1991), indiquent que la distance moyenne chez les milieux de terrain est de 11,4 km, comparativement à une distance de 10,1 km et 10,5 km, respectivement chez les défenseurs et les attaquants. En conséquence, les footballeurs vont donc puiser l'énergie majoritairement à partir du système oxydatif, faisant appel à l'oxydation des nutriments (glucides, lipides, protéines) en présence de l'oxygène (O_2) pour la production d'énergie nécessaire à la resynthèse de l'ATP.

De plus, l'étude de Wisløff et al., (1997) conclue que succès et insuccès des équipes peuvent se distinguer par la force fonctionnelle des joueurs ainsi que leur capacité aérobie. Toutefois, Reilly et al., (2000) ajoutent qu'une fois qu'un joueur sera sélectionné dans une équipe professionnelle, sa capacité à maintenir sa place dans la

première équipe ou de passer à l'équipe réserve, est plus susceptible de dépendre de sa compétence dans le cours des matchs de compétitions que dans les petites différences de mesures de puissance aérobie ou la capacité aérobie.

1.2.2. ANAÉROBIE ET FOOTBALL

Contrairement au processus aérobie, l'anaérobie implique des transferts d'énergie en absence d'oxygène. C'est donc la phase de fermentation de l'acide pyruvique. Ainsi l'anaérobie peut se définir comme étant la capacité d'un joueur à convertir de l'énergie, afin d'effectuer un travail en absence d'oxygène (McArdle et al., 2001).

Le processus anaérobie est très important dans pour le footballeur. Ainsi, Reilly et al., (2000) mentionnent que les moments les plus cruciaux d'une compétition sont constitués d'activités anaérobies puisqu'ils contribuent directement à un gain de possession du ballon, une action qui permet de marquer ou concéder un but. En effet, les actions typiques d'un match de football, font appel à des sprints où le joueur donne tout ce qu'il a, chaque 90s en moyenne (Reilly et al., 2000). De plus, il y a des efforts de haute intensité, chaque 30s (Reilly et al., 2000). On parle ainsi des sprints qui peuvent permettre à un joueur de réussir une échappée et de se retrouver seul face à un gardien, ou encore un défenseur qui doit poser un tacle afin de redonner la possession du ballon à son équipe, ou un dribble permettant de se débarrasser de son vis à vis, pour terminer des duels au sol ou aériens afin de gagner la position sur un coup de pied arrêté.

En bref, les actions qui impliquent directement le registre anaérobie sont les actions les plus déterminantes, car elles peuvent changer l'allure d'un match. Le préparateur

physique ne devrait donc pas minimiser l'entraînement anaérobie, en vue d'améliorer les capacités du footballeur. Le but de l'entraînement anaérobie est d'améliorer le taux de développement de force général ainsi que la force maximale atteinte au cours de mouvements brefs et rapides, d'améliorer la vitesse sur courtes distances, d'améliorer les réserves d'énergies aérobies pour que la vitesse maximale des sprints soit maintenue plus longtemps, tout en améliorant la capacité d'un joueur à récupérer rapidement après avoir effectués plusieurs sprints répétés.(Reilly et Bangsbo, 1998). De ce fait, l'entraînement anaérobie peut être composé d'exercices qui sont exécutés à une intensité supérieure du VO_2 max et dont la priorité ou le but principal est de simuler la production d'énergie anaérobie (Bangsbo, 1994). Plusieurs recherches suggèrent également des sessions d'intervalles à hautes intensités. Par exemple exécuter 2 exercices d'intervalles à haute intensité inclus dans un programme d'entraînement habituel, effectuer 12 à 15 course d'une durée de 15 secondes à 120 % de la vitesse maximale aérobique en alternance avec 15 secondes de repos et de 12 à 15 sprints à vitesse maximale sur 40 m alternés de repos (Dupont et al., 2004). D'autres recherches suggèrent des exercices maximaux de courtes durées (2-10s), suivis par de longues périodes de repos (50-100s) (Reilly et Bangsbo, 1998). De manière générale, une façon de stimuler ce genre d'effort est d'effectuer des exercices d'intervalles à hautes intensités, proche du seuil de lactate ou encore des exercices de type sprints répétés (RSA).

1.2.3. LES SPRINTS REPETES (RSA)

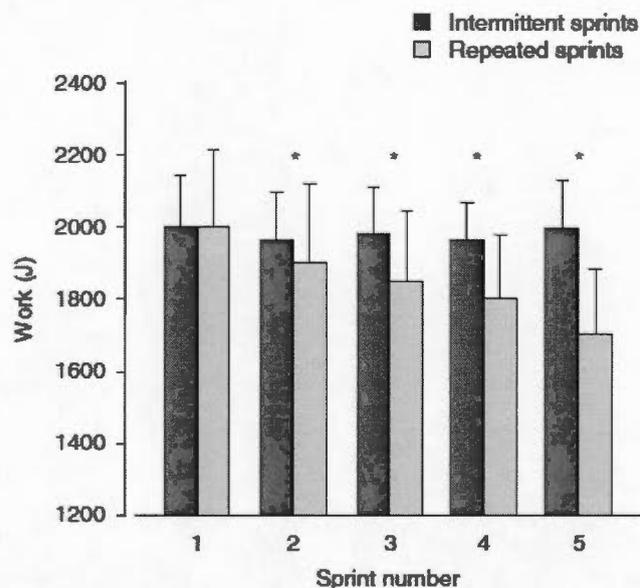
Le terme RSA, de l'anglais «Repeated Sprint Ability», se traduit par la capacité d'effectuer des sprints répétés. Il est important de ne pas confondre une activité de type RSA et les sprints de type sprints intermittents. Les exercices de type sprints

intermittents se caractérisent par des sprints de courtes durées (≤ 10 secondes), espacés d'une période de récupération assez longue (≥ 60 à 300 secondes) qui permet une presque complète récupération de la capacité de sprint (Balsom et al., 1992). Tandis que l'exercice de type RSA consiste à effectuer des sprints de courtes durées (< 10 secondes), espacés de brèves périodes de récupérations (< 60 secondes); ce qui est commun à la majorité des sports de raquettes et des sports d'équipe (Girard et al., 2011).

Tout d'abord la vitesse de sprint au football est très importante. L'entraîneur de football Trapattoni (1999), mentionne qu'à cause de la nature imprévisible du football, on peut appréhender que les périodes intenses de sprints puissent déterminer le résultat final d'une action, en influençant la capacité à prendre possession de la balle ou de concéder des buts. Des recherches indiquent qu'un écart, environ 0,8% en vitesse de sprint, pourrait avoir un effet important sur la probabilité d'une perte de possession du ballon ainsi que lorsque deux adversaires accélèrent pour récupérer un ballon (Paton et al., 2001).

Les travaux de Mendez et al., (2008) indiquent qu'un des facteurs déterminant de la fatigue, lors des RSA, est le résultat du sprint initial qui s'est toujours avéré être plus positivement corrélée, avec diminution des performances sprints suivant. Ces observations vont également dans le sens des travaux de Gaitanos et al., (1993) qui expliquent que les sujets ayant un meilleur résultat au sprint initial auront un plus grand changement métabolique musculaire découlant incidemment d'une plus grande contribution métabolique anaérobie, également liée à une plus grande diminution de performance (Gaitanos et al., 1993).

L'analyse de la figure 1 qui schématise cette progression, permet de constater qu'il y a un écart considérable entre la vitesse atteinte lors du premier sprint et également une diminution de la vitesse moyenne de l'ensemble de ces sprints.



Girard et al., (2011)

FIGURE 1.1: SPRINTS INTERMITTENTS VS SPRINTS RÉPÉTÉS

La figure 1.1 montre l'effet de la récupération sur un cycle de sprint maximal de 4 secondes. Les sprints intermittents ont été effectués aux 2 minutes. Tandis que les sprints répétés ont été effectués chaque 30 secondes. L'astérisque (*) indique une différence significative avec le 1^{er} sprint lors des sprints répétés.

En simplifiant cette analyse, le préparateur physique doit saisir qu'en prenant la vitesse sur un sprint de deux footballeurs, celui qui enregistrera le meilleur temps aura la possibilité de toujours finir devant son vis-à-vis, lors des sprints répétés.

Cependant, de nombreux autres facteurs physiologiques peuvent influencer la baisse de la performance d'un joueur au football. En effet, Girard et al., (2011) expliquent que les facteurs déterminants de la diminution de la performance se retrouvent

notamment au niveau des muscles, car il y a une diminution de l'apport énergétique constitué par l'énergie de l'hydrolyse de phosphocréatine, la glycolyse anaérobie. Cette baisse peut être due au métabolisme oxydatif et à l'accumulation intramusculaire des produits métaboliques comme les ions d'hydrogène émergeant comme facteurs déterminants de la fatigue (Girard et al., 2011). Il est donc tout aussi important de se pencher sur le travail musculaire au football.

1.3. L'ENTRAÎNEMENT EN MUSCULATION

La musculation possède cinq régimes ou groupes de contractions principaux qui se répartissent en deux groupes: le groupe de contractions statiques et le groupe de contractions dynamiques. Le régime isométrique est inclus dans le groupe de contractions statiques et les quatre autres dans le régime de contractions dynamiques. Le régime de contractions dynamiques peut aussi se dénommer mode isotonique ou mode anisométrique (Mcardle et al., 2001). Dans le cadre de notre recherche, les joueurs vont appliquer 3 des régimes de contractions. La majorité des exercices auront donc subi une phase concentrique c'est-à-dire que les points d'insertions se rapprochent les uns des autres, ainsi le muscle va se raccourcir et le mouvement sera généré par l'augmentation de la tension musculaire. (Mcardle et al., 2001). Toutefois, le muscle peut subir également une phase excentrique, c'est-à-dire que les points d'insertions s'écartent les uns des autres, de sorte que le muscle s'allonge et le mouvement sera ainsi généré lorsque la résistance sera supérieure à la force produite par celui-ci. La contraction excentrique est donc le moment pendant lequel la résistance opposée au mouvement est supérieure à la force développée par le muscle (Mcardle et al., 2001). En d'autres mots, les muscles du membre s'allongent pour retenir l'haltère (Mcardle et al., 2001). Le troisième régime de contraction utilisé lors de cette étude est le régime isométrique. Dans ce régime, les points d'insertions

musculaires restent fixes. Il n'y a pas de raccourcissement notable du muscle, ni de mouvement généré par la tension musculaire. Ainsi, lors de la contraction isométrique la résistance opposée au mouvement est égale à la force développée par le muscle. Il n'y a pas de déplacement du segment de membres.

De manière générale, l'entraînement en musculation, améliore la force musculo-squelettique, la masse musculaire, la masse osseuse, et l'épaisseur du tissu conjonctif (Kraemer et al., 2002). De ce fait, en parlant de musculation, il faut prendre en compte de nombreux éléments tels que la force, la vitesse, la résistance, l'endurance, l'élasticité, la tonification des muscles. Notons qu'une partie significative de l'amélioration de la capacité à lever des charges est due à une augmentation de l'habileté à coordonner les autres groupes musculaires impliqués dans le mouvement, comme les muscles stabilisateurs du corps (Rutherford et Jones, 1986).

L'entraînement en musculation résulte en adaptations appelées adaptations neurologiques. Ces adaptations concernent généralement le système contractile qui peut s'exprimer en une augmentation de la force ou plus de la puissance (McArdle et al., 2001). L'adaptation neurologique dépend ainsi de plusieurs facteurs, dont la position initiale, la vitesse d'étirement, la vitesse de raccourcissement, la phase initiale excentrique, les types de fibres musculaires, le nombre d'unités motrices activées en même temps, la région de la section transversale du muscle, la fréquence des impulsions et les substrats disponibles, pour le muscle utilisé (Behm et Sale, 1993). Lors d'un entraînement en musculation, les adaptations qui peuvent survenir résultent en plusieurs effets. Certaines études expliquent que les effets anaboliques c'est-à-dire de l'augmentation de la synthèse de la protéine et le ratio de dégradation de cette protéine, surviennent généralement après une contraction musculaire associée à l'entraînement (Behm, 1995). D'autres recherches expliquent que l'hypertrophie musculaire est l'un des effets de l'entraînement en musculation où

une connexion entre la section transversale du muscle et le potentiel de développement de la force se produit (Schmidtbleicher, 1992) L'auteur Weineck (1997), rajoute qu'un muscle peut soulever en moyenne 6 kg par cm^2 de section. Si la section du muscle augmente, sa force augmente également. Il serait intéressant de saisir les composantes impliquées dans ces types d'entraînement.

1.3.1. HYPERTROPHIE

Lors de l'hypertrophie musculaire, les éléments contractiles s'agrandissent et la matrice extracellulaire se dilate afin de supporter la croissance (Vierck et al., 2000). L'hypertrophie contractile peut se produire en ajoutant des sarcomères, soit en série, soit en parallèle (Schoenfeld, 2010).

La recherche de Toigo et Boutellier (2006) explique que l'hypertrophie se produit lorsque le muscle squelettique est soumis à une surcharge stimulus qui provoque des perturbations dans les fibres musculaires et la matrice extracellulaire connexe. Cela déclenche une chaîne d'événements myogéniques qui conduisent finalement à une augmentation de la taille et des quantités de myofibrilles contractiles, de protéines d'actine et myosine ainsi que le nombre total de sarcomères en parallèle. A son tour, cette réaction entraîne une augmentation du diamètre de fibres individuelles et par conséquent, une augmentation de la surface du muscle et de sa section transversale. Autrement dit, l'entraînement est un facteur déterminant dans l'hypertrophie. La majorité de cette réponse hypertrophique est induite par des exercices déclinant des programmes d'entraînement de musculation et résulte d'une augmentation des sarcomères et myofibrilles ajoutées en parallèle (Tesch et al., 1982). Cet accroissement est également lié à une grande augmentation du contenu de la myofibrille des fibres (Hoff et Helgerud, 2004). Ainsi, un des buts poursuivis lors de

l'entraînement en hypertrophie, est de totalement fatiguer les muscles pour que des micros ruptures subissent un effet anabolique (Tesch et Larson., 1982). Toutefois, l'hypertrophie se manifeste généralement après plusieurs mois d'entraînement (Hakkinen et al., 1985).

En nous focalisant à nouveau sur le footballeur et son potentiel hypertrophique, il convient de rappeler que ces derniers possèdent majoritairement des fibres de type rapide. Or ce type de fibres est également le type le plus hypertrophique des fibres musculaire (Schmidtbleicher, 1992). En effet, des recherches montrent que les fibres à contractions rapides possèdent une capacité de croissance d'environ 50 % supérieure à celle des fibres à contraction lente (Adams et Bamman, 2012). De la sorte, Weineck (1997), établit que si la section du muscle augmente, sa force augmente également. Autrement dit, si le footballeur suit un programme d'entraînement en force, il devrait être sans aucun doute avoir des gains hypertrophiques. Incidemment, l'hypertrophie musculaire est une résultante logique de l'entraînement en force. Eu égard à cela, il est bien important d'aborder plus amplement dans la section suivante les notions de force et de puissance ainsi que les composantes impliqués lors de ce type d'entraînement.

1.3.2. L'ENTRAÎNEMENT EN FORCE ET EN PUISSANCE

L'entraînement en force est défini comme le résultat intégré de plusieurs muscles producteurs de force, performant maximale, de façon isométrique ou dynamique, durant un effort unique, volontaire lors d'une tâche définie (Hoff et Helgerud, 2004). Une augmentation de la force peut être attribuée à une combinaison d'adaptation neurale et hypertrophique. Ainsi, l'adaptation neurale semble être le mécanisme dominant pour l'augmentation de la force (Hakkinen et al., 1985).

En musculation, la mesure de 1RM ou communément appelée 1 répétition maximale, se réfère à une charge que l'on peut soulever une fois ou un nombre réduit de fois. Lors d'un effort de 1RM, toutes les fibres musculaires ou presque sont sollicitées (Behm, 1993). Tandis que la force maximale (F_{max}) se réfère plutôt à la force la plus grande que l'on peut développer par une contraction volontaire. (Schmidtbleicher, 1992). En ce qui concerne la puissance, elle se compose de 2 éléments, la force maximale et la vitesse (Schmidtbleicher 1992). Il faut également mentionner qu'une augmentation de la force maximale est habituellement reliée à une augmentation de la force relative et par conséquent une augmentation des capacités de puissance (Hoff et al., 2004).

De manière générale, dans le sport, un haut niveau de force est nécessaire pour une performance optimale. De ce fait, selon Baker et al. (1994), le niveau de force peut faire la différence entre les athlètes de différents degrés de performances, pas seulement chez les haltérophiles, mais aussi dans un grand nombre de sports collectifs. Il est donc normal que la force soit un élément important chez le footballeur. Effectivement, des travaux suggèrent qu'il est bénéfique pour un joueur de football d'avoir une grande force musculaire, car cette dernière diminue les risques

de blessures (Fleck et Falkel, 1986; Grace, 1985), Les blessures au football ne sont pas seulement causées par le contact dans le jeu. En effet, les footballeurs vont avoir souvent tendance à développer un déséquilibre qui est associé à un grand risque de blessures comme l'indique la figure 2.

Relation entre le déséquilibre des ischio-jambiers et les blessures chez le footballeur professionnel
Hamstring Injury Frequency in Professional Soccer Players

Group	Players, n (n = 482)	Injuries, n (n = 26)	Injury Frequency, %
A ^a	246	10	4.1
B ^b	91	15	16.5
C ^c	16	6	37.5
D ^d	10	4	40

^aGroup A had no preseason strength imbalance.
^bGroup B had preseason strength imbalance but no subsequent specific compensating training.
^cGroup C had preseason strength imbalance and subsequent compensating training, but no isokinetic control test aimed at verifying the parameter normalization.
^dGroup D had preseason strength imbalance and a subsequent compensating training until the parameter normalization was proved by repeated isokinetic control tests.

Croisier et al., (2008)

FIGURE 1.2: CARACTÉRISTIQUES DES CAPACITÉS CARDIORESPIRATOIRES DES PARTICIPANTS PRÉ ET POST INTERVENTION

La figure 1.2 indique que les groupes de joueurs ayant le plus haut pourcentage de blessures au cours d'une saison chez des footballeurs professionnels était celui qui comptait les joueurs possédant un déséquilibre musculaire en début de saison et qui n'avait pas subi de renforcement musculaire en cours de saison.

Ainsi, la distribution symétrique de la force entre les membres combinés à l'équilibre approprié entre les fléchisseurs et les extenseurs sont importants pour la prévention de blessures chez le footballeur (Fowler et Reilly, 1993). De ce fait, la musculation est

une bonne alternative afin de pallier à ce problème et restituer un équilibre musculaire. De plus, Bangsbo et al. (1991), énoncent que l'augmentation de la force au football autant que dans la majorité des sports peut être bénéfique, sous un tout autre aspect, il a notamment été établi que la force musculaire est reliée à la performance du sprint. Inévitablement en augmentant la force disponible d'une contraction musculaire dans un muscle approprié ou un groupe musculaire approprié, l'accélération et la vitesse dans les habiletés déterminantes au football, comme les virages, les sprints et les changements de vitesses pourraient s'améliorer (Bangsbo et al. 1991). De plus Reilly et al. (2000), confirme qu'au football, la force musculaire est importante pour tirer un ballon, sauter, tourner, poser un tacle et tolérer un contact physique. Ainsi, la puissance générée lors de ces activités est directement reliée à la force des muscles impliqués dans les mouvements (Reilly et al., 2000). Pour terminer, d'autres travaux rapportent que la force du haut de corps est aussi pertinente pour faire face aux aspects physiques de la partie et les rentrées de touche (Reilly et al., 2000).

En bref, l'entraînement en force est sans contredit important chez le footballeur. Il s'avère que les joueurs professionnels, possédant les plus grandes forces musculaires dans les membres inférieurs, étaient ceux qui se retrouvaient le plus fréquemment sur la première équipe, au cours de la saison entière (Reilly et Thomas, 1977). De plus, une autre étude, illustre le fait que l'équipe qui détenait les meilleurs résultats à la fois au test de $VO_2\text{max}$ et au test du 1RM demi-squat, a terminé en première place du championnat de son pays (Wisløff et al, 1998).

Ainsi, comme exposé dans la présentation de cette recherche, il semble encore exister une réticence au football face à un régime d'entraînement répétitif en musculation. Une des craintes semble être que l'entraînement en musculation pourrait engendrer des gains hypertrophiques qui auraient une incidence négative sur les capacités

aérobies du sportif. Pourtant, rappelons que l'augmentation de la section du muscle accroît également sa force Weineck (1997). En conséquence, l'hypertrophie est un résultat direct de l'entraînement en force. Dans la littérature, Reilly (1996) indique que les joueurs de football possèdent généralement une force musculaire isométrique, légèrement au-dessus de la moyenne. Ainsi, ces résultats peuvent refléter l'attention insuffisante accordée à l'entraînement de musculation, dans le programme d'entraînement habituel du footballeur (Reilly, 1996). Toutefois les footballeurs sont des athlètes et ne doivent pas être comparés aux populations moyennes. De ce fait, il serait pertinent de comparer les footballeurs aux athlètes d'autres sports d'équipe.

1.3.3. LE PROFIL PHYSIOLOGIQUE D'AUTRES SPORTS

Depuis plusieurs années, les préparateurs physiques de plusieurs sports de puissance ont compris l'importance de l'entraînement en musculation, notamment au rugby (Sedeaud et al., 2013) et au hockey (Montgomery, 2000). En effet, les rugbymans ont toujours été reconnus pour être des sportifs possédants une masse corporelle imposante. Au hockey, depuis plus d'une trentaine d'années, il y a eu une augmentation de la charge de travail en salle de musculation des joueurs (Montgomery, 2000). La morphologie du hockeyeur a bien sûr été influencée par ces changements. Il serait donc pertinent de comparer ces gains hypertrophiques de ces différents sportifs, face à leur consommation de VO_2 max.

Tout d'abord en faisant le tour de quelques études exposant le profil du footballeur, il a été reporté que le volume maximal d'oxygène, pour les joueurs élites de football en valeurs moyennes se situe entre 56 et 69 ml/kg/min (Reilly, 1996). Ensuite, une étude relatant des valeurs de la stature moyenne corporelle de neuf équipes professionnelles

de football indique une taille de $1,77 \text{ m} \pm 0,15 \text{ m}$ et une masse de $74,0 \pm 1,6 \text{ kg}$. (Reilly T., 1990). Pour terminer, une étude sur le profil anthropométrique des joueurs internationaux, à la phase finale de la «Copa America» de 1995 en Uruguay, donne un rendement des valeurs du pourcentage de gras moyen estimé à 11% (déterminé par la somme des plis cutanés). Pour terminer Rienzi et al. (1998), estime en moyenne la masse musculaire du footballeur à 62 %.

Le rugby est un sport qui montre quelques similitudes avec le football. En plus d'avoir une surface de jeu similaire, la demande physique s'apparente beaucoup au football. De plus des travaux indiquent que tout comme au football, la majorité des actions sont consacrées à un effort de faible intensité, comme se tenir debout, marcher et faire du jogging. Cependant, même si la majorité des actions sont de faibles intensités, les activités de hautes intensités, comme les sprints, les collisions physiques, les tacles, ont une place considérable et une forte demande sur le système énergétique anaérobie du rugbyman (Meir et al., 1993). Ainsi, il est logique de faire le rapprochement entre ces 2 sports. Au rugby, les travaux de Gabbett et Mulvey, (2008) expliquent que la moyenne de distance parcourue se situe entre 8458 mètres et 9929 mètres chez les joueurs de rugby professionnels. Toutefois la morphologie des joueurs est très impressionnante, la moyenne de taille des attaquants est de $184 \text{ cm} \pm 7$, les arrières $178 \text{ cm} \pm 7$. La masse corporelle est de $92,1 \text{ kg} \pm 10,4$ chez les attaquants et de $79,8 \text{ kg} \pm 8$ chez les arrières. Le pourcentage de gras estimé chez les avants et les arrières est de $15,2 \% \pm 3,4$ et $12,6 \% \pm 3,2$, respectivement (Gabbett et Mulvey, 2008). Il est pertinent de noter que malgré cette énorme masse corporelle, le pourcentage de gras se limite à 15 %, avoisinant les 11 % suggérés plus haut chez les footballeurs. Si l'on se fie à l'hypothèse qui suggère que la masse corporelle limite le VO_2max , les rugbymans devraient avoir un VO_2max très faible. Cependant, une étude effectuée auprès de joueurs professionnels rapporte des moyennes de VO_2max de 56,4 et de 55,4 ml/kg/min, dans les ligues professionnelles de rugby, respectivement

chez les attaquants et les arrières (Brewer et Davis, 1995). De surcroît, d'autres travaux rapportent une moyenne de volume maximal d'oxygène de 62,6 mL/kg/min, dans les équipes internationales (Larder, 1992). Ces résultats s'approchent curieusement de ceux du footballeur professionnel, malgré l'écart impressionnant au niveau de la masse corporelle. Il est donc possible d'atteindre des moyennes de $VO_2\text{max}$ similaires à celles du footballeur, nonobstant une masse corporelle élevée. Afin de vérifier cette hypothèse, il est intéressant de se tourner vers un autre sport de puissance, le hockey.

Le hockey est reconnu depuis bon nombre d'années pour ses joueurs explosifs possédant une stature impressionnante. En regardant les données du hockeyeur, il est captivant de noter que les valeurs moyennes de $VO_2\text{max}$ varient entre 52 à 63 mL/kg/min (Montgomery, 2000). Cette même étude de Montgomery (2000), réalisée sur des joueurs professionnels de la ligue nationale de hockey, indique que la taille moyenne du hockeyeur est de 1,85 m. pour 92 kg. L'auteur va même plus loin en exposant les données recueillies par la ligue depuis 1917. Les joueurs de cette année, pesaient en moyenne 75 kg. Depuis cette époque, il y a eu une augmentation de 17 kg, ce qui représente un gain de 23%. Ces gains semblent être sous la forme de tissus musculaires (Montgomery, 2006). Ensuite, l'auteur compare les données recueillies par une équipe professionnelle, au cours de 22 années soit de 1982 à 2003. Durant toute cette période, le pourcentage de gras moyen reste presque inchangé. Le pourcentage varie entre 8 à 12 %, et le $VO_2\text{max}$ se situe entre 54,6 et 59,2 mL/kg/min. En résumé, malgré une différence moyenne d'environ 8 kg entre le footballeur et le hockeyeur, les moyennes de $VO_2\text{max}$ des joueurs de ces 2 sports sont presque similaires. Une des hypothèses pour expliquer ce faible écart est possiblement que malgré leurs masses imposantes, les hockeyeurs sont capables de maintenir un pourcentage de gras très faible (moins de 12%).

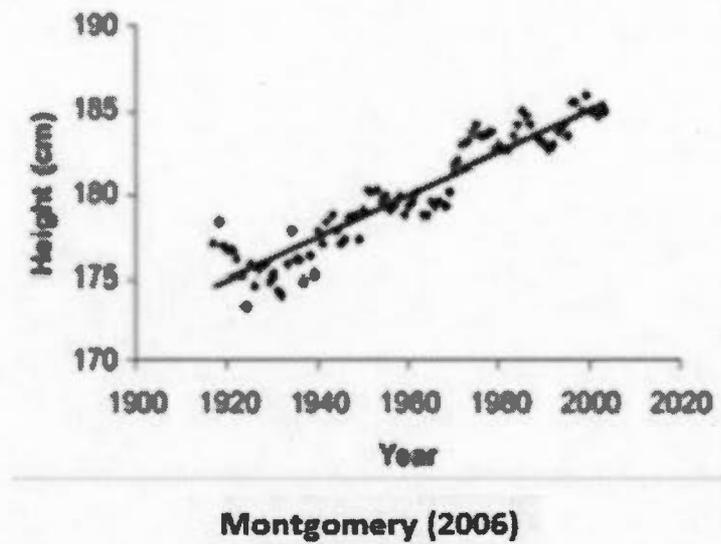


FIGURE 1.3: TAILLE (CM) DES JOUEURS DES CANADIENS DE MONTRÉAL DE 1917 À 2003

La figure 1.3 présente la taille en cm des joueurs d'une équipe de la LNH, les Canadiens de Montréal. Les données présentées par Montgomery (2006), s'échelonnent de 1917 à 2003

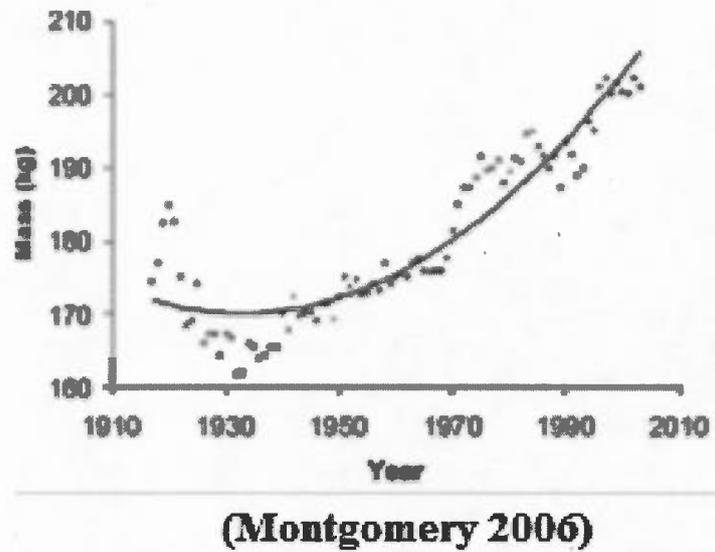


FIGURE 1.4: POIDS (KG) DES JOUEURS DES CANADIENS DE MONTRÉAL DE 1917
À 2003

La figure 1.4 présente le poids en kg des joueurs d'une équipe de la LNH, les Canadiens de Montréal. Les données présentées par Montgomery (2006), s'échelonnent de 1917 à 2003

TABLEAU 1.1: POURCENTAGE DE GRAS DES JOUEURS DES CANADIENS DE MONTRÉAL DE 1981 À 2003

Year	n	Mean	Standard deviation
1981	27	12.4	1.9
1982	30	9.7	1.6
1992	24	8.3	2.6
1993	63	12.4	4.1
1994	41	9.8	1.3
1995	65	11.5	2.4
1996	59	11.2	1.7
1997	24	10.4	1.7
1998	58	10.4	1.9
1999	52	10.2	1.8
2000	48	10.2	1.8
2001	52	10.0	1.4
2002	53	10.3	1.6
2003	39	10.4	1.4

(Montgomery 2006)

Le tableau 1.1 présente le pourcentage de gras des joueurs d'une équipe de la LNH, les Canadiens de Montréal. Les données présentées par Montgomery (2006), s'échelonnent de 1917 à 2003

TABLEAU 1.2: VO₂MAX (ML/KG/MIN) DES JOUEURS DES CANADIENS DE MONTRÉAL DE 1981 À 2003

Year	n	Mean	Standard deviation
1981	27	55.6	—
1982	29	51.9	—
1992	24	55.8	6.1
1993	61	55.1	3.6
1994	40	58.1	4.7
1995	65	55.4	5.2
1996	59	55.3	4.2
1997	58	54.2	4.9
1998	50	54.4	3.4
1999	42	55.5	3.0
2000	60	53.7	4.4
2001	52	57.7	3.1
2002	52	57.7	3.1
2003	61	59.0	3.5

Note: In the 1981 and 1982 seasons, aerobic power was measured using a continuous cycle ergometer test; for all other years, aerobic power was measured using an incremental treadmill test.

(Montgomery 2006)

Le tableau 1.2 présente le VO₂max des joueurs d'une équipe de la LNH, les Canadiens de Montréal. Les données présentées par Montgomery (2006), s'échelonnent de 1981 à 2003

En faisant un résumé des figures et tableaux précédents, c'est-à-dire sur les données disponibles de 1917 à 2003, l'on remarque plusieurs détails importants. En effet, la Figure 3 démontre que les hockeyeurs sont de plus en plus grands. La Figure 4 exprime un changement drastique au niveau de la masse corporelle des joueurs, probablement dû à l'avènement de l'amélioration des techniques d'entraînement. Toutefois, le Tableau 1 montre une certaine constance au niveau du pourcentage de gras, dû possiblement à un plan d'entraînement en salle de musculation rigoureux surtout à partir de 1994. Le Tableau 2 est le plus révélateur, dans le cadre de notre

hypothèse. Il y a incontestablement une progression du $VO_2\text{max}$, malgré le fait que les joueurs ont constamment accru leur masse corporelle. De plus, le $VO_2\text{max}$ atteint des sommets inégalés, à partir de 2001 et ne cesse de s'améliorer.

En résumé, les études sur le hockey et le rugby démontrent qu'il est possible d'atteindre des moyennes de $VO_2\text{max}$ similaires à celle du footballeur, en dépit d'une augmentation de la masse corporelle. Afin d'illustrer toute ces différence, le tableau suivant est une combinaison des données recueillies à travers différentes études et il expose les moyennes des joueurs de football, rugby et hockey sur différentes composantes physiologiques.

TABLEAU 1.3: COMPARATIF DE DIFFÉRENTES APTITUDES DES JOUEURS DE FOOTBALL, RUGBY ET HOCKEY

Moyenne	Football	Rugby (attaquants)	Rugby (arrières)	Hockey
VO ₂ Max (mL/kg/min)	56-69	56-62	56-62	52 -63
Taille (cm)	177	184	178	185
Poids (kg)	74	92	79	92
Pourcentage de gras (%)	11	15	12	8-12
Masse musculaire (%)	65	78,2	65.52	84.6-81
Distance parcourue lors d'un match (km)	11-13	8-10	8-10	

Le tableau combinant les données de plusieurs études concernant le football, le rugby et le hockey

Le pourcentage (%) de masse musculaire (MM) a été calculé grâce à la formule suivante :

Masse Adipeuse (MA) = Poids Total x pourcentage de gras. poids total – (poids total x M M)

Références: Football: Reilly (1990), Reilly (1996) et Rienzi (1998). Rugby: Gabbett (2008), Brewer (1995) Larder, (1992). Hockey : Montgomery (2000) Montgomery (2006)

Le tableau 1.3 illustre des mesures de VO₂max dans ces différents sports qui varient de 56 à 69 ml/kg/min, malgré un écart du poids des joueurs variant de 5 à 18 kg. Il se pourrait que ce faible écart entre les niveaux de VO₂max soit causé par la similitude des pourcentages de gras de 11 à 15 %. Ainsi, une autre piste de réflexion pourrait être que l'entraînement hypertrophique est bénéfique pour les joueurs de sports de puissance, car il permet d'augmenter la masse musculaire et réduire le pourcentage de gras. Toutefois, le modèle du hockeyeur semble être celui qui est le plus intéressant. Ces joueurs combinent une impressionnante masse musculaire (+ de 80%) et maintient un pourcentage de gras très faible (8-12 %), avec des valeurs de VO₂max proche du footballeur qui peut aller jusqu'à 63 ml/kg/min.

Ainsi, partant du principe que l'entraînement répétitif en musculation permet d'augmenter le pourcentage de masse musculaire et réduire la masse adipeuse, les données du joueur de hockey et de rugby recueillis dans la littérature, démontrent qu'il est possible d'avoir une masse corporelle élevée tout en conservant un très bon VO_2max . Partant également du principe que le gain de masse musculaire est souvent synonyme de gain de force et de puissance (Hoff et al., 2004) et qu'il ne semble pas altérer le VO_2max (Hoff et al., 2002), il est peut être possible d'envisager une préparation physique différente pour le footballeur. Mais le football demande aussi de posséder plusieurs autres qualités. Ainsi, après avoir comparé le footballeur avec des sportifs de puissance, il serait également intéressant de le comparer avec des sportifs d'endurance, tel que les coureurs de fond.

D'abord, en regardant les distances parcourues par les coureurs de fond, il paraît évident que le VO_2max soit un facteur déterminant dans ce sport, tout comme au football. Cependant, quelques études faites chez le coureur de fond démontrent que des exercices d'entraînement en musculation ne sont pas bénéfiques à l'amélioration du VO_2max dans ce sport. En revanche, les résultats montrent constamment que lorsqu'un programme d'entraînement en force est combiné à un programme d'endurance le VO_2max n'est pas compromis (Hickson, 1980). Le protocole d'entraînement en force de l'étude d'Hickson (1980), consistait à faire 5 séries de 5 répétitions aux squats, 3 séries de 5 répétitions pour les flexions et les extensions du genou. Enfin, 3 séries de 25 répétitions pour l'extension des orteils. La fréquence de ce programme était de 3 fois par semaine en utilisant autant la charge la plus lourde possible (Hickson, 1980).

Rappelons que l'endurance cardiorespiratoire fait appel à 3 principales composantes dont le VO_2max . Il a déjà été expliqué que l'entraînement en musculation n'affecte pas cette composante. Il faut alors regarder l'incidence de ce type d'entraînement sur

les 2 autres composantes d'endurance. Tout d'abord, les différents protocoles d'exercices d'une étude détaillée faite par Jung (2003), explique que même si l'entraînement en musculation était bénéfique au niveau du seuil de lactate chez les sédentaires, il n'y a aucune incidence chez les coureurs. Ainsi, on peut avancer que le résultat sera identique chez le footballeur. Il faut alors se pencher sur la dernière composante de l'endurance cardiovasculaire à savoir l'économie de course.

L'économie de course est un aspect très important pour des coureurs ayant sensiblement le même volume de consommation d'oxygène. En effet, la recherche faite par Dolezal et Potteiger (1986), explique qu'une amélioration dans la RE permet à un coureur de courir plus vite sur une distance donnée ou plus longtemps à une vitesse constante, à cause d'une réduction dans sa consommation d'oxygène. De ce fait, selon Hoff et Helgerud (2002), l'entraînement en force est donc reconnu pour être une des meilleures façons d'améliorer l'économie de course. Les auteurs nous expliquent que l'entraînement en force n'influence aucunement le $VO_2\text{max}$, mais améliore la performance en ce qui concerne l'efficacité de travail. De plus, l'étude de Jung (2003), relate également des données recueillies dans plusieurs études. Cette étude avance qu'une amélioration de l'économie de course combinée à une amélioration de la puissance musculaire, donnent 3,1 % d'amélioration dans les temps obtenus au 5 km sans pour autant améliorer le $VO_2\text{max}$. Ensuite d'autres travaux expliquent qu'un des éléments clé dans la RE est l'habileté d'emmagasiner et récupérer l'énergie élastique qui vient d'une contraction excentrique (Jung. 2003). Ainsi, Paavolainen et al. (1999), indiquent que l'entraînement en résistance améliore le cycle d'étirement-raccourcissement et par conséquent diminue le temps de contact et améliore l'économie de course du sportif.

En résumé, de nombreuses études démontrent que l'entraînement répété en musculation, plus précisément en force, est synonyme de gains hypertrophiques. Une

combinaison de force maximale et de vitesse va également permettre d'améliorer la puissance (Schmidtbleicher 1992). En comparant les données des footballeurs aux joueurs de différents autres sports de puissance, on peut avancer plusieurs hypothèses. Un gain hypertrophique ne sera pas forcément synonyme de diminution du $VO_2\text{max}$ (Hickson 1980). Malgré ce fait, ces gains ne vont améliorer le seuil de lactate des joueurs (Jung 2003). Toutefois, la clé du succès en ce qui concerne l'implantation d'un programme de musculation chez le coureur de fond se trouve dans l'économie de course (Paavolainen et al., 1999). On peut s'attendre à des résultats similaires chez le footballeur. En conséquence, une augmentation du travail en force chez le footballeur, devrait logiquement apporter des gains hypertrophiques combinés à une amélioration des qualités de puissance qui affecteront la RE et ceci, sans créer d'incidence négative au niveau du $VO_2\text{max}$.

1.3.4. LE PROGRAMME D'ENTRAÎNEMENT

Le but principal de cette recherche était de soumettre des footballeurs élites à un programme de musculation afin de démontrer qu'il y a des gains hypertrophiques associés à ce programme d'entraînement en musculation. Puis dans un deuxième temps vérifier l'effet de ce programme sur les capacités aérobies des joueurs. C'est dans cette optique de recherche que nous allons mettre en exergue une multitude de travaux, comprenant différents protocoles d'entraînement en musculation, testés au football.

Parmi ces travaux, on y retrouve par exemple l'étude d'Hickson (1980) qui traite de l'association d'un programme d'endurance et de musculation en force. Il faut noter également l'étude de Hoff et Helgerud (2004) qui suggère un entraînement explosif,

tandis que Smith et Bruce-Low (2004) viennent totalement contredire cette dernière étude. D'ailleurs les récents travaux de Silva et al. (2015) traitent de ces différents protocoles, après deux phases de sélection, inscrits dans 24 manuscrits impliquant un échantillon total de 523 joueurs de football. Silva et al., (2015), suggère que les joueurs professionnels ont besoin d'augmenter considérablement leur force pour obtenir de légères améliorations dans certaines actions comme les sprints et les changements vitesses ou de directions. L'entraînement en force montre de plus grandes améliorations de performances, lors d'actions de sauts qu'au moment des activités de course de base. Il rajoute qu'en ce qui concerne le type d'entraînement, force ou puissance, l'entraînement à haute intensité semble être plus efficace que l'entraînement à intensité modérée (hypertrophique). Toutefois, Smith et Bruce-Low (2004), suggère que si un programme de musculation résulte en une augmentation des charges soulevées, sans hypertrophie, alors le programme d'entraînement n'est pas très efficace. Ainsi, ils suggèrent que ce programme aura plutôt produit une amélioration des qualités d'haltérophilie, plutôt que la force des muscles utilisables.

En résumé les différents protocoles présentés lors de ces études ne semblaient pas correspondre à ce que nous recherchions. En effet, en faisant la revue de littérature au football, il ne semble pas avoir de protocole existant qui nous paraissait adéquat pour cette recherche. Nous avons donc créé un protocole d'entraînement qui s'inspirait de certaines idées de la revue de littérature auxquelles nous avons jumelés des idées venant de d'autres disciplines sportives et d'autres écoles de pensée. L'idée principale était de créer un protocole d'entraînement simple qui pouvait se reproduire dans assez facilement. Ainsi, le programme de musculation utilisé lors de cette étude, ne requiert pas de machines, parce qu'elles ne sont pas disponibles dans tous les centres d'entraînement. De plus une séance devrait prendre entre 45 à 60 minutes maximum. Il fallait également que le protocole soit un programme complet comprenant une majorité de muscles et groupes musculaires, impliquant aussi bien le bas que du haut

du corps. Nous avons donc opté pour un programme d'entraînement du type mouvements fonctionnels.

Le mouvement fonctionnel peut être défini comme la capacité de produire et de maintenir un équilibre entre la mobilité et la stabilité, le long d'une chaîne cinétique tout en effectuant des patrons de mouvements fondamentaux (Okada et al., 2011). Ainsi le principe dans ce type d'entraînement est que le patron de mouvements plutôt que les groupes musculaires individuels, dictent les exercices du programme. Par conséquent, les programmes d'entraînement fonctionnels se concentrent généralement sur les mouvements multi-articulaires et dans un environnement multi-planaire (Beckham et Harper, 2010). Selon Boyle (2004), ce type d'entraînement cible le système neuromusculaire, pour dire précisément qu'il entraîne le mouvement (groupes de muscles et le système nerveux), et non pas les muscles uniquement.

Nous avons donc choisis nos exercices selon l'approche de Boyle (2004), par patrons de mouvements qui sont principalement la poussée horizontale, la poussée verticale, la tirade verticale, le genoux/quadriceps dominant, et la hanche/ischio-jambiers dominants. De plus, il semblait pertinent de rajouter des exercices de stabilité abdominale. A ce sujet, plusieurs travaux dont ceux de Nesser et Lee (2009), démontrent que la force de la ceinture abdominale, influence les performances des joueurs de football, leurs capacités motrices et révèle également le développement de l'équilibre ainsi que la prévention de blessures. Toutefois, d'autres études démontrent qu'un programme d'entraînement fonctionnel agencé avec des exercices uni-articulaire peuvent promouvoir des améliorations synergiques de la force musculaire. Cet agencement viendra se transférer dans une performance accrue des activités et du sport, au-delà de ce qui peut être réalisé avec les mouvements multi-articulaires seulement. (Schoenfeld, 2010). L'individualisation de l'entraînement est primordiale chez le sportif. Ainsi, Smith et Bruce-Low (2004) expliquent qu'il est important que la force des groupes musculaires individuels soit évaluée pour permettre à un

programme d'entraînement en force d'être équilibré et d'être construit en fonction de chaque athlète, en mettant un accent particulier sur les muscles qui sont relativement faibles.

De plus, Cometti et al. (2001) qui expliquent que l'efficacité d'un programme de force ou de puissance est évaluée par l'ampleur des améliorations spécifiques au sport. Ainsi, les compétences physiques essentielles au football s'évaluent sur les sprints, sauts, duels, et coups de pied, qui agissent principalement sur la force et la puissance maximale anaérobie du système neuromusculaire (Cometti et al., 2001). Les mesures de ces compétences sont donc des données essentielles pour évaluer le footballeur et l'implémentation de programme d'entraînement devrait être en mesure d'améliorer lesdites compétences. Toutefois, le programme d'entraînement de cette étude n'a pas suivi le principe d'individualisation pour faciliter la recherche.

CHAPITRE II: OBJETCIFS ET QUESTION DE RECHERCHE

Lors de la revue de littérature, nous avons trouvé peu d'informations dans les écrits scientifiques traitant du travail d'entraînement en musculation chez le joueur de football et son incidence sur leurs capacités cardiorespiratoires, particulièrement sur le VO_2 max. La recherche s'est donc développée dans le but de répondre à la question de recherche mentionnée ci-dessous.

2.1. QUESTION DE RECHERCHE

1. Est-ce que l'entraînement en musculation diminue le VO_2 max du footballeur ?

2.2. OBJECTIFS

1. Mesurer l'effet d'un programme d'entraînement en musculation sur l'aptitude aérobie.
2. Soumettre et suivre les sujets évalués à un programme de musculation 2 fois par semaine, sur 12 semaines, tout en maintenant leur programme régulier d'entraînement de football, afin de voir s'il y a une différence significative sur les mesures anthropométriques, entre le début et la fin du programme de musculation.
3. Vérifier l'impact du programme d'entraînement sur certaines qualités physique du joueur.

Comme indiqué dans l'introduction, la crainte principale au football est que l'entraînement en musculation apporte des gains hypertrophiques qui seront négatifs en ce qui a trait aux capacités cardiorespiratoires du joueur. L'étude va démontrer que ces craintes sont non-fondées. Les interrogations suivantes complétant la question de recherche permettront également de donner des réponses catégoriques.

- Dans quelle mesure un programme d'entraînement de 12 semaines peut changer le poids et le pourcentage de gras du joueur de football ?
- - Quel effet un programme d'entraînement en musculation aura sur le VO_2 max du footballeur ?

2.3. HYPOTHÈSE

L'hypothèse est qu'un entraînement en musculation ne détériore pas l'aptitude aérobie. C'est à-dire qu'elle sera maintenue et possiblement améliorée. Une deuxième hypothèse est que l'entraînement en musculation va améliorer les autres aptitudes physiques des joueurs.

CHAPITRE III: MÉTHODOLOGIE

L'étude s'est déroulée à Abidjan, au complexe Sol Béni du club de football professionnel l'Asec Mimosas de Côte d'Ivoire. L'étude a eu lieu sur le terrain et dans l'infirmerie réservée à l'académie *Mimosifcom*. Le travail en musculation a été effectué dans la salle de musculation de l'équipe professionnelle. Les considérations de déontologie et de démarche éthique ont été adoptées et suivi à la lettre pour ce projet (voir Appendice E). Chaque participant a accepté de participer au projet volontairement.

3.1. LES SUJETS

Les critères d'inclusion consistaient à choisir des joueurs de football masculin faisant partie du groupe U-19 de l'académie *Mimosifcom*. Afin de limiter la variabilité des mesures, nous avons choisi des joueurs qui étaient physiquement aptes à participer à l'étude. Ils étaient donc exempts de blessures au début de l'étude. Nous avons recruté un total de 20 sujets (N=20).

3.2. LES VARIABLES DÉPENDANTES

Les variables dépendantes englobent l'ensemble des mesures (tests) que nous allons effectuer, à savoir les mesures anthropométriques, le VO₂max, la VMA,

l'agilité, la vitesse des sprints sur 30 mètres, la capacité à répéter des sprints (RSA), et les sauts en longueur.

3.3. LES VARIABLES INDÉPENDANTES

Les variables indépendantes extrinsèques à considérer dans notre étude seront les entraînements réguliers qui ne comprennent pas les entraînements de musculation (variable indépendante contrôlée) et les matchs disputés par l'académie. Il est possible que la programmation de l'intensité des entraînements et des matchs influence «les variables dépendantes» de l'étude. De plus, les blessures fréquentes lors des parties peuvent également tenir les joueurs à l'écart du programme de musculation. L'ensemble de ces composantes pourront avoir une incidence sur la période de récupération des joueurs et donc la capacité à fournir un effort soutenu en salle de musculation.

3.4. LES TESTS ET LE MATÉRIEL

Il y a eu un total de sept tests qui nous ont permis de mesurer les différentes composantes recherchées.

3.4.1. TEST DE COMPOSITION CORPORELLE

Afin de connaître les mesures anthropométriques des sujets, nous prenons le poids et la taille de nos sujets.

3.4.2. TEST DE POURCENTAGE DE GRAS

Pour avoir la masse adipeuse et la masse musculaire des sujets, nous mesurons les plis cutanés, avec un caliper Harpenden selon la méthode de Durin et Rahaman (1967).

3.4.3. TEST D'APTITUDE AÉROBIE (VAMÉVAL)

Pour trouver le VO_2 max des sujets ainsi que leur VMA, nous effectuons le test de VAMÉVAL de Cazorla, sur une piste de 200 mètres (Cazorla, 1990).

3.4.4. TEST DE SPRINTS RÉPÉTÉS (RSA)

Le test de sprints répétés (RSA), ou la résistance à la vitesse, peut également se définir comme l'aptitude à sprinter, récupérer et sprinter à nouveau. Selon Bishop et Castagna, (2002), cette séquence (sprint, récupération, sprint) pouvant être reproduite une ou plusieurs fois, montre la capacité à effectuer des sprints répétés.

3.4.5. TEST D'AGILITE (ILLINOIS)

Le test d'agilité Illinois permet de mesurer la capacité d'un joueur à changer rapidement de directions sans perte de vitesse, d'équilibre, ou de contrôle. Ce test mesure donc à la fois, la capacité de combiner force musculaire, force de démarrage, force explosive, équilibre, accélération et décélération (Hachana et al., 2013).

3.4.6. TEST DU SPRINT DE 30 MÈTRES

Le test de sprints se compose de 3 courses sur une distance de 30 mètres, avec une récupération complète entre chaque course. L'objectif de ce test est de suivre le développement du joueur sur sa capacité à accélérer efficacement, à partir d'un départ arrêté, ainsi que sa vitesse maximale. Nous avons enregistré le meilleur temps sur les 3 sprints du joueur.

3.4.7. TEST DE SAUTS EN LONGUEUR (BROAD JUMP)

Le test de saut en longueur consiste à effectuer un saut sans élan, le plus loin possible à partir d'une ligne de départ fixe. L'objectif de ce test est d'évaluer la force des jambes de l'athlète selon la distance parcourue lors d'un saut avec un départ arrêté (Fleck, et al., 1992).

3.5 LES PROCÉDURES

3.5.1. TESTS EN LABORATOIRE

Lors des tests en laboratoire, les joueurs sont préalablement informés des exigences de l'expérience (signifiées lors de la signature du formulaire de consentement). Au cours de la première rencontre, nous avons pris les mesures anthropométriques des participants. Pour la prise des mesures anthropométriques, cela se déroule de la manière suivante. D'abord, nous prenons la taille du sujet à l'aide d'un stadiomètre. Le sujet ne doit pas porter de chaussures, il se tient droit, les bras le long du corps, les pieds joints, les talons et le dos en contact avec la barre parallèle de l'appareil. Ensuite, l'évaluateur abaisse l'équerre du stadiomètre en l'appuyant sur la tête du sujet afin de s'assurer qu'il y a un contact parfait.

La deuxième étape est la prise de poids sur un pèse-personne. Le sujet déchaussé est vêtu légèrement. Il monte sur la balance qui indique son poids en kilogramme. La mesure du poids et de la taille a permis de connaître l'indice de masse corporelle (IMC) de chaque joueur.

Pour terminer, il y a eu une mesure de 4 plis cutanés selon la méthode de Durin et Rahaman (1967), avec les caliper d'Harpender. Les sites sélectionnés sont les suivants: (1) biceps, au point-médian du ventre du muscle avec le bras reposant en position de supination; (2) triceps, au-dessus du point du milieu du ventre musculaire, à mi-chemin entre l'olécrane et la pointe de l'acromion, avec le bras suspendus verticalement; (3) sous-scapulaire, juste en dessous de la pointe de l'angle inférieur de l'omoplate, à un angle d'environ 45° à la verticale; (4) supra-iliac, juste au-dessus de la crête iliaque sur la ligne mi-axillaire. Aux quatre sites, le pli a été pincé fermement vers le haut entre le pouce et l'index et à une distance légèrement tiré à

partir de tissus sous-jacents, avant d'appliquer les étriers pour la mesure (Durin et Rahaman, 1967). Ce test nous a permis d'obtenir le pourcentage de gras de chaque sujet.

3.5.2. TESTS SUR LE TERRAIN

La première étape a été celle du test VAMÉVAL (Cazorla, 1990). Le test s'est déroulé sur le terrain de l'académie. Nous avons délimité une piste de 200 m à l'aide d'un ruban à mesurer. L'évaluateur a installé des cônes à tous les 20 mètres tout autour de la piste. L'incrémentation de la vitesse est de 0,5 km/h et la durée des paliers était d'une minute. Les vitesses de course sont réglées au moyen d'une bande sonore (VAMEVAL) qui émet des sons à intervalles réguliers. Au départ, les premiers paliers servent à étalonner la vitesse en fonction de celle dictée par la bande sonore. Une fois que le joueur est bien réglé sur la cadence, il devait respecter l'allure imposée par la vitesse le plus longtemps possible. Les joueurs ont arrêté le test dès qu'il leur était impossible de terminer le palier en cours ou qu'il pensait ne pas pouvoir courir plus vite. L'objectif du test est donc d'évaluer la VMA et la VO_2 max (par extrapolation). Nous avons retenu la méthode de Bransford et Howley (1997) pour déterminer le VO_2 max à l'aide de l'équation suivante: $Y = 340.V. - 0.51$ où $Y = VO_2$ ml/min/kg et $V =$ Vitesse de course en km/h. À ce résultat, il faut ajouter une correction en tenant compte de la résistance de l'air selon la méthode de Pugh (1971) avec la formule suivante: le résultat de $VO_2 + 0.000525542 V^3$.



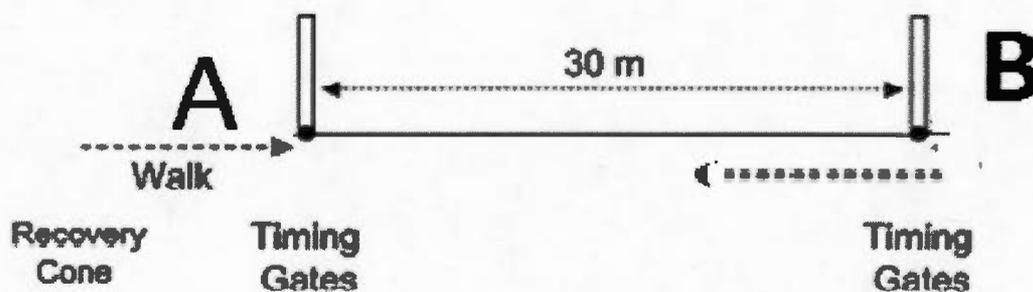
FIGURE 3.1: SCHÉMA REPRÉSENTANT LE TEST DE VAMÉVAL

TABLEAU 3.1: EXTRAPOLATION DE LA VMA EN VO₂MAX.

**ÉPREUVE DE COURSE CONTINUE A PALIERS D'UNE MINUTE :
VAMÉVAL**

Paliers	Durée	Vitesses correspondantes (en km/h)	Vitesses en m/min	VO extrapolées en fonction de l'âge (ml/min/kg)			
				12 ans	14 ans	16 ans	18 et +
1	0	8	133.3	33.3	32.1	30.9	29.8
2	1	8.5	141.7	35.3	34.0	32.8	31.5
3	2	9	150.0	37.2	35.9	34.6	33.3
4	3	9.5	158.3	39.2	37.8	36.4	35.0
5	4	10	166.7	41.2	39.7	38.2	36.8
6	5	10.5	175.0	43.1	41.6	40.0	38.5
7	6	11	183.3	45.1	43.5	41.9	40.3
8	7	11.5	191.7	47.0	45.4	43.7	42.0
9	8	12	200.0	49.0	47.3	45.5	43.8
10	9	12.5	208.3	51.0	49.1	47.3	45.5
11	10	13	216.7	52.9	51.0	49.1	47.3
12	11	13.5	225.0	54.9	52.9	51.0	49.0
13	12	14	233.3	56.8	54.8	52.8	50.8
14	13	14.5	241.7	58.8	56.7	54.6	52.5
15	14	15	250.0	60.8	58.6	56.4	54.3
16	15	15.5	258.3	62.7	60.5	58.2	56.0
17	16	16	266.7	64.7	62.4	60.1	57.8
18	17	16.5	275.0	66.6	64.3	61.9	59.5
19	18	17	283.3	68.6	66.2	63.7	61.3
20	19	17.5	291.7	70.6	68.0	65.5	63.0
21	20	18	300.0	72.5	69.9	67.3	64.8
22	21	18.5	308.3	74.5	71.8	69.2	66.5
23	22	19	316.7	76.4	73.7	71.0	68.3
24	23	19.5	325.0	78.4	75.6	72.8	70.0
25	24	20	333.3	80.4	77.5	74.6	71.8
26	25	20.5	341.7	82.3	79.4	76.4	73.5
27	26	21	350.0	84.3	81.3	78.3	75.3
28	27	21.5	358.3	86.2	83.2	80.1	77.0
29	28	22	366.7	-	85.1	81.9	78.8
30	29	22.5	375.0	-	-	83.7	80.5
31	30	23	383.3	-	-	85.5	82.3
32	31	23.5	391.7	-	-	87.4	84.0
33	32	24	400.0	-	-	-	85.8
34	33	24.5	408.3	-	-	-	87.5
35	34	25	416.7	-	-	-	89.3

La deuxième journée de test consistait à effectuer le test d'habileté de sprints répétés (RSA). Comme expliqué par les travaux de Pyne et al. (2008), la distance de 30m peut être choisie pour trois différentes raisons. En effets les travaux précédents sur l'effort lors de sprints répétés ont employé un protocole similaire, les études d'analyses de temps et mouvements de la ligue de football australienne démontrent que les sprints courts et accélérations jusqu'à 30 m sont monnaie courante au football et le test pilote indique que le protocole (6 x 30 m) invoque une baisse substantielle (~ 5 %) dans les temps de sprint. Ce protocole suscite donc un ratio de travail- repos d'environ 1 pour 4 avec des sprints répétés de 30 m (Pyne et al. 2008). Ce test consiste à faire répéter aux joueurs six sprints consécutifs sur une distance de 30 mètres entrecoupés de 20 secondes de récupération qui permet au joueur de revenir au point de départ.



(Pyne et al., 2008)

FIGURE 3.2: SCHÉMA REPRÉSENTANT LE TEST DE RSA

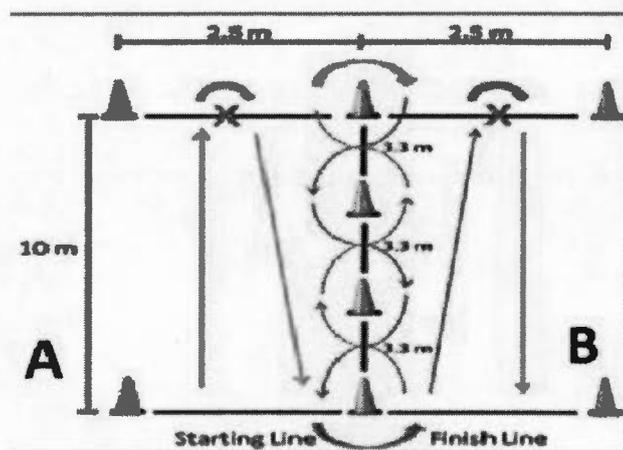
Comme l'illustre la figure 3.2, le joueur effectue toujours un départ arrêté à partir du point A. Lorsqu'il passe devant les lentilles des récepteurs de photocellules, le chronomètre se met en marche. Ce dernier s'arrête une fois que le joueur franchit les cellules qui sont placées sur la ligne d'arrivée ou point B. Lors des 20 secondes de récupération, le joueur effectue une course lente, afin de revenir au point A (récupération semi-passive), pour un total de 6 sprints. Une fois le test terminé, les joueurs récupèrent avec une marche lente.

Le prochain test effectué était celui du saut en longueur. Afin d'effectuer son saut, le joueur place ses pieds sur la ligne de départ. Accroupi vers le bas et en utilisant les bras et les jambes, il effectue un saut le plus loin et horizontalement possible, terminé par un atterrissage avec les deux pieds en avant. Le joueur répète ce mouvement 3 fois. L'évaluateur a utilisé la plus longue distance enregistrée en mètre pour évaluer la force des jambes de l'athlète.

Lors du troisième jour, nous avons procédé au test de sprints sur 30 mètres. L'objectif est de mesurer la capacité à accélérer efficacement, à partir d'un départ arrêté, ainsi que la vitesse maximale. Le joueur effectue un départ arrêté. Lorsqu'il passe devant les lentilles des récepteurs de photocellules, le chronomètre se met en marche. Celui-ci s'arrête une fois que le joueur franchit les cellules qui sont placées sur la ligne d'arrivée. Le test se compose d'un total de 3 sprints sur une distance de 30 mètres, entrecoupé d'une récupération complète après chaque sprint. L'évaluateur fait donc passer tous les 20 joueurs avant le deuxième tour. Ensuite le même scénario se reproduit pour le troisième essai. Nous avons gardé le meilleur temps en seconde pour chaque joueur.

Le test suivant est celui d'agilité Illinois. C'est un test simple à conduire qui requiert rien de plus que huit marqueurs ou cônes. Il fournit un bon indicateur de la capacité

d'une personne à accélérer, décélérer, tourner dans diverses directions et courir sous divers angles. Le test est installé avec quatre cônes qui forment un secteur de 10 mètres de longueur, par 5 mètres de largeur. On place un cône et les lentilles des récepteurs de photocellules, dans point A, pour marquer le début du test et le départ du chronomètre, et au point B, pour marquer la fin du parcours et l'arrêt du chronomètre. Quatre autres cônes sont placés dans le centre de la zone de test avec 3.3 mètres de séparation. On commence le test en position arrêtée.



Illinois Agility Test. (Kaya et al., 2013)

FIGURE 3.3: SCHÉMA REPRÉSENTANT LE TEST D'AGILITÉ ILLINOIS

3.5.3. VARIABLES DÉPENDANTES

Le programme d'entraînement en salle de musculation qui a été suivi par les joueurs de l'académie *Mimosifcom* va influencer les variables suivantes: VO_2max , VMA,

agilité, sprints sur 30 m, RSA, et saut en longueur. Les variables précédentes sont donc nos variables dépendantes.

3.5.4. LE PROGRAMME DE MUSCULATION

L'objectif principal était de créer un protocole d'entraînement qui peut apporter des gains hypertrophiques au footballeur, tout en améliorant sa force musculaire. Le protocole d'entraînement est donc plutôt du type hybride combiné à un incrément de charge de type pyramidal. C'est-à-dire que dans la même séance, les joueurs effectuent des séries avec répétitions décroissantes tout en augmentant la charge soulevée à chacune des séries. L'entraînement pyramidal est une méthode qui semble bien adaptée pour les débutants car elle utilise les efforts maximaux en fin de séries. Le programme vise ainsi 2 aspects, à savoir l'hypertrophie et la force. De nombreuses études indiquent qu'en général, plus il y a de séries et plus qu'il y a de répétitions par séries (8 à 12), meilleure sera l'effet sur la composition corporelle comparé à peu de répétitions par séries ou encore une série unique en général. (Robinson et al., 1995). De la sorte que les 2 premières séries avoisinant les 8 répétitions visent à améliorer les gains au niveau de la composition corporelle, tandis que la dernière série vise plutôt une augmentation de la force des joueurs vu qu'elle se situe en dessous de 5 répétitions. Pour les périodes de repos nous voulions nous assurer que les joueurs avaient au minimum 2 minutes de repos entre chaque série (voir le protocole). En effet, Robinson (1995) explique que les programmes de musculation avec de courtes périodes de repos comme les circuits ne sont pas optimal pour augmenter la force au 1RM, la puissance et les exercices d'endurance à haute intensité. Les mêmes travaux indiquent que lors d'un programme de musculation, l'intensité des exercices peut être augmenté grâce à un temps de repos de 1,5 à 3 minutes (Robinson et al., 1995). Nous avons donc opté pour une période de repos similaire lors des séances d'entraînement.

Avant le début des 12 semaines d'intervention, le chercheur a passé environ 10 heures avec les joueurs en salle de musculation pour permettre aux sujets d'apprendre les différents mouvements du plan d'entraînement. Une fois les mouvements compris, le chercheur a expliqué aux joueurs le protocole d'entraînement. Chacun des joueurs a rempli une feuille de progression afin de discerner l'amélioration au niveau des charges de travail. Pour les 12 semaines de travail, les joueurs avaient comme instructions d'effectuer 3 séries de 5 à 10 répétitions. La première série devrait avoisiner idéalement 8 à 10 répétitions. Avant chaque série, en vérifiant sa feuille de progression, le joueur sait qu'il est en principe capable d'effectuer au moins 8 à 10 répétitions de cette charge. Une fois la série complétée, le joueur amorce sa période de repos complet. Lors de la deuxième série, le joueur vise de 6 à 8 répétitions, puis une période de repos. Pour sa dernière série, il essaie de faire un maximum 5 répétitions avec une charge supérieure à celle de la dernière séance. Le joueur inscrit toujours les charges soulevées sur sa feuille de progression qui sert de référence à la session suivante. Cependant, le joueur avait comme instruction d'augmenter la charge uniquement lorsqu'il se sentait prêt et qu'il avait eu confirmation que la forme du mouvement était convenable. Pour les exercices de gainage (planche abdominale et de côté), la position devait être maintenue pendant 1 minute.

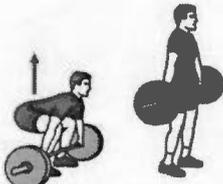
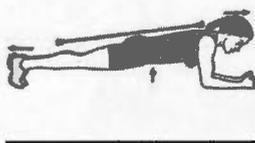
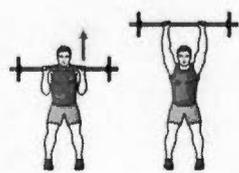
Ainsi, pour des fins logistiques, le chercheur a divisé le programme en trois ateliers de trois exercices. Le joueur effectue ses trois séries avant de passer à l'exercice suivant et il complète l'ensemble des stations d'un même atelier, avant d'aller au suivant. Les changements d'ateliers se faisaient donc tous presque simultanément. Les circuits ont été divisés de la manière suivante. Premier circuit se compose de squats, tirades verticale à la barre et élévation des hanches. Pour le deuxième circuit nous avons, le soulevé de terre et la planche abdominale et la poussée militaire. Pour le troisième circuit c'est le développé couché, la tirade horizontale unilatérale avec haltère et une planche abdominale de côté.

Au début de l'étude, le chercheur a séparé les joueurs en groupes de trois ou quatre joueurs, de plus ou moins de même force, afin de faciliter l'incrément des charges lors des transitions. Le premier joueur débute par l'exercice numéro un. Les autres joueurs servent « d'assureurs » afin de vérifier la forme et la sécurité. Lorsque le premier joueur termine sa première série, il passe au rôle d'assureur. On se sert de ce rôle pour donner une récupération complète en principe, d'environ 2 à 4 minutes. Pendant ce temps le deuxième joueur effectue sa première série. Une fois sa série complétée, le troisième joueur effectue sa première série. C'est donc lorsque les 3 joueurs auront complétés chacun une série que le joueur 1 débutera sa deuxième série et ainsi de suite.

Plan d'entraînement Joueurs U-19

<p><u>Circuit 1</u></p> 	<p>Squat</p> <p><i>Genoux Dominant</i></p> <p>Quadriceps Fessiers Ischios-jambiers</p>	<p>Série 1: 8-10RM Série 2: 6-8RM Série3: 5RM ou – Tempo: 2-0-X-1 Repos: 2min+</p>	<p>Les pieds à la largeur des épaules, tenir la barre sur vos trapèzes. Descendre jusqu'à ce que les genoux soient à 90° tout en gardant le dos droit, tête haute, poitrine sortie.</p>
<p><u>Circuit 1</u></p> 	<p>Extension de la hanche (hip trust)</p> <p><i>Hanche dominante</i></p> <p>Fessiers Mollets Ischios-jambiers</p>	<p>Série 1: 8-10RM Série 2: 6-8RM Série3: 5RM ou – Tempo: 2-0-X-1 Repos: 2min+</p>	<p>Le dos appuyé sur un banc, garder le dos droit, les abdos tendus et la tête droite. Placer la barre au-dessus de vos hanches et la tenir fermement. Levez les hanches jusqu'à ce que vos cuisses soient alignées avec votre corps.</p>
<p><u>Circuit 1</u></p> 	<p>Tirade verticale à la barre (pullups)</p> <p><i>Tirade verticale</i></p> <p>Grand dorsal Biceps</p>	<p>Série 1: 8-10RM Série 2: 6-8RM Série3: 5RM ou – Tempo: 2-0-X-1 Repos: 2min+</p>	<p>Placer vos mains dans une position large. Tirer votre corps jusqu'à ce que votre poitrine atteigne la barre</p>

Plan d'entraînement Joueurs U-19

<p><u>Circuit 2</u></p> 	<p>Soulevé de terre (Dead lift)</p> <p><i>Hanche dominante</i></p> <p>Ischio Jambier Fessiers Mollets Abdominaux Dos</p>	<p>Série 1: 8-10RM Série 2: 6-8RM Série3: 5RM ou – Tempo: 2-0-X-1 Repos: 2min+</p>	<p>Les pieds à la largeur des épaules, prendre la barre avec une prise large sur la barre. Garder le dos droit, les abdos tendus et la tête haute. Tirer la barre en la gardant près de vous. Tirer en coordonnant l'extension du bassin et des genoux.</p>
<p><u>Circuit 2</u></p> 	<p>Planche abdominale (straight plank)</p> <p><i>Abdominaux</i></p> <p>Droit abdominal</p>	<p>Série 1: 1 min Série 2: 1 min Série3: 1 min Repos: 2min+</p>	<p>Garder les abdominaux contractés et le dos droit - garder la haute position le plus longtemps possible et redescendre sur les genoux si nécessaire et répéter</p>
<p><u>Circuit 2</u></p> 	<p>Développé Militaire (overhead press)</p> <p><i>Poussée Verticale</i></p> <p>Épaules Poitrine Triceps</p>	<p>Série 1: 8-10RM Série 2: 6-8RM Série3: 5RM ou – Tempo: 2-0-X-1 Repos: 2min+</p>	<p>Garder le dos droit, les abdos tendus et la tête droite - Les genoux et les coudes légèrement fléchis - Prise pronation Pousser la barre au-dessus et avancer la tête légèrement une fois en extension</p>

Plan d'entraînement Joueurs U-19

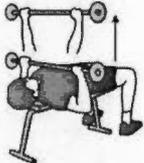
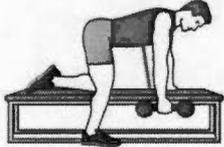
<p><u>Circuit 3:</u></p> 	<p>Développé couché (bench press)</p> <p><i>Poussée Horizontale</i></p> <p>Pectoraux Triceps</p>	<p>Série 1: 8-10RM Série 2: 6-8RM Série3: 5RM ou – Tempo: 2-0-X-1 Repos: 2min+</p>	<p>Prise un peu plus large que les épaules, pousser la barre au-dessus de la poitrine, éviter d'avoir les coudes vers l'extérieur lors de la phase de descente</p>
<p><u>Circuit 3 :</u></p> 	<p>Tirade horizontale unilatérale (dumbbell row)</p> <p><i>Tirade horizontale</i></p> <p>Grand dorsal Biceps Épaules</p>	<p>Série 1: 8-10RM Série 2: 6-8RM Série3: 5RM ou – Tempo: 2-0-X-1 Repos: 2min+</p>	<p>Garder le dos droit et la tête haute, les pieds à la largeur des épaules. Placer les mains alignées avec les épaules, prise pronation (les paumes de mains vers vous)</p>
<p><u>Circuit 3 :</u></p> 	<p>Planche Latérale (side raise)</p> <p><i>Abdominaux</i></p> <p>Obliques Droit abdominal</p>	<p>Série 1: 1 min Série 2: 1 min Série3: 1 min Repos: 2min+</p>	<p>Garder le dos droit, les abdos tendus et la tête droite en axe avec le corps - Le pied supérieur placé devant le pied inférieur, en appui sur le coude, le bras perpendiculaire au sol. La main à la hanche. Maintenir la position</p>

FIGURE 3.4: RÉSUMÉ DU PROGRAMME DE MUSCULATION SUIVI PAR LES JOUEURS DE L'ACADÉMIE MIMOSIFCOM

3.6. ANALYSES STATISTIQUES

Le plan expérimental est formé d'un seul groupe, avec des mesures pré et post intervention. Les variables dépendantes sont comparées par le test T de Student apparié. Une différence significative entre les mesures pré et post intervention est retenue, lorsque que $p < 0,05$.

CHAPITRE IV: LES RÉSULTATS

4.1. MESURES ANTROPOMÉTRIQUES

TABLEAU 4.1: CARACTÉRISTIQUES ANTHROPOMÉTRIQUES DES PARTICIPANTS PRÉ ET POST INTERVENTION

	Pré	Post	p
Âge (ans)	16,12 (1,3)	16,18 (1,2)	0,163 (NS)
Taille (cm)	175,2 (6,3)	175,4 (6,4)*	0,014
Poids (kg)	63,7 (5,8)	64,8 (6,2)*	0,0001
Gras corporel (%)	9,8 (1,4)	8,2 (1,2)*	0,0001
IMC (kg/m ²)	20,7 (1,6)	21,0 (1,6)*	0,0001
Masse maigre (kg)	57,5 (5,7)	59,5 (6,1)*	0,0001

Moyennes (É.T.). * Différence significative avec pré, $p < 0,05$. NS, non-significatif.

Le tableau 4.1 présente les valeurs de mesures anthropométriques enregistrées pré et post intervention. On peut noter qu'après 12 semaines d'entraînement, les variables de poids, d'IMC et de masse maigre ont augmenté de façon significative. Tandis qu'on note une diminution significative du gras corporel. Il y a également une augmentation non significative de l'âge des joueurs.

4.2. MESURES DE VITESSES

TABLEAU 4.2: CARACTÉRISTIQUES DE VITESSE DES PARTICIPANTS PRÉ ET POST INTERVENTION

	Pré	Post	Δ Distance (m)	p
Sprint 30 m le plus rapide (s)	4,22 (0,1)	3,98(0,2)*	0.43*	0,0001
Sprint au RSA le plus rapide (s)	4,26 (0,2)	4,05 (0,2)*	0.37*	0,0001
Sprint au RSA le plus lent (s)	4,63 (0,2)	4,47 (0,3)*	0.23*	0.012
Sprint RSA, moyennes des six sprints (s)	4,46 (0,2)	4.25 (0,2)*	0.33*	0.001
Indice RSA	0,96 (0,0)	0,95 (0,0)		

Moyennes (É.T.). * Différence significative avec pré, $p < 0,05$. Sprint 30 m le plus rapide: le meilleur de trois sprints sur une longueur de 30 m; RSA: 6 sprints répétés à 20 secondes d'intervalles; Indice RSA: le sprint le plus rapide au RSA multiplié par six et divisé par la somme des 6 sprints; Δ Distance: écart entre la distance parcourue en m/s lors du pré et post test.

Le tableau 4.2 présente les valeurs de vitesses atteintes par les joueurs, pré et post intervention. On peut noter que l'ensemble des variables a augmenté de façon significative après 12 semaines d'entraînement.

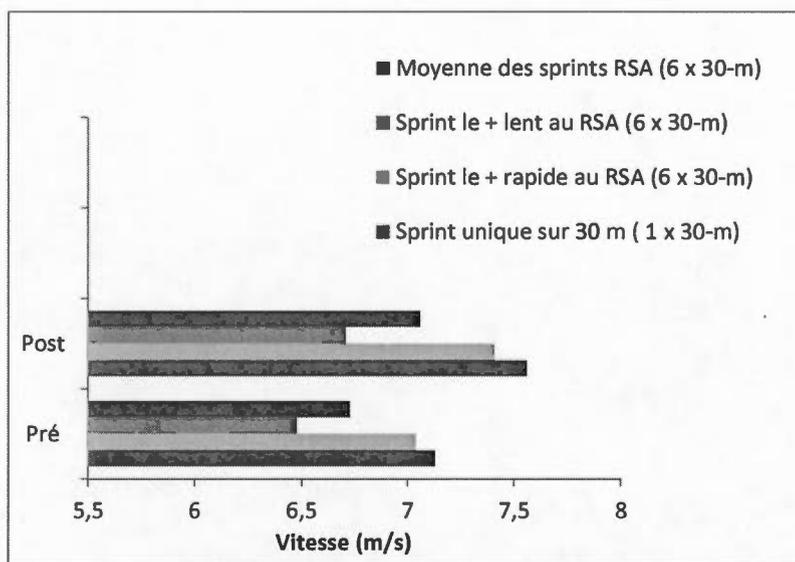


FIGURE 4.1: VITESSE MOYENNE DURANT LES ÉPREUVES DE SPRINTS RÉPÉTÉS (RSA) ET SPRINT UNIQUE SUR UNE DISTANCE DE 30 M. PRÉ ET POST INTERVENTION

La figure 4.1 présente les vitesses moyennes atteintes par les joueurs, lors des différentes épreuves de vitesses pré et post intervention. Pour l'ensemble de ces données, il y a eu une amélioration significative de la vitesse. Pour le sprint le plus rapide lors du RSA, il y a une amélioration de 0,37m/s. Pour le sprint le plus lent, lors du RSA sur 30 mètres, il y a une amélioration de 0,23 m/s. Enfin, pour la moyenne des 6 sprints au RSA sur 30 mètres, il y a également une amélioration de 0,33 m/s.

4.3. MESURES DE FORCES ET D'AGILITÉ

TABLEAU 4.3: CARACTÉRISTIQUES DE FORCE ET D'AGILITÉ DES PARTICIPANTS PRÉ ET POST INTERVENTION.

	Pré	Post	P
Moyenne des tests Illinois départ à droite (s)	15,69 (0,1)	15,16 (0,2)*	0,001
Moyenne des tests Illinois départ à gauche (s)	15,69 (0,1)	15,15 (0,1)*	0,001
Moyenne des tests Illinois 2 côtés (s)	15,69 (0,1)	15,16 (0,1)*	0,001
Moyenne du meilleur saut en longueurs	2,31 (0,1)	2,45 (0,2)*	0,001
Moyenne des sauts en longueur	2,26 (0,1)	2,45 (0,1)*	0,009

*Moyennes (É.T.). * différence significative avec pré, $p < 0,05$.*

Le tableau 4.3 présente les valeurs de forces et de puissances déployées pré et post intervention. On peut noter que l'ensemble des variables a augmenté de façon significative après 12 semaines d'entraînement.

4.4. MESURES CARDIORESPIRATOIRES

TABLEAU 4.4: CARACTÉRISTIQUES DES CAPACITÉS CARDIORESPIRATOIRES DES PARTICIPANTS PRÉ ET POST INTERVENTION

	Pré	Post	p
Résultats des paliers atteints au VAMÉVAL	17,51 (0,4)	18,20(0,4)*	0,03
Résultats de la VMA (km/h)	16,45 (0,2)	16,75 (0,2)	0,144
Résultats de VO ₂ max (ml/kg/min)	58,78 (0,6)	59,6 (0,6)*	0,044
<i>Moyennes (É.T.). * différence significative avec pré, p < 0,05.</i>			

Le tableau 4.4 présente les valeurs des capacités cardiorespiratoires déployées pré et post intervention. On peut noter que l'ensemble des variables a augmenté de façon significative après 12 semaines d'entraînement.

CHAPITRE V: DISCUSSION

Le principal constat de la présente étude est qu'un entraînement en musculation suivi par des joueurs de football ne réduit pas le VO_2 max en plus de contribuer à améliorer d'autres qualités, tels que la vitesse de sprint sur 30 mètres, le RSA, l'agilité et la force des jambes.

Rappelons que la question de recherche qui a suscité la présente étude est formulée de la manière suivante : est-ce que l'entraînement en musculation diminue le VO_2 max du footballeur ? Répondre à cette interrogation signifie examiner minutieusement l'effet d'un entraînement en musculation sur des footballeurs.

5.1. EFFET DU PROGRAMME SUR LES MESURES ANTHROPOMÉTRIQUES

L'étude s'est déroulée en Côte d'Ivoire, entre les mois de janvier et avril. Les sujets sont des joueurs ($n=20$) de niveau élite, faisant partie de la catégorie U-19. Au sujet de l'âge des joueurs, Musch et Grondin (2001), indiquent qu'il existe un avantage possible dans la participation des sports de performances, suite à l'effet de l'âge relatif. Le RAE ou âge relatif, se définit comme la différence d'âge chronologique chez les sujets du même groupe d'âge. Concernant notre étude, la majorité des dates de naissance des joueurs du groupe avec lequel nous avons travaillé, se situe dans la 2^{ème} moitié de l'année. En effet, il n'y a que 2 joueurs qui ont changé d'âge au cours des 12 semaines de l'étude qui rappelons-le a eu lieu de janvier à avril. Pourtant, des recherches indiquent que dans plusieurs pays où le football est un sport important, le

RAE a toujours été observé avec une représentation de beaucoup plus d'athlètes nés dans les six premiers mois de l'année, en particulier dans la tranche d'âge 15-18 ans, surtout au niveau compétitif (Mujika et al., 2009). Il est donc intéressant d'observer que lors de cette étude la majorité de nos sujets ne se retrouvent pas dans cette catégorie. Toutefois, Williams (2010), nous éclaire quelque peu grâce à une étude qui traite de l'examen des distributions des dates de naissance des joueurs lors de la coupe du monde U-17. En effet, Williams (2010) indique que lors de cette compétition, les joueurs des nations africaines, étaient plus susceptibles d'être nés au 4^{ème} trimestre, avec près de 14% né en décembre. Cependant, tous les autres pays ont montré un RAE significatif, sauf pour le Nigeria et la Côte d'Ivoire (lieu de notre étude), qui ont montrés un âge relatif à effet inverse (Williams, 2010). L'auteur soupçonne que le physique et la stature pourrait jouer un rôle majeur, puisque les joueurs africains nés dans la dernière partie de l'année avaient tendance à être plus grands que ceux qui sont nés plus tôt dans l'année. En outre, il soupçonne que pour un si grand pourcentage de joueurs nés dans la période d'un seul même mois, il pourrait y avoir des erreurs dans la déclaration des dates réelles de naissance (Williams, 2010). Les joueurs participants à notre étude, nonobstant l'âge, devait avoir une morphologie susceptible d'être apte au travail en salle de musculation. Il faut tout de même noter que l'ambiguïté au niveau de l'âge des joueurs africains a poussé le club avec lequel nous avons travaillé à classer la majorité de ses joueurs de 16 ans et moins dans la catégorie U-19. Ce qui explique la moyenne d'âge du groupe.

Dans la progression de nos observations et partant du principe que chez les footballeurs de moins de 18 ans il existe un écart considérable entre les qualités physiques des joueurs nés dans la 1^{ère} moitié de l'année face à ceux nés dans la 2^{ème} moitié, (Mujika et al., 2009); On peut donc avancer que sans intervention particulière il aurait fallu au minimum 6 mois afin d'améliorer les qualités physiques de joueurs faisant parti de notre groupe de recherche. De ce fait, notre programme

d'entraînement s'étalant seulement sur 12 semaines, pourrait être la cause principale de l'amélioration des différentes qualités physiques des joueurs plutôt que la maturation lié à l'âge.

De plus selon Chuman et al. (2014), les joueurs entre 16 et 17 ans ont presque tous déjà atteint leur taille adulte finale. Comme exposé précédemment, lors de notre étude, seulement un quart des joueurs ont atteint l'âge de 17 ans. Il est donc normal que la taille puisse avoir légèrement augmenté en l'espace de 12 semaines. De plus, sachant que les joueurs ont subi des tests de croissance osseuse avant d'intégrer l'académie, une augmentation significative de la taille des joueurs lors de l'intervention vient ajouter de la crédibilité sur l'âge réel des joueurs de cette équipe. De plus, le changement de taille et de poids des joueurs a bien certainement eu une influence sur la moyenne de l'IMC. En rappelant que l'indice de masse corporelle est le rapport entre la taille et le poids d'une personne. Il semble évident que le changement au niveau du poids plutôt que de la taille des joueurs a eu une incidence majeure sur les capacités physiques des joueurs. À ce propos, il est important de mentionner que les joueurs sont internés presque 6 jours sur 7. Pour les pensionnaires de l'académie, les repas, à savoir rations et menus sont contrôlés. Il n'y a eu aucun changement au niveau du menu habituel lors de notre intervention. Ce status quo nous assure que les joueurs n'ont pas eu de changements drastiques au niveau du régime alimentaire ou encore de changements concernant l'ingestion calorique durant notre intervention. En conséquence, le programme d'entraînement semble être le facteur principal de l'augmentation du poids des sujets. Par conséquent la masse plutôt que la taille semble être le facteur influençant l'IMC dans notre étude comme en témoignent les changements au niveau du pourcentage de gras et de la masse maigre des joueurs.

Toutefois, certaines recherches ont déjà démontrés que le bagage génétique, l'âge, le sexe, et d'autres facteurs interviennent sur la réponse hypertrophique d'un protocole

d'entraînement affectant ainsi les gains de masse maigre et le pourcentage de gras (Kraemer et al., 1999). De plus, la plupart des études montrent une amélioration souhaitable de certaines caractéristiques comme une réduction de la graisse corporelle et une augmentation de la masse musculaire, après une période d'entraînement en musculation (Burke et al., 1985). Notre étude va dans le même sens puisqu'on observe une augmentation significative de la masse maigre combinée à une diminution significative du pourcentage de gras des sujets. Ainsi, ces améliorations au niveau de la composition corporelle viennent appuyer notre théorie. Selon Reilly (1996), la composition corporelle fait foi de la forme du footballeur. Il rajoute que la composition corporelle est un aspect important de la forme au football. Subséquemment les gains acquis lors de cette étude amélioreront les capacités physiques des participants. Par exemple, l'excès de tissu adipeux agit sur le poids morts dans les activités où la masse corporelle doit être soulevée à plusieurs reprises contre la gravité (Reilly, 1996). Comme déjà mentionné précédemment, les joueurs de football doivent soulever le poids de leurs corps dans plusieurs types d'actions tels que les duels aériens pour remporter un ballon ou encore s'élancer pour une reprise de volley. Il va de soi que les joueurs, ayant participé à l'intervention, seront avantagés dans ce type d'action grâce à la diminution du pourcentage de gras. De plus, Donnelly et al. (2009) mentionnent que l'entraînement en musculation ne favorise pas la perte de poids, mais peut surtout augmenter la masse maigre tout en contribuant à une réduction du pourcentage de gras. Ainsi, la musculation vient augmenter la masse musculaire qui à son tour pourra augmenter la dépense énergétique sur 24 h. (Donnelly et al. 2009). On peut alors conclure que la diminution du pourcentage de gras et l'augmentation de la masse maigre lors de cette recherche est la résultante directe du programme d'entraînement en musculation. De plus, Reilly (1996), explique qu'une augmentation de masse et une réduction de la graisse corporelle est un reflet direct de l'intensité de l'entraînement du footballeur. Par ailleurs, dans certains sports de compétitions, les joueurs ayant les pourcentages de gras les plus bas font toujours de meilleures performances (Reilly, 1996).

5.2. L'EFFET DU PROGRAMME SUR LES QUALITÉS CARDIORESPIRATOIRES

Tout d'abord, soulignons qu'une des raisons motivant cette étude était l'existence d'une croyance populaire ancrée dans le milieu du football qui est de penser que des joueurs plus lourds auraient de moins bonnes capacités cardiorespiratoires. Cependant il ne semblait pas avoir d'étude confirmant ou infirmant cette théorie.

Toutefois, certains travaux portant sur les capacités cardiorespiratoires mentionnent que l'adaptation à l'exercice est liée au type de stimulus d'entraînement. Par exemple, une forte charge, avec de faibles répétitions, comme l'entraînement en force, résulte en une augmentation de force et une hypertrophie musculaire, avec peu ou aucune augmentation de la capacité maximale d'absorption d'oxygène (Hickson, 1980). Notre étude vient donc corroborer ces travaux car les sujets ont eu des gains hypertrophiques significatifs, un IMC qui passe de 20,7 à 21 kg/m². À ces gains s'ajoutent une augmentation de la masse maigre passant de 57,5 à 59,5 kg combiné à une diminution du pourcentage de gras passant de 9,8% à 8,2%. Le tout est accompagné d'une amélioration de VO₂max de 58,78 à 59,6 ml/kg/min. C'est dans cette même veine que plusieurs travaux traitant de la masse musculaire ont déjà apporté la preuve qu'un entraînement en musculation pouvait retarder l'épuisement de la VMA et confirmer nos résultats. Effectivement, l'intervention de Støren et al. (2008) démontre un retard significatif (21,3%) de l'installation de l'épuisement à la VMA, sans doute causé par une amélioration de la RE. Toutefois, notre étude, dénote une amélioration non significative de la VMA. On peut ainsi avancer que les joueurs, ayant subi l'intervention, en améliorant leur VMA et ont subséquentement amélioré leur économie de course.

En ce qui concerne le $VO_2\text{max}$, Hoff et al. (2002) indiquent que l'entraînement en force résulte en une amélioration des temps de sprints, des sauts en hauteur, ainsi que de l'économie de course tout en ne montrant pas de réduction sur le $VO_2\text{max}$ ou LT. Toutefois, d'autres travaux comme ceux d'Helgerud et al. (2001), ont révélé que 8 semaines d'entraînement du type de HIT (High Intensity Training) combinées à de l'entraînement en force au cours de la pré-saison au football d'élite résulte en une amélioration du $VO_2\text{max}$, de la masse corporelle et de la force relative. L'entraînement en HIT, ou entraînement fractionné de haute intensité, est un mode d'entraînement fractionné qui vise un renforcement de la condition physique par de brèves séances (de 15 à 30 minutes) d'exercices en anaérobie. Notre intervention va dans le même sens, puisqu' il y a une amélioration significative de la masse corporelle coordonnée à une amélioration significative du $VO_2\text{max}$. Cependant, notre étude n'a pas agencé d'exercice de type HIT à la routine en musculation. En effet, l'étude s'est déroulée pendant la saison, ainsi nous pensons que la nature du sport et l'intensité des séances d'entraînement, surtout lors d'exercices en espaces restreints au football, jouent déjà un rôle similaire à ce type d'entraînement.

D'autres recherches suggèrent qu'un $VO_2\text{max}$ au-dessus de 60 ml/kg/min représente le seuil d'attributs physiologiques nécessaire pour réussir et performer dans le football masculin élite (Reilly et al., 2000). Comme nous avons pu observer dans la section résultats, les données de $VO_2\text{max}$ de nos joueurs qui avoisinent déjà cette zone, et se rapprochent encore plus de cette zone suite à l'intervention. De plus, Tønnessen et al. (2013) démontrent que les normes de $VO_2\text{max}$ ne distinguent pas les joueurs de football professionnel de différents niveaux, équipe nationale, 1^{ère}, 2^{ème} divisions et joueurs juniors (Tønnessen et al., 2013).

Par ailleurs, la plupart des analyses au football ont montré que ni la distance totale parcourue, ni la course à intensité élevée sont des facteurs déterminants dans la performance du footballeur d'élite (Rampinini et al., 2007). En ce qui nous concerne,

l'implémentation d'un programme de musculation a un effet positif sur les footballeurs, puisque cela leur a permis de s'approcher du standard recherché au VO₂max du footballeur professionnel, en plus d'améliorer plusieurs autres qualités. De plus, des recherches indiquent qu'au-delà de la ligne de base du VO₂max, d'autres qualités physiques telles que la vitesse linéaire de sprint, l'agilité, ou la capacité de sprints répétés deviennent probablement plus importants (Haugen et al., 2014). Il est donc nécessaire pour les entraîneurs et préparateurs physiques de garder un œil sur les capacités de VO₂max des joueurs, afin de les maintenir dans les standards, mais il est primordial d'essayer d'améliorer les autres qualités tels que la force, la vitesse, les sprints répétés, etc.

5.3. L'EFFET DU PROGRAMME SUR LES MESURES DE VITESSE

Dans le domaine sportif, l'accélération correspond au changement (augmentations) de la vitesse en fonction du temps et est exprimé par une unité de distance, par une unité de temps au carré (m/s^2) tandis que la vitesse de pointe est la vitesse maximale à laquelle un joueur peut sprinter et s'exprime en m/s, (Little et al., 2005). Selon Delecluse et al. (1995), l'entraînement des sportifs, avec des charges lourdes et des basses répétitions, a permis aux participants d'accroître la vitesse de sprint sur de courtes distances, en particulier leur vitesse d'accélération. Pour ce qui nous concerne, notre intervention sur le groupe choisi, montre des résultats très probants sur la vitesse. Mentionnons que lors d'un sprint, la phase d'accélération se produit entre le départ et les 10 premiers mètres. Quant à, la vitesse de pointe du sportif, elle est atteinte, entre 10 m et 60 m (Delecluse et al., 1995). Nos sujets ont amélioré leurs temps de sprints sur 30 m de façon significative; ils ont sans aucun doute amélioré leur vitesse, notamment la composante d'accélération. Sachant qu'au football, la distance moyenne des sprints varie entre 15 et 40 m. (Gabbett et al., 2008), on peut

conclure qu'il est primordial pour le footballeur d'améliorer sa capacité d'accélération. Toutefois, il a été observé par Reilly (1996) qu'une fin de match peut occasionner une multitude de sprints répétés, alors que les changements tactiques créent souvent un sentiment «d'urgence» qui change le rythme, surtout lorsqu'une équipe est à la recherche d'un résultat. D'ailleurs, Magal et al. (2003) observent un ralentissement des sprints sur 5 et 10 mètres lors de cette période. Donc, l'amélioration du sprint, y compris en fin de match, est primordiale, comme nous l'indiquons ci-dessous.

Les travaux de Paton et al. (2001), sont précis sur l'accélération. En effet, ils indiquent qu'un écart d'environ 0,8% en vitesse de sprint, pourrait avoir un effet important sur la probabilité d'une perte de possession du ballon ou lorsque deux adversaires sprints pour un ballon. En se fiant aux résultats de l'intervention, notre programme d'entraînement expose une amélioration de 6,5% sur 30 mètres. Ainsi, à quelques semaines d'écart conséquent à l'intervention, le joueur, qui auparavant était devancé par son adversaire, est capable de se déplacer plus vite lors d'un départ arrêté sur une courte distance, grâce au programme d'entraînement. Cette amélioration lui sera utile lors d'une phase de jeu arrêté par exemple. En effet, ce même joueur qui arrivait deuxième sur le ballon peut maintenant devancer son adversaire direct, que ce soit lors d'une course en profondeur ou lors d'un repli défensif.

Les mesures de vitesse sont d'autant plus importantes que dans le cadre d'un match de football, les actions les plus décisives au cours d'une partie, sont représentées par des actions de travail à hautes intensités, telles que des sprints, tacles et tirs (Hoff et Helgerud, 2004). En extrapolant les données de la section des résultats, en mètre on remarque une amélioration moyenne de 52 cm à chaque secondes. Il ne suffit que de 2 secondes pour créer un peu plus d'un mètre d'écart entre le même joueur, avant et après l'intervention. En conséquence, les joueurs ayant suivi le programme

d'entraînement seront en mesure d'être plus décisifs lors d'actions impliquant une accélération ou un sprint, aussi bien en phase de jeu offensive que défensive.

Il faut également mentionner, comme première observation, que la capacité d'accélération d'un joueur peut faire la différence lorsqu'il s'agit de faire plusieurs efforts consécutifs de type RSA. Rappelons qu'un des facteurs déterminant de la fatigue lors des RSA est le résultat du sprint initial qui s'est toujours avéré être plus positivement corrélée avec la diminution des performances sprints (Mendez et al., 2008). Ainsi, l'amélioration de la vitesse des sprints des joueurs, lors de l'intervention, a amélioré la possibilité d'effectuer des sprints consécutifs plus rapides lorsque les pauses sont très rapprochés. De plus, la deuxième observation à noter, et non la moindre, est que la moyenne des temps enregistrés lors du post test de RSA (4,25s.) est presque égal au temps enregistré au test de sprints sur 30 mètres (4,22s.), avant l'intervention. En d'autres mots, nos joueurs courent pratiquement aussi vite après 6 sprints entrecoupés de 20 secondes de récupération active, qu'ils couraient lors d'un seul sprint sur 30 mètres.

De ce fait, il faut rappeler que même si les actions à hautes vitesses contribuent seulement à 11% de la distance totale couverte lors d'un match, elles constituent les moments les plus cruciaux du jeu et contribuent directement à gagner possession de balles et à marquer ou concéder des buts (Reilly et al., 2000). Notre programme d'entraînement en musculation a donc eu une incidence positive sur les aptitudes de vitesse (accélérations, sprints. RSA) de ses footballeurs élites.

5.4. L'EFFET DU PROGRAMME SUR LES MESURES DE FORCE ET D'AGILITÉ

Premièrement, rappelons-nous qu'une des raisons motivant cette étude était l'existence d'une croyance populaire encore bien ancrée dans le milieu du football qui est de penser que des joueurs plus lourds seraient certes plus forts, mais pourrait être moins agiles. Il s'agissait ainsi de battre cette idée en brèche.

Tel que mentionné précédemment, l'effet de l'entraînement en force résulte en de grandes améliorations de performance, dans les actions comme le saut et les sprints sur courtes distances c'est-à-dire 10 à 60 m (Delecluse et al., 1995; Silva, 2015). De plus, la force des membres inférieurs est une aptitude importante chez le footballeur. En effet, Arnason et al. 2004, traitent de l'association entre le succès des équipes et la capacité de ses joueurs à effectuer des sauts. D'autres travaux font un lien de causes à effet entre la force des membres inférieurs et l'habileté à faire des sauts au football (Hoff et Helgerud, 2004; Wisloff et al, 2004). A travers les résultats des sauts en longueur obtenus lors de notre intervention, on peut avancer que l'implémentation d'un programme de musculation permet d'améliorer significativement la force explosive des membres inférieurs des footballeurs. Il faut mentionner que nous avons opté pour le saut en longueur puisqu'il était plus facile à réaliser dans le contexte de notre étude. Toutefois, il est difficile de trouver des mesures étalons dans la littérature. La majorité des études utilisent le test de détente sèche (squat Jump) ou le test avec phase pliométrique (counter mouvement jump). Cependant une étude sur différents tests de sauts incluant le saut en longueur valide qu'il évalue indirectement la force explosive des muscles lors de ce test (Jakubšová et al., 2011).

Deuxièmement, notons que l'agilité n'a pas une définition globale, mais elle est souvent reconnue comme la capacité à changer de directions, de démarrer et d'arrêter rapidement (Gambetta, 1996). Le test Illinois est donc idéal pour cette étude puisqu'il nous permet de vérifier la capacité d'un joueur à changer rapidement de directions sans perte de vitesse, d'équilibre, ou de contrôle. Le test d'Illinois peut être décrit comme un des rares tests d'agilité qui intègre jusqu'à 12 changements de directions avec une application de la force horizontale dominante pendant l'effort (Brughelli et al., 2008). Selon Bloomfield (2007), un joueur de football change de direction toutes les 2 à 4 secondes soit entre 1200-1400 fois lors d'un match. De ce fait, dans le contexte de ce sport, les joueurs doivent être capables d'effectuer, avec succès, de bons changements dans différentes directions, et souvent, dans des espaces réduits (Bloomfield 2007). Ainsi l'aptitude d'agilité est importante chez le footballeur. De plus, Gil et al. (2007), ajoute que l'agilité semble être un des facteurs les plus déterminants au succès des footballeurs passé l'âge de 15 ans. L'analyse statistique de données provenant d'une batterie de test, inclus l'agilité dans une combinaison de quatre variables faisant la distinction entre le joueur d'élite et le joueur sous-élite.

Ainsi, l'implémentation d'un programme de musculation chez le footballeur élite est primordiale dans le succès du footballeur d'élite. Notre étude démontre une amélioration significative des sujets au test d'Illinois et par conséquent sur la composante d'agilité. Au football, cette amélioration est utile durant certaines phases de jeu comme les courses incluant des changements de directions, que ce soit lors de phases défensives et offensives. De plus, des travaux semblent montrer une relation positive entre l'agilité et la performance du dribble au football (Haghighi et al., 2012). Subséquemment, un joueur possédant une bonne technique, et qui suit un programme de musculation sera en mesure d'améliorer son agilité et par conséquent sa composante technique du dribble.

5.5. LIMITATIONS

Il faut souligner plusieurs limitations lors de cette étude. En premier lieu, l'absence d'un groupe contrôle permettant une comparaison avec le groupe expérimental aurait mis hors de tout doute l'hypothèse proposée. Cependant, cette étude est une première pour le chercheur qui voulait surtout s'assurer d'avoir un échantillon valide. De plus pour des fins de logistique, il était plus simple de s'en tenir à un groupe expérimental car nombreux sont les pensionnaires de l'académie qui peuvent s'absenter pour rejoindre leurs sélections nationales respectives, être remerciés de leur services à tous moments, ou tout simplement être à l'écart du jeu pour cause de blessures. L'absence du groupe contrôle aurait aussi été intéressante vu la tranche d'âge des joueurs. En effet tel que mentionné dans la discussion dans cette catégorie d'âge, le RAE et la génétique peuvent changer la donne. Ainsi, la présence d'un groupe contrôle, aurait permis de donner encore plus de poids aux résultats obtenus. Cependant, l'étude ne s'étale que sur 12 semaines il est difficile d'affirmer que la maturation plutôt que l'entraînement explique ces résultats.

Une autre limitation lors de cette étude était le matériel disponible pour le test de composition corporelle. En effet, le pourcentage de gras a été mesuré avec un caliper Harpenden. Il en va de soi que même si le chercheur est très expérimenté avec l'appareil, un pourcentage d'erreur peut exister en utilisant cette technique. Il serait préférable d'utiliser un appareil de mesure plus fiable comme un scanner DEXA (Dual-energy X-ray absorptiometry) lors de futurs travaux.

Pour terminer d'autres facteurs limitatifs pouvaient agir sur les résultats tels que des modifications au niveau des habitudes de sommeil et une variation du régime alimentaire des académiciens. Cependant tel qu'expliqué dans la section discussion,

les joueurs se trouvent dans un environnement contrôlé. En effet les règles de l'internat sont très strictes, les heures de couvre-feu, les heures de fermeture des lumières ou encore de sieste sont fixes. La qualité de sommeil a difficilement pu être modifiée. Pour la nourriture, le repas servi à la cafétéria est le même pour tous les joueurs. De plus, le menu n'a pas subi de modifications au cours des 12 semaines de l'étude.

Ainsi malgré quelques limitations majoritairement au niveau du processus expérimental les résultats de cette recherche indiquent qu'un plan d'entraînement en musculation sur 12 semaines chez les footballeurs U-19 n'a pas d'effet négatif sur le VO_2 max des joueurs

CONCLUSION

Cette étude a permis de vérifier plusieurs hypothèses. Premièrement, rappelons que le but de cette étude était de vérifier l'effet d'un programme d'entraînement en musculation sur le VO_2 max de footballeurs élités de moins de 19 ans. La présente recherche démontre qu'un programme de musculation n'est pas délétère et en fait, améliore significativement le volume maximal de consommation d'oxygène des joueurs. En deuxième lieu il fallait vérifier que le programme de musculation apportait des gains hypertrophiques. L'étude démontre qu'un programme de musculation qui se sert de patrons de mouvements plutôt que des groupes musculaires apporte des gains hypertrophiques chez les footballeurs. Et en dernier lieu, il fallait vérifier l'incidence du programme sur certaines aptitudes physique des footballeurs. Les résultats de cette étude démontrent que l'implantation d'un programme de musculation apporte une amélioration significative sur les sprints, les sprints répétés, l'agilité et la puissance des jambes chez le footballeur d'élite U-19. Le programme a également eu une incidence positive sur la VMA des footballeurs toutefois, elle n'était pas significative.

Pour terminer, l'intervention qui s'est étalé sur 12 semaines peut permettre de formuler les conclusions suivantes:

- un programme de musculation hybride par plan de mouvements améliore l'aptitude aérobie et physique des joueurs de football.
- Malgré des gains hypertrophiques significatifs, le footballeur préserve ou même améliore son VO_2 max, sa vitesse de sprints sur 30 mètres, sa capacité à effectuer des sprints répétés (RSA), son agilité et sa puissance dans les membres inférieurs.

Toutefois un plan d'entraînement en musculation doit être individualisé et respecter plusieurs principes. Le préparateur physique du football doit se servir de tous les éléments disponibles afin de développer les footballeurs de manières complètes. Il doit être capable d'avoir une planification adéquat afin d'aider les joueurs autant sur le plan physique que technique.

En conclusion, la présente étude indique que le préparateur physique peut incorporer en toute quiétude un programme de musculation chez des footballeurs U19.

Toutefois, il demeurera à démontrer si un programme de musculation peut avoir le même effet au rang des professionnels.

ANNEXE A: RÉSULTATS INDIVIDUELS DES MESURES ANTHROPOMÉTRIQUES

Numéros	AGE	MESURES ANTHROPOMETRIQUES							
		Taille	Poids	% de gras	IMC	Taille	Poids	% de gras	IMC
1	16	172	64.9	9.39	21.94	172.5	65.3	7.41	21.90
2	15	178.5	70.8	8.83	22.22	179	73.3	8.83	22.9
3	14	169.5	59.1	9.96	20.57	169.5	60.2	8.69	21
4	16	167	59.1	8.79	21.19	167	59.8	7.26	21.4
5	16	171.5	59.7	8.42	20.3	171.5	60.3	7.56	20.5
6	16	171	60.08	7.84	20.55	171.5	61.6	6.79	20.9
7	16	172	55.8	9.09	18.86	172.5	57.3	7.26	19.3
8	17	164.75	54.9	11.29	20.29	164	55.3	6.63	20.6
9	16	181.5	62.7	12.26	19.03	182	65.7	10.8	19.8
10	16	178.25	60	11.29	18.88	179	60.5	9.85	18,9
11	15	178	70.8	9.09	22.35	178	73.2	8.14	23.1
12	15	174	57.4	9.09	18.96	174	58.5	8.42	19.3
13	18	184.5	75.4	10.24	22.15	184.5	76.1	9.48	22.4
14	17	170.5	68.4	11.29	23.53	171	68.3	7.85	23.4
15	17	166.5	65.3	12.73	23.56	167.5	65.8	10.22	23.5
16	17	178.25	71.5	11.29	22.5	179	74.2	8.96	23.2
17	17	176.5	62	8.69	19.9	176.5	62.9	7.11	20.2
18	15	185	63.9	9.22	18.7	185.5	65.1	7.85	18.9
19	13	178	60.8	7.85	19.2	178	60.6	6.95	19.1
20	13	186.5	70.4	8.83	20.2	186.5	72	8.28	20.8

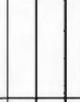
**ANNEXE B: RÉSULTATS INDIVIDUELS DES MESURES
DE VITESSE AU SPRINT 30M. ET AU RSA (6 X30-M)**

Numéros	TESTS DE VITESSE SUR 30 M									
	30M	MOYENNE	RSA	LENT	MOYENNE	30M	MOYENNE	RSA	LENT	MOYENNE
1	3.93	3.99	3.99	4.27	4.12	3.93	3.99	3.99	4.27	4.12
2	4.04	4.06	3.8	4.28	3.94	4.04	4.06	3.8	4.28	3.94
3	4.01	4.08	4.25	4.69	4.2	4.01	4.08	4.25	4.69	4.2
4	3.78	3.84	3.95	4.44	4.19	3.78	3.84	3.95	4.44	4.19
5	3.94	4.01	4.12	4.31	4.24	3.94	4.01	4.12	4.31	4.24
6	3.98	4.01	4.07	4.25	4.19	3.98	4.01	4.07	4.25	4.19
7	4.01	4.08	4.13	4.57	4.40	4.01	4.08	4.13	4.57	4.40
8	3.99	4.00	4	4.47	4.33	3.99	4.00	4	4.47	4.33
9										
10	4.08	4.09	4.1	4.36	4.26	4.08	4.09	4.1	4.36	4.26
11	3.95	3.99	4.09	4.42	4.25	3.95	3.99	4.09	4.42	4.25
12	3.91	4.02	4.22	4.42	4.39	3.91	4.02	4.22	4.42	4.39
13	3.93	3.95	4	5.3	4.56	3.93	3.95	4	5.3	4.56
14	3.95	3.98	4.1	4.19	4.15	3.95	3.98	4.1	4.19	4.15
15	3.90	3.97	4.06	4.31	4.21	3.90	3.97	4.06	4.31	4.21
16	3.85	3.86	3.79	4.09	3.96	3.85	3.86	3.79	4.09	3.96
17	3.75	3.79	3.89	4.14	4.02	3.75	3.79	3.89	4.14	4.02
18	4.01	4.15	4.09	4.42	4.33	4.01	4.15	4.09	4.42	4.33
19	3.98	4.01	3.98	4.76	4.26	3.98	4.01	3.98	4.76	4.26
20	4.53	4.54	4.55	5.25	4.94	4.53	4.54	4.55	5.25	4.94

**ANNEXE C: RÉSULTATS INDIVIDUELS DU TEST DE
FORCE DES MEMBRES INFÉRIEURS**

Numéros	SAUT FORCE DES MEMBRES INFÉRIEURS			
	2 pieds	Moyenne	2 pieds	Moyenne
1	2.3	2.05	2.3	2.05
2	2.35	2.33	2.35	2.33
3	2.35	2.25	2.35	2.25
4	2.2	2.18	2.2	2.18
5	2.25	2.23	2.25	2.23
6	2.15	2.13	2.15	2.13
7	2.4	2.30	2.4	2.30
8	2.08	2.02	2.08	2.02
9	2.35	2.28	2.35	2.28
10	2.3	2.09	2.3	2.09
11	2.33	2.20	2.33	2.20
12				
13	2.51	2.49	2.51	2.49
14	2.54	2.51	2.54	2.51
15	2.19	2.17	2.19	2.17
16	2.59	2.54	2.59	2.54
17	2.34	2.34	2.34	2.34
18				
19	2.20	2.18	2.20	2.18
20	2.28	2.27	2.28	2.27

ANNEXE D: JOURNAL DE BORD INDIVIDUEL DES CHARGES

										
semaine 1										
semaine 1										
semaine 2										
semaine 2										
semaine 3										
semaine 3										
semaine 4										
semaine 4										
semaine 5										
semaine 5										
semaine 6										
semaine 6										
semaine 7										
semaine 7										
semaine 8										
semaine 8										
semaine 9										
semaine 9										
semaine 10										
semaine 10										
FEUILLE DE PROGRESSION PAR JOUEURS U-19 ASEC-MIMOSAS										

ANNEXE E: CONSIDÉRATIONS ÉTHIQUES

Les considérations éthiques suivantes ont été retenues dans la démarche de ce projet de recherche.

1. Tous les participants ont été renseignés du projet de recherche et du déroulement de l'activité de recherche;
2. Tous les participants ont été informés des risques reliés à la participation au projet de recherche;
3. Tous les participants ont été informés qu'il pouvait se retirer du projet de recherche à n'importe quel moment sans cause et préjudice à leur égard;
4. Tous les participants ont participé au projet de recherche de manière volontaire;
5. Les résultats ont été conservés sous clé dans le bureau de l'investigateur principal et sur dans un ordinateur verrouillé par un mot de passe;
6. Si intéressé, chaque participant recevait de manière confidentielle ses propres résultats;
7. Chaque participant a été traité de façon anonyme dans le dévoilement public des résultats. Uniquement les résultats sous la forme de moyennes de groupe ont été présentés à des congrès scientifiques;
8. Les données seront détruites 5 années après la dernière publication scientifique dans un journal avec comité de revue par les pairs.

BIBLIOGRAPHIE

- Adams G.R., et Bamman M.M. 2012 Characterization and regulation of mechanical loading-induced compensatory muscle hypertrophy. *Compr. Physiol.*, 2, 2829-70.
- Apor P. 1988 Successful formulae for fitness training. in: T. Reilly, A. Lees. K. Davids, and W. J. Murphy (Eds.) *Science and football* London/New York: E & FN Spon, 95-107.
- Arnason A., Sigurdsson SB, Gudmundsson A, Holme I, Engebretsen L, Bahr R. 2004 Physical fitness, injuries, and team performance in soccer. *Med Sci Sports Exerc.*, 36(2): 278-85.
- Astrand P.O., Rodahl K. 1986 *Textbook of Work Physiology* 3rd ed. McGraw Hill, New York. 614-627.
- Baker G., Wilson G., Carlyon R. 1994 Periodization: the effect on strength and manipulating volume and intensity, *J.Strength and Cond. Res.*, 8(4): 235-42
- Balsom P.D., Seger J.Y., Sjodin B., Ekblom B 1992 Maximal-intensity intermittent exercise: effect of recovery duration. *Int J Sports Med.*, 13(7): 528-33.
- Bangsbo J., Mizuno M., 1988. Morphological and metabolic alterations in football players with detraining and retraining and their relation to performance. T. Reilly, A. Lees. K. Davids, and W. J. Murphy (Eds.) *Science and football* London/New York: E & FN Spon, 95-107.
- Bangsbo J., Norregaard L., Thorsoe F. 1991. Activity profile of competition football. *Can J. Sport Sc.*, 16(2):110-6.
- Bangsbo J. 1994. The physiology of football with special reference to intense intermittent exercise *Acta Physiol. Scand Suppl.*, 619, 1-155.

- Bangsbo J. 1998. Quantification of anaerobic energy production during intense exercise, *Med Sci Sports Exerc.*, 30(1):47-52.
- Bassett D.R., Howley E.T., 2000 Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc.*, 32(1): 70-84.
- Beckham S. et Harper M. 2010 Functional training: Fad or here to stay? *ACSM's Health & Fitness Journal*, 14(6): 24-30
- Behm D.G. et Sale D.G. 1993. Velocity specificity of resistance training. *Sports Med.*, 15(6): 374-88
- Behm D.G. 1995 Neuromuscular implications and applications of resistance training. *J. Strength Cond. Res.*, 9(4):264-274.
- Billat V.L., Sirvent P., PY G., Koralsztein J.P., Mercier J., 2003. The concept of maximal lactate steady state: a bridge between biochemistry, *physiology and sport science*. *Sports Med.*, 33(6): 407-426
- Bishop D. et Castagna C. 2002 Repeated sprint ability *La scienza della teknosport*, 24(6)
- Bloomfield J. et Wilson. G. 1998 Flexibility in sport in: *Training in Sport*, Edited by B.Elliott New York: John Wiley & Sons 239-85.
- Bloomfield J., Polman R., O'Donoghue P. 2007 Physical demands of different positions in FA premier league football *J Sports Sci Med.*, 6(1):63-70
- Boyle M. 2004 Functional Training for Sports. Champaign (IL): *Human Kinetics* 3-4.
- Bransford D.R. et Howley E.T. 1977 Oxygen cost of running in trained and untrained men and women. *Med Sci Sports*, 9(1):41-4

- Brewer J. et Davis J. 1995. Applied physiology of rugby league. Sports in rugby league. *Sports Med.*, 20(3): 129-35. A
- Brughelli M., Cronin J., Levin G., Chaouachi. 2008 Understanding change of direction ability in a review of resistance training studies. *A Sports Med.*, 38(12):1045-63.
- Burke L.M., Read R.S., Gollan R.A. 1985 Australian Rules football: an anthropometric study of participants. *Br J Sports Med.*, 19(2):100–102.
- Cazorla G. 1990 Field tests to evaluate aerobic capacity and maximal aerobic speed. In: *Proceedings of the International Symposium of Guadeloupe*. Edts: Actshng and Areaps; 151-173.
- Chuman K., Hoshikawa Y., Iida T. 2014 Maturity and intermittent endurance in male football players during the adolescent growth spurt: *a longitudinal study football science*, 11, 39-47.
- Cometti G., Maffiuletti N.A., Pousson M., Chatard J.C., Maffulli N. 2001 Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur football players. *Int J Sports Med.*, 22, 45-51.
- Costill D.L. 1979 A scientific approach to distance running. Los Altos, CA: *Track and Field News*.
- Croisier J.L., Ganteaume s., Binet J., Genty M., Ferret J.M. 2008 Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional football players *A prospective study AJSM.*, (8):1469-75
- Davis J.A. 1985 Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research *Med Sci Sports Exerc.*, 17, 6-21..

- Delecluse C., Van Coppenolle H., Willems E., Van Leemputte M., Diels R., Goris M. 1995 Influence of high-resistance and high-velocity training on sprint performance *Med Sci Sports Exerc.*, 27(8):1203-9.
- Dolezal B.A. et Potteiger J.A. 1986 Resistance training for endurance runner during the off-season. *Strength Cond.* 18(3): 7-10.
- Donnelly J.E., Blair S.N., Jakicic J.M., Manore M.M., Rankin J.W., Smith B.K. 2009 Appropriate physical activity intervention strategies for weight loss and prevention of weight regain for adults. *Med Sci Sports Exerc.*, 41(2): 459-471.
- Dupont G., Akakpo K., Berthoin S. 2004 The effect of in-season, high-intensity interval training in soccer players. *J Strength Cond Res.*, 18(3):584-9.
- Durnin, J.V.G.A. et Rahaman M.M. 1967 The assessment of the amount of fat in the human body from the measurements of skinfold thickness. *Br. J. Nutr.*, 21(3): 681-89.
- Fédération internationale de football amateur FIFA 2014 repéré à: <http://fr.fifa.com/worldcup/news/y=2014/m=9/news=la-coupe-du-monde-de-la-fifa-2014-en-chiffres-2443129.html>
- Flecher J.R. Esau S.P. MacIntosh BR, 2009, Economy of running beyond the measurement of oxygen uptake *J Appl Physiol* 107, 1918-22.
- Fleck, S.J. et Falkel, J.E. 1986 Value of resistance training for the reduction of sports injuries. *Sports Med.*, 3(1): 61-8.
- Fleck S.J., Smith S.L., James C.R., Vint P.R. et Porter J. 1992 Relationship of different training jumps to ski jump distance. *Med Sci Sports Exerc* 24: S174.

- Fowler N. et Reilly T. 1993 Assessment of muscle strength asymmetry in football.in: *Contemporary ergonomics* (ed. by EJ Lovesey). London: Taylor and Francis., 337-332.
- Gabbett T.J. et Mulvey M.J. 2008 Time-motion analysis of smallsided training games and competition in elite women football players. *J Strength Cond Res.*, 22(2): 543-552.
- Gaitanos G.C., Williams C., Boobis L.H. 1993 Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *J Appl Physiol.*, 75(2): 712-9
- Gambetta V. 1996 How to develop sport-specific speed.*SportsCoach*.19, 22-24.
- Gil S., Ruiz F., Irazusta A. et Gil J. 2007 Selection of young football players in terms of anthropometric and physiological factors. *J Sports Med Phys Fitness* 47(1): 25-32.
- Gil S., Gil J., Ruiz F., Irazusta J. 2007. Physiological and anthropometric characteristics of young football players according to their playing position: Relevance for the selection process *J.of Strength and Cond. Research* 21(2): 438-45
- Girard O., Mendez-Villanueva A. et Bishop D. 2011. Repeated-Sprint Ability - Part I. Factors Contributing to Fatigue. *Sports Med.*, 41(8): 673-94.
- Glaister M. 2005 Multiple sprint work: physiological responses, mechanisms of fatigue and the influence of aerobic fitness. *Sports Med.*, 35(9): 757-77.
- Grace T.G. 1985 Muscle imbalance and extremity injury: A perplexing relationship. *Sports Medicine.*, 2(2): 77-82.
- Hachana Y., Chaabène H., Nabli M.A., Attia A., Moualhi J., Farhat N., Elloumi M.J. 2013 *Strength Cond Res.* 27(10): 2752-9.

- Haghighi A., Moghadasi M., Nikseresht A., Torkfar A. 2012. Effects of plyometric versus resistance training on sprint and skill performance in young football players. *Eur J Exp Biol.* 2 (6): 2348-51.
- Hakiknen K., Alen M., Komi P.V. 1985 Changes in isometric force-and relaxation time, electromyographic and muscle fiber characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining *Acta Physiol.Scand.*125, 573-83
- Haugen T., Tønnessen E., Hem E., Leirstein S., Seiler S. 2014 VO₂max characteristics of elite female football players, *International j. sports physiol. and performance*, 9(3): 515-21.
- Haugen T. et Seiler S. 2015 Physical and physiological testing of football players: why, what and how should we measure? *Sportscience* 19, 10-26.
- Helgerud J., Engen L.C., Wisloff U., Hoff J. 2001 Aerobic endurance training improves football performance *Med Sci Sports Exerc.*, 33(11): 1925-31.
- Hickson R.C. 1980 Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *Eur J Appl Physiol* 45(2): 255-63.
- Hoff J. Helgerud J. 2002 Maximal strength training enhances running economy and aerobic endurance performance. In: Hoff J, Helgerud J, editors. *Football (football): new developments in physical training research*. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology., 2, 39-55
- Hoff J. et Helgerud J. 2004 Endurance and strength training for football players physiological considerations *Sports Med.*, 34(3): 165-80.
- Jakubšová Z., Vaverka F, Jandačka Z. 2011 Comparaison of the lower extremities explosive muscular strength test in different performance level and age groups of women volleyball players, *Acta Univ. Palacki. Olomuc., Gymn.*, 41(4): 7-15

- Jones A.M. et Carter H. 2000. The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Med.*, 29(6): 373-86.
- Jung A.P. 2003. The impact of resistance training on distance running performance *Sports Med.*, 33(7): 539–552.
- Kindermann W., Simon G., Keul J. 1979 The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.*, 42, 25-34.
- Kraemer W.J., Hakkinen K., Newton R.U., Nindl B.C., Volek, J.S., McCormick M., Gotshalk L.A., Gordon S.E., Fleck S.J., Campbell W.W., Putukian, M. et Evans WJ, 1999 Effects of heavy-resistance training on hormonal response patterns in younger vs. older men. *J Appl Physiol.*, 87(3): 982-992.
- Kraemer W.J., Ratamess N.A., French D.N. 2002. Resistance training for health and performance *Curr Sports Med Rep.*, 1(3): 165-71.
- Krustrup P., Mohr M., Nybo L., Jensen L.M., Nielsen J.J., Bangsbo J. 2006 The Yo-Yo IR2 test: physiological response, reliability, and application to elite football. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 38(9): 1666-73.
- Larder P. 1992 *The Rugby League Coaching Manual* 2nd ed. London: Kingswood Press
- Leger L. et Gadoury C, 1989 Validity of the 20 m shuttle run test with 1 min stages to predict VO₂max in adults. *Can. J.Sport Sci.*, 14(1):21–26.
- Little T. et Williams A.G. 2005. Specificity of acceleration, maximum speed and agility in professional football players *J. Strength Cond. Res.*, 19(1):76-78.

- Magal M., Webster M.J., Sistrunk L.E., Whitehead M.T., Evans R.K. et Boyd J.C. 2003 Comparison of glycerol and water hydration regimens on tennis-related performance *Med. and Sc. in Sports and Exerc.*, 35(1):150-156.
- McArdle W.D., Katch F.I., Katch V.L. 2001. Exercise physiology energy, nutrition, and human performance. Lippincott Williams & Wilkins. USA. 5^{ème} edition.
- McMillan K., Helgerud J., Grant S.J., Newell J., Wilson J., Macdonald R., Hoff J. 2005. Lactate threshold responses to a season of professional British youth football *Br. J. Sports Med.*, 39(7): 432-36.
- Meir R., Arthur D., Forrest M., 1993 Time and motion analysis of professional rugby league: a case study. *Strength Cond Coach*; 1, 24-9.
- Mendez-Villanueva A., Hamer P., Bishop D. 2008 Fatigue in repeated-sprint exercise is related to muscle power factors and reduced neuromuscular activity. *Eur J Appl Physiol*; 103(4): 411-9.
- Montgomery D.L. 2000 Physiology of ice hockey. *Exercise and sport science*. Edited by Garrett W.E. Jr., and Kirkendall K.D., Lippincott, Williams & Wilkins, Philadelphia, Penn. 815-28.
- Montgomery D.L. 2006 Physiological profile of professional hockey players- a longitudinal comparison *Appl. Physiol. Nutria. Metab.* 31(3): 181-85.
- Mujika I., Vaeyens R., Matthys S.P.J., Santisban J., Goiriena J., Philippaerts R. 2009 The relative age effect in a professional football club setting. *J Sports Sci.*, 27(11): 1153-8.
- Musch J. et Grondin S. 2001 Unequal competition as an impediment to personal development: a review of the relative age effect in sport. *Developmental Review* 21(2): 147-67

- Nesser T.W. et Lee W.L. 2009 The relationship between core strength and performance in Division I female football players *JEP online*, 12(2): 21-8.
- Noakes T.D. 1988 Implications of exercise testing for prediction of athletic performance: a contemporary perspective. *Med.Sci.Sports Exerc.*, 20(4): 319-30.
- Okada T., Huxel K.C., Nesser T.W. 2011 Relationship between core stability, functional movement, and performance. *J Strength Cond Res.*, 25(1): 252-61
- Paavolainen L., Hakkinen K., Hamalainen I., Nummela A., Rusko H., 1999. Explosive-strength training improves 5km running time by improving running economy and muscle power. *J Appl Physiol.*, 86(5): 1527-33.
- Pate R.R. et Kriska A. 1984 Physiological basis of the sex difference in cardiorespiratory endurance. *Sports Med.*, 1(2): 87-98.
- Paton C.D., Hopkins W.G., Vollebregt L., Little T. 2001. Effect of caffeine ingestion on repeated sprints in team-sport athletes. *Med Sci Sports Exerc.*, 33(5): 822-5.
- Pugh L.G. 1971 The influence of wind resistance in running and walking and the mechanical efficiency of work against horizontal or vertical forces. *J Physiol.*, 213(2): 255-76.
- Pyne D.B., Saunders P.U., Montgomery P.G., Hewitt A.J., Sheehan K. 2008 Relationships between repeated sprint testing, speed, and endurance *J. Strength Cond Res.*, 22(5): 1633-37.
- Rampinini E., Bishop D., Marcora S. M., Ferrari Bravo D., Sassi R., Impellizzeri, F.M. 2007 Validity of simple field tests as indicators of match-related physical performance in top-level professional football players. *Int J Sports Med.*, 28(3) 228-35.

- Raya M.A., Gailey R.S., Gaunaud I.A., Jayne D.M., Campbell S.M., Gagne E., Manrique P.G., Muller D.G., Tucker C. 2013 Comparison of three agility tests with male servicemembers: Edgren Side Step Test, T-Test, and Illinois Agility Test *JRRD* 50(7): 951-60
- Reilly T. et Thomas V. 1977. Applications of multivariate analysis to the fitness assessment of football players. *British Journal of Sports Medicine*, 11(4): 183-4.
- Reilly T. 1990. Football *In Physiology of Sports* (edited by T. Reilly, N. Secher, P. Snell and C. Williams), London: E & FN Spon. 371-425.
- Reilly T. 1996 *Science and Football*. London: E & FN Spon.
- Reilly T. 1997 Energetics of high-intensity exercise (football) with particular reference to fatigue *Journal of Sports Sciences* 15(3): 257-263.
- Reilly T. et Bangsbo J. 1998. Anaerobic and aerobic training. In *Training in Sport: Applying Sport Science* (edited by B. Elliott), pp. 351- 409.
- Reilly T. Bangsbo J. et Franks A. 2000. Anthropometric and physiological predispositions for elite football *Journal of Sports Sciences* 18(9): 669-83.
- Rienzi E., Mazza J.C., Carter J.E.L. et Reilly T. 1998 Futbolista Sudamericano de elite: Morfologia, Analisis Del Juego y Performance. Argentina: editorial, *Biosystem Servicio Educativo*.
- Robinson J.M., Stone M.H., Johnson R.L., Penland C.M., Warren B.J. et Lewis D. 1995 Effects of different weight training exercise/rest intervals on strength, power, and high intensity exercise endurance *The J. Strength and Cond. Res.*, 9(4): 216-21
- Rutherford O.M. et Jones A 1986. The role of coordination in strength training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 55(1): 100-5.

- Saunders P.U., Pyne D.B., Telford R.D. et Hawley J.A. 2004 Factors affecting running economies in trained distance runners. *Sports Med.*, 34(7): 465-85,
- Schmidtbleicher D. 1992 Training for power events. In: Komi PV, ed. *Strength and power in sport*. Oxford: Blackwell Scientific Publications 381-95.
- Schoenfeld B.J. 2010 The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *J Strength Cond Res.*, 24(10): 2857-72
- Sedeaud A., Vidalin H., Tafflet M., Toussaint J.F 2013 Rugby morphologies: "Bigger and taller", reflects an early directional selection *The J. of sports med. and physical fitness*, 53(2): 185-91.
- Silva J.R., Nassis G.P. et Rebelo A. 2015 Strength training in football with a specific focus on highly trained players *Sports Medicine - Open* 2(1): 1-27.
- Smith D. et Bruce-Low S. A reply to Hoff and Helgerud (2004). [Manuscrit non publié]
- Spencer M., Bishop D., Dawson B. et Goodman C. 2005 Physiological and metabolic responses of repeated sprint-activities: specified to field-based team sports. *Sports Med.*, 35(12):1025-44.
- Sportperformance: www.sport-performance.com
- Stolen T., Chamari K., Castagna C. et Wisloff V 2005. Physiology of football: an update. *Sports Med.*, 35(6): 501-36.
- Støren O., Helgerud J., Stoa E.M. et Hoff J .2008 Maximal strength training improves running economy in distance runners. *Medicine and science in sports and exercise* 40(6): 1087-92.
- Tesch P. et Larson L. 1982 Muscle hypertrophy in bodybuilders. *Eur J Appl Physiol.*, 49(3): 301-6

- Toigo M. et Boutellier U. 2006 New fundamental resistance exercise determinants of molecular and cellular muscle adaptations *Eur J. Appl Physiol* 97(6): 643-63.
- Tønnessen E., Hem E., Leirstein S., Haugen T. et Seiler S. 2013 Maximal aerobic power characteristics of male professional football players, 1989-2012. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 8, 323-329
- Trapattoni G. 1999 Coaching high performance football. Spring City (PA): Reedswain Inc.
- Vierck J., O'Reilly B., Hossner K., Antonio J., Byrne K., Bucci L. et Dodson M. 2000 Satellite cell regulation following myotrauma caused by resistance exercise. *Cell Biol Int* 24(5): 263-72
- Weineck L. 1997 *Manuel d'entraînement Physiologie de la performance sportive et de son développement dans l'entraînement de l'enfant et de l'adolescent.* : Paris : Vigot.
- Williams J.H. 2010 Relative age effect in youth football: analysis of the FIFA U17 World Cup competition *Scand J Med Sci Sports.*, 20(3): 502-8.
- Wilmore et Costill 1998 *Physiologie du sport et de l'exercice physique.* Paris: De Boeck Université.
- Wisløff, U., Helgerud J. et Hoff J. 1997 Strength and endurance of elite football players. *Med Sci Sports Exerc.*, 30(3):462-7
- Wisløff U., Helgerud I., et Hoff J. 1998 Strength and endurance of elite football players *Med. Scie. Sports Exere.*, 30(3): 462-67.

Wisløff U., Castagna C., Helgerud J., Jones R., Hoff J. 2004 Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Br J Sports Med.* 38, 285-288.