

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

ÉVALUATION DES QUALITÉS NEUROMUSCULAIRES AU SOCCER

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE

PAR

LÉOPOLD-TOM GALLAND-HÉBERT

AOÛT 2024

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.12-2023). 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

D'abord, un énorme merci à ma famille et mes amis, pour leur support et leurs encouragements pendant ces dernières années, vous m'avez aidé à poursuivre malgré les difficultés et les défis et je vous en suis éternellement reconnaissant. Ensuite, un grand remerciement à l'organisation de l'Académie du CF Montréal, leur équipe de soutien intégrée ainsi que les participants et participantes du projet sans qui ce mémoire n'aurait pas pu avoir lieu. Finalement, je tiens à remercier mon professeur et directeur de recherche, Nicolas Berryman, pour m'avoir épaulé, accompagné et rassuré dans les moments plus difficiles.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	ii
LISTE DES FIGURES.....	v
LISTE DES TABLEAUX.....	vi
LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES.....	vii
LISTE DES SYMBOLES ET DES UNITÉS.....	ix
RÉSUMÉ.....	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1 REVUE DE LA LITTÉRATURE	2
1.1 L'analyse des mouvements dans le temps.....	3
1.1.1 Distances parcourues	4
1.1.2 Vitesses atteintes.....	5
1.1.3 Actions spécifiques au soccer et leur importance	9
1.2 Demandes physiologiques.....	11
1.2.1 Filières énergétiques	12
1.3 Qualités neuromusculaires	18
1.3.1 Qualité de puissance	19
1.3.2 Qualité de force.....	20
1.3.3 Qualité de vitesse	22
1.3.4 Relation Puissance-Force-Vitesse.....	23
1.4 Modèle de performance proposé.....	25
1.5 Évaluation de la condition physique spécifique au soccer	28
CHAPITRE 2 PROBLÉMATIQUE.....	36
2.1 Pratiques actuelles en préparation physique.....	36
2.1.1 Préparation physique intégrée.....	37
2.1.2 Jeux en espace réduit	38
2.2 Thème de recherche	39
2.3 Objectifs & hypothèses	40
CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE	41
3.1 Approche expérimentale	41
3.2 Description des athlètes.....	41
3.3 Description des tests.....	42

3.3.1	Saut en longueur sans élan (SL).....	43
3.3.2	Force réactive.....	44
3.3.3	Profil Force-Vitesse vertical	45
3.3.4	Changement de direction	45
3.3.5	Profil Force-Vitesse horizontal	46
3.4	Analyses statistiques	47
CHAPITRE 4 RÉSULTATS.....		48
4.1	Caractéristiques descriptives des athlètes	48
4.2	Comparaisons entre les groupes d'athlètes	49
4.3	Corrélations	51
4.4	Régressions linéaires.....	52
CHAPITRE 5 DISCUSSION.....		54
5.1	Description et comparaison des différentes variables de performance	54
5.1.1	Saut en longueur sans élan (SL).....	55
5.1.2	Force réactive.....	55
5.1.3	Profil F-V vertical.....	56
5.1.4	Changement de direction	57
5.1.5	Profil Force-Vitesse horizontal	58
5.1.6	Synthèse des comparaisons.....	61
5.2	Corrélations entre les variables de performance et le SL.....	63
5.3	Régressions linéaires.....	63
CHAPITRE 6 CONCLUSION ET APPLICATIONS PRATIQUES.....		66
BIBLIOGRAPHIE		69

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 - Assignment technicotactique des joueurs en fonction de leur position sur le terrain (Adapté de Di Salvo et al., 2007).....	6
Figure 1.2 - Les relations Force-Vitesse et Force-Puissance (adapté de Cormie et al., 2011a)	24
Figure 1.3 - Modèle de performance proposé	26
Figure 1.4 - Modèle des composantes de l'agilité (Adapté de Sheppard et Young, 2006 et modifié par Chaabene et al., 2018)	27

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 - Définitions des principales variables d'intérêt des Profils F-V verticaux et horizontaux (adapté de Morin et Samozino, 2016).....	24
Tableau 1.2 - Principaux tests physiques utilisés dans la littérature	29
Tableau 3.1 - Activation préalable aux tests physiques.....	43
Tableau 4.1 - Valeurs anthropométriques et variables de performance	48
Tableau 4.2 - Valeurs anthropométriques pour chaque groupe d'athlètes	49
Tableau 4.3 – Variables de performance pour chaque groupe d'athlètes	51
Tableau 4.4 - Associations entre l'âge, la performance au SL et les variables de performance	52
Tableau 4.5 - Corrélations entre la performance au test de changement de direction et les variables de performance du modèle de Sheppard et Young modifié par Chaabene et al.....	52
Tableau 4.6 - Analyse de régression linéaire de la performance aux changements de direction	53

LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES

CF : Club de Football

CMJ : *Countermovement Jump* (Saut en contre mouvement)

DJ : *Drop Jump* (Saut en contre bas)

F_0 : Force maximale théorique

F_{0REL} : Force maximale théorique relative

FC : Fréquence Cardiaque

GPS : *Global Positioning System* (Système de Géo-Positionnement)

HIIT : *High Intensity Interval Training* (Entraînement à haute intensité par intervalle)

HZT : Horizontal

IMTP : *Isometric Mid-Thigh Pull* (Tirage isométrique à mi-cuisse)

LPT : *Linear position transducers* (Capteur de position linéaire)

MLS : *Major League Soccer* (1^{ère} ligue professionnelle en Amérique du Nord)

NCAA : *National Collegiate Athletic Association*

NSCA : *National Strength and Conditioning Association*

PCr : Phosphocréatine

P_{MAX} : Puissance maximale théorique

P_{MAXREL} : Puissance maximale théorique relative

R^2 : Coefficient de détermination

RFD : *Rate of Force Development* (Taux de développement de la force)

RSA : *Repeated Sprint Ability* (Capacité à répéter des *sprints*)

RSEQ : Réseau du Sport Étudiant du Québec

RSI : *Reactive Strength Index* (Indice de force réactive)

RSI_mod : *Modified Reactive Strength Index* (Indice de force réactive modifié)

SBJ : *Standing broad jump* (Saut en longueur sans élan [SL])

Sfv : Pente

Sfv_{REL} : Pente relative

SJ : *Squat Jump* (Squat sauté)

U12 : *Under 12 years old* (Moins que 12 ans)

U13 : *Under 13 years old* (Moins que 13 ans)

U14 : *Under 14 years old* (Moins que 14 ans)

U15 : *Under 15 years old* (Moins que 15 ans)

U16 : *Under 16 years old* (Moins que 16 ans)

U17 : *Under 17 years old* (Moins que 17 ans)

U18 : *Under 18 years old* (Moins que 18 ans)

U23 : *Under 23 years old* (Moins que 23 ans)

USL : *United Soccer League*

V₀ : Vitesse maximale théorique

VO₂ : Consommation d'oxygène

VO₂Max : Consommation maximale d'oxygène

VRT : Vertical

WSL : *Women's Super League*

YYIR1-2 : Yo-Yo Intermittent Recovery Level 1 - 2

LISTE DES SYMBOLES ET DES UNITÉS

°C : Degrés Celsius

cm : Centimètre

kg : Kilogramme

km : Kilomètre

km/h : Kilomètre par heure

m : Mètre

min : Minute

m/s : Mètre par seconde

N : Newton

N/m : Newton par mètre

N/kg : Newton par kilogramme

s : Seconde

W : Watt

W/kg : Watt par kilogramme

RÉSUMÉ

Le soccer est un sport multifactoriel qui requiert une maîtrise de nombreux aspects précis comme des habiletés techniques et tactiques relatives au jeu mais aussi des qualités physiques et physiologiques permettant de se démarquer en tant qu'athlète. Il a été établi auparavant que l'issue d'un match est définie par le biais d'actions brèves et intenses comme des courses à haute intensité, des changements de directions rapides et des sauts qui mènent à des situations de buts. Ainsi, les qualités neuromusculaires comme la puissance, la vitesse et la force qui sont à la source de ces actions sont de plus en plus observées à travers la littérature mais leur développement n'est pas nécessairement mis de l'avant lors de la préparation physique actuelle. Ce projet vise donc à évaluer les qualités neuromusculaires des athlètes québécois comme la capacité de changement de direction et la force réactive mais aussi à établir des profils force-vitesse individuels afin d'exposer les différences qui se trouvent entre les sexes, l'âge et les niveaux de compétition. Également, ce projet a pour but d'établir des associations entre la performance lors de certains tests de terrain fréquemment utilisés et les variables de performance du profil force-vitesse horizontal en plus de vérifier lesquelles sont déterminantes de la performance lors de changements de direction. Ainsi, 60 athlètes ont pris part à une séance de tests visant à évaluer leurs qualités neuromusculaires. Pour l'entièreté des variables de performance, les athlètes masculins ont exprimé, en moyenne, de meilleurs résultats que le groupe féminin. En effet, les athlètes féminines ont obtenu en moyenne des résultats allant de 8.4% plus faibles (changement de direction) à 37% plus faibles (RSI_mod & P_max) que la moyenne des athlètes masculins du même âge. Dans l'ensemble, il y avait peu de différences significatives entre les groupes masculins (comparaisons basées sur l'âge) sauf pour ce qui a trait à la F₀ et la P_max pour lesquelles le groupe U23 démontrait, en moyenne, des valeurs 18% plus élevées que le groupe U17. De plus, ce projet a pu établir de fortes corrélations positives entre la performance lors du test du SL et certaines variables de performance du profil force-vitesse horizontal, notamment la V₀ et la P_max (p < 0.001, r = 0.853 et r = 0.742, respectivement). Ensuite, il a été défini que la V₀ expliquait 75.9% de la variance de la performance au test de changement de direction alors que le RSI_mod expliquait un 4.2% additionnel. En conclusion, le développement des qualités neuromusculaires représente un aspect plus que crucial de la préparation physique des athlètes de soccer étant donné leur implication dans les actions pouvant être décisives sur l'issue d'un match. Finalement, l'utilisation de tests terrain comme celui du SL et le *pro-agility* est recommandé lorsque des appareils d'évaluation sophistiqués et dispendieux ne sont pas disponibles étant donné que ceux-ci permettent une évaluation précise et facilement accessible des qualités neuromusculaires.

Mots clés : Qualités neuromusculaires, soccer, force réactive, force, vitesse, puissance, changement de direction

ABSTRACT

Soccer is a multifactorial sport that requires mastery of many specific aspects such as technical and tactical skills relating to the game but also physical and physiological qualities allowing a player to stand out. It has previously been established that the outcome of a match is defined through brief, intense actions such as high-intensity runs, rapid changes of direction and jumps that lead to goal-scoring situations. Thus, neuromuscular qualities such as power, speed and force which are the source of these actions are increasingly observed throughout the literature, but their development is not necessarily emphasised during physical preparation. This project therefore aims to evaluate the neuromuscular qualities of Quebec athletes such as the ability to change direction and reactive force but also to establish individual force-velocity profiles to expose the differences between sexes, age, and competition levels. Also, this project aims to establish associations between performance during certain frequently used field tests and the performance variables of the horizontal force-velocity profile in addition to verifying which are determinants of performance during changes of direction. Thus, 60 athletes took part in a test session aimed at evaluating their neuromuscular qualities. For all performance variables, male athletes expressed, on average, better results than the female group. Female athletes obtained on average values ranging from 8.4% lower (change of direction) to 37% lower (RSI_mod & P_{max}) than the average values of male athletes. Overall, there were few significant differences between male groups (comparisons based on age) except for F_0 and P_{max} for which the U23 group demonstrated, on average, 18% higher values than the U17 group. Additionally, this project was able to establish strong positive correlations between performance in the broad jump test and some horizontal force-velocity profile performance variables, including V_0 and P_{max} ($p < 0.001$, $r = 0.853$ and $r = 0.742$, respectively). Then, it was defined that the V_0 explained 75.9% of the variance in performance on the change of direction test while the RSI_mod explained an additional 4.2%. In conclusion, the development of neuromuscular qualities represents a more than crucial aspect of the physical preparation of soccer athletes given their involvement in actions that can be decisive on the outcome of a match. Finally, the use of field tests such as broad jump and pro-agility is recommended when sophisticated and expensive evaluation devices are not available since these allow an accurate and easily accessible evaluation of neuromuscular qualities.

Keywords: Soccer, speed, reactive strength, force, power, neuromuscular qualities, change of direction

INTRODUCTION

La littérature scientifique regorge d'articles sur le soccer et ses caractéristiques en raison de sa popularité mondiale, de sa facilité d'accès ainsi que de son coût relativement peu élevé pour le pratiquer. L'amélioration des performances des équipes a longtemps été le centre d'attention de la recherche portant sur le soccer principalement en raison du désir de victoire de nombreux clubs. Cependant, cette amélioration n'est pas chose simple en raison de l'aspect complexe du sport qui amène à se questionner sur les meilleures stratégies d'optimisation de la performance d'une équipe. Il est donc primordial de reconnaître l'aspect multifactoriel du soccer lorsqu'on se penche sur le développement de la performance dans ce sport. Il est important de noter que les écrits rapportés dans ce mémoire se concentrent sur la préparation physique au soccer. Il existe d'autres aspects de la préparation, comme la préparation mentale par exemple, qui possèdent leur importance mais qui ne sont pas en lien avec la recherche effectuée dans ce mémoire.

CHAPITRE 1

REVUE DE LA LITTÉRATURE

En ce qui concerne la préparation physique, la démarche utilisée par les professionnels consiste en quelques étapes simples qui nécessitent d'être décrites ici afin de bien saisir leur importance ainsi que leur rôle dans la démarche scientifique et le présent document. Tout d'abord, l'analyse de la tâche complexe qu'est le soccer est nécessaire afin d'identifier les déterminants de la performance. Ici, il sera question de cibler les différentes qualités des joueurs leur permettant de se distinguer des autres. Les différents déterminants de la performance sont rassemblés dans les prochaines sections de ce document. Ensuite, la prochaine étape est l'évaluation de l'athlète en fonction des différents déterminants établis non seulement pour essayer de quantifier le niveau de performance d'un athlète mais aussi afin de situer quels sont les écarts entre la performance d'un athlète et les standards de la discipline. Durant cette étape, l'utilisation de tests et d'analyses sera de mise pour situer l'athlète par rapport aux exigences de la discipline selon les différents critères évalués. La dernière étape consiste en la mise en place de stratégies permettant l'optimisation des processus d'entraînement. Cette étape est importante lorsqu'il est question de combler l'écart entre la performance attendue de l'athlète et la performance actuelle. Également, cette étape pourra avoir un impact majeur, dans le cas du soccer, sur la capacité d'un club à gagner des matchs et améliorer sa fiche de victoires. Ainsi, ce mémoire se concentrera sur l'évaluation des différentes qualités physiques des joueurs, ce qui permettra de mieux situer leur performance en regard des exigences de la discipline et des standards établis. La performance des joueurs de soccer dépend de nombreux facteurs qui sont entraînés de diverses façons selon les équipes et les pratiques mises en place. Ces facteurs peuvent être physiques, physiologiques, techniques, tactiques ou encore psychologiques. Le présent chapitre fait l'analyse des principaux aspects nécessaires à la préparation physique de ce sport. Lors de la pratique du soccer, de nombreuses demandes physiques sont imposées à l'athlète et se mesurent, entre autres, par la distance parcourue, les vitesses atteintes ainsi que les actions se déroulant lors d'un match. L'analyse des mouvements dans le temps (*Time motion analysis*) est largement utilisée dans la littérature (Mohr, et al. 2003; Rienzi et al., 2000). Cette méthode efficace sert à quantifier la charge imposée sur l'athlète, soit l'ensemble des demandes physiques et individuelles des joueurs durant les matchs (Bloomfield et al., 2007). Ces actions imposent par conséquent des répercussions physiologiques sur l'organisme. L'ensemble de ces répercussions, comme la modification de la fréquence cardiaque (FC) ou la consommation d'oxygène (VO_2), par exemple, représentent les exigences physiologiques du sport.

1.1 L'analyse des mouvements dans le temps

L'analyse des mouvements dans le temps représente la façon la plus moderne et établie dans la littérature d'étudier les demandes physiques imposées sur les athlètes de soccer pendant les matchs. Il y a de cela bien longtemps que les professionnels autour du terrain de soccer souhaitent analyser les actions effectuées par les joueurs sur le terrain et la technologie a grandement évolué depuis les premiers travaux de Reilly et Thomas (1976) où l'analyse du mouvement était dirigée sur un seul joueur et effectuée de façon manuelle (Carling et al., 2008). Depuis, l'analyse des mouvements dans le temps a évolué et est maintenant propulsée par les nouvelles technologies et appareils sophistiqués développés pour enregistrer ou modéliser les données recueillies afin d'en tirer des analyses plus approfondies (Carling et al., 2008).

Habituellement effectuée via analyse cinématique (par caméra), la charge externe peut également être mesurée à l'aide d'autres outils tels que des ceintures de système de positionnement global (GPS) permettant de situer les joueurs dans l'espace ainsi que d'évaluer comment un joueur se compare par rapport aux besoins spécifiques d'une discipline comme le soccer. L'analyse des matchs de soccer est devenue un outil non-intrusif de plus en plus populaire étant donné que les indicateurs de performance retrouvés dans l'analyse des mouvements peuvent mener à une identification des bonnes et mauvaises performances chez un individu ou une équipe (Di Salvo, 2007).

Même si de nouvelles technologies ont pu être développées au cours des dernières années, il reste difficile de quantifier avec précision les valeurs de déplacement et de vitesse exprimées par des joueurs en temps réel. En effet, Robertson et ses collègues, dans leur analyse de 2023, ont pu définir les nouvelles avancées technologiques liées au positionnement spatiotemporel des athlètes lors de sports collectifs. Il est mentionné que même si les nouvelles technologies possèdent des avantages significatifs comme la possibilité de définir des patrons de course et de marche ou encore la modélisation 3D des athlètes, la disparité concernant le système utilisé ou encore la fréquence d'échantillonnage contribue à mettre en doute la précision et la validité des différents systèmes présents à ce jour sur le marché (Robertson et al., 2023).

L'analyse des mouvements dans le temps peut même mener à la production de données sur les différents mouvements effectués par les joueurs avec ou sans ballon (accélérations, dribbles, tacles, déplacements latéraux, etc.) de même qu'aider à la compréhension des intensités développées par les joueurs par les ratios d'effort/repos durant un match (Bloomfield et al., 2007). Il existe peu de systèmes présents actuellement dans les différents clubs de soccer qui permettent l'analyse simultanée de multiples athlètes lors d'un match. Ces nouveaux systèmes ne sont pas non plus considérés comme la panacée étant donné le fort coût d'installation, l'impossibilité d'installer des transmetteurs et des émetteurs sur les joueurs pendant les matchs officiels ainsi que la possibilité d'installer des systèmes aussi complexes seulement sur le terrain à domicile (Carling et al., 2008). L'analyse des mouvements dans le temps s'effectue donc majoritairement

en utilisant des systèmes GPS sous la forme de dossards individuels que les athlètes peuvent porter sous leurs maillots qui enregistrent leurs déplacements et vitesses pendant la durée d'un ou plusieurs matchs.

1.1.1 Distances parcourues

La distance parcourue est souvent considérée comme un des meilleurs indicatifs de la dépense énergétique de chaque joueur pendant un match. En effet, en connaissant la dépense énergétique associée à chacune des vitesses atteintes ainsi qu'en suivant les joueurs individuellement par analyse cinématique, il est possible de calculer l'ensemble de la charge interne sur l'organisme induite par les distances parcourues.

La distance typique parcourue par un joueur pendant un match (90min) est de 10 à 13 km (Bangsbo, 2006) et de 9 à 11 km (Mohr et al., 2008) chez les athlètes masculins et féminines respectivement. Ceci peut paraître énorme pour un match mais il faut comprendre que la majorité de cette distance est parcourue à des vitesses de marche ou encore de course à basse intensité. Les distances parcourues évoluent également en fonction des positions adoptées par les joueurs. Par exemple, on remarque plus de distance parcourue par les milieux de terrains que chez les défenseurs ou les attaquants en raison du lien que créent les milieux entre les deux autres positions. Dans une étude impliquant des joueurs de niveau élite, Mohr et al. (2003), ont découvert que les défenseurs centraux couvraient la moins grande distance durant un match, ce qui serait étroitement lié avec le rôle tactique de ceux-ci durant le match ainsi que leurs capacités physiques moindres (Mohr et al., 2003). Di Salvo et son équipe confirment ces résultats en remarquant que les défenseurs centraux parcouraient une distance significativement plus petite que les autres positions étudiées lors de leur analyse de matchs professionnels dans la ligue espagnole (2007). Chez les femmes, certaines études ont observé les caractéristiques des matchs des athlètes de haut niveau et ont relevé que les milieux de terrain couvraient significativement plus de distance totale lors du match que les athlètes évoluant à la position de défenseur (Vescovi et Favero, 2014). Pour les athlètes féminines de haut niveau plus jeunes (U15 à U17), ce sont également les milieux de terrain qui couvrent la plus grande distance durant le match comparé aux autres positions (Vescovi, 2013).

Les gardiens de but, quant à eux, parcourent environ 4 km en tout durant le match (Stølen et al., 2005). Bangsbo, Mohr et Krstrup, dans leur revue de 2006 entérinent les différences de distances parcourues en fonction des positions jouées sur le terrain. En effet, ils résumant différentes études statuant que les milieux de terrains couvrent une plus grande distance durant le match que les défenseurs ou les attaquants (Bangsbo et al., 2006). Ils précisent même en citant l'étude de Mohr et ses collaborateurs (2003) qu'à travers un même match, il y avait des différences significatives entre les demandes physiques des joueurs de même position, dépendamment du rôle tactique et des capacités physiques de ceux-ci (Bangsbo et al., 2006). Par exemple, lors d'un même match, un milieu aurait parcouru 12,30 km dont 3,50 à haute intensité alors qu'un autre aurait parcouru seulement 10,80 km dont 2 à haute intensité lors de ce match.

La littérature s'entend également pour dire que les joueurs professionnels complètent habituellement une plus grande distance que les joueurs non-professionnels autant chez les hommes que chez les femmes (Stølen et al., 2005, Mohr et al., 2008). Par exemple, on remarque par l'analyse de matchs dans le circuit professionnel espagnol une distance moyenne de $11,39 \pm 1,02$ km allant jusqu'à 13,75 km pour certains joueurs (Di Salvo et al., 2007). Du côté des athlètes féminines, cette distance s'inscrit à $9,9 \pm 1,8$ km pour des matchs internationaux de niveau élite (Andersson et al., 2010). En ce qui concerne le plus haut niveau de compétition en Angleterre (*Premier League*) Bradley et ses collaborateurs ont observé une distance parcourue de 10,71 km en moyenne pour 28 matchs compétitifs étudiés (Bradley et al., 2009).

Mallo et ses collègues rapportent, quant à eux, les différentes distances parcourues en fonction des positions des joueurs dans la première ligue professionnelle espagnole (*La Liga*) durant 111 matchs amicaux. On retrouve une moyenne de $10,79 \pm 1,15$ km parcourus durant un match. Mallo et collègues précisent que les milieux externes parcourent le plus de distance et les défenseurs centraux le moins ($11,32 \pm 1,24$ km et $10,21 \pm 1,07$ km respectivement) pendant un match amical (Mallo et al., 2015). J.D. Vescovi a publié une étude en 2013 sur l'analyse de mouvement de matchs de niveau national chez des joueuses de soccer adolescentes (U15-U17) où il identifie également des différences au niveau des distances parcourues en fonction des positions des athlètes sur le terrain. Il est rapporté que les milieux couvraient une plus grande distance (8449 ± 170 m) que les défenseurs (7779 ± 114 m) (Vescovi, 2013).

En somme, il est important de comprendre qu'en raison des différences présentes chez les joueurs, les positions et le niveau de compétition, les distances parcourues par les joueurs durant un match peuvent varier. En effet, Bangsbo et ses collègues soulignent qu'il existe des différences individuelles majeures reliées à la capacité physique et le rôle tactique au sein de l'équipe en ce qui concerne les demandes physiques des joueurs pendant un match. Ces différences, selon les chercheurs, devraient être prises en compte lors de la planification des stratégies d'entraînement des joueurs des plus hauts niveaux. (Bangsbo et al., 2006).

1.1.2 Vitesses atteintes

Les joueurs de soccer parcourent une distance importante durant un affrontement réglementaire mais cette distance est réalisée à plusieurs vitesses. En effet les différentes vitesses habituellement enregistrées par l'analyse des mouvements dans le temps varient de 0 à plus de 30 km/h. Di Salvo définit donc les vitesses suivantes sous différentes proportions lors de son étude analysant 30 matchs compétitifs de soccer dans la ligue professionnelle espagnole; À l'arrêt/marche/*jogging* (0 - 11 km/h), course à basse vitesse (11,1 - 14 km/h), course à vitesse modérée (14,1 - 19 km/h), course à haute vitesse (19,1 - 23 km/h) et finalement les sprints (>23 km/h) (2007). Vescovi, définit plutôt les seuils de vitesse pour les athlètes féminines professionnelles de cette façon; À l'arrêt/marche (0-6,0 km/h), *jogging* (6,1 - 8,0 km/h), course à basse

intensité (8,1 – 12,0 km/h), course à intensité modérée (12,1 – 15,5 km/h), course à haute intensité (15,6 – 20,0 km/h) et les sprints (>20 km/h) (2012).

On retrouve une disparité au niveau des vitesses atteintes en fonctions des différentes positions sauf lors de la plus basse intensité (0-11 km/h). En effet, Di Salvo rapporte que les milieux centraux parcourent significativement plus de distance ($1,97 \pm 0,29$ km) à basse intensité (11.10 – 14 km/h) ainsi qu'à intensité modérée ($2,12 \pm 0,37$ km à 14.10 – 19 km/h) que les autres positions (2007). Cependant, à intensité élevée (19.10 – 23 km/h), on remarque que les milieux externes parcourent une distance significativement plus élevée ($0,75 \pm 0,17$ km) que les autres positions, ce qui pourrait être justifié par le rôle des milieux externes lors des attaques ou encore simplement par leur placement sur le terrain.

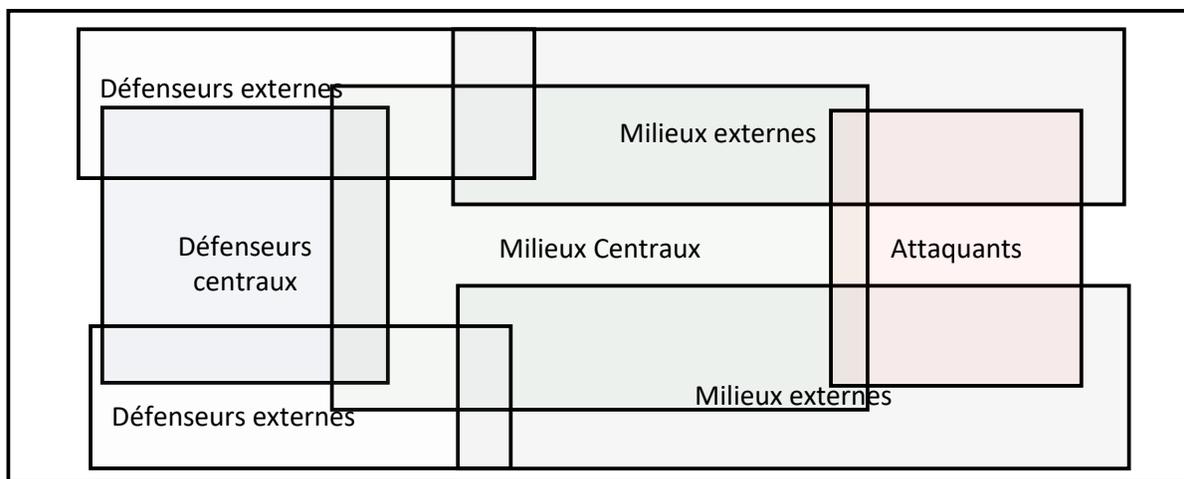


Figure 1.1 - Assignation technicotactique des joueurs en fonction de leur position sur le terrain (Adapté de Di Salvo et al., 2007)

On comprend en examinant la figure 1.1 que les zones externes sont habituellement moins congestionnées comparées aux zones centrales et que le trafic réduit permet donc plus d'opportunités de courses à haute vitesse ou encore de sprints par les milieux externes (Di Salvo et al. 2007). Finalement, en ce qui concerne les déplacements de sprint (>23 km/h), les défenseurs externes, milieux externes et attaquants parcourent tous significativement plus de distance que les autres positions (défenseurs centraux & milieux centraux). D'ailleurs, Stølen et collègues rapportent dans la littérature qu'un sprint est effectué environ à chaque 90 secondes durant le match et dure environ 2 à 4 secondes (2005). Pourtant, les courts sprints ne représentent que peu du temps de jeu complet. En effet, Stølen rapporte dans sa revue que le sprint représente de 1 à 11 % de la distance totale parcourue durant le match et donc seulement 0.5 à 3% du temps où le ballon est en jeu (2005).

Bradley et ses collègues ont observé 28 matchs compétitifs dans la Premier League anglaise durant la saison 2005-2006 afin d'analyser en détail les profils de course à haute intensité réalisés par les joueurs en fonction

des positions avec un focus sur la fatigue développée pendant le match (2009). Ils ont situé les différentes vitesses atteintes dans des registres semblables à ceux utilisés par Di Salvo et ses collègues en 2007. Les différents seuils de vitesse étaient établis de cette façon : se tenir debout (0 - 0.6 km/h), marcher (0.7 - 7.1 km/h), jogger (7.2 - 14.3 km/h), courir (14.4 - 19.7 km/h), courir à haute vitesse (19.8 - 25.1 km/h) et sprinter (>25.1 km/h). La course à haute intensité était considérée comme la somme des distances parcourues à la course à haute vitesse et pendant le sprint (vitesse de course de plus de 19.8 km/h) (Bradley et al., 2009). La distance maximale parcourue à haute intensité, considérée à partir d'une période de 5 minutes contenant le plus de course à haute intensité pendant le match, a également été enregistrée pour tous les joueurs. La vitesse maximale de course fut établie pendant l'étude comme la vitesse de pointe atteinte pendant une de ces périodes de 5 minutes enregistrées pendant le match (Bradley et al., 2009). Ils décrivent les profils d'activité des joueurs par match sous les proportions suivantes : se tenir debout représentait 5.6% du temps total, les activités de basses intensités (marche et jogging) représentaient, quant à elles, 85.4% du temps total alors que les activités à haute intensité (course, course à haute vitesse et sprint) composaient seulement 9.0% du temps total (6.4% course, 2.0% course à haute intensité et 0.6% sprint) (Bradley et al., 2009). En comparaison, Mohr et ses collègues avaient observé en 2003 que les joueurs professionnels Danais passaient 19.5% du temps de match debout, 41.8% à marcher, 16.7% à jogger, 16.8% à la course, 1.4% à vitesse de sprint et un 3.7% à effectuer d'autres mouvements (Mohr et al., 2003).

Bradley et ses collègues rapportent donc des résultats basés sur un échantillon important de joueurs professionnels représentant toutes les positions. Ces résultats démontrent que la distance parcourue à haute-intensité (> 19.8 km/h) ainsi que la distance totale est plus élevée chez les milieux externes (3138 et 11 535m) et chez les milieux centraux (2825 et 11 450m) que chez les défenseurs externes (2605 et 10 710m), les attaquants (2341 et 10 314m) et les défenseurs centraux (1834 et 9885m). À vitesse de sprint, les milieux externes, les défenseurs externes et les attaquants (346, 287 et 264m respectivement) ont parcouru plus de distance que les milieux centraux et les défenseurs centraux (204 m et 152 m, respectivement) (Bradley et al., 2009). Pour ce qui est des joueuses de niveau national, les positions influençaient également la distance parcourue à différents seuils de vitesses établis plus haut par Vescovi, 2012. En effet, les milieux ont parcouru plus de distance que les défenseurs, et ce à basse (2553 ± 99m vs. 2151 ± 66m) et à intensité modérée (1389 ± 78m vs. 1142 ± 52m) alors que les attaquants ont parcouru plus de distance à vitesse de sprint que les milieux (275 ± 42m vs. 131 ± 24m) (Vescovi, 2013).

Il est également important de noter que les joueurs ont passé plus de temps debout et en marchant pendant la deuxième demie de la partie que la première alors qu'ils ont couru et joggé plus longtemps pendant la première demie que durant la deuxième. Il n'y avait pas de différence significative entre les deux demies quant au temps passé à haute vitesse ou à vitesse de sprint mais les joueurs ont effectué un nombre de courses à haute intensité plus élevé pendant la première demie que pendant la deuxième (279 vs. 267)

(Bradley et al., 2009) ce qui pourrait être compris comme des courses à haute intensité un peu plus longues en durée lors de la deuxième mais moins fréquentes qu'en première demie. Ceci pourrait en effet témoigner de l'influence de la fatigue ressentie après chaque demie de match.

Ce phénomène serait également présent chez les athlètes féminines, selon une étude de Vescovi et Favero publiée en 2014. Cette étude, compilant les données de joueuses collégiales de soccer (n = 113), décrit les distances parcourues à différentes vitesses en fonction des positions entre les deux demies d'un match de saison régulière de 9 équipes de la 1^{ère} division de la NCAA. Il est rapporté que les défenseurs couvraient moins de distance totale que les milieux durant la première demie et tendaient à avoir moins de distance totale parcourue que les milieux et les attaquants pour la deuxième demie (Vescovi et al., 2014). D'un autre côté, lors de l'observation de matchs chez des athlètes féminines plus jeunes (U15 à U17), Vescovi rapporte diminution de la distance parcourue lors de la 2^e demie à toutes les intensités de courses (basse, modérée, haute et *sprint*) par rapport à la première moitié du match (2013).

D'ailleurs, Bradley et ses collaborateurs appuient ce point en observant non seulement une diminution de la distance parcourue à haute intensité mais aussi une diminution du nombre de courses à haute intensité au fil du match, ce qui pourrait témoigner de l'influence de la fatigue sur le jeu à travers le match (2009). Ils concluent en indiquant que leur étude apporte des preuves claires appuyant la nécessité du repos suivant les périodes les plus intenses du match ainsi que la nécessité d'entraîner les athlètes à résister à la fatigue induite par ces moments (Bradley et al, 2009). Les différents travaux présentés relatent les différences observées chez les joueurs de soccer en ce qui concerne leurs capacités physiques en fonction des positions adoptées sur le terrain. Ces aptitudes peuvent faire la différence entre un club professionnel et un autre lorsqu'il est question de victoires. Suivant ce point, une autre différence entre les clubs professionnels internationaux et ceux de niveau moins élevé est le nombre d'actions à haute intensité. En effet, Mohr et ses collègues avaient remarqué que les joueurs internationaux effectuaient 28% plus de course à haute intensité (2.43 vs. 1.90km) et 58% plus de distance en sprint (650 vs. 410m) que les joueurs professionnels de niveau moindre (Mohr et al., 2003).

De plus, on remarque des différences en ce qui concerne les vitesses pouvant être déployées lorsqu'il est question de groupes d'âges chez les joueurs. En effet, Harley et ses collaborateurs ont, dans leur étude de 2010, observé 112 jeunes joueurs de niveau élite âgés de 11 à 16 ans représentant deux clubs professionnels anglais. Ils ont établi les participants en cinq catégories d'âge, soit U12 (n=22), U13 (n=20), U14 (n=25), U15 (n=21) et U16 (n=24) et ont décrit les exigences physiques par l'utilisation de positionnement satellite. Les joueurs ont ensuite passé des tests de sprint (10m, départ lancé) afin de permettre des comparaisons de vitesses entre les groupes d'âges. Les vitesses atteintes lors de ce test ont permis de comparer les vitesses atteintes par des joueurs juniors (U12 – U16) et par des joueurs seniors en tenant compte de seuils de vitesses établies par Bradley et ses collaborateurs en 2009. Les groupes U16 et U15 ont tous deux démontré des

temps de sprints (1.31 ± 0.06 s et 1.35 ± 0.09 s, respectivement) plus rapides que les autres groupes. Les vitesses de sprint lancé sur 10m déployées par les groupes U15 et U16 se rapprochent des vitesses atteintes par le groupe senior sans pour autant les égaliser. On comprend donc que le développement des aptitudes physiques des joueurs est en relation avec la croissance et la maturation des joueurs, surtout lorsqu'on observe les principaux résultats de cette étude. En effet, Harley rapporte que le groupe d'âge U16 parcourait plus de distance totale absolue, de distance à haute intensité, à très haute intensité et à vitesse de sprint comparé aux autres groupes d'âge (U12, U13, U14 et U15) (2010).

En effet, Harley et ses collaborateurs rapportent que le groupe d'âge U16 a parcouru une plus grande distance à haute intensité ($U16 > U12, U13, U14, U15$), à très haute intensité ($U16 > U12, U13$), en sprint ($U16 > U12, U13$) et en distance totale absolue ($U16 > U12, U13, U14$) que les autres catégories d'âges (2010). Harley conclut en expliquant la nécessité de normaliser les différents seuils de vitesses observées (marche, jogging, course, etc.) en fonctions des vitesses de chaque athlète afin d'individualiser l'entraînement et de répondre correctement aux demandes changeantes d'un match compétitif. Il explique également qu'à travers les groupes d'âges U12 à U16, la demande physique des matchs compétitifs de niveau élite reste semblable mais que les joueurs deviennent significativement plus rapides, particulièrement entre U14 et U15 (Harley et al., 2010). Ainsi, on comprend que la croissance des joueurs a un effet sur la vitesse pouvant être atteinte et que cette croissance devrait être prise en compte lors de la prescription d'entraînement chez les joueurs évoluant dans ces catégories d'âge.

1.1.3 Actions spécifiques au soccer et leur importance

Durant un match de soccer, les joueurs, en plus de devoir parcourir de grandes distances à différentes vitesses, doivent effectuer de nombreuses actions qualifiées de spécifiques au soccer comme les contrôles de ballon, les dribbles, les tacles et les changements de direction soudains. La fréquence de ces actions est élevée à un point tel que les athlètes sont presque constamment en train d'exécuter une tâche spécifique. Mohr et al rapportent que les joueurs élites effectuent entre 150 et 250 brèves actions intenses en un seul match (2003).

On retrouve parmi celles-ci non seulement les déplacements latéraux ou vers l'arrière et les passes mais aussi les sauts verticaux, les courtes accélérations et les actions avec le ballon. Ainsi, dans le contexte du jeu effréné, les joueurs effectuent environ 1000 à 1400 actions ou petites tâches spécifiques au soccer, et ce, à chaque 4 à 6 secondes (Stølen et al., 2005). Ces actions varient en temps d'exécution, difficulté technique, importance et varient également en fonction des capacités physiques des joueurs, des stratégies en place et des positions adoptées par les joueurs. Par exemple, Bangsbo et ses collègues rapportent que les milieux de terrain effectuent autant de tacles et de sauts verticaux que les défenseurs et attaquants (2006). D'ailleurs, Bangsbo rapporte le nombre d'actions brèves et intenses (à distinguer des actions spécifiques au soccer qui

peuvent aussi être à basse intensité) à environ 150-250 par match (2006) ce qui indique que l'issue d'un match peut changer extrêmement rapidement et que l'importance de ces actions brèves et intenses est à souligner. L'étude de ces actions est peu populaire dans la littérature étant donné la difficulté de catégoriser et comptabiliser les nombreuses actions effectuées par les joueurs au cours d'un match. Pourtant, ces actions contribuent à la demande énergétique imposée par le rythme du match. Jusqu'à maintenant, la plupart des travaux présents dans la littérature étudiant les demandes physiques et énergétiques associées aux matchs professionnels ne considéraient pas les actions « non-locomotrices » telles que mentionnées plus haut. Chez les athlètes féminines professionnelles (WSL) il a été possible d'observer plus de 250 situations de buts et de définir les actions les plus effectuées précédant le but. Ils décrivent que les déplacements linéaires vers l'avant sont les plus effectués ($62,1 \% \pm 3,4\%$), suivis des virages ($33,8\% \pm 3,3\%$) et des décélérations ($23,5\% \pm 3\%$) lors des situations de buts. On voit donc que l'issue d'un but est influencée par des mouvements qui pourraient être caractérisés comme rapides et intenses (Martinez-Hernandez, et al., 2023).

Bloomfield et ses collègues rapportent dans leur étude de 2007 le nombre de mouvements déterminants effectués par 55 joueurs de la *Premier League* évoluant aux positions de défenseurs, milieux et attaquants. En utilisant cette précision sur les mouvements déterminants, Bloomfield et ses collègues ont voulu inclure les actions habituellement non considérées dans l'observation des matchs compétitifs. Sa définition de mouvements déterminants inclut une compréhension plus large des activités locomotrices en prenant en compte les virages brusques, changements de directions et autres activités locomotrices (gambader par exemple). Cette utilisation d'une définition plus large des actions permet d'obtenir, selon Bloomfield, une réelle idée de la demande imposée pour chaque position évoluant sur le terrain lors des matchs. Il témoigne par son étude que les attaquants effectuent significativement moins de mouvements déterminants par périodes de 15s et qu'en moyenne, les mouvements déterminants effectués par ceux-ci sont d'une plus petite durée que les autres positions. En ce qui concerne les défenseurs, Bloomfield rapporte que c'est le groupe qui effectue le plus de mouvements de jogging et de déplacements latéraux. De plus, les défenseurs passent moins de temps à la course et à vitesse maximale de sprint que les autres positions (2007). Les milieux passaient le moins de temps immobiles et en pas chassés alors qu'ils passaient le plus de temps à la course et à vitesse de sprint. Ils ont également observé que les milieux et les attaquants passaient significativement plus de temps à effectuer les autres types de mouvements (sauter, atterrir, plonger, glisser, tacler, ralentir, tomber et se relever) que les autres positions, les attaquants se démarquant en effectuant le plus de ces actions précises (Bloomfield et al., 2007).

Les attaquants et les défenseurs étaient les positions qui sautaient le plus et également qui tombaient le plus durant les matchs; les défenseurs devant se relever rapidement plus souvent que les autres positions et effectuer plus de plonges avec les pieds devant en raison de la nécessité de bloquer des passes. Finalement,

Bloomfield affirme que les attaquants doivent être les joueurs les plus forts physiquement étant donné qu'ils effectuent le plus de contacts physiques à haute intensité durant un match (2007). Les attaquants effectuent également plus d'arrêts à haute intensité, plus d'embardees ainsi que de décélérations, ce qui produit de grandes forces de cisaillement sur les membres inférieurs (Bloomfield et al., 2007). C'est pourquoi ces derniers doivent être entraînés physiquement de façon adéquate de même que les défenseurs, afin de pouvoir rivaliser avec les attaquants de l'équipe adverse.

Les différentes positions sur le terrain impliquent donc des rythmes de jeu différents en raison des rôles associés aux positions lors de mise en place de stratégies d'attaque et de défense. Également, les niveaux de compétition induisent un effort différent caractérisé par une augmentation du nombre d'actions à haute intensité comparé à des joueurs professionnels non-internationaux. Finalement, tel que vu par l'étude de Harley et ses collaborateurs, les caractéristiques des joueurs en développement évoluent en fonction de l'âge ce qui entraîne également des différences entre les niveaux de compétition des athlètes en devenir (2010). L'aspect individuel des demandes physiques du sport lors des matchs amène à promouvoir l'utilisation de la préparation physique adaptée et spécifique lorsqu'il est question des stratégies d'entraînement des joueurs. Finalement, il est possible de voir une grande disparité dans le nombre d'actions spécifiques et importantes effectuées par les joueurs en fonction de leur rôle positionnel sur le terrain. En effet, les nombreuses actions spécifiques présentes induisent des demandes énergétiques particulières chez les différentes positions ce qui renforce l'idée d'une préparation physique spécifique permettant l'amélioration de tous les joueurs, peu importe leur position.

1.2 Demandes physiologiques

Le soccer, étant de nature intermittente et comportant une vaste quantité d'actions brèves à haute intensité, induit une demande énergétique considérable sur le corps humain. Bangsbo situe cette demande en résumant les différentes FC moyennes et de pointe de joueurs à 85 et 98 % de leurs valeurs maximales respectives (Bangsbo et al., 2006). La FC diminue rarement en bas de 65% de FC Max. Malheureusement, il est difficile d'établir avec une précision l'intensité complète d'un effort intermittent tel que le soccer avec des mesures continues comme la FC étant donné qu'une multitude de facteurs influenceront la FC lors d'un match.

En ce qui concerne la consommation d'oxygène (VO_2) sur le terrain, elle peut être estimée en convertissant les valeurs de FC mesurées sur le terrain. C'est par l'utilisation de tests standardisés sur tapis roulant mesurant la VO_2 (Krustrup & Bangsbo, 2001) mise en relation avec la FC, qu'il est possible de convertir les valeurs de FC enregistrées sur le terrain en VO_2 . Ainsi, il est possible de situer l'intensité relative de l'exercice lors d'un match en comparant la valeur estimée de VO_2 lors de l'effort sur le terrain à la VO_{2Max} d'un athlète, mesurée sur tapis roulant. Ces tests sur tapis roulant sont valides puisqu'ils permettent d'obtenir des valeurs similaires de fréquences cardiaques à des niveaux de VO_2 donnés comme pendant des exercices

spécifiques d'entraînement en soccer (Castagna et al. 2005, Esposito et al. 2004). Cependant, il est possible que les fréquences cardiaques mesurées pendant les matchs aient mené à une surestimation de la VO_2 étant donné que, lors d'un match, la FC est perturbée par des facteurs comme la déshydratation, l'hyperthermie et le stress mental. Néanmoins, en prenant en compte ces aspects, la mesure de la FC situe la VO_2 durant un match autour de 70% de la VO_{2Max} (Bangsbo et al., 2006). Cette mesure est également confirmée par la température corporelle interne qui a été mise en lien par le passé avec l'intensité d'exercice (Saltin & Hermansen, 1966) et mesurée à 39-40°C pendant un match, confirmant la consommation à 70% de VO_{2Max} (Mohr et al., 2004). Néanmoins, la FC et la VO_2 uniquement ne représentent pas des témoins parfaits des exigences physiologiques au soccer. En effet, par la nature intermittente du jeu, la demande énergétique varie trop pour pouvoir utiliser avec confiance des mesures continues (FC & VO_2). Ainsi, les différentes vitesses exprimées, la distance parcourue à ces vitesses et les nombreuses actions effectuées pendant le match obligeront les athlètes à solliciter différentes filières énergétiques afin de palier à l'entièreté de la demande physiologique du sport.

1.2.1 Filières énergétiques

De façon générale, la contribution relative des filières énergétiques varie en raison du format intermittent du sport. Entre autres, la contribution de la filière anaérobie est très élevée à certains moments durant le match (Bangsbo et al., 2006). En raison de l'aspect intermittent du jeu, on comprend donc que différents substrats seront utilisés, permettant un apport constant d'énergie. Également, les substrats utilisés vont varier en fonction des actions effectuées par les joueurs ainsi qu'en fonction des paramètres de ces actions (durée, intensité, fréquence).

Le glycogène musculaire est largement utilisé durant un match de soccer puisqu'on voit habituellement une déplétion des stocks de glycogène musculaire une fois rendue la mi-temps ainsi qu'après un match complet (Bangsbo et al., 2006). Cependant, la littérature ne s'entend pas sur ce fait en débattant que les stocks de glycogène musculaire ne sont pas toujours vidés complètement après un match (hautes valeurs résiduelles post-match). Ceci pourrait toutefois simplement constituer une limite physiologique du corps humain à se vider complètement de ses stocks de glycogène musculaire. Néanmoins, selon l'analyse individuelle de fibre musculaire de Krstrup (2006), on remarque qu'un nombre significatif de fibres sont vidées ou partiellement vidées de leur contenu en glycogène musculaire ce qui confirme l'utilisation importante du glycogène.

La créatine phosphate ou phosphocréatine (PCr) représente une source d'énergie immédiate qui est importante au soccer. Mohr et ses collègues situent le nombre d'actions brèves et intenses à environ 150-250 (2003). Lors de ces efforts de haute intensité, la PCr est utilisée étant donné l'aspect anaérobie des brefs efforts. La PCr est ensuite resynthétisée en partie durant les périodes à basse intensité qui forment la majorité du temps de jeu (Bangsbo et al., 1994, 2006). Bangsbo précise d'ailleurs que la concentration musculaire

en PCr viendrait à baisser (en deçà de 30% de sa valeur pré-match) lorsque de nombreux moments intenses surviennent séparés par des courtes pauses (Bangsbo et al., 2006).

Un des aspects importants des demandes physiologiques imposées par un match de soccer est la fatigue pouvant être ressentie par les joueurs. Le concept de fatigue en relation à l'activité physique a été observé et étudié largement par la communauté scientifique et pourtant, les définitions de fatigue tendent à être différentes selon l'approche utilisée pour la caractériser. En effet, la fatigue a souvent été divisée en deux grandes catégories soient la fatigue physique et mentale. Selon Dong (2022), la classification établie de fatigue physique vs fatigue mentale proviendrait d'études observant les effets de l'un ou de l'autre sans observer l'impact des deux « types » de fatigue de façon combinée. De plus, même si la fatigue peut découler de sources physiques ou mentales, dans plusieurs scénarios de la vie (comme le soccer évalué dans le présent document), l'effort physique survient de pair et interagit avec l'effort mental (Dong et al., 2022). Enfin, Dong propose une approche plus pratique et holistique qui considère la fatigue comme étant une perte d'efficacité cognitive et/ou motrice, une altération des fonctions auto-régulatrices et/ou une sensation accrue d'épuisement qui peut être le résultat d'efforts physiques, mentaux ou d'une combinaison des deux (2022). Également, Enoka et Duchateau définissent la fatigue de par deux attributs (2016). Selon leur modèle, la fatigue se définit en termes de fatigabilité afin de normaliser le niveau de fatigue induit par une tâche et rapporté par un individu (Enoka et Duchateau, 2016). Les deux attributs seraient donc (1) la fatigabilité de performance, c'est-à-dire la diminution de la performance par une mesure objective sur une période définie et (2) la fatigabilité perçue qui se résumerait par le changement des sensations régulant l'intégrité de la personne (Enoka et Duchateau, 2016). Ces deux attributs (1 et 2) possèdent deux domaines chacun ; la fonction contractile et l'activation musculaire ainsi que l'homéostasie et l'état psychologique pour la fatigabilité de performance et perçue respectivement (Enoka et Duchateau, 2016). Finalement, chaque domaine possède une variété de facteurs (4 à 7) habituellement mesurables (concentrations de divers substrats et métabolites, mesures de qualités physiques ou psychologiques) et pouvant exercer une influence sur leur propre domaine (mentionnés plus haut) (Enoka et Duchateau, 2016). On comprend ainsi que la notion de fatigue reste relativement complexe, surtout dans le contexte du soccer où une multitude de facteurs influenceront l'athlète tant au niveau de sa perception qu'au niveau de ses performances. Concrètement, les effets de la fatigue sont néanmoins rapportés dans la littérature; les joueurs élites comme non-élites subissent une baisse de leur capacité à produire des efforts de haute intensité vers la fin des matchs compétitifs (Bangsbo et al., 2006) et on observe également une diminution de la distance parcourue à haute vitesse durant les dernières 15 minutes de jeu (Mohr et al., 2003).

Les activités locomotrices représentent la majorité de la demande énergétique pour certaines filières alors que les actions brèves et intenses iront solliciter d'autres filières énergétiques. Par exemple, la majorité de l'effort de basse intensité comme la marche, le jogging ou encore la course à basse intensité sollicitera

principalement la filière aérobie. Lors des efforts brefs et intenses comme les sauts verticaux ou encore les sprints servant à dépasser des adversaires, ce sera la filière anaérobie qui sera principalement sollicitée. De plus, on distingue la filière anaérobie en deux volets soient la filière anaérobie lactique et alactique.

1.2.1.1 Filière aérobie

Cette filière énergétique est la filière la plus utilisée lors des matchs de soccer en raison de la grande portion de ceux-ci passée à basse intensité. Tel qu'abordé dans la section 1.1.2, les joueurs passent la majorité du temps de jeu à effectuer des efforts de basse intensité comme se tenir debout, marcher, jogger et autres activités locomotrices ou déplacements. La proportion de ce temps passé à basse intensité est située à plus de 70% du temps de match selon Bangsbo et col. (2006). Mohr et ses collègues situent le temps passé à basse intensité à environ 78% du temps de match (2003). Ainsi, étant la filière énergétique la plus taxée lors du match, les substrats utilisés vont varier afin de répondre à la demande d'énergie soutenue.

L'utilisation du glycogène musculaire reste la principale méthode de production d'énergie passant par la filière aérobie. En effet, les stocks de glycogène musculaire sont presque vidés à la suite de 90 minutes de soccer ce qui laisse à penser que d'autres substrats viendront en aide afin de fournir le nécessaire énergétique. En raison de l'effort de longue durée principalement de nature intermittente, on voit une utilisation des acides gras libres qui pourrait être une partie de la solution énergétique devant la baisse de stocks de glycogène musculaire (Bangsbo et al. 2006). Plusieurs mécanismes sont possibles en raison de la nature intermittente du jeu qui permet des périodes de repos actif lors des efforts de basse intensité. Ces périodes permettent d'ailleurs un apport sanguin significatif vers les tissus adipeux, ce qui permet la libération d'acides gras libres comme substrat (Bangsbo et al., 2006). Entre autres, la dégradation élevée des lipides (lipolyse) pendant le match est observée par des concentrations de glycérol musculaire élevées qui, même si elles ne sont pas aussi élevées que lors de l'exercice continu, témoignent d'un fort taux d'utilisation du glycérol (comme précurseur de la gluconéogenèse dans le foie; Bangsbo et al., 1994). Il a été envisagé que ces changements en concentration d'acides gras lors des périodes de repos du match pourraient même permettre une meilleure oxydation et un meilleur échange des acides gras libres dans les muscles contractés (Bangsbo et al., 2006). Ainsi, on comprend que le format intermittent du sport permet, entre autres, une récupération musculaire partielle.

La mesure de la VO_2Max ayant été démontrée par Reilly et Thomas (1976) comme un bon indicateur de la capacité aérobie d'un joueur est largement utilisée dans la littérature pour situer l'action de la filière aérobie de même que pour comparer les joueurs sur le plan aérobie. Reilly et ses collègues ont d'ailleurs comparé dans leur revue les différentes moyennes de VO_2Max des joueurs d'équipes professionnelles (2005). Ils ont effectué des comparaisons en fonction du niveau des joueurs, de leur position sur le terrain ainsi qu'en tenant compte de la ligue dans laquelle ils évoluent. Ils ont aussi pris en compte l'effet du temps dans leur revue

en comparant leurs observations avec des résultats remontant à 1988 (Reilly et al., 2005). Les valeurs moyennes se situaient entre 58.3 ml/kg/min (équipe nationale autrichienne évaluée par Bachl & Prokop en 1977) et 65.5 ml/kg/min (équipe de ligue Espagnole évaluée par Casajús en 2001) avec des différences pouvant apparaître entre les positions, les époques (1977 et 2001 plus haut) ou même le moment dans la saison. En effet, Casajús, 2001, rapporte une VO₂Max de 65.5 ml/kg/min au début de la saison vs 66.4 ml/kg/min au milieu de la saison (Reilly et al., 2005).

La mesure de la VO₂Max a même été utilisée dans certaines études comme facteur discriminant relié à la performance d'une équipe. En effet, Reilly et ses collaborateurs en 2005, ont remarqué que l'ordre des 4 meilleures équipes au classement de la meilleure division de soccer en Hongrie était le même que l'ordre des valeurs moyennes de VO₂Max par équipe. On retrouve également une différence significative entre la valeur moyenne de VO₂Max d'une équipe haut-placée comparée à celle d'une équipe de bas de classement de la division élite de Norvège (Wisloeff et al., 1998). Le seuil de lactate ainsi que l'économie de course sont également deux facteurs utilisés largement dans la littérature afin de situer les performances aérobies d'un joueur (Hoff, 2005).

On voit donc que la capacité aérobie des joueurs, en raison de sa forte sollicitation durant un match, tend à évoluer avec les années. L'accélération du rythme de jeu engendrée, entre autres, par des changements de règles ainsi que l'évolution physique et physiologique des joueurs est donc remarquable et il est possible d'en voir les effets lorsqu'il est question de la filière aérobie. Reilly précise d'ailleurs que ces variables physiologiques fortement corrélées à la course d'endurance possèdent leur importance quant au soccer, avec la grande différence que ce sport dépend aussi fortement de la force musculaire ainsi que de la puissance (2005).

1.2.1.2 Filière anaérobie lactique

Durant les 90 minutes d'un match de soccer, la production et l'élimination de lactate sont habituellement égales lors d'intensités d'environ 80-90% de la FC maximale (Stølen, 2005). Cependant, situer l'intensité d'un match avec une simple moyenne sur 90 minutes donne une sous-estimation de la demande énergétique réellement éprouvée par les joueurs. Ainsi, la filière anaérobie lactique est souvent utilisée lors des matchs afin de soutenir les actions brèves et intenses présentes environ 150 à 250 fois par match (Mohr et al., 2003). Il est suggéré que la contribution de la glycolyse anaérobie est très élevée durant ces brèves actions, ce qui se manifeste par le taux élevé de lactate sanguin et modéré de lactate musculaire durant le temps de jeu (Bangsbo et al., 2006). En effet, lorsqu'on observe l'influence de la glycolyse anaérobie sur l'exécution de ces actions à haute vitesse, on peut déduire le lien possible entre les vitesses pouvant être atteintes sur le terrain et l'accumulation de lactate en résultat. Conséquemment, la relation entre la glycolyse anaérobie et la vitesse moyenne de course fut analysé chez 17 athlètes de haut niveau (11 hommes et 6 femmes) par

Lacour et collègues en 1990. Un échantillon sanguin fut prélevé moins de 10 min après des courses de 400m, 800m et 1500m lors de compétitions importantes et la concentration de lactate sanguin $[la]_b$ fut mesurée (Lacour et al., 1990). Chez les athlètes masculins et féminins, $[la]_b$ était corrélée à la performance relative exprimée comme un pourcentage de la meilleure vitesse moyenne de l'athlète durant la saison (Lacour et al., 1990). Ainsi, lors de la course de 400m, $[la]_b$ fut corrélé à la performance relative par un facteur $r = 0,85$ ($P < 0,01$) chez les hommes et $r = 0,80$ ($P < 0,05$) chez les femmes. Lors du 800m, les valeurs correspondantes furent $r = 0,76$ ($P < 0,01$) et $r = 0,91$ ($P < 0,01$) chez les hommes et les femmes respectivement. Chez les hommes, la vitesse moyenne de course fut corrélée avec $[la]_b$: $r = 0,89$ ($P < 0,01$) et $r = 0,71$ ($P < 0,02$) pour le 400m et le 800m respectivement (Lacour et al., 1990).

En prenant en compte ces résultats qui ont été enregistrés à partir de compétitions internationales où les athlètes ont dû donner le meilleur d'eux-mêmes, on peut comprendre l'importance de la contribution de la filière anaérobie lactique lors d'efforts maximaux de courte durée (45 à 60 sec pour le 400m chez les hommes et femmes respectivement dans l'étude de Lacour et ses collaborateurs). Pour ce qui est du soccer, la répétition d'actions intenses induite par l'aspect intermittent du jeu déclenche une production de lactate qui peut difficilement être recyclé entièrement par le corps, ce qui mène à une accumulation de lactate sanguin et musculaire. Le lactate sanguin et le lactate accumulé dans les muscles sont souvent différents lorsque les deux sont comparés, le dernier étant bien plus élevé lors des matchs de soccer. Bangsbo explique qu'en raison de la nature intermittente du soccer, on mesure souvent un lactate sanguin équivalent à un cumul d'actions à haute intensité plutôt qu'à une seule action produisant un taux élevé de lactate musculaire (2006). Cependant, Stølen et ses collègues rapportent que la concentration de lactate, même positivement corrélée avec l'effort effectué précédant la collecte, peut varier grandement en fonction des actions effectuées 5 minutes avant la collecte de sang, réduisant la précision de cette mesure (2005). Bangsbo apporte néanmoins la précision que la production de lactate musculaire est corrélée plus fortement à la production de lactate sanguin lors d'effort continu (cyclisme) à 80% VO_2Max que lors d'un match de soccer ($r = 0,79$ vs $0,38$ respectivement) (2006).

Il est important de comprendre que même si la production et l'accumulation de lactate dans le sang et dans les muscles est difficilement mesurable de façon précise dans le contexte du soccer, l'aspect intermittent et la haute intensité du soccer entraînent malgré tout une production de lactate importante (surtout dans les muscles) et les joueurs pouvant mieux recycler et utiliser le lactate accumulé auront un avantage sur leurs adversaires. Reilly et ses collègues, dans leur étude de 2005, expliquent cet avantage par la capacité des joueurs à maintenir un tempo de jeu rapide durant le match. En effet, en raison des changements dans les règles du jeu comme l'interdiction pour un gardien de prendre dans ses mains une passe arrière effectuée par un défenseur, la pénalisation du gaspillage de temps par les équipes et la possibilité d'utiliser seulement 3 périodes de substitutions durant le match, le rythme du jeu au fil des années s'est accéléré et les joueurs

doivent donc suivre des programmes d'entraînement visant à développer les qualités neuromusculaires comme la vitesse afin de pouvoir suivre le rythme de jeu imposé (Reilly et al., 2005). Reilly conclue en précisant qu'une équipe entraînée à rivaliser à un rythme rapide de jeu a un avantage compétitif sur une autre équipe dont le développement physique est moins avancé mais autrement tout autant douée techniquement (2005).

1.2.1.3 Filière anaérobie alactique

La filière anaérobie alactique est grandement sollicitée lors d'un match de soccer afin de répondre à la demande énergétique associée aux actions intenses et brèves comme des accélérations ou encore des sauts. Les accélérations s'étendant habituellement sur des courtes distances (1.5m) (Mohr et al., 2003), sont présentes à travers le match et leur nombre dépend, entre autres, de la position à laquelle évolue un joueur. Mallo et ses collègues rapportent en moyenne 581 ± 59 accélérations par match (2015). Ils précisent d'ailleurs que les défenseurs centraux effectuent plus d'accélérations que les attaquants, les milieux externes et les défenseurs externes. En ce qui concerne les accélérations maximales, le nombre moyen par match est 10.1 ± 5.2 , toutes positions confondues (Mallo et al., 2015). On peut donc comprendre qu'avec des valeurs moyennes d'accélérations de pointe pouvant aller jusqu'à $3.6 \pm 0.4 \text{ m} \times \text{s}^2$ (Mallo et al., 2015), la demande anaérobie est très importante durant le match pour toutes les positions.

Lors de l'utilisation de cette filière énergétique, la PCr est évidemment le principal substrat utilisé mais, étant donné la rapidité à laquelle celle-ci est dégradée, l'apport énergétique provenant de la glycolyse est aussi une des sources majeures d'énergie au soccer. En raison de la nature intermittente du soccer, la filière anaérobie lactique sera plus utilisée que cette filière énergétique mais il est important de considérer tout de même la filière anaérobie alactique étant donné qu'elle permet un apport significatif en énergie pour des brèves actions qui peuvent être cruciales sur l'issue du match comme des arrêts effectués par les gardiens de buts ou encore des sauts verticaux effectués par des attaquants pour marquer. En effet, Stølen rapporte que même si la filière aérobie domine la production d'énergie durant un match de soccer, ce sont en fait les actions les plus décisives qui seront possibles grâce à la production anaérobie d'énergie (2005). Il sera en effet crucial lors de ces actions décisives tels les sauts, les tacles, les courts sprints et les batailles contre d'autres joueurs de posséder les meilleures qualités anaérobies permettant de sauter plus haut ou de sprinter plus vite que l'adversaire (Stølen et al., 2005). En ce qui concerne l'issue des matchs, il est intéressant de noter que les joueurs professionnels sollicitent le système anaérobie à un plus haut niveau que leurs collègues non professionnels (Stølen et al., 2005) ce qui peut se traduire par un nombre plus élevé d'actions intenses déterminant l'issue du match.

Donc, considérant les demandes de la discipline, la littérature situe l'utilisation de la filière anaérobie comme un phénomène qui est répété durant le match, ce qui justifie l'utilisation majoritaire de la filière anaérobie

lactique. La principale différence entre les filières, outre l'accumulation de lactate sanguin et musculaire, sera donc la fatigue s'installant chez les joueurs à travers le match. En effet, il a déjà été établi que les joueurs subissent presque tous une baisse d'énergie pendant le match qui est associé à une diminution de la durée et de la fréquence d'actions brèves et intenses. Mohr et ses collègues ont d'ailleurs démontré que l'activité des joueurs était réduite dans les 5 minutes suivant une période de 5 minutes d'exercice à haute intensité où on retrouve une activité anaérobie (2003). Cela étant dit, comme il a été observé après les périodes de haute intensité que la diminution en PCr musculaire était significativement corrélée à la baisse de performance en sprint (Krustrup et al., 2003), on peut comprendre l'importance de la filière anaérobie alactique et de ses substrats sur la performance d'un match. Cette filière sera donc non seulement sollicitée lors des actions locomotrices de haute intensité (*sprint*, accélérations, décélérations), mais aussi lors des actions brèves et intenses qui pourront exercer une influence sur l'issue du match. Ainsi, on peut clairement établir un lien entre l'utilisation des substrats de la filière anaérobie alactique au service des qualités neuromusculaires comme la puissance, la force et la vitesse comme celles-ci sont à la base des actions brèves et intenses.

1.3 Qualités neuromusculaires

Comme il a été établi dans les sections précédentes, la performance au soccer est considérée comme multifactorielle. Pourtant, on remarque que les situations qui engendreront un but comportent principalement un déplacement linéaire vers l'avant à haute intensité, et ce, autant chez les athlètes professionnels masculins que féminins (Faude et al., 2012 & Martinez-Hernandez et al., 2023). Lorsque qu'on se penche sur les autres actions décisives sur l'issue d'un match, on retrouve comme dénominateur commun les qualités neuromusculaires. En effet, lors d'actions comme les accélérations ou décélérations sur le terrain de même que lors des sauts verticaux ou encore horizontaux, plonges ou tacles, les joueurs et joueuses doivent démontrer des qualités neuromusculaires exceptionnelles. L'importance de ces qualités comme la force, la puissance ainsi que la vitesse est reconnue à travers la littérature. En effet, Reilly et ses collaborateurs expliquent que même si la course d'endurance est pertinente comme variable physiologique associée au soccer, les qualités de force et de puissance, elles, sont fortement associées à la performance en soccer (2005). Finalement, l'évolution du jeu, entraînant des changements de règles tel que démontré à la section 1.2.1.2, a rendu le rythme plus rapide et performant, imposant donc aux joueurs un développement physique constant qui doit maintenant inclure le développement de la force ainsi que de la puissance.

1.3.1 Qualité de puissance

D'un point de vue physique, la puissance représente le travail, correspondant à la force appliquée multipliée par la distance sur laquelle cette force est appliquée, divisé par le temps d'application. De plus, en considérant la distance sur le temps comme étant une vitesse, il est aussi possible d'exprimer la puissance autrement, soit comme la force appliquée multipliée par la vitesse à laquelle celle-ci est appliquée.

En résumé, on obtient les équations mathématiques suivantes :

$$Puissance = \frac{Travail}{temps} = \frac{Force * Distance}{temps} = Force * Vitesse$$

De toutes les qualités neuromusculaires présentées, la puissance reste la plus importante en raison de son implication à travers un match de soccer mais également en raison de sa relation avec les autres qualités neuromusculaires. En effet, la puissance englobe la notion de vitesse ainsi que de la notion de force et on peut comprendre simplement l'importance de la puissance en soccer par la rapidité d'exécution des actions décisives lors d'un match. En effet, il a été expliqué plus tôt que chaque joueur, durant un match, effectue une action à haute intensité à chaque 30 secondes ainsi qu'un sprint maximal à chaque 90 secondes en moyenne (Reilly 2000). Les athlètes doivent donc accélérer leur corps sur des courtes distances, sauter dans les airs ou encore même vers l'avant pour récupérer un ballon contre un adversaire (Reilly 2000).

La puissance maximale est donc définie comme le plus haut niveau de puissance produit lors d'une contraction musculaire (Gollnick & Bayly, 1986). D'un point de vue appliqué, la puissance maximale représente la plus grande puissance instantanée pouvant être appliquée durant un seul mouvement, ayant pour but de produire une vitesse maximale d'envol, de détente ou d'impact (Kraemer & Newton, 2000). Cette puissance musculaire maximale peut être influencée par une variété de facteurs neuromusculaires qui peuvent influencer la production de force dans le muscle et donc, en résultat, la production de puissance par ce même muscle. Ces facteurs incluent la composition des fibres musculaires, la surface de section transverse, la longueur des fascicules, l'angle de pennation du muscle, la conformité des tendons de même que le recrutement des unités motrices, la fréquence de décharge dans le muscle, la synchronisation et la coordination intermusculaire (Cormie et al, 2011a).

On différencie la puissance au soccer notamment par l'utilisation de celle-ci en fonction de deux différents axes d'utilisation. En effet, la puissance en lien avec l'axe horizontal sera largement sollicitée durant un match de soccer. On peut penser aux accélérations mais aussi aux décélérations qui doivent être effectuées par les joueurs sur le terrain. Ces changements brusques de vitesse requièrent un contrôle précis au niveau de la puissance déployée, ce qui peut créer une différence marquée sur l'efficacité d'actions comme des changements de directions. La puissance exprimée sur le long de l'axe vertical sera également très importante comme celle-ci pourrait influencer la qualité d'action brèves et intenses comme certains sauts

verticaux qui peuvent définir l'issue du match (*header* ou encore arrêts du gardien de but). En effet, Wing et ses collaborateurs ont démontré que la performance lors de tests de saut vertical comme le *CMJ* et le *SJ* était significativement corrélée ($p \leq 0.05$) ($r = 0,80$ et $r = 0,79$ respectivement) avec le taux de succès d'un *header* lors de matchs (2020).

1.3.2 Qualité de force

La notion de force est un aspect primordial de la performance au soccer. Siff, dans sa revue parue dans *Biomechanic in sports*, définit ce concept comme étant la capacité d'un athlète à produire une force afin de vaincre une inertie ou encore une charge (2000). Il faut donc faire la distinction entre cette définition ainsi que la définition populaire impliquant que la force est la plus haute valeur de résistance qu'un muscle peut produire, ce qui est en fait considéré comme étant la force maximale (Siff, 2000). Ainsi on peut donc faire la distinction entre la force, la force maximale et la force relative, cette dernière étant la charge maximale pouvant être soulevée, divisée par la masse corporelle de l'individu (Siff, 2000). Dans notre observation, il sera également question de force réactive. La force réactive sera très souvent utilisée lors d'un match de soccer comme les athlètes sont appelés à effectuer des changements de directions rapides, des sprints, des rebonds vers l'avant ou encore même des sauts verticaux avec élan. En effet, la force réactive représente la capacité d'un athlète à utiliser efficacement le cycle d'étirement/contraction d'un muscle (Jarvis et al., 2022). Ce cycle est habituellement défini dans la littérature comme la capacité d'une unité musculo-tendineuse à produire une contraction concentrique rapide et forte immédiatement après une action excentrique rapide (Jarvis et al., 2022). L'aspect de force excentrique sera donc grandement important lors des actions impliquant la force réactive. Par exemple, lors des changements de direction, les joueurs devront ralentir de façon très rapide, ce qui nécessite des composantes de force excentriques particulièrement développées. En effet, la décélération horizontale est définie par Harper et al. comme étant la capacité d'un athlète à réduire suffisamment l'inertie du corps entier tout en réussissant à contrôler et atténuer les forces de freinage nécessaires à la réalisation de la tâche (Harper et al., 2022). Ainsi, des qualités de force excentrique élevées seront nécessaires non seulement pour freiner le mouvement du joueur dans la plus courte distance possible mais aussi afin de prévenir les possibles blessures dues à l'intensité des actions présentes lors des sports comportant des mouvements aléatoires intermittents et multidirectionnels comme le soccer (Harper et al., 2022). Il a d'ailleurs été reporté dans la littérature qu'il existait des corrélations modérées à larges entre la performance lors de tests de changement de direction et les qualités musculaires de force excentrique, consolidant ainsi leur importance lors des changements de direction (Chaabene et al., 2018).

La mesure de la force des membres inférieurs des joueurs de soccer, habituellement évaluée par dynamométrie isocinétique, permet, entre autres, de mesurer les asymétries entre les deux membres inférieurs. En effet, Reilly et ses collaborateurs décrivent qu'une différence de force entre les deux membres

inférieurs ou un ratio disproportionné entre les extenseurs et les fléchisseurs du genou pourraient prédisposer un joueur vers des blessures musculosquelettiques (Reilly, 2005).

La force musculaire est suggérée comme étant utile à la frappe de ballon, les tacles ainsi que pour tolérer les impacts physiques durant un match (Reilly 2000b). Ceci est sans prendre en compte la force musculaire nécessaire aux activités locomotrices comme la course à haute vitesse et le sprint. En plus, la force musculaire, surtout celle des quadriceps et des ischio-jambiers, est associée à la prévention de blessures, notamment en ce qui concerne la symétrie entre les deux membres inférieurs (Reilly 2000b).

La production de la force peut être influencée par une myriade de facteurs qui peuvent être structurels (morphologiques) ou encore centraux (neuraux) étant donné que la production de force reste un phénomène neuromusculaire complexe qui exploite le potentiel de générer une activité motrice (Siff, 2000). Parmi les facteurs déterminants sur la production de force, on retrouve la taille du muscle et de ses fibres (mesurée par la surface de section transversale), la densité de fibres musculaires par surface de section transversale, l'efficacité du levier mécanique des articulations, le nombre de fibres musculaires contractées simultanément, le taux de contraction des fibres musculaires, l'efficacité de la synchronisation de l'activation des fibres musculaires, la vitesse de conduction des fibres nerveuses, le degré d'inhibition des muscles non utiles au mouvement, la proportion de fibres actives à large diamètre, l'efficacité de coopération entre les différentes fibres musculaires, l'efficacité des nombreux réflexes d'étirement contrôlant la tension musculaire, le seuil d'excitation des fibres innervant les muscles et la longueur initiale des muscles pré-contraction (Siff, 2000). La capacité d'un muscle squelettique à générer de la force dépend de la longueur du sarcomère (Gordon et al., 1966). En effet, le plus grand potentiel de force survient lorsqu'il y a un maximum de couplage des ponts d'actine et de myosine, ce qui survient lorsque les filaments d'actine et de myosine se superposent de façon optimale. À cette longueur, les interactions entre les ponts d'actine-myosine sont maximales, ce qui permet les plus hauts niveaux de développement de tension active (Gordon et al., 1966). Si la longueur des sarcomères est réduite passée la longueur optimale, la production de force diminue en raison d'une superposition des filaments d'actine de chaque côté du sarcomère ainsi que de la compression des filaments de myosine rentrant en contact avec le disque Z (Cormie et al., 2011a). Parallèlement, étirer un sarcomère passé sa longueur optimale aura également des effets délétères sur la production de force comme l'étirement donnera lieu à une diminution du couplage des ponts d'actine-myosine. La relation tension-longueur influence donc grandement la production de force, et donc la production maximale de puissance musculaire (Cormie et al., 2011a).

En somme, la force est une qualité nécessaire sur le terrain non seulement en raison de son implication à travers les nombreuses actions décisives pouvant avoir un impact sur l'issue du match, mais aussi dans le développement de la puissance. Le développement de la force peut être influencé par de nombreux facteurs qui peuvent être modifiés ou non par l'entraînement. Ainsi, une amélioration de la force des joueurs pourrait

avoir non seulement un impact sur la capacité des joueurs à réaliser de courtes actions importantes mais aussi sur la prévention des blessures ainsi que le développement de la puissance, qui est en lien avec la vitesse pouvant être déployée.

1.3.3 Qualité de vitesse

La vitesse représente une des qualités neuromusculaires les plus utiles à travers un match de soccer. Il est déjà établi par les précédentes sections que les joueurs couvrent de grandes distances durant un match, et ce, à différentes vitesses. En effet, ces vitesses, notamment la vitesse maximale pouvant être atteintes, ont une énorme importance sur l'issue d'un match et donc représentent un défi de développement chez les joueurs étant donné sa complexité et sa variabilité.

La vitesse de sprint reste une qualité déterminante de la performance et peut d'ailleurs faire la différence entre des joueurs de niveau élite comparés à des joueurs non-élites (Reilly 2000b). La vitesse de pointe est particulièrement utile lors des sprints effectués par les joueurs qui peuvent varier en distance de 1.5m à 105m selon Bangsbo et al. (1994). Il est intéressant de noter que les joueurs effectuent des sprints durant le match avec et sans ballon et que ces sprints comportent des composantes de vitesses comparables. Ainsi, les sprints en ligne droite sont d'une grande importance et devraient être considérés lors des tests et de l'entraînement des qualités neuromusculaires des joueurs selon Tomáš et al., (2014). Tel que mentionné dans la section 1.1.3, les déplacements linéaires vers l'avant étaient à la source de 62,1 % \pm 3,4% des situations de buts lors de la *Women's Super League* de 2018 et 2019 (Martinez-Hernandez et al., 2023), représentant l'importance des courses à haute vitesse en ligne droite. Faude et ses collaborateurs renforcent cette idée en appuyant que les sprints en ligne droite sont les actions les plus fréquemment réalisées avant un but lors des matchs de soccer professionnels (2012). Les chercheurs ont analysé 360 vidéos de buts lors de matchs compétitifs de la meilleure ligue professionnelle allemande durant la deuxième moitié de la saison 2007-2008. Sur 83% de ces 360 buts, le marqueur ou l'assistant ont effectué une action déterminante nécessitant des qualités de puissance ou de vitesse (Faude et al., 2012). L'action la plus effectuée par le joueur marquant le but fut un sprint en ligne droite ($n = 161$, 45% des buts analysés) ou un saut ($n = 57$, 16 %), ce qui permet de comprendre que ces actions sont dans les plus décisives et les plus importantes lors d'un match professionnel et exigent des qualités neuromusculaires de puissance et de vitesse qui, elles, devraient être incluses dans la démarche de préparation physique des joueurs (Faude et al., 2012).

De plus, il est non seulement important pour les joueurs d'être capable de déployer des hautes vitesses de course, mais aussi de récupérer rapidement de ces périodes intenses pour pouvoir effectuer à nouveau des courses à haute vitesse.

La capacité à répéter des courtes à haute vitesse, ou *Repeated Sprint Ability* (RSA) en anglais est un aspect de plus en plus étudié à travers la littérature dans le contexte des sports collectifs. Cette capacité est définie

par Bishop et ses collègues comme étant la capacité d'effectuer la meilleure performance possible lors d'une série de sprints (\leq à 10s) entrecoupée de courtes périodes de récupération (\leq à 60s) (Bishop et al., 2011). Ainsi, plusieurs facteurs métaboliques et neuromusculaires sont nécessaires pour optimiser les performances dans les tâches de RSA qui peuvent être divisées en deux grandes catégories : les performances initiales de course ainsi que la capacité à récupérer entre les courses (Bishop et al., 2011).

En pratique, les périodes intenses de course à haute vitesse sur le terrain entraînent une fatigue limitant les activités subséquentes, c'est pourquoi la capacité à répéter des courses à haute vitesse sans céder à la fatigue est cruciale au développement des joueurs. Il est possible de remarquer l'effet de cette fatigue en comparant la distance parcourue pendant une courte période à haute intensité avec la distance parcourue lors des 5 minutes suivant cette période intense. On y voit une diminution drastique de la distance parcourue. En effet, Bradley et ses collaborateurs ont étudié 28 matchs de la *Premier League* anglaise et rapportent que la distance maximale atteinte pendant une période à haute intensité de 5 minutes était de 231 mètres alors que la distance parcourue pendant la période de 5 minutes de « récupération » subséquente était de 126 mètres (2009). Ils ont aussi rapporté que les effets de la fatigue s'étendaient d'une demie à l'autre, se traduisant par une baisse du nombre d'actions à haute intensité lors de la deuxième demie en comparaison à la première (Bradley et al., 2009). Quant à la fatigue, celle-ci a induit des périodes de récupérations de plus en plus longues. Précisément, les périodes de repos étaient 15% plus longues lors de la deuxième demie par rapport à la première et elles étaient 28% plus longues lors des 15 dernières minutes comparées au 15 premières (Bradley et al., 2009). Ainsi, un joueur étant capable de récupérer entre les courses à vitesse élevée aura un net avantage comparé à ses adversaires lorsqu'il sera question de répéter ces courses à haute vitesse.

1.3.4 Relation Puissance-Force-Vitesse

Brièvement, la relation entre force et vitesse décrit un tracé linéaire selon lequel plus la vitesse de contraction concentrique d'un muscle augmente, moins il est possible de générer de la force par cette contraction (Cormie et al., 2011a). La production de force dépend du cycle de formation des ponts actine-myosine qui requiert un temps fixe. Lorsque la vitesse de contraction augmente, moins de ponts peuvent être formés et la force décline donc (Cormie et al., 2011a). La puissance, étant le produit de la force et de la vitesse, décrit alors une relation en forme de parabole inverse. Ainsi, la puissance est donc maximisée dans une zone de compromis entre la force et la vitesse (Cormie et al., 2011a). On peut comprendre comment les relations force-vitesse et force puissance sont liées par la figure 1.2 suivante démontrant les relations Force-Vitesse et Force-Puissance d'une contraction concentrique d'un muscle squelettique. La force, la vitesse et la puissance sont normalisées respectivement en fonction de la force isométrique maximale (F_{max}), la vitesse maximale de contraction (V_{max}) et la décharge maximale de puissance (P_{max}).

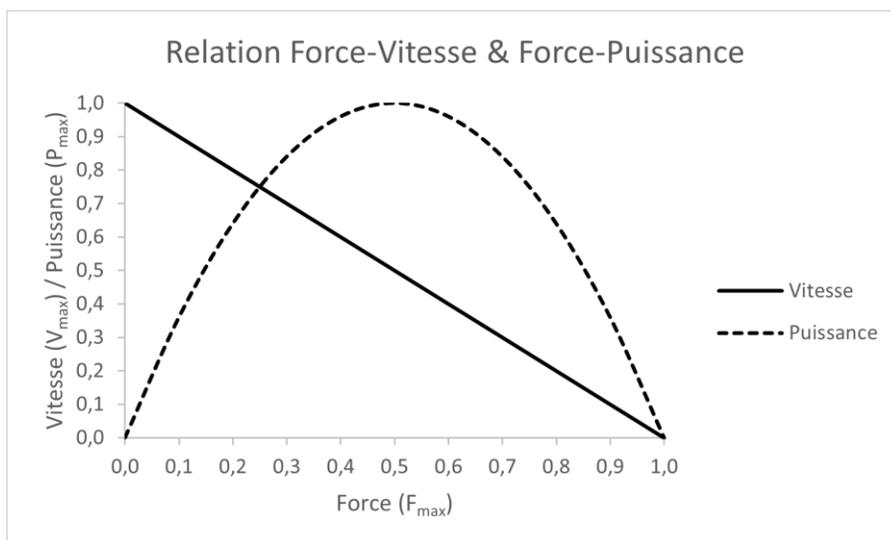


Figure 1.2 - Les relations Force-Vitesse et Force-Puissance (adapté de Cormie et al., 2011a)

Tel que mentionné dans la section 1.3.1, la puissance se manifeste de façon horizontale et verticale sur le terrain. Ainsi, par les associations précédemment établies, on peut également retrouver des relations force-vitesse horizontales et verticales. Suivant la littérature, ces relations seront par conséquent appelées profils force-vitesse (F-V) dans le restant du présent document. L'utilisation de plus en plus fréquente des profils F-V dans la littérature tend à inscrire cette approche comme un moyen simple et efficace d'observer l'expression des qualités neuromusculaires au soccer (Morin et Samozino, 2016). Lors de l'observation d'un profil F-V, l'utilisation de variables d'intérêt est bien sûr évidente. Les différentes variables d'intérêts pour ce mémoire sont les suivantes (adapté de Morin et Samozino, 2016) :

Tableau 1.1 - Définitions des principales variables d'intérêt des Profils F-V verticaux et horizontaux (adapté de Morin et Samozino, 2016)

Variable	Définition et équation	Interprétation pratique
F_0 (N)	Production maximale théorique de force par les membres inférieurs (à l'horizontale ou la verticales) tel qu'extrapolé par la relation linéaire F-V; F_0 est défini comme l'ordonnée à l'origine du profil F-V.	Quantité maximale de force concentrique que les membres inférieurs d'un athlète peuvent théoriquement produire.

V₀ (m/s)	<p>Vitesse maximale théorique des membres inférieurs tel qu'extrapolé par la relation linéaire F-V ; V₀ est défini comme l'abscisse à l'origine du profil F-V.</p>	<p>Vitesse maximale produite par les membres inférieurs d'un athlète.</p>
P_{max} (W)	<p>Décharge maximale de puissance mécanique (horizontale ou verticale). Établie par équation comme : $P_{max} = F_0 \times V_0 / 4$</p>	<p>Capacité maximale de décharge de puissance du système neuromusculaire durant une action concentrique et balistique des membres inférieurs de l'athlète.</p>

1.4 Modèle de performance proposé

Afin de résumer les différentes qualités neuromusculaires présentes au soccer ainsi que leur importance lors d'un match, il est possible de se rapporter à la figure 1.3 du présent document démontrant, par paliers, l'importance des différentes qualités neuromusculaires abordées dans ce document. Utilisant une forme pyramidale, on voit le premier étage de cette pyramide comme la base ou encore la fondation capitale des capacités nécessaires chez un joueur de soccer. Les compétences qualifiées comme primaires se rapportent donc à la capacité aérobie ainsi que ses déclinaisons. On retrouve donc dans ce premier étage les notions d'endurance aérobie et de VO₂Max qui sont primordiales dans la réalisation d'un match de soccer notamment en raison de la distance totale parcourue lors d'un affrontement qui peut monter jusqu'à 13 km (Bangsbo, 1994) mais aussi en raison de la capacité à maintenir des efforts intermittents sur de longues périodes (90min) et à alterner les périodes de repos avec les périodes à haute intensité qui requièrent l'utilisation des qualités neuromusculaires.

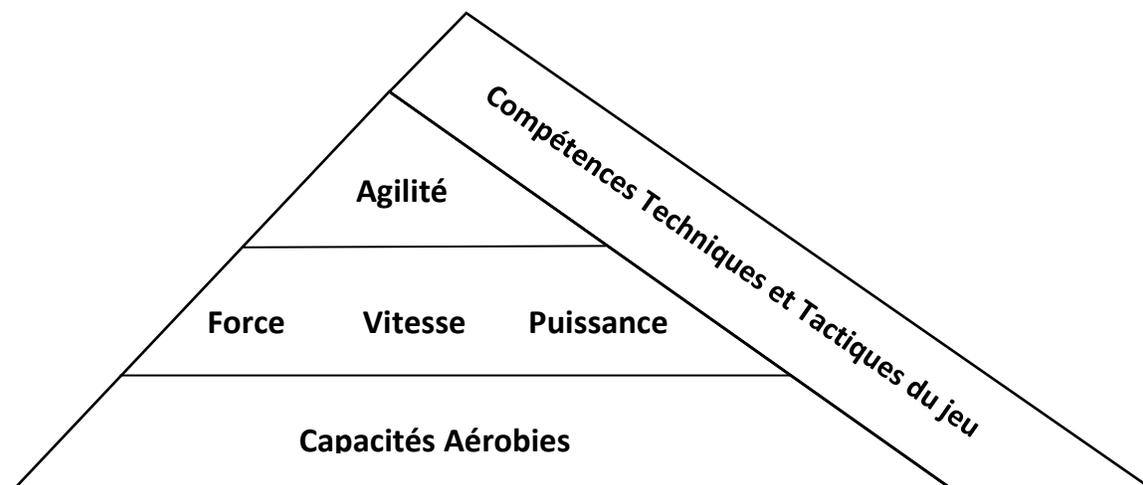


Figure 1.3 - Modèle de performance proposé

Une fois la base établie, le prochain palier représente les qualités définies comme étant les qualités secondaires à la réalisation de ce sport. On retrouve ici des qualités de haute importance étant donné leur influence sur l'issue du match. Les qualités du deuxième palier sont sollicitées lors des actions brèves et intenses qui peuvent changer l'issue d'un match et donc définir si une équipe repart avec une victoire ou une défaite. Également, il est possible de retrouver dans ce palier des déclinaisons de chacune de ces qualités. L'expression de la force, lors d'un match de soccer, s'effectue sur différentes zones de la relation force-vitesse-puissance. De plus, la vitesse se divise aussi en sous-catégories retrouvées sur ce même continuum. Finalement on observe sur ce palier la puissance qui peut être déclinée non seulement vers la puissance maximale mais aussi vers la notion d'accélération ainsi que de décélération étant donné la relation entre la force et la vitesse qui influence le développement de la puissance.

Au sommet de la pyramide se retrouvent les qualités considérées comme tertiaires dans ce document. L'agilité sera la qualité située au sommet de la pyramide non seulement en raison de son importance mais surtout puisqu'elle se base sur l'expression de qualités neuromusculaires telles que la force, la vitesse et la puissance. En effet, l'agilité représente un concept complexe qui peut être sous-divisé en une multitude de composantes qui exerceront une influence sur l'expression de l'agilité. En se basant sur la figure 1.4, tirée des travaux de Sheppard et Young (2006) et modifiée par Chaabene et ses collaborateurs en 2018, on voit clairement que la notion d'agilité peut se découler en deux principales composantes soient les facteurs de perception et de décision ainsi que la vitesse de changement de direction. Déjà, il est important de préciser la distinction effectuée par ce premier niveau. La différence majeure entre un changement de direction et la notion d'agilité sera donc la présence de stimuli externes pouvant influencer la perception ou encore la décision de l'athlète (Sheppard et Young, 2006). Dans le contexte de ce mémoire, comme il est question des qualités neuromusculaires et non des aspects de prise de décision, il sera donc pertinent de se pencher sur les facteurs influençant la vitesse de changement de direction (portion de droite de la figure 1.4). Ainsi,

de par la figure 1.4, tirée des travaux de Sheppard et Young (2006) et par la suite modifié en 2018 par Chaabene et ses collaborateurs, on peut comprendre l'influence des qualités neuromusculaires comme la vitesse de sprint linéaire, la force réactive, la force excentrique, la force et la puissance concentrique sur la vitesse lors de changement de direction (Chaabene et al., 2018). Il est important de noter néanmoins que les notions cognitives tournant autour de la prise de décision pendant le match seront à développer dans une préparation physique et tactique complète. Ces notions seront évidemment présentes lors des actions les plus décisives sur le terrain qui solliciteront surtout les qualités neuromusculaires décrites plus haut.

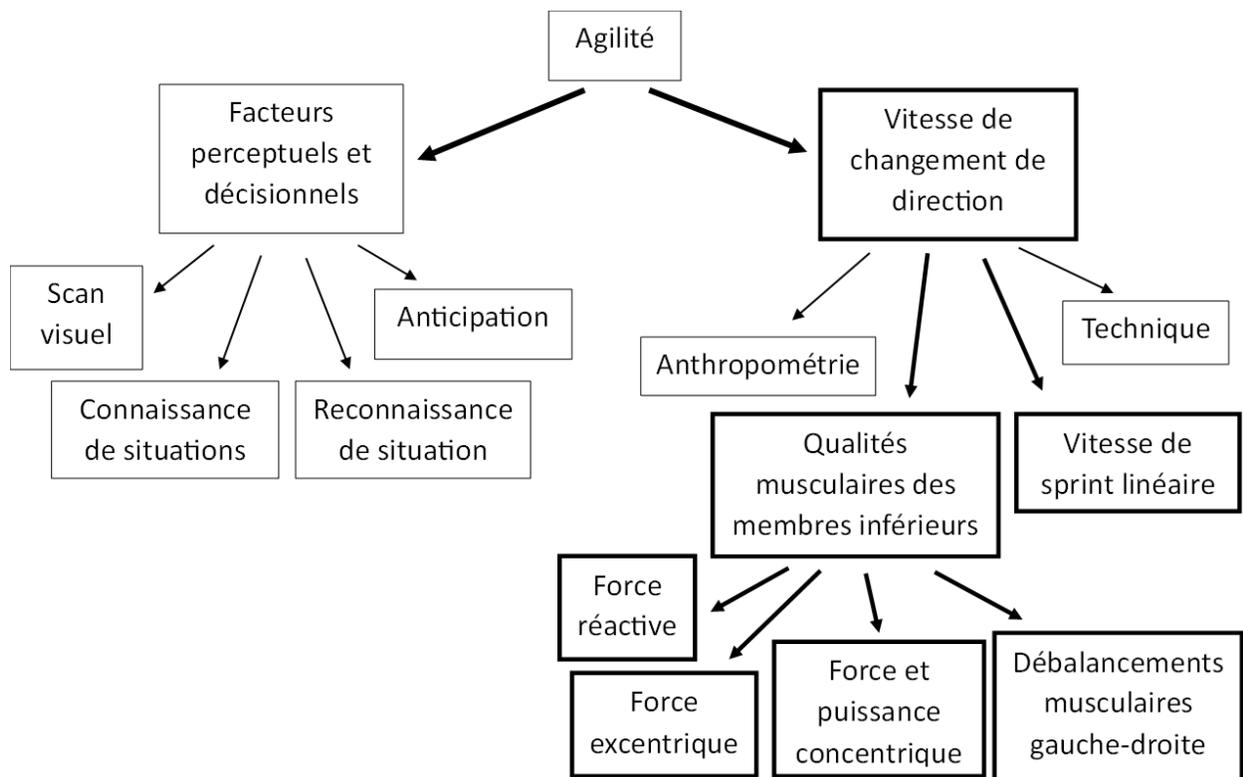


Figure 1.4 - Modèle des composantes de l'agilité (Adapté de Sheppard et Young, 2006 et modifiée par Chaabene et al., 2018)

Ainsi, par l'importance de la puissance produite sur le terrain lors des actions brèves et intenses, il est donc possible de comprendre l'importance des qualités de force et de vitesse au service de la performance de chaque joueur. Malheureusement, ces qualités neuromusculaires sont rarement mises de l'avant lorsqu'il est question de préparation physique. En effet, le développement des qualités de force et de vitesse est souvent décalé en second plan pour favoriser l'entraînement et le maintien de la capacité aérobie (Weldon et al., 2021). Pourtant, il a été démontré par les précédentes sections que l'issue d'un match professionnel se détermine par les brèves actions décisives comme des accélérations ou encore des sauts nécessitant un déploiement accru de puissance.

Enfin, il est possible de remarquer un bloc accompagnant les trois paliers d'importance dans la Figure 1.3 présentée plus haut. En effet, il s'agit des compétences techniques et tactiques relatives au jeu comme les habiletés avec le ballon (passe, tir, dribble) les placements sur le terrain et les stratégies d'équipes ou de position. Ces compétences sont qualifiées de complémentaires et, selon ce modèle de performance, accompagnent le joueur à travers les différents paliers. Ainsi, le développement de ces compétences peut être retrouvé pendant plusieurs moments de la préparation physique à travers des exercices et entraînements spécifiques avec ballon.

1.5 Évaluation de la condition physique spécifique au soccer

À la suite d'une revue de la littérature concernant les différentes techniques d'évaluation des nombreux paramètres de la performance au soccer. Nous avons ciblé les principaux tests présents actuellement dans le domaine de l'évaluation et de la préparation physique au soccer. Voici les principaux tests permettant d'évaluer les qualités neuromusculaires de force, vitesse et de puissance qui ont été considérés dans ce travail. Le choix des différents tests utilisés dans le cadre de cette étude a été réalisé en fonction du modèle de performance expliqué à la section précédente. De plus, considérant les multiples limitations aux tests inscrits dans le tableau 1.2 ci-bas, il a été choisi dans cette étude d'établir des profils Force-Vitesse horizontaux et verticaux en raison de l'importance de la puissance dans ce projet et de l'aspect novateur de cette prise de mesure. En effet, dans un but d'avancement scientifique en ce qui a trait à notre sujet, nous avons décidé d'inclure les profils horizontaux et verticaux car nous croyons que ceux-ci permettront de tirer les observations nécessaires relatives à la puissance développée par les athlètes tout en restant spécifique au sport.

Tableau 1.2 - Principaux tests physiques utilisés dans la littérature

Qualité évaluée	Test	Description Sommaire Protocole	Avantage	Désavantage	Réf.
Force Maximale	Tirage isométrique à mi-cuisse (IMTP)	Les participants commencent un échauffement par une série de 5 répétitions avec une barre vide puis 2 efforts isométriques à une intensité ressentie par le participant de 50 et 75% de l'effort maximum espacé d'une minute de pause. Tous les participants ont reçu les directives standardisées de tirer la barre le plus rapidement possible et le plus fort possible en poussant leurs pieds dans la plateforme de force jusqu'à ce qu'ils reçoivent la commande d'arrêter. Une fois que le corps était stabilisé (vérifié par observation du participant et de la courbe de force), le IMTP fut démarré par la consigne « 3, 2, 1, tirez » en s'assurant que les participants tirent pour 5 secondes. Les participants ont effectué un total de 3 essais maximaux espacés de 2 minutes de pause entre les essais.	Induit peu de fatigue, requiert peu de temps et potentiellement plus sécuritaire que des tests 1RM dynamiques. Corrélations fortes entre <i>le pic de force (Forster et al.)</i> atteint et le 1RM squat, 1RM arraché et épaulé-jeté et le 1RM soulevé de terre. Permet surtout d'observer le développement de la force d'un athlète à des intervalles de temps, RFD et impulsions spécifiques.	Peu de transfert vers les mouvements spécifiques au soccer	Dos'Santos 2018
	1RM Squat	Ajustement à partir d'estimation du 1RM puis max 3-4 essais (NSCA), estimation du 1RM à partir de 7-10RM utilisant équations (NSCA, ESTC 4 th ed p. 454)	Estimation 1RM possible pour un protocole plus sécuritaire	Risque de blessures, durée du test	Turner 2011
Force Puissance	Épaulé en puissance	Protocole de la NSCA (ESTC 4 th ed p.454). Les participants ont un maximum de 6 essais en augmentant progressivement la charge bien que la plupart terminent le test en 4 à 5 essais. Si les athlètes attrapaient la bar sous un angle de 90 degrés au genou, l'essai n'était pas comptabilisé et le participant recommençait après une période de repos de 3 minutes	Mouvement dynamique avec bonne corrélation avec les mouvements du soccer	Durée du protocole. Attention sur un seul participant à la fois	Turner 2011, Dos'Santos 2018

	Saut en contre mouvement (CMJ)	<p>Protocole Bosco où on mesure le meilleur temps d'envol ainsi que la meilleure hauteur de saut sur 3 essais.</p> <p>Les participants commencent dans une position debout sur la plateforme. Après une phase excentrique de descente (position demi-squat), ils sautent le plus haut possible sans faire l'usage des bras (mains fixées aux hanches)</p>	Prévalence du mouvement durant un match de soccer. Facilité de la technique et de l'installation. Possibilité de corrélérer les résultats avec ceux du SJ		Bosco 1983 Turner 2011, Sporis 2009
	Squat sauté (SJ)	Les participants doivent descendre en position de squat à 90° (confirmé par l'évaluateur). Après avoir reçu la commande 3,2,1 GO, ils doivent sauter de la position statique de départ sans descendre au préalable.	À l'instar du CMJ, le SJ minimise l'influence du cycle d'étirement-contraction et réduit l'influence des changements mécaniques observés dans les études sur le CMJ. Possibilité de corrélérer les résultats avec ceux du CMJ		Sams 2018, Sporis 2009
Pliométrie/réactivité	Saut en contre bas	<p>Indice de réactivité = <i>hauteur du rebond / temps de contact au sol</i></p> <p>Effectué à partir d'une hauteur de départ de 30 ou 45cm.</p> <p><i>Consigne 1</i> : Limiter le temps de contact au sol et propulser le corps le plus haut possible en utilisant majoritairement les composantes élastiques des structures tendineuses</p> <p><i>Consigne 2</i>: Permettre une absorption au sol plus importante que dans le <i>drop jump</i> tout en gardant un degré de réactivité élevé (limiter le temps de contact au sol). Utiliser majoritairement les</p>	Peu coûteux, comparable au CMJ	Peu de comparatif avec littérature	Newton & Dugan, 2002

		composantes élastiques des structures musculaires (Cycle étirement-contraction)			
Vitesse Max	5m sprint	<i>Départ lancé.</i> L'athlète commence sa course avant la ligne de départ pour obtenir la plus haute vitesse possible durant la distance mesurée. Sinon, utilisation d'un départ arrêté pour mesurer l'accélération sur 5m Cellules photoélectriques placées à la ligne de départ et 5m plus loin (arrivée)	Possibilité d'effectuer plusieurs distances en même temps avec plusieurs cellules photoélectriques 5m = Distance la plus souvent parcourue en sprint lors d'un match	Possibilités (peu probable) de blessure(s) si les athlètes ne sont pas habitués à ce genre de test.	Turner 2011, Sporis 2009
	10m sprint	Cellules photoélectriques placées à la ligne de départ et 10m plus loin (arrivée)	Les sprints en ligne droite sont les actions les plus fréquentes précédant un but lors des matchs de soccer selon Faude et al., 2012	Possibilités (peu probable) de blessure(s) si les athlètes ne sont pas habitués à ce genre de test.	Sporis 2009
	20m sprint	Cellules photoélectriques placées à la ligne de départ et 20m plus loin (arrivée)	Les sprints en ligne droite sont les actions les plus fréquentes précédant un but lors des matchs de soccer selon Faude et al., 2012	Possibilités (peu probable) de blessure(s) si les athlètes ne sont pas habitués à courir ces distances fréquemment.	Sporis 2009
	30m sprint	Cellules photoélectriques placées à la ligne de départ et 30m plus loin (arrivée)	Plus longue distance réelle de sprint pouvant avoir lieu lors d'un match	Possibilité d'observer un épuisement des athlètes et donc une sous-	Sporis 2009

				estimation des vitesses atteintes	
Changement de direction	Pro-Agility	Les participants partent en sprint de la ligne de départ jusqu'au cône à l'autre bout (9,1m), touchent le sol avec une main, changent de direction, sprintent à nouveau vers la ligne de départ, touchent à nouveau le sol avant d'effectuer un dernier changement de direction pour retourner en sprint vers la ligne d'arrivée délimitée par le cône du centre (4,6m)	Facile à administrer avec larges groupes de participants quand l'espace est restreint. Possibilité d'utiliser des cellules photoélectriques pour un départ lancé (Voir protocole de Vescovi 2008)		Turner 2011, Vescovi 2008
	T-test	Le participant commence le test avec les deux pieds derrière la ligne de départ A et démarre après le signal sonore. De la ligne de départ, le participant effectue un sprint en ligne droite de 9,14m jusqu'au point B pour y toucher le cône. Après, il se déplace sur le côté en pas chassés vers la gauche sur 4,57m pour atteindre et toucher le point C. Ensuite, il se déplace sur le côté en pas chassés vers la droite sur 9,14m pour toucher au cône D et ensuite 4,57m vers la gauche, de retour vers le point B. Finalement le participant cours par en arrière pousser passer la ligne d'arrivée au point A	Test comportant des déplacements latéraux en pas chassés ainsi que de la course par en arrière, ce qui réplique plus fidèlement les demandes réelles imposées lors des matchs	Plus longue durée d'effort que le pro-agility	Sporis 2009
	S180°	Les participants commencent après le signal sonore en courant 9m de la ligne d'arrivée jusqu'à la ligne B. Après avoir touché la ligne B avec un pied, ils effectuent un virage de 180° vers la droite ou vers la gauche (les virages suivants devaient être dans cette direction également). Les joueurs courent ensuite 3m vers la ligne C, effectuent un autre virage à 180° et courent 6m vers l'avant. Ensuite, ils effectuent un autre virage à 180° (ligne D) et	Virages à 180° pouvant être effectué avec la jambe dominante et non-dominante permettant des comparaisons bilatérales	Les changements de direction de 180° sont moins souvent présents lors d'un vrai match, limitant	Sporis 2009

		courent un autre 3m vers la ligne E avant d'effectuer un dernier virage à 180° et de courir le dernier 9 m jusqu'à la ligne d'arrivée (ligne F).		le transfert possible	
	K-test	Le participant court à vitesse maximale vers des cônes en forme de « K». Tous les cônes sont d'une hauteur de 25cm et possèdent un interrupteur à contact de 7cm de diamètre sur le dessus. Le participant débute au cône du milieu (1). Après avoir démarré le test par lui-même (en appuyant sur l'interrupteur), il court vers le cône 2 où il appuie sur l'interrupteur à nouveau pour ensuite courir vers le premier cône. De cette façon, il court graduellement vers tous les cônes au bout des branches du « K». Le test termine quand il appuie sur le premier cône après être revenu du cône 5.	Test rapide avec plusieurs changements de directions impliquant des accélérations et décélérations dans plusieurs directions	Test peu présent dans la littérature, rendant les comparaisons difficiles	Tomáš 2014
Répétitions de sprints	« <i>Sprint test</i> » modifié de Bangsbo 1994	Les participants font 7 sprints de la portion A-D avec un changement de direction aléatoire présent dans la portion B-C. Ils joggent ensuite la portion D-A en passant par E. Le temps de jogging « Récupération » est d'environ 23 à 24s	Test modifié pour permettre d'utiliser la jambe dominante et la jambe non-dominante	Étant donné le changement de direction aléatoire, un aspect cognitif de décision et réaction vient troubler l'aspect de sprints répétés	Wragg 2000
	Test de sprint	Les participantes ont couru 6 intervalles de sprints de 20m entrecoupée de décélération sur 10m ainsi que de récupération active en jogging sur 10m également. L'ensemble du cycle de sprint/décélération/récupération active se déroulait	Test basé sur les demandes des sprints effectués pendant les matchs donc plus de validité		Gabbett 2010

		sur 15 secondes étant donné les mesures prises durant les matchs			
Capacité aérobie Tests Terrain	YYIR1-2	Le <i>Yo-Yo Intermittent recovery test</i> consiste en des courses répétées de 2 x 20m (aller-retour) entre les lignes d'arrivées et de départ en effectuant des changements de direction à une vitesse augmentant graduellement dictée par les signaux d'une trame sonore. Entre chaque course, les participants disposent d'une période de 10s de repos actif composée de 2 x 5m de jogging. Lorsque le participant manque la ligne n'arrive pas à atteindre la ligne d'arrivée deux fois de suite à temps, la distance totale parcourue est enregistrée et représente le résultat pour ce test. Le test peut être effectué à deux profils de vitesses différentes (niveau 1 et 2).	Vitesse modulable (niveau 1 ou 2), test de nature intermittente qui estime la VO ₂ Max de façon plus authentique en lien avec les demandes physiologiques du jeu au soccer. Plusieurs participants peuvent effectuer le test en même temps	Longue durée de test	Krustrup 2003, Turner 2011, Bangsbo 1994
	Tests spécifiques sur terrain	Les participants se déplaçaient en maîtrisant le ballon à travers les cônes et soulevaient le ballon par-dessus les haies de 30cm. Entre le point A et le point B, les participants se déplaçaient à reculons tout en contrôlant le ballon avant de faire un demi et de commencer une nouvelle manche. Les participants avaient comme instructions d'augmenter l'intensité de course graduellement à un niveau les amenant à environ 90-95% de leur FC maximale après environ 60 secondes durant la période d'effort de 4 minutes. Les participants effectuaient deux intervalles de 4 minutes séparés par une période de 3 minutes à 70% de leur FC maximale.	Test répliquant de façon plus précise les demandes physiologiques du jeu que les tests sur tapis roulant (notamment utilisation d'un ballon). Peut être effectué sur le terrain et avec des groupes	Demande une plus longue durée d'installation que la plupart des tests terrains	Hoff 2002

<p>Capacité aérobie</p> <p>Tests en Laboratoire</p>	<p>Tests à paliers</p>	<p>Plusieurs protocoles possibles :</p> <p>(Casajús 2001) : Après un échauffement de 10 à 15 minutes, le test débute à une vitesse de 8km/h et une inclinaison de 3%. Par la suite, l'inclinaison est maintenue constante et la vitesse augmente d'un km/h chaque palier d'une minute jusqu'à l'épuisement du participant. La FC et le lactate sanguin sont également mesurés</p> <p>(Al'Hazzaa et al., 2001) : Après un échauffement de 6 minutes, le test débute en montant graduellement la vitesse du tapis roulant pour atteindre 15.5 km/h. Une fois cette vitesse atteinte, elle est maintenue constante et l'inclinaison est augmentée de 2% à chaque 2 minutes jusqu'à épuisement du participant. La FC et le seuil ventilatoire sont également mesurés selon ce protocole.</p>	<p>Donne une très bonne estimation de la VO₂max individuelle qui se précise avec les valeurs de FC ou de lactatémie sanguine</p>	<p>Doit être effectué en laboratoire et donc prend plus de temps et d'organisation</p>	<p>Casajús 2001, Al-Hazzaa 2001, Sporis 2009</p>
---	------------------------	--	---	--	--

CHAPITRE 2

PROBLÉMATIQUE

Ce chapitre a pour but de résumer les pratiques actuelles en conditionnement physique chez les joueurs de soccer professionnels ainsi que d'identifier les lacunes présentes dans les programmes utilisés. En effet, lorsqu'il est question du développement des qualités neuromusculaires, on remarque que peu de temps et d'importance y sont consacrés lors des entraînements. Les entraînements visent habituellement le développement des filières énergétiques majoritairement utilisées lors des matchs ainsi que le développement des aspect techniques et tactiques du jeu. Nous avons vu lors du chapitre précédent l'influence variable des différentes filières énergétiques mais également l'importance de certaines actions certes moins fréquentes lors des matchs de soccer mais néanmoins décisives sur l'issue du match.

2.1 Pratiques actuelles en préparation physique

Historiquement, le développement de la $VO_2\text{max}$ a souvent été ciblé par la préparation physique en raison des avantages possibles d'une $VO_2\text{max}$ élevée. Les joueurs ayant des $VO_2\text{max}$ plus élevées peuvent donc courir plus longtemps, sur une plus grande distance et récupèrent mieux des actions intenses présentes durant le match ce qui leur permet d'effectuer un plus grand nombre de ces actions, apportant ainsi un avantage stratégique majeur à leur équipe. On comprend donc que la $VO_2\text{max}$ reste le meilleur indicateur de performance aérobie et que son développement demeure une figure de proue dans la préparation physique des joueurs étant donné les avantages physiologiques majeurs à avoir des valeurs moyennes par équipe de $VO_2\text{max}$ plus élevée qu'une autre équipe (Hoff, 2005).

Dorénavant, les praticiens du monde de la préparation physique intervenant au soccer doivent considérer les autres aspects importants de la performance. En effet, à travers les objectifs majeurs de la préparation physique comme la prévention des blessures ainsi que l'amélioration de la performance physique et sportive, certains professionnels ayant plus de formation liée au soccer se concentreront sur le développement des habiletés techniques, tactiques et mentales des joueurs alors que d'autres préparateurs physiques vont plutôt diriger leur attention vers d'autres sphères comme le développement et la mesure des qualités neuromusculaires. Le présent document se concentre notamment sur ces dernières sphères et c'est pourquoi il est pertinent d'établir les différences entre les pratiques actuellement mises en place à travers les différentes ligues et nations évoluant dans le monde du soccer, en ce qui concerne le développement des qualités neuromusculaires des joueurs. Weldon et ses collègues ont pu recenser très récemment, à l'aide d'un questionnaire virtuel, les différentes pratiques de conditionnement physique mises en place par 52 préparateurs physiques évoluant au niveau professionnel à travers 18 pays (2021).

Ce questionnaire étendu comportant 45 questions était divisé en 8 sections : la formation effectuée par les préparateurs physiques, le développement de la force et de la puissance musculaire, le développement de la vitesse, la pliométrie, le développement de la flexibilité, les tests physiques, l'utilisation de la technologie ainsi que la programmation (Weldon et al., 2021). Les préparateurs physiques ont pu partager les différents exercices utilisés de même que la proportion de temps allouée pour chacune des sections décrites plus haut. En termes de fréquence, il est rapporté par Weldon et ses collègues que les séances de conditionnement physique chez les athlètes avaient majoritairement lieu trois fois par semaine pendant la saison morte (62% des clubs) et ne duraient que 31 à 45 minutes dans la majorité des cas (54%) ou encore 46 à 60 minutes (37% des cas) (2021). En revanche, la fréquence de conditionnement physique baisse pendant la saison compétitive à deux fois par semaine pour la majorité des équipes (62%). Les périodes d'entraînement baissent aussi en durée, les préparateurs favorisant des périodes de 16 à 30 minutes dans 42% des cas alors que plus de la moitié des séances durent 31 à 45 minutes (58%) (Weldon et al., 2021). On comprend donc que même si la fréquence des séances oscille entre deux à trois fois par semaine, la fréquence bi-hebdomadaire est plus populaire une fois la saison entamée de même que la durée des périodes d'entraînement qui diminue lors de la saison compétitive. Plusieurs raisons peuvent expliquer ce phénomène mais Weldon et ses collègues suggèrent que cela pourrait avoir un lien avec le plus gros problème auquel les préparateurs physiques interviewés font face. En effet, dans l'une des sections du questionnaire les préparateurs physiques devaient indiquer quels étaient les plus gros obstacles à la périodisation de la préparation physique au sein des clubs. La réponse la plus populaire à cette question fut la difficulté d'intégrer les séances de conditionnement physique avec le travail technique et tactique effectué par les joueurs en raison d'un nombre limité de journées d'entraînement (Weldon et al., 2021).

Également, un des grands problèmes auquel faisaient face les préparateurs physiques ayant répondu au questionnaire était l'individualisation de l'entraînement. L'aspect d'individualisation semblait être important pour les préparateurs physiques dans le but d'apporter un conditionnement optimal chez les joueurs mais restait une difficulté souvent rencontrée par ces entraîneurs qui auraient voulu intégrer davantage cet aspect dans leur programmation s'ils avaient eu accès à du temps et des ressources illimitées (Weldon et al., 2021). Pour pallier le manque de temps et de ressources, plusieurs préparateurs physiques se tournent depuis les dernières années vers la préparation physique intégrée en ce qui concerne le développement physique des joueurs (Weldon et al., 2021).

2.1.1 Préparation physique intégrée

La préparation physique intégrée survient comme réponse principale lorsqu'il est question de gestion de temps, de ressources ou encore d'énergie disponible. En effet, en raison de l'étendue des composantes de performance associées à la pratique du soccer, les préparateurs physiques ont dû se tourner vers des

méthodes pouvant isoler ou encore englober certains paramètres tout en gardant le but d'optimisation des performances des joueurs en tête. Par exemple, sont proposés des exercices sans ballon, développant des qualités physiques en isolation ou encore des nouvelles méthodes visant à développer simultanément des capacités physiques ainsi que des habiletés techniques et tactiques nécessaires au style de jeu physique des matchs de soccer contemporains. En effet, les différentes méthodes ont été utilisées pour développer les performances physiques des joueurs comme les entraînements de conditionnement physique traditionnels, les entraînements de vitesse notamment en sprint, les entraînements par intervalles à haute intensité (HIIT) ou encore les jeux en espaces réduits (Giménez et al., 2020).

2.1.2 Jeux en espace réduit

L'utilisation des jeux en espace réduit comme forme de préparation physique est largement documentée dans la littérature scientifique. Ce type d'entraînement sur terrain caractérisé par la mise en place d'un match intra équipe présente des paramètres pouvant être modifiés permettant de reproduire les différents aspects d'un vrai match. Ceci permet de développer nombreux aspects de la performance au soccer. Ils sont définis comme des jeux modifiés effectués sur de plus petits terrains avec des règles adaptées incluant un nombre de joueur souvent plus bas que lors d'un vrai match (Sarmiento et al., 2018; Hill-Haas et al., 2011). Les jeux en espaces réduits sont utilisés par les préparateurs physiques afin de développer non seulement les habiletés techniques des joueurs mais aussi de plus en plus utilisés pour développer les capacités aérobies des joueurs (Hill-Haas et al., 2009).

Un des principaux avantages de ce mode d'entraînement serait de pouvoir répliquer les mouvements, demandes physiologiques et les différentes conditions techniques d'un vrai match (Hill-Haas et al., 2011) tout en nécessitant que les joueurs prennent des décisions sous un état de fatigue. Sinon, sa popularité chez les préparateurs physiques pourrait également être expliquée par le temps sauvé lors des jeux en espace réduits comme ceux-ci développent les habiletés physiques, techniques et tactiques de façon simultanée. En revanche, le développement de ces capacités dépend du format de jeu utilisé (exemple : 3 v 3, 4 v 4, 5 v 5, modification de la taille du terrain, de règles de jeu, etc.) (Clemente et al., 2014).

Clemente et ses collègues, dans leur revue de 2014 sur le sujet, avancent que les formats de jeux en espaces réduits intermittents ou continus peuvent assurer le développement des qualités aérobies des joueurs. Ils précisent d'ailleurs certains formats appuyés par leur revue comme étant les plus aptes à développer les différentes qualités requises à la performance au soccer. Le format continu serait préférable pour le développement aérobie en tant que la lactatémie ne dépasse pas un certain seuil (2014). De l'autre côté, le format intermittent permettrait une intensité plus élevée suivie de période de repos appropriées (Clemente et al., 2014).

Cependant, les jeux en espace réduit ne représentent pas la panacée et comportent leur lot de lacunes et de désavantages. Parmi ceux-ci, Hill-Haas et ses collègues résument les principaux soient l'effet de plafonnage au niveau de l'intensité atteinte, l'incapacité à reproduire les périodes de matchs les plus intenses comme les sprints, le besoin d'avoir déjà un haut niveau tactique et technique afin d'atteindre les intensités désirées ainsi que le risque de blessures qu'entraîne ce genre d'entraînement (Hill-Haas et col., 2011). Les jeux en espace réduits représentent donc une façon utile mais non sans failles pour développer certains déterminants de la performance. De plus, en raison d'une haute variabilité ainsi qu'un bas taux de reproductivité inter-séances, il a été suggéré que les jeux en espace réduit seuls ne seraient pas suffisants pour développer toutes les capacités physiques (vitesse, force, puissance, agilité, par exemple) nécessaires chez un joueur de soccer accompli (Querido & Clemente, 2020). On comprend donc que lorsqu'il est question du développement et de l'entraînement des qualités neuromusculaires, les jeux en espaces réduits ne se mesurent pas aux techniques de conditionnement physique déjà établies dans la littérature.

En effet, Marshall et ses collègues rapportent dans leur méta-analyse parue en 2021 les différentes techniques d'entraînement utilisées lors de séances de conditionnement physique en salle comme la technique traditionnelle, complexe, contraste ou en groupe. Ils expliquent qu'il est possible d'utiliser ces méthodes afin de viser précisément le développement de certaines composantes athlétiques comme la force, la vitesse ou encore la puissance maximale pouvant être produite au niveau des membres inférieurs. Afin de développer la composante de force, par exemple, l'exercice devrait être effectué à une intensité proche de l'échec musculaire dans un état de fatigue déjà établi par la réalisation au préalable de plusieurs séries du même exercice à une intensité moindre (Marshall et al., 2021). Ceci est pratiquement impossible à réaliser dans le contexte des jeux en espace réduit étant donné la difficulté à atteindre une intensité assez élevée pour créer ces adaptations. En ce qui concerne le développement de la vitesse, Marshall et ses collègues suggèrent la méthode d'entraînement contraste qui consiste à effectuer un exercice à haute résistance suivi du même exercice à faible résistance mais en effectuant les répétitions le plus rapidement possible. La vitesse du deuxième exercice est développée grâce à un effet de potentialisation post-activation induit par le premier exercice effectué à haute résistance (Marshall et al., 2021). Encore là, il est impossible d'obtenir ce genre de résultats par le biais de jeux en espace réduits étant donné la difficulté d'établir des intensités précises et individuelles permettant un effet de potentialisation post-activation. Il est donc nécessaire de s'écarter des idées préconçues autour de la préparation physique au soccer et plutôt miser sur le développement des qualités neuromusculaires par le biais de séances de conditionnement physique.

2.2 Thème de recherche

En raison de l'importance des qualités neuromusculaires comme la force, la vitesse et la puissance à la performance au soccer mais surtout en raison des lacunes présentes avec la préparation physique intégrée,

le besoin de développer les qualités neuromusculaires de force et de puissance est plus que présent. De plus, suivant le principe d'individualisation de l'entraînement spécifique évoqué plus haut, il est primordial de baser l'intervention nécessaire sur une observation objective des athlètes. Une fois définis les écarts entre la performance actuelle et la performance requise, il est donc possible de cibler ces aptitudes lors d'un programme de développement. C'est avec ces concepts en tête que ce travail permettra une mesure des qualités neuromusculaires des joueurs de soccer évoluant chez différents clubs du Québec à différents niveaux de compétitions.

2.3 Objectifs & hypothèses

L'objectif général (#1) de ce projet sera donc de décrire et de caractériser les différences entre les qualités neuromusculaires des athlètes de soccer, en fonction des différents groupes (basés sur les catégories d'âge et le sexe) présents au sein d'une structure professionnelle de soccer. Cet objectif scientifique est la base du projet; c'est-à-dire inscrire dans la littérature actuelle un portrait clair des qualités neuromusculaires des athlètes de soccer au Québec. L'objectif #2 du projet sera de vérifier des associations entre les résultats obtenus lors des tests nécessitant l'utilisation d'un appareil coûteux et difficilement disponible et la performance lors de tests de terrains. Plus spécifiquement, la performance au test de saut en longueur sans élan (SL) sera comparée aux variables de performance mesurées lors du profil F-V HZT. L'objectif #3 sera de déterminer les facteurs associés à la performance lors de tests de changements de direction. Ainsi, il sera question de définir s'il existe une relation entre certaines des qualités neuromusculaires évaluées lors du projet et la performance lors du test de changement de direction.

L'hypothèse #1a est que les athlètes plus âgés seront caractérisés par des qualités neuromusculaires plus développées que les athlètes plus jeunes. L'hypothèse 1b est que les athlètes de sexe masculin seront définis par des qualités neuromusculaires plus développées que les athlètes féminines. L'hypothèse #2 est que la performance lors des tests terrains comme le SL sera associée positivement aux valeurs théoriques maximales (P_{\max} par exemple) pouvant être retrouvées dans les profils F-V horizontaux. Concernant le dernier objectif, l'hypothèse est que la force réactive, la V_0 horizontale et la F_0 horizontale seront associées à la performance lors des changements de direction.

CHAPITRE 3

MÉTHODOLOGIE

Dans cette section, les différentes étapes du protocole de tests de même que les spécifications concernant les athlètes et la mise en place des tests effectués seront décrites.

3.1 Approche expérimentale

Afin de pouvoir mesurer les différentes qualités neuromusculaires chez différentes populations, une séance de tests aura eu lieu avec les athlètes. Pour assurer une standardisation des tests et des valeurs enregistrées et pour éviter d'interférer avec leurs saisons de compétition respectives, les collectes de données seront effectuées durant la saison morte des différents clubs. De plus, considérant la réalité des clubs préprofessionnels, il est pratiquement impossible de faire déplacer l'entièreté des athlètes dans un laboratoire. Ainsi, les tests seront effectués sur un terrain de soccer extérieur. Les conditions de tests seront standardisées le plus possible tout en respectant le calendrier de compétition respectif des équipes (ordre de passation, temps de repos, équipement).

Après des mesures anthropométriques de base, un test de saut horizontal sera effectué. Par la suite, l'index de force réactive sera mesuré à la suite de sauts en contre-mouvement. Un profil Force-Vitesse vertical sera réalisé lors d'une série de sauts effectués avec une résistance progressive. Ensuite, la capacité de changement de direction sera mesurée grâce à un test spécifique au soccer. Finalement, un profil F-V horizontal sera réalisé en effectuant des courses en sprints avec une résistance progressive.

3.2 Description des athlètes

Les athlètes invités à prendre part à ce projet proviennent de l'Académie du CF Montréal. Les athlètes de l'Académie du CF Montréal sont divisés en plusieurs sous-groupes d'âge. Les participants de l'étude se situent dans les groupes U17M (Masculin), U18F (Féminin) et U23M (Masculin). La dénomination « U » suivi du numéro représente la catégorie d'âge des joueurs (exemple : U15 = *Under 15 years old*). Les groupes U17M et U23M seront composés de 20 athlètes chacun et le groupe U18F sera composé d'environ 30 joueuses. Les groupes U17M et U18F représentent des jeunes athlètes qui participent à un programme de sport-étude permettant d'évoluer avec un club professionnel tout en pouvant continuer à recevoir une éducation adéquate au niveau secondaire et collégial. Le groupe de l'Académie U23 représente l'équipe réserve du CF Montréal et évolue dans la ligue USL qui est considérée comme une ligue professionnelle de

3^e division en Amérique du Nord. Les athlètes provenant de l'Académie du CF évoluent dans le circuit de soccer compétitif du Québec depuis plusieurs années.

Les participants d'au moins 15 ans seront considérés pour l'analyse de données. Également, les athlètes blessés ou ne pouvant pas effectuer l'entièreté des tests ne seront pas considérés pour l'analyse de données. Des formulaires de consentement seront signés par les athlètes ou leur représentant légal pour les athlètes mineurs. Tous les athlètes participent aux tests de leur plein gré et le protocole de tests a été approuvé par le comité d'éthique de la recherche pour les projets étudiants impliquant des êtres humains (CERPE) de l'Université du Québec à Montréal.

3.3 Description des tests

Les séances de tests auront lieu en matinée pour tous les groupes, les athlètes seront équipés de leur souliers à crampons. Les athlètes arriveront en groupe de 5, au maximum, et passeront à travers une suite de stations ayant chacune une fonction précise. L'ensemble des stations sera établi sur un terrain de soccer régulier, les stations disposées afin qu'il y ait suffisamment d'espace pour chaque test.

L'ordre des stations a été défini en suivant les recommandations présentes dans l'article de Jonathan Weakley et ses collaborateurs soit en fonction des demandes physiologiques des tests afin de diminuer l'effet de fatigue accumulée pouvant altérer la performance des tests subséquents (2022). L'ordre de passation choisi pour la journée de tests est, entre autres, adapté de l'ordre proposé par McGuigan, qui le définit ainsi : 1. Anthropométrie; 2. Puissance; 3. Changement de direction/agilité; 4. Vitesse; 5. Force; 6. Endurance (2016). De plus, l'ordre implémenté permettra un roulement efficace entre les stations afin de maximiser le temps disponible et limiter les temps d'attentes pour les athlètes participant aux tests. Ainsi, l'ordre déterminé pour les différentes stations de test sera le suivant : 1. Identification et tests anthropométriques; 2. Activation; 3. Saut horizontal; 4. Force réactive; 5. Profil F-V vertical; 6. Changement de direction; 7. Profil F-V horizontal.

La première station sera celle d'enregistrement. Ici, les informations personnelles des athlètes seront consignées et les formulaires de consentement, distribués à l'avance, seront compilés afin de vérifier les signatures des athlètes majeurs et des parents des athlètes mineurs. La station d'enregistrement comportera également la prise de données anthropométriques (masse, taille, longueur des jambes et hauteur à 90 degrés de flexion au genou) qui sera effectuée par une personne de l'équipe de soutien intégrée (thérapeute sportif) qui sera familiarisée au préalable avec les valeurs à mesurer. Les deux longueurs de levier mesurées (longueur jambe tendue et hauteur à 90 degrés) sont utilisées pour le calcul automatisé d'une valeur d'intérêt du test de force réactive (voir section 3.3.2). Une fois les mesures anthropométriques prises, les athlètes effectueront une courte activation standard de façon autonome. Les athlètes effectueront l'activation habituellement utilisée par le club professionnel lors de pratiques et de matchs. Au besoin, les athlètes

pourront se référer à une activation distribuée par le chercheur responsable du projet. Une description des exercices proposés pour l'activation peut être retrouvée plus bas.

Tableau 3.1 - Activation préalable aux tests physiques

15m Aller – Pause de 10s – 15m Retour
Léger skip : En courant, gambader légèrement en montant doucement les genoux et en balançant les bras au rythme des jambes.
Pigeon debout : Nom provenant de la pose de yoga. En marchant, chaque genou est élevé vers la poitrine avec l'aide des deux mains. Le genou élevé vers la poitrine est en position fléchie et les mains s'accrochent au tibia.
Fentes alternées : En marchant avec les mains derrière la tête afin de garder une posture droite, le genou arrière vient toucher le sol pendant que le genou avant est plié à 90°. Répéter à chaque pas.
Légers talons-fesses : En courant, les talons sont levés afin de toucher les fesses en balançant les bras au rythme des jambes. À effectuer à basse intensité.
Légers genoux-hauts : En courant, remonter les genoux légèrement à chaque pas en balançant les bras au rythme des jambes. À effectuer à basse intensité.
Kicks jambe droite : En marchant en gardant les bras tendus vers l'avant, balancer la jambe vers l'avant afin de toucher la paume de la main avec les orteils. Alternier de jambe à chaque balancement de jambe.
Skip A : En courant, monter le genou à un angle de hanche de 90° à chaque pas pendant que la main opposée est soulevée devant le visage, le coude à un angle de 90° également. Alternier les jambes et bras en rythme.
Skip B : Identique au Skip A mais en fouettant l'avant du pied au sol une fois le genou abaissé à chaque pas.
Genoux-hauts rapides : En courant, monter les genoux le plus haut possible en utilisant les bras au rythme des jambes.
Carioca : Courir de façon latérale en croisant les pieds devant puis derrière en alternant à chaque pas. Faire face au même côté lors de l'aller comme le retour.
Power skip : En courant, effectuer des bonds à chaque pas en montant le genou vers la poitrine en balançant les bras au rythme des jambes.
Accélération : Effectuer deux accélérations progressives jusqu'à une intensité de 75% sur la distance de l'échauffement en revenant au point de départ en jogging.

3.3.1 Saut en longueur sans élan (SL)

Pour ce test, les athlètes seront appelés à effectuer 3 sauts horizontaux avec la consigne d'obtenir la plus grande distance horizontale possible. Les pieds des athlètes devront être situés derrière une ligne délimitée au sol sans y toucher puis devront sauter à pieds joints en utilisant un mouvement des bras et sans

repositionner leurs pieds avant ou après le saut. Chaque essai sera entrecoupé d'une pause de 90 secondes. Si l'athlète ne parvient pas à atterrir de façon contrôlée, l'essai devra être repris. La distance horizontale parcourue, mesurée avec un ruban en cm, sera considérée comme la distance entre la ligne de départ et le talon le plus reculé de l'athlète. Le protocole de ce test est basé sur l'étude de Dugdale et ses collaborateurs ayant démontré la fiabilité et la validité de ce test (2019). Ils ont démontré que ce test avait une très bonne fiabilité par des coefficients de corrélation intra-classe (ICC) élevés soient 0.90 - 0.97 pour l'ensemble des groupes (U11 à U17) (Dugdale et al., 2019).

3.3.2 Force réactive

Ensuite, les participants devront effectuer une série de sauts visant à mesurer la force réactive. La force réactive est habituellement mesurée à partir de variables extraites lors d'un CMJ ou DJ. Ensemble, ces variables forment un ratio appelé RSI en anglais pour *Reactive strength index*. Mathématiquement, le RSI équivaut à la hauteur de saut exprimée en cm divisé par le temps de contact au sol (en secondes) lors d'un DJ. La mesure de RSI est présentée habituellement comme un ratio ne comportant pas d'unités. Dans la littérature récente sur le sujet, il est possible de trouver une version modifiée de l'indice de réactivité (RSI_mod) calculé lors d'un CMJ comme étant la hauteur de saut divisée par le temps de décollage, défini en secondes comme le temps entre l'initiation du saut jusqu'au moment où l'athlète décolle du sol. La fiabilité de cette mesure ayant été éprouvée par la littérature (Ebben et al., 2010), le RSI_mod fut donc choisi pour évaluer la force réactive des athlètes. Dans son étude de 2022, Bishop et ses collaborateurs ont vérifié la validité et la fiabilité d'un instrument, une application pour appareils intelligents appelée *My Jump Lab*, permettant d'obtenir le RSI_mod de façon rapide et qui pourrait remplacer les coûteuses plateformes de force habituellement utilisées pour établir cet indice de réactivité. Le protocole d'évaluation de la force réactive de ce travail est donc basé sur l'étude de Bishop et ses collaborateurs en ce qui concerne les étapes de réalisation du saut en contremouvement (2022).

Pour la collecte de données les sauts seront filmés par un iPad 10^{ème} génération, filmant à une fréquence de 60 images par secondes, monté sur un trépied installé à une hauteur de 0,75 mètre et à une distance de 3 mètres devant l'athlète. Tous les vidéos seront analysés par l'application *My Jump Lab* installé sur l'iPad où la mesure du temps de de décollage, défini comme le temps entre le début de la descente initiale et le moment où les pieds décollent du sol, sera enregistrée afin d'en tirer le RSI_mod (Bishop et al., 2022). C'est pour ce test que les valeurs de levier mesurées à la première station seront utiles, plus particulièrement lors des analyses des vidéos à postériori permettant de calculer le RSI_mod de chaque athlète.

Les athlètes seront appelés à effectuer 3 sauts en contre-mouvement en visant un effort maximal à chaque essai entrecoupé de périodes de repos de 90 secondes. Les mains doivent rester fixées aux hanches et les jambes doivent rester complètement tendues lors de la phase d'envol. Chaque saut sera débuté en demandant

une hauteur de saut maximale à l'athlète. La profondeur du contre mouvement sera choisie de façon autonome de sorte à ne pas influencer la stratégie de saut (Bishop et al., 2022).

3.3.3 Profil Force-Vitesse vertical

Lors de ce test visant à établir un profil F-V VRT, les athlètes devront effectuer une série de squats sautés progressivement chargés. La hauteur de saut, mesurée par un capteur de position linéaire *Linear position transducers* (LPT) (GymAware; *Kinetic Performance Technologies*, Canberra, Australie) permettra le dressage du profil F-V VRT duquel il sera possible d'obtenir la force, la vitesse et la puissance maximale théorique (F_0 , V_0 et P_{MAX} respectivement) de même que les valeurs maximales théoriques relatives (F_{OREL} et P_{MAXREL}). Le protocole de l'établissement du profil Force-Vitesse vertical est basé selon les recommandations de Morin et Samozino (2016). Cependant, en raison des contraintes pratiques de réalisation des tests expliquées au début de la section 3.3, le protocole initial de Morin et Samozino (2016) devra être modifié en conséquence. Ainsi, les athlètes effectueront une série de 4 squats sautés avec une charge progressivement plus élevée installée sur une barre hexagonale.

La première condition de test s'effectuera sans charge additionnelle. En effet, l'athlète devra tenir un cerceau en plastique (visant à répliquer la forme de la barre hexagonale) auquel le capteur de position linéaire sera attaché. Suite aux directives de l'évaluateur, l'athlète devra descendre dans une position de squat et puis, le plus rapidement possible, remonter pour sauter le plus haut possible tout en gardant les bras complètement tendus pendant l'entièreté du saut. La 2^e condition de test sera représentée par l'ajout de la barre hexagonale vide (20,41 kg de charge additionnelle). La 3^e condition représentera une charge additionnelle de 24,95 kg et la 4^e et dernière, une charge de 29,48 kg. Deux essais consécutifs seront effectués pour chaque charge, le meilleur étant gardé pour les analyses de données. Trois minutes de repos seront allouées entre chaque charge. La hauteur de saut ainsi que la vitesse moyenne et de pointe de chaque essai seront enregistrées par le capteur de position linéaire et permettront d'établir profil F-V vertical.

3.3.4 Changement de direction

Les athlètes effectueront un test de changement de direction, le *Pro-Agility Test*. Ce test est très présent dans la littérature pour mesurer la rapidité à laquelle un athlète peut effectuer des changements de direction et est largement utilisé par les préparateurs physiques dans le monde du soccer. Le protocole initial de ce test remonte à un article de 1985 de Draper et Lancaster. Afin de prendre en compte les réalités imposées par le terrain et l'évolution du jeu du soccer, les distance ont été réduites (5 m → 5 verges). L'objectif du test est de démarrer à une ligne du centre, effectuer une course de 5 verges ou 4,57m vers la gauche, toucher un plot de la main puis redémarrer vers la droite le plus vite possible pour courir 10 verges ou 9,14m jusqu'à toucher

un autre plot puis effectuer un dernier changement de direction, cette fois-ci vers la gauche pour courir un dernier 4,57 m afin de franchir la ligne d'arrivée, située au centre (ligne de départ également). Le test sera ensuite effectué à nouveau après un repos de 3 minutes dans la direction opposée afin d'obtenir des résultats relatifs aux deux directions de course (droite et gauche). Une paire de cellules photoélectriques (*Brower Timing Systems, IR Emit, Draper, UT, USA*) située sur la ligne de départ/d'arrivée à la hauteur des mollets de l'athlète sera utilisée afin de mesurer le temps total (en secondes) requis pour effectuer le test de chaque côté. Les meilleurs temps de chaque côté seront combinés ensemble afin d'obtenir une appréciation plus globale de la performance de l'athlète lors d'un changement de direction. Ainsi, les athlètes se placeront dans une position de départ en plaçant leurs jambes de part et d'autre de la ligne de départ/arrivée et en regardant l'évaluateur. Une fois l'athlète et l'évaluateur prêts, l'athlète démarrera le test en effectuant un départ à la course vers sa droite, franchissant le laser situé entre ses jambes et donc déclenchant le début de l'enregistrement du temps. Afin de s'assurer que les athlètes touchent le plot situé sur la ligne de changement de direction avec leur main, l'évaluateur restera concentré sur les deux plots comme le temps sera enregistré automatiquement par les cellules photoélectriques. Si un athlète échoue son changement de direction (pas de contact avec le cône, glisse ou faux départ), un essai supplémentaire sera alloué après une période de trois minutes de repos passif.

3.3.5 Profil Force-Vitesse horizontal

Afin d'établir le profil Force-Vitesse horizontal des athlètes, ceux-ci effectueront des courses à vitesse maximale avec différentes résistances. Le protocole de cette étude est basé sur une série d'études publiées récemment faisant l'usage d'un appareil robotique de résistance appelé le *1080Sprint* (1080Motion, Lidingö, Suède). Le *1080Sprint* est un appareil portable avec une résistance modulable (1–30 kg) par un câble utilisant un servomoteur (2000 RPM OMRON G5 *Series Motor*; OMRON Corporation, Kyoto, Japan). Le moteur est connecté à une corde de fibre composite enroulée sur une bobine pouvant s'étendre jusqu'à 90 m. La charge placée comme résistance est contrôlée par l'application *Quantum Computer* (1080Motion) où les données de vitesse, force et de puissance moyennes et de pointe sont enregistrées et utilisées afin d'en tirer les profils F-V HZT. Les profils F-V HZT seront réalisés en fonction des formules et des recommandations de Morin et Samozino (2016) permettant l'obtention de valeurs théoriques maximales de force (F_0 et F_{0REL}), vitesse (V_0) et de puissance (P_{MAX} et P_{MAXREL}).

Le protocole de test est inspiré d'une étude de Matt Cross et ses collaborateurs publiée en 2018 utilisant le même appareil pour évaluer le profil force-vitesse horizontal d'athlètes de sports collectifs ainsi que sur une étude de Mangine et ses collaborateurs ayant utilisé également, en 2018, le même appareil de résistance robotique. De plus, l'équipe de recherche ayant effectué plusieurs formations de la compagnie 1080Motion sur l'utilisation de cet appareil ainsi que la prise de mesures reliée au *1080Sprint*, il a été décidé de mettre

en place un protocole modifié afin de prendre en compte les risques reliés à la réalisation de ce test et les demandes modernes du sport. La mesure comporte ainsi un sprint de 30 m effectué sans résistance ainsi que deux sprints de même distance effectués avec des résistances augmentant graduellement. Les résistances de la 2^e et 3^e condition seront de 5 kg et 10 kg, respectivement.

Chaque course visera à atteindre la vitesse maximale (V_{max}) et sera suivie d'une période de repos passive d'au moins 5 minutes. Chaque essai requiert que l'athlète se place en position de départ à deux points d'appuis (un pied devant l'autre), derrière une ligne identifiée puis démarre à vitesse de sprint vers l'avant sans mouvement vers l'arrière au préalable. Lors des essais, les athlètes devront se pencher vers l'avant afin d'établir une tension dans la corde et de maintenir cette tension en ne bougeant que vers l'avant afin de ne pas compromettre les résultats. Des encouragements verbaux seront donnés afin d'assurer un effort maximal complet à chaque essai (Cross et al., 2018). Les participants pourront démarrer chaque course par eux-mêmes comme l'application *Quantum Computer* permet de détecter la position de l'athlète et de démarrer la prise de données à partir du premier mouvement de l'athlète jusqu'à la distance observée (30m).

3.4 Analyses statistiques

Les données recueillies feront d'abord l'objet d'une analyse descriptive qui permettra d'établir les moyennes et écarts types pour chaque variable à l'étude. La normalité de la distribution ainsi que l'homogénéité de la variance seront vérifiées avec les tests de Shapiro-Wilk et de Levene, respectivement. Au besoin, le test de Brown-Forsythe sera considéré. D'abord, des ANOVAs seront réalisées pour vérifier l'hypothèse selon laquelle la performance des athlètes variera en fonction du groupe d'âge et du sexe. Les pourcentages d'écart entre les groupes seront calculés lorsqu'une différence significative sera observée. Une approche corrélationnelle sera utilisée pour vérifier que l'âge est associé à la performance aux tests physiques et pour vérifier que la performance au test de saut horizontal est associée aux paramètres mesurés lors du profil F-V HZT. Les corrélations seront interprétées avec l'échelle proposée par Munro (bonne si $0.50 \leq r \leq 0.69$, forte si $0.70 \leq r \leq 0.89$, et très forte si $r \geq 0.90$) (Munro, 2005). Enfin, une régression linéaire (sélection ascendante) sera utilisée pour tester l'hypothèse selon laquelle l'âge, RSI_mod, F_0 et V_0 sont associées à la performance au test de changement de direction. Tous les tests statistiques seront faits avec l'aide du logiciel SPSS, version 29, et les tests seront considérés significatifs lors que $p < 0.05$.

CHAPITRE 4

RÉSULTATS

4.1 Caractéristiques descriptives des athlètes

Au total 60 athlètes ont été considérés pour les analyses statistiques. 15, 26 et 19 athlètes provenaient des groupes U17M, U18F et U23M respectivement. L'âge rapporté dans les tableaux fait référence à l'âge des athlètes au moment des tests. Les moyennes des valeurs anthropométriques et des variables de performance de tous les athlètes considérés pour les analyses statistiques se retrouvent dans le tableau 4.1. Les valeurs moyennes de force et de vitesse ont été conservées pour les analyses statistiques du profil F-V HZT.

De plus, les variables du profil F-V VRT n'ont pas été considérées pour les analyses statistiques avancées en raison d'erreurs techniques lors de la collecte de données. En effet, les valeurs du coefficient de détermination (R^2), décrites sous la forme : moyenne \pm écart type (minimum – maximum) pour les différents groupes observés étaient les suivantes : Groupe U17M : 0.495 ± 0.299 (0.011 – 0.945), Groupe U18F : 0.590 ± 0.301 (0.021 – 0.988), Groupe U23M : 0.646 ± 0.248 (0.076 – 0.975). Il est donc évident par les coefficients de détermination que les valeurs mesurées présentent une très grande variabilité et même, souvent, une absence de relation F-V linéaire. Toutefois, une section explicative de la discussion (5.1.3) sera dédiée à ce sujet.

Tableau 4.1 - Valeurs anthropométriques et variables de performance

	Moyenne \pm Écart Type	Minimum	Maximum
Taille (cm)	174.02 \pm 9.05	155.0	196.0
Poids (kg)	66.77 \pm 11.73	43.0	97.7
Âge (ans)	16.79 \pm 1.24	15.03	19.43
SL (cm)	227.50 \pm 24.94	183.0	279.0
RSI_mod	0.400 \pm 0.116	0.220	0.690
COD (s)	9.23 \pm 0.49	8.44	10.13
PFVH_AS_V ₀ (m/s)	8.37 \pm 0.61	7.07	9.41
PFVH_AS_F ₀ (N)	419.15 \pm 85.72	285.26	643.31
PFVH_AS_F _{0rel} (N/kg)	6.28 \pm 0.62	4.84	7.73
PFVH_AS_P _{max} (W)	885.43 \pm 228.12	527.20	1418.68
PFVH_AS_P _{maxrel} (W/kg)	13.17 \pm 1.93	9.39	17.99
PFVH_AS_R ²	0.993 \pm 0.011	0.940	1.000

	Moyenne ± Écart Type	Minimum	Maximum
Abréviations : RSI_mod, <i>Modified Reactive Strength Index</i> ; COD, <i>Change of direction</i> ; PFVH_AS_, Profil F-V HZT utilisant la vitesse moyenne enregistrée; V ₀ , Vitesse maximale théorique; F ₀ , Force maximale théorique; F _{0rel} , Force maximale théorique relative; P _{max} , Puissance maximale théorique; P _{maxrel} , Puissance maximale théorique relative; R ² , Coefficient de détermination.			

4.2 Comparaisons entre les groupes d'athlètes

Dans le tableau 4.2, il est possible de retrouver les caractéristiques anthropométriques de chaque groupe d'athlètes. Pour les tableaux 4.2 et 4.3, les résultats sont présentés sous la forme suivante : moyenne ± écart type (minimum – maximum). En ce qui concerne la taille des athlètes, on peut remarquer une différence significative ($p < 0.001$) entre le groupe U23M (182.58 ± 7.87 cm) et le groupe U17M (173.27 ± 5.85 cm) ainsi que le groupe U18F (168.19 ± 6.17 cm, $p < 0.001$). Également, la taille des athlètes du groupe U17M tend à être différente de celle des athlètes du groupe U18F ($p < 0.068$). Pour ce qui est de la masse des athlètes, on peut observer une différence significative ($p < 0.001$) entre le groupe U23M (78.10 ± 10.43 kg) et les groupes U17M (65.14 ± 6.15 kg) et U18F (59.42 ± 8.37 kg). En ce qui concerne l'âge des athlètes, il y a une différence significative ($p < 0.001$) entre l'âge moyen du groupe U23M (18.17 ± 0.81 ans) et ceux des groupes U17M (16.00 ± 0.49 ans) et U18F (16.23 ± 0.92 ans) mais les groupes U17M et U18F ne sont pas significativement différents en âge.

Tableau 4.2 - Valeurs anthropométriques pour chaque groupe d'athlètes

	U17M (n = 15)	U18F (n = 26)	U23M (n = 19)
Taille (cm)	$173.27 \pm 5.85^*$	$168.19 \pm 6.17^*$	182.58 ± 7.87
	(165 – 184)	(155 – 185)	(168 – 196)
Masse (kg)	$65.14 \pm 6.15^*$	$59.42 \pm 8.37^*$	78.10 ± 10.43
	(57.8 – 75.7)	(43 – 88)	(59.7 – 97.7)
Âge (ans)	$16.00 \pm 0.49^*$	$16.23 \pm 0.92^*$	18.17 ± 0.81
	(15.2 – 16.6)	(15.03 – 17.68)	(16.91 – 19.43)

Résultats exprimés sous la forme moyenne ± écart type (minimum – maximum)

* Significativement différent de U23M ($p < 0.001$)

Dans le tableau 4.3, on peut retrouver les variables de performance pour chaque groupe d'athlètes. On peut apercevoir une différence entre les résultats au SL des groupes U17M (242.67 ± 17.68 cm) et U23M (245.11 ± 15.40 cm) qui sont tous deux significativement différents du groupe U18F (205.89 ± 16.22 cm, $p < 0.001$). Les résultats au test de saut en contremouvement indiquent que les valeurs de RSI_mod des groupes U17M (0.426 ± 0.104) et U23M (0.497 ± 0.097) sont significativement différentes ($p < 0.001$) de celles du groupe U18F (0.313 ± 0.061). De plus, la moyenne du RSI_mod du groupe U17M tend à être différente de celle du

groupe U23M ($p < 0.059$). En ce qui concerne le test de changement de direction, le groupe U18F (9.70 ± 0.28 s) se distingue des groupes U17M (8.95 ± 0.25 s) et U23M (8.81 ± 0.21 s) de façon significative ($p < 0.001$). Pour le profil F-V horizontal, la vitesse maximale théorique du groupe U18F (7.78 ± 0.35 m/s) était significativement différente ($p < 0.001$) de celle des groupes U17M (8.76 ± 0.39 m/s) et U23M (8.86 ± 0.26 m/s). La force maximale théorique moyenne du groupe U18F (353.08 ± 42.41 N) était également significativement différente ($p < 0.001$) de celle des groupes U17M (428.21 ± 48.62 N) et U23M (502.41 ± 77.83 N). Les groupes U17M et U23 étaient également significativement différents ($p < 0.05$) l'un de l'autre en ce qui concerne les valeurs moyennes de force maximale théorique. Pour les valeurs moyennes de force maximale théorique relative, les groupes U17M (6.57 ± 0.37 N/kg) et U23M (6.45 ± 0.74 N/kg) étaient significativement différentes ($p < 0.05$) du groupe U18F (5.98 ± 0.53 N/kg). La valeur moyenne de puissance maximale théorique du groupe U18F (688.43 ± 100.37 W) était significativement différente ($p < 0.001$) de celle des groupes U17M (938.52 ± 124.34 W) et U23M (1113.10 ± 177.29 W) qui sont également significativement ($p < 0.05$) différents entre eux. La valeur moyenne de puissance maximale théorique relative du groupe U18F (11.64 ± 1.27 W/kg) était significativement différente ($p < 0.001$) de celle des groupes U17M (14.39 ± 1.03 W/kg) et U23 (14.30 ± 1.77 W/kg).

En résumé, les athlètes masculins ont obtenu, en moyenne, des résultats plus élevés que leur contrepartie féminine, et ce, pour toutes les variables de performances. En ce qui concerne le SL, les athlètes féminines sautent 17.86% et 19.05% moins loin que les athlètes masculin (U17M & U23M, respectivement). Pour le CMJ, le RSI_mod des athlètes du groupe U18F est 38.71% et 61.29% plus bas que celui des groupes U17M et U23M, respectivement. En ce qui concerne le test de changement de direction, l'écart de performance entre les athlètes féminines et masculins se situe à 7.73% lorsque comparé au groupe U17M et à 9.18% lorsque comparé au groupe U23M. Pour la vitesse théorique maximale, les valeurs de V_0 du groupe U18F sont plus basses de 12.6% et 13.88% comparativement aux groupes masculins (U17M et U23M respectivement). Également, certaines variables se distinguaient entre tous les groupes. En effet, pour F_0 , l'écart entre le groupe U18F et U17M est de 21.28% alors que l'écart entre le groupe U17M et U23M est de 17.33%. Ainsi la différence entre le groupe U18F et le groupe U23M est de 42.29%. Pour P_{max} , il existe une différence significative entre le groupe féminin et les groupes masculins mais aussi entre les deux catégories d'âges chez les athlètes masculins. En effet, le groupe U18F présente des valeurs de P_{max} plus faibles de 36.33% et 61.69% par rapports aux groupes masculins (U17M et U23M respectivement) alors que la valeur moyenne de P_{max} du groupe U17M est plus faible de 18.6% comparée à celle du groupe U23M.

Tableau 4.3 – Variables de performance pour chaque groupe d'athlètes

	U17M	U18F	U23M
SL (cm)	242.67 ± 17.68 [#] (212 – 275)	205.89 ± 16.22 (183 – 238)	245.11 ± 15.40 [#] (224 – 279)
RSI_mod	0.426 ± 0.104 [#] (0.280 – 0.590)	0.313 ± 0.061 (0.220 – 0.420)	0.497 ± 0.097 [#] (0.290 – 0.690)
COD _{TOTAL} (s)	8.95 ± 0.25 [#] (8.53 – 9.40)	9.70 ± 0.28 (9.08 – 10.13)	8.81 ± 0.21 [#] (8.44 – 9.36)
PFVH_AS_V ₀ (m/s)	8.76 ± 0.39 [#] (8.14 – 9.28)	7.78 ± 0.35 (7.07 – 8.47)	8.86 ± 0.26 [#] (8.37 – 9.41)
PFVH_AS_F ₀ (N)	428.21 ± 48.62 ^{#*} (354.21 – 517.32)	353.08 ± 42.41 (285.26 – 474.78)	502.41 ± 77.83 [#] (384.70 – 643.31)
PFVH_AS_F _{0rel} (N/kg)	6.57 ± 0.37 ^{&} (5.91 – 7.12)	5.98 ± 0.53 (4.84 – 6.99)	6.45 ± 0.74 ^{&} (5.02 – 7.73)
PFVH_AS_P _{max} (W)	938.52 ± 124.34 ^{#*} (766.60 – 1185.09)	688.43 ± 100.37 (527.2 – 946.55)	1113.10 ± 177.29 [#] (847.85 – 1418.68)
PFVH_AS_P _{maxrel} (W/kg)	14.39 ± 1.03 [#] (12.38 – 16.29)	11.64 ± 1.27 (9.39 – 14.2)	14.30 ± 1.77 [#] (11.16 – 17.99)
PFVH_AS_R ²	0.989 ± 0.009 (0.970 – 1.00)	0.997 ± 0.005 (0.980 – 1.00)	0.991 ± 0.016 (0.940 – 1.00)

Résultats exprimés sous la forme moyenne ± écart type (minimum – maximum)

Abréviations : RSI_mod, *Modified Reactive Strength Index*; COD, *Change of direction*; PFVH_AS_, Profil F-V HZT utilisant la vitesse moyenne enregistrée ; V₀, Vitesse maximale théorique; F₀, Force maximale théorique; F_{0rel}, Force maximale théorique relative; P_{max}, Puissance maximale théorique; P_{maxrel}, Puissance maximale théorique relative; R², Coefficient de détermination.

[#]Significativement différent de U18F (p < 0.001), ^{*}Significativement différent de U23M (p < 0.05), [&] Significativement différent de U18F (p < 0.05)

4.3 Corrélations

Dans le tableau 4.4, on retrouve les associations pouvant être établies entre la performance aux tests physiques effectués par les athlètes et leur âge au moment des tests ainsi que la performance au test de SL. On peut ainsi constater que l'âge possède une bonne corrélation avec la performance au test de saut en contremouvement (r = 0.541, p < 0.001). L'âge possède également une bonne corrélation avec la valeur de puissance maximale théorique (r = 0.501, p < 0.001). Pour ce qui est du SL, la performance lors de ce test est fortement et positivement corrélée à la valeur de RSI_mod (r = 0.733, p < 0.001), à la V₀ (r = 0.853, p <

0.001) ainsi qu'à la P_{\max} ($r = 0.742$, $p < 0.001$). La performance au SL possède également une forte corrélation négative avec la performance au test de changement de direction ($r = -0.840$, $p < 0.001$) et possède une bonne corrélation ($p < 0.001$) avec la F_0 et de $P_{\max\text{rel}}$ ($r = 0.653$ et $r = 0.658$, respectivement).

Tableau 4.4 - Associations entre l'âge, la performance au SL et les variables de performance

	Âge	SL
SL	0.437**	-
RSI_mod	0.541**	0.733**
COD (s)	-0.451**	-0.840**
PFVH_AS_V ₀	0.384*	0.853**
PFVH_AS_F ₀	0.497**	0.653**
PFVH_AS_F _{0rel}	0.073	0.350*
PFVH_AS_P _{max}	0.501**	0.742**
PFVH_AS_P _{maxrel}	0.233	0.658**

Abréviations : SL, *Standing Broad Jump*; RSI_mod, *Modified Reactive Strength Index*; COD, *Change of direction*; PFVH_AS_, Profil F-V HZT utilisant la vitesse moyenne enregistrée; V₀, Vitesse maximale théorique; F₀, Force maximale théorique; F_{0rel}, Force maximale théorique relative; P_{max}, Puissance maximale théorique; P_{maxrel}, Puissance maximale théorique relative.

* Significatif avec $p < 0.05$. ** Significatif avec $p < 0.001$.

4.4 Régressions linéaires

Afin de tester l'influence des variables provenant du modèle théorique de Sheppard et Young modifié par Chaabene et al., présenté à la figure 1.4 (Âge, RSI_mod, PFVH_AS_V₀ et PFVH_AS_F₀) sur la performance au test de changement de direction, une approche corrélationnelle a d'abord été utilisée. On peut constater dans le tableau 4.5 une forte association entre le RSI_mod, PFVH_AS_V₀, et la performance au COD ($r = -0.696$, $p < 0.001$; -0.871 , $p < 0.001$, respectivement). Il existe également une bonne corrélation entre PFVH_AS_F₀ et la performance au test de changement de direction ($r = -0.688$, $p < 0.001$).

Tableau 4.5 - Corrélations entre la performance au test de changement de direction et les variables de performance du modèle de Sheppard et Young modifié par Chaabene et al.

	COD
Âge	-0.451**
RSI_mod	-0.696**
PFVH_AS_V ₀	-0.871**
PFVH_AS_F ₀	-0.688**

COD

Abréviations : RSI_mod, *Modified Reactive Strength Index*; PFVH_AS_, Profil F-V HZT utilisant la vitesse moyenne enregistrée; V₀, Vitesse maximale théorique; F₀, Force maximale théorique.

** Significatif avec $p < 0.001$.

À la suite de cette analyse de corrélation, une régression linéaire a été effectuée afin de situer le degré d'influence des variables de performances ($\hat{A}ge$, RSI_mod, PFVH_AS_V₀ et PFVH_AS_F₀) sur la performance au test de changement de direction. Le résumé de l'analyse de régression linéaire se retrouve dans le tableau 4.6 ci-dessous. Les résultats du modèle de régression ont indiqué que 1) V₀ explique 75.9% de la variance dans les tests de changement de direction ($p < 0.001$) et 2) l'ajout du RSI_mod permet d'expliquer 4.2% de variance supplémentaire ($p < 0.001$).

Tableau 4.6 - Analyse de régression linéaire de la performance aux changements de direction

Modèle		Coefficients	Coefficients standardisés	p	R ²	ΔR^2	R ² ajusté
1	Constante	9.229		< .001	0.000	0.000	0.000
2	Constante	14.999		< .001	0.759	0.759	0.754
	PFVH_AS_v0	-0.690	-0.871	< .001			
3	Constante	14.378		< .001	0.801	0.042	0.794
	PFVH_AS_v0	-0.563	-0.712	< .001			
	RSI_mod	-1.088	-0.261	< .001			

Note. Les variables suivantes ont été considérées mais n'ont pas été incluses dans le modèle: $\hat{A}ge$, PFVH_AS_F₀

Abréviations : PFVH_AS_, Profil F-V HZT utilisant la vitesse moyenne enregistrée; V₀, Vitesse maximale théorique; RSI_mod, *Modified Reactive Strength Index*; F₀, Force maximale théorique.

CHAPITRE 5

DISCUSSION

Les objectifs de ce projet étaient 1) de décrire les qualités neuromusculaires de différents athlètes de soccer du Québec en fonction des groupes d'âge et du sexe, 2) de situer la pertinence de tests terrain en comparaison aux coûteux tests de laboratoire et 3) de définir les variables de performance pouvant exercer une influence sur la performance lors d'un test de changement de direction, crucial en soccer. L'hypothèse 1a était que les groupes de catégorie d'âge plus élevé démontreraient des qualités neuromusculaires plus développées que les groupes de catégorie d'âge moindre. Parallèlement, l'hypothèse 1b stipulait que le sexe serait un facteur discriminant de la performance dans la mesure où les athlètes masculins obtiendraient des résultats plus élevés que les athlètes féminines. Ensuite, la deuxième hypothèse émise était que la performance lors du test de SL serait associée à certaines variables pouvant être obtenues à partir du profil F-V HZT comme la puissance maximale théorique. Finalement, la troisième hypothèse fut définie en supposant que la performance au test de changement de direction serait associée à certaines variables de performance telles la force réactive (RSI_mod), la vitesse, la force et la puissance maximale théorique. Les résultats ont pu confirmer partiellement la première hypothèse concernant les différences présentes entre les groupes de catégorie d'âge. Pour certaines variables comme la force et la puissance maximale théorique, le groupe U23M possédait des valeurs significativement plus élevées que le groupe U17M. Toutefois, pour les autres variables, il existait peu de différences entre les groupes U17M et U23M. De plus, le groupe U18F possédait, dans l'ensemble, des qualités neuromusculaires moins développées que les groupes masculins. La deuxième hypothèse fut confirmée comme la puissance et la vitesse maximale théorique mesurées lors du Profil F-V HZT étaient fortement et positivement associées à la performance au SL. Finalement, la vitesse maximale théorique possède le plus d'influence sur la performance lors du test de changement de direction. Toutefois, la force réactive exerce également une légère influence sur la variance lors de ce test.

5.1 Description et comparaison des différentes variables de performance

Dans cette section, il sera question d'élaborer sur les différences observées entre les sexes et les catégories d'âge en rapport aux variables de performance évaluées lors des séances de test. Il sera également nécessaire d'effectuer des comparaisons entre les résultats disponibles dans la littérature et ceux obtenus lors de ce projet de recherche. Finalement, cette section tentera d'établir les limites concernant les résultats obtenus lors des séances de test et tentera d'expliquer les disparités avec la littérature disponible.

5.1.1 Saut en longueur sans élan (SL)

Le test du SL fut réalisé en demandant à l'athlète de sauter le plus loin possible vers l'avant en partant d'une position debout à l'arrêt. On peut observer des résultats significativement plus bas pour le groupe U18F (205.89 ± 16.22 cm) comparé aux groupes U17M et U23M. Ces résultats se situent cependant dans la littérature actuelle. En effet, Lockie et collaborateurs (2018) ont observé des valeurs similaires soit de 194 ± 22 cm chez une équipe féminine collégiale de première division (âge : 20.19 ± 1.20 ans; taille: 1.66 ± 0.07 m; poids: 61.85 ± 7.36 kg). Également, Ozbar et al., 2014 ont observé des valeurs similaires de SL (192.30 ± 14.60 cm) à la suite d'un programme de 8 semaines d'entraînement en pliométrie chez 18 athlètes féminines (18.4 ± 2.7 ans) évoluant dans la deuxième ligue nationale de Turquie.

Les résultats des groupes U17M et U23M (242.67 ± 17.68 et 245.11 ± 15.40 cm, respectivement) ne sont pas significativement différents mais se situent également dans la littérature étant donné l'aspect très populaire de ce test, dû à sa simplicité et son faible coût d'exécution. En effet, Lockie et son équipe (2016) rapportent des valeurs de SL similaires (241 ± 22 cm) chez des athlètes d'une équipe de soccer masculin collégiale de première division ($n = 19$, âge = 20.53 ± 1.50 ans, taille = 1.81 ± 0.06 m, Poids = 77.57 ± 6.14 kg). De plus, Popowczak et al., 2019 rapportent des résultats légèrement plus bas (230.45 ± 13.70 cm) chez des athlètes masculins aux caractéristiques anthropométriques similaires ($n = 60$, âge : 17.4 ± 0.7 ans, taille : 176.3 ± 6.1 cm, poids : 68.2 ± 8.9 kg). Il est possible d'attribuer le manque de différences significatives entre les groupes masculins par 3 facteurs distincts qui seront énumérés ici et traités plus en profondeur dans les prochaines sections. Déjà, le moment des tests fut différent entre les groupes masculins (AM vs PM). Ensuite, la différence d'âge entre les deux groupes, même en étant significative, reste très faible (2 ans). Finalement, la préparation physique intégrée mise en place au sein de l'organisation de l'Académie du CF Montréal aurait pu comporter certaines lacunes, spécifiquement concernant le développement optimal des qualités neuromusculaires étudiées.

5.1.2 Force réactive

En ce qui concerne le test de force réactive effectué par le biais d'un saut en contremouvement, il n'existe pas de différence significative entre les résultats du groupe U17M et ceux du groupe U23M (0.426 ± 0.104 et 0.497 ± 0.097 , respectivement). En effet, les groupes U17M et U23M ne sont pas significativement distinguables mais on peut observer une valeur moyenne de RSI_mod légèrement plus élevée chez les U23M que chez les U17M. Cette légère différence de 16.28% pourrait potentiellement être expliquée par les qualités neuromusculaires plus développées chez les athlètes plus âgés ou encore par une utilisation plus efficace du cycle d'étirement-contraction des muscles des membres inférieurs responsables de la poussée verticale lors du CMJ. Par ailleurs, les résultats des groupes masculins se distinguent significativement des

résultats du groupe U18F (0.313 ± 0.061). Cette différence est en concordance avec la littérature, en l'occurrence, les travaux de Sole et ses collaborateurs qui indiquent obtenir des résultats similaires avec 151 athlètes de 18 à 23 ans évoluant dans la première division de la NCAA dans multiples sports (soccer masculin : $n = 25$; taille = 179.5 ± 6.8 cm, masse = 78.5 ± 9.2 kg; soccer féminin : $n = 22$, taille = 166.1 ± 6.2 cm, masse = 63.9 ± 8.1 kg) (2018). Ainsi, selon les valeurs rapportées par Sole et son équipe (2018), la valeur rapportée de RSI_mod pour le groupe U18F (0.313 ± 0.061) se situe le plus près de 0.315 qui correspond au 55^e percentile pour l'échantillon observé ($n = 75$ femmes) lors de cette étude. Alors que chez les athlètes masculins, les barèmes de valeur de RSI pour cet échantillon ($n = 76$ hommes) correspondent plutôt au 50^e percentile (0.419) pour le groupe U17M et au 75^e percentile (0.492) pour le groupe U23M. Il est important de noter toutefois que même si ces valeurs peuvent se situer dans le registre de RSI_mod établi par Sole et ses collaborateurs, les athlètes de ce projet (15 à 19 ans) se distinguent clairement en âge par rapport aux athlètes évalués par Sole et son équipe (2018).

5.1.3 Profil F-V vertical

Lors du profil F-V vertical, les athlètes étaient appelés à sauter le plus haut possible sous 4 conditions progressivement chargées. Ce test impliquait que les athlètes aient à tenir dans leurs mains une barre hexagonale progressivement chargée lors de leur saut afin d'évaluer les différentes variables de performance (V_0 , F_0 , F_{0rel} , P_{max} et P_{maxrel}) composant le profil F-V vertical. Ce test comportait certaines limites et, en raison du manque de qualité dans les données brutes recueillies lors de ce test, il a été décidé d'exclure ces données des analyses statistiques. En effet, les valeurs du coefficient de détermination (R^2), décrites sous la forme : moyenne \pm écart type (minimum – maximum) pour les différents groupes observés étaient les suivantes : Groupe U17M : 0.495 ± 0.299 (0.011 – 0.945), Groupe U18F : 0.590 ± 0.301 (0.021 – 0.988), Groupe U23M : 0.646 ± 0.248 (0.076 – 0.975). Il est donc évident par les coefficients de détermination que les valeurs mesurées présentent une très grande variabilité et même, souvent, une absence de relation F-V linéaire. Lors d'une relation F-V linéaire normale, les hauteurs de saut devraient diminuer par essai en raison de l'ajout de charge sur la barre. En réalité, la hauteur fluctuait de façon totalement aléatoire entre les différentes conditions de charge sans suivre de relation normale. Ainsi, il était impossible de définir clairement l'influence d'une charge progressivement plus élevée sur la hauteur de saut et donc d'en tirer des profils F-V VRT valides ou utilisables pour les analyses subséquentes.

La plus grande limite lors de ce test fût dans la conception du protocole de test du profil F-V vertical. En effet, pour standardiser le protocole, une installation dans un laboratoire d'entraînement aurait permis l'utilisation d'une cage à squat sur rails ne permettant que des mouvements verticaux (*smith machine*). Dans le cadre de ce projet, il était impossible de faire déplacer les athlètes des différents groupes dans un laboratoire d'entraînement afin de ne pas interférer avec l'horaire régulier d'entraînement de chaque groupe.

Ainsi, le laboratoire a été transporté sur le terrain et le protocole original a été modifié afin de pouvoir réaliser ce test sur un terrain de soccer extérieur. L'équipement devait donc être transportable, c'est pourquoi il a été choisi d'opter pour l'utilisation d'une barre de poids hexagonale. Les athlètes, au lieu d'avoir la charge sur une barre olympique placée sur leur dos, avaient donc à tenir une barre hexagonale avec leurs mains au milieu de laquelle ils étaient installés. Afin de mesurer la vitesse et la hauteur de saut à chaque essai, un encodeur linéaire GymAware fut installé au sol en dessous de la barre et attaché à son extrémité de façon à ne pas gêner l'athlète dans la réalisation de son saut mais aussi afin de garder la corde de l'encodeur linéaire la plus verticale possible sous la barre. Lors des journées de tests, des erreurs ont été remarqués par l'équipe d'évaluation concernant l'exécution des sauts par la très grande majorité des athlètes. En effet, comme les athlètes tenaient la barre dans leurs mains, des mouvements de haussement d'épaules et/ou de flexion des coudes étaient fréquemment présents lors des sauts, ce qui a eu pour résultat de fausser la mesure de déplacement vertical de la barre enregistrée par l'encodeur linéaire. Étant donné que cette mesure représentait la hauteur de saut et était la mesure principale utilisée pour les analyses subséquentes, d'énormes variations dans les variables de performance (F_0 , V_0 , P_{\max}) verticales ont pu être observées lors d'analyses préliminaires.

Ainsi, même en indiquant aux athlètes l'importance de garder les bras complètement tendus lors des sauts et de ne pas hausser les épaules, il fut presque impossible pour les participants et participantes de conserver une position adéquate des membres supérieurs pendant la phase d'envol du saut étant donné la charge à tenir dans les mains. Une possible solution à cette limitation serait donc d'utiliser un système qui puisse être installé sur le dos de l'athlète comme une barre olympique ou encore l'utilisation d'une cage à squat en laboratoire. Toutefois, considérant le niveau des athlètes, souvent peu familiers avec ce type d'exercice complexe, un tel protocole présenterait aussi des limitations évidentes ainsi que des risques potentiels pour les athlètes.

5.1.4 Changement de direction

Le test de changement de direction utilisé dans ce projet est l'un des tests les plus populaires chez les équipes de soccer en raison de sa validité et de sa fiabilité (Forster et al., 2022) de même que par son installation rapide ainsi que son coût peu élevé.

Les résultats du groupe U18F se distinguent des groupes U17M et U23M comme ces derniers étaient significativement meilleurs (temps d'exécution plus rapide) (8.949 ± 0.251 s et 8.807 ± 0.208 s respectivement). Il est important de préciser ici que pour ce projet, seulement l'aspect relié à la vitesse de changement de direction a été observé, bien que l'agilité ait été incluse dans le modèle de performance proposé dans ce document et aussi dans le modèle proposé par Sheppard et Young (2006) et modifié par Chaabene et al. (2018). Ainsi, la mesure de changement de direction mesurée par le test du *pro-agility* choisi

pour ce projet est représentée par la somme des meilleurs essais dans chaque direction. En effet, il a été choisi d'illustrer la mesure de changement de direction ainsi étant donné que la performance totale (deux essais combinés) permet une appréciation plus représentative des capacités globales de changement de direction des athlètes et illustre mieux les demandes variées du sport en ce qui concerne les changements de directions. Il est néanmoins possible de comparer nos valeurs du *pro-agility* avec celles présentes dans la littérature. En effet, Sauls et Dabbs ont comparé, en 2017, deux groupes de joueurs de soccer, récréatifs et compétitifs (évoluant dans la 2^e division de la NCAA) afin d'illustrer les différences entre ces athlètes de soccer masculin. Le groupe compétitif (n = 21; âge 20.33 ± 1.66 ans; taille 178.02 ± 6.63 cm; masse 74.63 ± 5.73 kg) s'est révélé être plus rapide (4.54 ± 0.22 vs 4.76 ± 0.30 s) que le groupe récréatif (n = 9; âge 23.22 ± 3.41 ans; taille 174.32 ± 5.43 cm; masse 72.14 ± 11.79 kg) (Sauls et Dabbs, 2017). Considérant que le meilleur temps des 3 essais avait été conservé, on peut assumer que la meilleure performance globale serait le double du temps pour un côté. Ainsi, les valeurs globales des participants compétitifs de l'étude de Sauls et Dabbs en 2017 ($4.54\text{s} * 2 = 9.08\text{s}$) sont comparables aux valeurs des groupes masculins de ce projet (8.949 ± 0.251 s et 8.807 ± 0.208 s pour le groupe U17M et U23M respectivement).

Pour ce qui est du groupe U18F, les résultats de temps total pour compléter le test de changement de direction ($9.699 \pm 0.281\text{s}$) dans les deux directions se situent dans la littérature actuelle. En effet, Lockie et son équipe (2018) ont pu obtenir des résultats semblables avec une équipe féminine de soccer classée dans la première division collégiale (5.090 ± 0.230 s). Ces résultats sont semblables lorsqu'on considère que le résultat illustré dans l'étude de Lockie et ses collègues considère une seule direction du changement de direction comparativement à ce projet qui comprend les deux directions dans la mesure. Ainsi, $2 * 5.090\text{s} = 10.18\text{s}$, ce qui est comparable au résultat exprimé en moyenne par le groupe U18F (9.699 s) lors de ce projet.

5.1.5 Profil Force-Vitesse horizontal

Lors du test du profil F-V horizontal, les athlètes devaient courir une distance de 30m sous 3 différentes résistances. L'appareil utilisé pour ce test, soit le 1080Sprint a permis d'obtenir pour chaque course les valeurs de puissance, vitesse et de force ayant été déployées lors du sprint. Pour chaque variable de performance se trouvaient les valeurs de pointe (*peak*) et les valeurs moyennes (*average*). Il a été choisi d'utiliser pour les analyses statistiques les valeurs moyennes afin de dresser des profils F-V individuels qui prenaient en compte l'effort total de l'athlète durant le sprint au lieu du moment unique où l'athlète a démontré les plus hautes valeurs de force, vitesse ou de puissance. La raison derrière ce choix était non seulement d'obtenir une analyse plus globale de l'athlète mais aussi d'éviter d'utiliser des moments singuliers qui auraient pu être différents entre eux (e.g. l'athlète aurait pu démontrer sa vitesse de pointe à un moment différent de sa puissance ou force de pointe). Donc, en utilisant les valeurs moyennes lors des sprints, les profils F-V dressés étaient plus réalistes en ce qui concerne l'évaluation des qualités

neuromusculaires de l'athlète. Ce choix est également en lien avec la littérature actuelle sur les profils F-V verticaux et horizontaux (Lindberg et al., 2021, Jiménez-Reyes et al., 2017, Samozino et al., 2008, Samozino et al., 2013). De plus, les valeurs de R^2 étaient plus élevées chez tous les groupes avec l'utilisation des valeurs moyennes qu'avec les valeurs de pointe, témoignant ainsi d'une meilleure qualité dans la relation linéaire FV.

Lors de l'analyse des résultats des variables de performance du profil F-V horizontal, des différences marquées entre les groupes de catégorie d'âge ont pu être observées. De façon générale, les valeurs tirées des groupes U17M et U23M étaient significativement plus élevées que celles du groupe U18F. En effet, toutes les valeurs maximales théoriques (V_0 , F_0 , F_{0rel} , P_{max} et P_{maxrel}) étaient plus faibles chez le groupe U18F que chez les deux autres. Ceci est explicable principalement par la différence de sexe ainsi que par l'âge des participantes. Les résultats chez le groupe U18F sont par contre en lien avec la littérature présente sur les athlètes féminines. En effet, Marcote-Pequeño et ses collaborateurs (2019) ont observé les profils F-V d'athlètes professionnelles ($n = 19$, 23.4 ± 3.8 ans, taille: 166.4 ± 5.6 cm, poids: 59.7 ± 4.7 kg) évoluant dans la ligue professionnelle espagnole comme équipe championne durant la fin de leur saison compétitive (deuxième tour des championnats nationaux). À l'encontre de ce projet, les participantes de l'étude de Marcote-Pequeño et al., (2019) ont couru une distance de 30m sans charge. Ainsi, les profils F-V horizontaux furent tirés à partir des variables mécaniques de sprint en utilisant des équations proposées par Samozino et collègues (2016). En ce qui concerne les variables de performance du profil F-V horizontal, les résultats de ce projet sont comparables à ceux obtenus par Marcote-Pequeño et collègues en 2019, (5.977 ± 0.525 vs 6.30 ± 0.42 N/kg pour F_{0rel} , 7.781 ± 0.354 vs 8.12 ± 0.44 m/s pour V_0 et 11.638 ± 1.265 vs 12.72 ± 1.21 W/kg pour P_{maxrel}) considérant que les athlètes féminines présentes dans ce projet avaient en moyenne 5 ans de moins que les athlètes espagnoles.

Pour ce qui est des athlètes masculins, il n'y a pas de différence significative entre les valeurs maximales théoriques du groupe U17M et du groupe U23M, sauf pour les valeurs de F_0 et de P_{max} ce qui vient partiellement infirmer notre hypothèse principale. Dans leur étude sur les changements possibles du profil F-V durant une saison régulière dans la première division de la ligue professionnelle espagnole, Jiménez-Reyes et collègues situent des niveaux de P_{maxrel} pour des joueurs adultes (26.9 ± 3.1 ans, taille: 180.3 ± 4.9 cm, poids: 77.9 ± 8.5 kg) évoluant de 15.6 ± 1.2 W/kg à 17.1 ± 1.7 W/kg tout dépendant le moment dans la saison (2022) alors que les valeurs de P_{maxrel} pour les athlètes des groupes U17M et U23M se situent à 14.386 ± 1.031 W/kg et 14.298 ± 1.768 W/kg respectivement.

L'absence de différence significative entre les groupes U17M et U23M en ce qui concerne les autres variables de performance pourrait être partiellement attribuable à la classification d'âge ayant cours (U17 vs U23). En effet, la moyenne d'âge du groupe U17M est de 16.00 ± 0.49 ans au moment des tests alors que celle du groupe U23 est de 18.17 ± 0.81 ans au moment des tests. Bien que cette différence significative soit

seulement d'un peu plus de deux ans, il est intéressant de remarquer que la moyenne d'âge du groupe U23M est particulièrement basse pour un groupe permettant les athlètes de 22 ans et moins, d'autant plus que l'athlète le plus âgé dans le groupe U23M avait seulement 19 ans lors des tests (pas d'athlètes de 20, 21 ou 22 ans). Toutefois, il est important de noter qu'il n'y a pas de chevauchement en ce qui concerne l'âge des participants : l'athlète le plus vieux du groupe U17M reste plus jeune que l'athlète le plus jeune du groupe U23M, ce qui contribue tout de même à distinguer les deux groupes masculins.

Il a déjà été démontré que plusieurs variables du profil F-V horizontal dont F_0 , V_0 , et P_{\max} possédaient de très grandes corrélations significatives avec l'âge chronologique et le stade de maturité des athlètes (Fernández-Galvan et al., 2022b) ce qui pourrait contribuer à expliquer les similitudes entre nos deux groupes masculins. Finalement, il est possible que le manque de différences entre les deux groupes masculins puisse se situer au niveau d'éventuelles lacunes lors de la préparation physique des joueurs. En effet, tel qu'abordé dans la littérature, il a été démontré que l'amélioration des qualités de force et de puissance par la préparation physique spécifique est non seulement un défi important pour la majorité des préparateurs physiques œuvrant dans le monde du soccer (Weldon et al., 2021) mais est aussi considéré comme loin d'être optimal par l'utilisation de la préparation physique intégrée (jeux en espaces réduits). Ainsi, il pourrait être possible que l'Académie du CF Montréal, conformément aux pratiques actuelles présentes en préparation physique, n'ait pas pu assurer un développement optimal des qualités neuromusculaires (particulièrement celles évaluées lors de ce projet) des athlètes à travers les années, ce qui aurait pu être moins visible chez les athlètes du groupe U17M évoluant avec le club depuis moins longtemps. Les deux seules variables de performances significativement différentes entre les groupes masculins furent celles de force maximale théorique ainsi que de puissance maximale théorique. Pour ces deux variables, le groupe U23M possédait des valeurs significativement plus élevées que le groupe U17M. Il est clair que l'influence de la masse corporelle des athlètes est non négligeable dans la différence entre la performance des deux groupes pour les variables de F_0 et de P_{\max} . En effet, l'influence de la masse corporelle sur le calcul de valeurs théoriques de force et de puissance a déjà été démontré par Cormie et ses collègues en 2007. De plus, on comprend encore plus l'influence de la masse sur l'expression des variables de F_0 et de P_{\max} lorsqu'on se penche sur les variables théoriques maximales relatives. En comparaison, les valeurs de F_{0rel} et de P_{maxrel} ne sont pas significativement différentes entre les groupes U17M et U23M. Donc, en considérant l'influence de la masse de l'athlète, les valeurs maximales relatives de force ($6.571 \pm 0.373N/kg$ pour U17M vs $6.452 \pm 0.738N/kg$ pour U23M) et de puissance ($14.386 \pm 1.031W/kg$ pour U17M vs $14.298 \pm 1.768W/kg$ pour U23M) sont relativement semblables. Ceci pourrait encore être dû au fait que les athlètes du groupe U17M et U23M sont très rapprochés en âge, ou, encore, ceci pourrait être attribuable aux potentielles lacunes relatives au développement de la force et de la puissance.

Sinon, une autre raison qui aurait pu expliquer pourquoi les résultats du groupe U23M n'étaient pas aussi élevés que prévu serait le moment où les tests ont été réalisés. En effet, tous les tests ont été effectués lors de la saison morte pour toutes les équipes. Cependant, la séance de tests des groupes U17M et U18F eu lieu à la fin de la saison morte, alors que pour les athlètes du groupe U23M, la séance de tests fut effectuée juste à la fin de la saison compétitive. Jiménez-Reyes et ses collègues ont d'ailleurs observé en 2022 des différences significatives en ce qui concerne les variables du profil F-V horizontal entre différents moments de la saison compétitive chez des athlètes de soccer professionnels adultes (description anthropométrique plus haut). Ils affirment que les plus hautes valeurs significatives pour les variables de F0 et de Pmax se situaient au milieu de la saison compétitive et étaient significativement plus basses au début et à la fin de la saison. Ainsi, le moment de la prise de mesure, bien que majoritairement influencé par les réalités de l'Académie du CF Montréal, n'était pas le plus optimal. Ainsi, il se peut que le moment choisi pour la séance de tests ait exercé une influence négative sur l'expression des qualités neuromusculaires des athlètes du groupe U23M.

En ce qui concerne les vitesses maximales théorique exprimées par les athlètes de cette étude, les vitesses s'inscrivent dans la littérature de façon semblable au résultats obtenu par Jiménez-Reyes et ses collaborateurs lors de leur étude de 2018 auprès de 102 joueurs et joueuses de soccer. Lors de leur étude, les vitesses maximales théoriques du plus jeune groupe féminin (19.2 ± 2.1 ans) évoluant dans la deuxième division de la ligue de soccer professionnelle d'Espagne se situaient à 7.60 ± 0.38 m/s en comparaison au groupe U18F (7.781 ± 0.354 m/s). En ce qui concerne les joueurs masculins, les résultats chez les U17M et U23M (8.756 ± 0.389 et 8.858 ± 0.259 m/s, respectivement), sont comparables à ceux obtenus par Jiménez-Reyes et ses collaborateurs avec les joueurs évoluant en 5^e division (8.70 ± 0.49 m/s) mais étant plus âgés (21.4 ± 3.3 ans) (2018). Conséquemment, Edwards et ses collaborateurs ont observé en 2021 des valeurs similaires de vitesse maximales théoriques (8.97 ± 0.17 et 8.79 ± 0.33 m/s) chez des jeunes joueurs de soccer australiens repêchés et non-repêchés (17.4 ± 0.5 et 18.0 ± 0.7 ans, respectivement).

5.1.6 Synthèse des comparaisons

Pour l'ensemble des tests, les athlètes masculins ont exprimé des résultats plus élevés que leur contrepartie féminine. Ceci est attribuable en très grande partie aux différences majeures présentes entre les sexes lorsqu'il est question de comparaison de performance. En effet, dans un rapport spécial publié par Sandra Hunter et ses collaborateurs en 2023, l'ASCM a pris position en ce qui concerne les différences de sexes lors de l'évaluation de la performance athlétique. Il a été défini qu'en général, les athlètes masculins possèdent des membres plus longs, sont plus grands, plus forts, plus puissants et plus rapides sur courtes et longues distances que les athlètes féminines (Hunter et al., 2023). En effet, les hommes possèdent une plus grande masse musculaire squelettique, un plus bas pourcentage de masse adipeuse ainsi que des muscles

qui se contractent plus vite dû à une plus grande surface et un plus grand volume de fibres musculaires à contraction rapide (Hunter et al., 2023). Ces différences biologiques sont explicables principalement par la production massive de testostérone endogène (augmentation par facteur de 30) chez les jeunes hommes lors du début de la puberté (environ 12 ans) en comparaison aux femmes chez qui production de testostérone endogène reste très faible (Hunter et al., 2023).

En plus des différences biologiques majeures entre les deux sexes, il est possible que d'autres facteurs aient pu contribuer à expliquer les différences de performance entre les sexes. En effet, il serait possible que la préparation physique ait été différente pour le groupe d'athlètes féminines en comparaison aux groupes d'athlètes masculins. D'abord, il est à noter que l'organisation de l'Académie du CF Montréal n'a permis aux filles de rejoindre leur rang qu'à partir de mai 2023. Avant ça, les athlètes féminines évoluaient dans le réseau de Soccer Québec à travers le Programme Excel Féminin. Ainsi, il est entièrement possible que les athlètes féminines ayant pris part au projet de recherche et évoluant avec l'Académie du CF Montréal depuis moins d'un an à ce moment, aient eu une préparation physique différente des groupes masculins évoluant déjà dans le système de l'Académie du CF Montréal depuis plusieurs années. Également, la préparation physique chez les athlètes féminines étant souvent adaptée de celle des athlètes masculins, celle-ci est souvent moins bien adaptée aux athlètes féminines. En effet, des facteurs comme la fréquence hebdomadaire de séances d'entraînement musculaire (moins que chez les athlètes masculins) ainsi que la prescription subjective des résistances utilisées en entraînement (McQuilliam et al., 2022). pourraient contribuer à expliquer certaines différences au niveau du développement des qualités neuromusculaires observées dans ce projet de recherche.

Il n'existait pas de différences significatives entre les groupes masculins pour la grande majorité des variables de performance, ce qui pourrait non seulement être dû au devis transversal de l'étude, mais aussi à la faible différence d'âge entre les groupes ou encore aux potentielles lacunes au sein de l'organisation en ce qui concerne la préparation physique et le développement des qualités neuromusculaires. En effet, les seules variables de performance significativement différentes entre les groupes masculins furent les variables de force et de puissance théorique maximale. Dans ces deux cas, il est évident que la masse corporelle de l'athlète explique, de par son influence sur le calcul de ces variables, la différence entre les deux groupes (Cormie et al., 2007). Conséquemment, lorsque les valeurs de force et de puissance maximales théoriques sont isolées des masses corporelles (valeur relatives exprimées en N/kg ou W/kg), il n'existe pas de différence significative entre les groupes masculins. Encore là, cette absence de différence significative pourrait être attribuable aux 3 facteurs présentés plus haut.

5.2 Corrélations entre les variables de performance et le SL

Le deuxième objectif lors de ce projet était d'établir des associations entre certaines variables de performance mesurées lors du profil F-V HZT et la performance lors d'un test terrain, soit celui du SL. En effet, le test du SL est l'un des tests les plus utilisés lors de l'évaluation d'athlètes. Ainsi, il a été tenté d'associer la performance de ce test (mesuré en distance horizontale de saut en cm) avec certaines variables de performance tirées des profils F-V horizontaux obtenus par la réalisation d'une série de courses progressivement chargées. Le principal intérêt étant d'ordre pratique, il était question d'illustrer la pertinence du SL dans les situations où il serait impossible d'utiliser un *1080Sprint* tel qu'utilisé lors de ce projet. Ainsi, une association sportive de soccer qui n'aurait pas accès à un appareil aussi sophistiqué et dispendieux que le *1080Sprint* pourrait s'en remettre au test de SL afin d'évaluer certaines variables de performance présentes dans le profil F-V HZT.

À la suite des analyses, il a été possible de déterminer qu'il se trouvait une forte corrélation positive entre la performance au SL et la V_0 ($r = 0.853$, $p < 0.001$) ainsi que la P_{\max} ($r = 0.742$, $p < 0.001$). Ces résultats sont en lien avec une étude de Rodriguez sur des athlètes de course ($n = 19$) de l'équipe d'athlétisme de l'université du Texas évoluant dans la première division de la NCAA (2021). En effet, Rodriguez a pu observer de fortes corrélations significatives entre la performance au SL et les variables de F_0 ($r = 0.573$, $p = 0.01$) et de P_{\max} ($r = 0.608$, $p = 0.006$) (2021).

Ces associations nous permettent de conclure que le test du SL possède des composantes étroitement liées aux variables de performance comme V_0 , F_0 et P_{\max} . Ainsi, il serait donc pertinent d'utiliser le test du SL pour évaluer de façon générale la capacité d'un athlète à exprimer des hautes valeurs de force, vitesse et de puissance horizontale par ses membres inférieurs.

5.3 Régressions linéaires

Le troisième et dernier objectif avait pour but de définir l'importance de certaines variables de performance sur la performance lors d'un test de changement de direction. En effet, basé sur le modèle de Sheppard et Young modifié par Chaabene et al., une forte corrélation entre la performance au test de changement de direction et certaines variables de performance a pu être illustrée, notamment le RSI_{mod} ($r = -0.696$, $p < 0.001$) et V_0 ($r = -0.871$, $p < 0.001$). En allant plus loin, il a été possible d'affirmer qu'ensemble, ces deux variables expliquaient 80.1% de la variance dans la performance au test de changement de direction. De plus, l'influence de V_0 lors de ce test s'élève à 75.9% alors que l'influence du RSI_{mod} se limite à 4,2%. Dans les deux cas, les résultats sont statistiquement significatifs. Ainsi, il est possible de conclure par ces analyses que la vitesse maximale théorique horizontale est un bon prédicteur de la performance lors d'un test de changement de direction. L'influence de la vitesse maximale théorique et de la force réactive

observée lors de ce projet suit le modèle adapté de Sheppard et Young par Chaabene et ses collaborateurs en 2018. En effet, en se référant à la figure 1.4 du présent document, il est possible de constater que la vitesse des changements de direction est directement influencée par la vitesse de sprint linéaire (V_0) et les qualités musculaires comme la force réactive (2018).

Parallèlement, la performance pendant un changement de direction avait auparavant été corrélée avec la performance de sprint lors de l'étude de Sayers en 2014 qui avait démontré de fortes corrélations significatives entre la performance au test 5-0-5 (5m de course avec un départ lancé, changement de direction de 180° puis 5 m de course en direction opposée) et les résultats de courses sur 5, 10 et 20m ($r = 0.89 - 0.93$, $p < 0.001$). Il avait d'ailleurs été suggéré que le test soit raccourci en distance (1-0-1) afin de minimiser la contribution de la vitesse de course lors de ce test (Sayers, 2014).

L'importance de la composante de vitesse maximale lors d'un changement de direction se comprend donc rapidement lorsqu'on observe la réalisation du test de changement de direction utilisé dans ce projet, soit le *pro-agility*. En effet, il est possible de diviser ce test en 6 moments distincts, soient le départ de l'athlète, la première course de 5 verges, le premier changement de direction à 180° , la course de 10 verges, le deuxième changement de direction à 180° et finalement la deuxième course de 5 verges. On comprend donc l'importance de la vitesse maximale théorique qui définira la vitesse à laquelle un athlète pourra courir ces 3 distances qui représentent la moitié de ces moments. Conséquemment, l'influence de plusieurs paramètres physiques sur la performance au test de changement de direction utilisé dans ce projet a été étudié par Jones et ses collaborateurs en 2009. En effet, l'analyse de régressions multiples a permis de définir que la vitesse de course expliquait 58% de la variance dans la performance au test de changement de direction ($F_{1,33} = 45.796$, $p < 0.001$) (Jones et al., 2009). Il est ainsi d'importance capitale pour un athlète de courir le plus rapidement possible afin d'obtenir la meilleure performance lors de ce test et c'est pourquoi il serait recommandé d'orienter la préparation physique vers le développement optimal de la vitesse maximale de course. Finalement, il est intéressant de savoir qu'une mesure particulière a déjà été proposée afin d'isoler l'influence de la vitesse de course linéaire sur la performance lors de tests de changement de direction. En effet, Nimphius et ses collaborateurs proposent une mesure appelée le CODdeficit qui se définit comme étant la différence entre le temps requis pour effectuer le test de changement de direction (180°) et le temps requis pour courir une égale distance sans changement de direction (Nimphius et al., 2013 & 2016). Cette mesure a été tirée de tests de changement de direction comme le *pro-agility* ainsi que le 5-0-5 chez des athlètes de football américain et de cricket respectivement (Nimphius et al., 2013 & 2016).

L'hypothèse de ce projet était cependant que plus d'une variable allait influencer la performance au test de changement de direction. Par l'analyse du modèle de régression linéaire, on remarque que l'influence du RSI_mod, bien que présente, reste assez faible (4.2%). Pourtant, il a été statué par le passé que la capacité à utiliser efficacement le cycle d'étirement-contraction des muscles des membres inférieurs (mesurée à

l'aide du RSI ou du RSI_mod) était importante lors d'un changement de direction. En effet, Thomas et ses collaborateurs ont pu observer des bonnes corrélations significatives ($r = 0.57$, $p < 0.001$) entre le RSI_mod et la performance au test de changement de direction avec un échantillon de 115 athlètes (56 hommes et 59 femmes) de sports collectifs (basketball, soccer, cricket). En effet, la performance lors du test 5-0-5 fut corrélée significativement au RSI_mod chez l'échantillon complet ($n = 115$) comme chez les hommes ($n = 56$) et les femmes ($n = 59$), et ce, pour les deux côtés du 5-0-5 (Thomas et al., 2018). Une des raisons qui pourrait expliquer le faible pourcentage de variance dû au RSI_mod lors de ce projet pourrait résider dans la comparaison même de ces valeurs. En effet, les valeurs de RSI_mod ont été obtenues par le biais d'un test de saut en contremouvement vers le haut. Ainsi, les valeurs de RSI témoignent de la force réactive verticale. Pourtant, lors des changements de direction, le mouvement de l'athlète, bien qu'il ait une composante verticale due à la taille, est principalement horizontal. Ainsi, la raison derrière la faible contribution du RSI_mod pourrait possiblement être expliquée par le fait que ces deux variables se manifestent sous des orientations différentes. Il serait donc intéressant d'obtenir des valeurs horizontales de RSI ou RSI_mod afin de quantifier l'influence de la force réactive horizontale sur la performance lors d'un changement de direction. Cette hypothèse a été testée par Šarabon et ses collaborateurs en 2022 avec un échantillon de 31 athlètes de volleyball masculin (âge: 22.4 ± 3.9 ans). Les RSI (VRT & HZT) ont été obtenus par le biais de tests de *drop jump* (DJ) et de triple saut respectivement et ont été associés avec la performance lors d'un test 5-0-5 afin de révéler des corrélations faibles à modérées ($r = -0.38$ à -0.45 ; $p \leq 0.042$) (Šarabon et al., 2022).

CHAPITRE 6

CONCLUSION ET APPLICATIONS PRATIQUES

En conclusion, ce projet tentait de s'inscrire dans la littérature afin de situer l'état des qualités neuromusculaires des athlètes de soccer du Québec. Ce projet de nature observationnelle avait donc pour but premier de décrire les différentes qualités neuromusculaires et les variables de performance d'athlètes québécois et d'établir des comparaisons à travers les sexes, les âges ainsi que le niveau de compétition. L'hypothèse ici était que les athlètes masculins démontreraient des qualités neuromusculaires plus développées que les athlètes féminines et que les athlètes plus âgés seraient également plus développés que les athlètes d'âge moindre.

Le deuxième objectif de ce projet était de situer la pertinence d'un protocole de terrain en comparaison à un test utilisant un équipement dispendieux et peu accessible en tentant d'effectuer des associations entre certaines qualités neuromusculaires et la performance pouvant être exprimée lors du test de terrain. L'hypothèse pour cet objectif était que la performance au test de SL serait corrélée à certaines qualités neuromusculaires comme la force, la vitesse et la puissance maximale théorique tirée du profil F-V HZT.

Le dernier objectif de ce projet était de définir les associations entre la performance lors d'un test de changement de direction et certaines variables de performance évaluées lors des tests. De plus, il était question de définir l'influence des variables potentiellement corrélées à la performance lors du test de changement de direction. Ici, il a été supposé que la force réactive, la vitesse et la force horizontale maximale théorique seraient associées à la performance lors du test de changement de direction.

Lors de ce projet, 60 athlètes, divisés en 3 groupes, soient les groupes U17M, U18F et U23M (n =15, 26 et 19, respectivement), ont été appelés pour une journée de tests afin d'évaluer leurs qualités neuromusculaires par le biais de 5 tests de saut et de course. Les athlètes, évoluant en vague de 5 personnes, après avoir effectué un échauffement standardisé, ont effectué les 5 stations de test suivantes ; 1. Saut en longueur sans élan, 2. Saut en contremouvement, 3. Profil F-V VRT, 4. Changement de direction, 5. Profil F-V HZT. La première station visait à évaluer la distance horizontale en cm pouvant être atteinte par l'athlète par un saut à pieds joints sans course d'élan au préalable. La deuxième station visait à évaluer la force réactive de l'athlète par analyse cinématique en obtenant un ratio appelé RSI_mod qui est défini comme la hauteur de saut divisée par le temps de décollage. La troisième station avait pour objectif de dresser un profil F-V VRT en évaluant la hauteur en cm pouvant être exprimée lors de 4 squats sautés progressivement chargés afin d'en tirer les qualités neuromusculaires verticales pertinentes. La quatrième station avait pour but d'évaluer la capacité d'un athlète à effectuer un trajet préplanifié comportant 3 courses à haute vitesse et 2 changements de direction dans des orientations opposées. La mesure ici était donc la somme du meilleur essai de chaque côté, exprimée en secondes. La dernière station, soit celle du profil F-V HZT avait pour

objectif de définir les qualités neuromusculaires des athlètes par le biais de profils F-V horizontaux à partir de 3 courses de sprint de 30m contre des résistances progressives (1, 5 et 10kg). Ainsi, des valeurs de force, vitesse et de puissance maximale théoriques et relatives ont pu être définies par la réalisation de cette station. D'abord, pour l'entièreté des variables de performance, les athlètes masculins ont démontré, en moyenne, des résultats significativement plus élevés que les athlètes féminines. Également, il existait très peu de différences significatives entre les deux groupes masculins de cette étude (U17M & U23M). En effet, uniquement les valeurs de force et de puissance maximales théoriques étaient significativement différentes entre ces deux groupes. Les différences entre les sexes sont majoritairement explicables par les évidentes différences biologiques entre les athlètes masculins et féminines lorsqu'il est question de comparaison de performance. Néanmoins, certains facteurs non-biologiques pourraient aussi potentiellement expliquer les différences de performance présentes entre les deux sexes. Toutefois, il est important de noter que les résultats obtenus chez le groupe féminin se situent dans la littérature et dépassent même certaines cohortes étudiées, pourtant plus âgées. Les différences entre les âges ou du moins le manque de différences entre les groupes d'âges masculins est potentiellement explicable par 3 facteurs incluant 1) des tests faits à des moments différents de la journée (AM vs PM) et durant la saison (début vs fin), 2) une faible différence entre les groupes en ce qui concerne l'âge des participants et 3) les potentielles lacunes dans la préparation physique des joueurs les plus âgés, menant à un développement sous-optimal des qualités neuromusculaires évaluées et comparées. Il serait donc pertinent pour les professionnels œuvrant dans le domaine de la préparation physique au soccer d'orienter leur pratique vers le développement de certaines qualités neuromusculaires importantes, notamment la puissance théorique maximale horizontale.

Ensuite, il a été possible de définir de fortes corrélations positives entre certaines qualités neuromusculaires du profil F-V HZT et la performance à un test de terrain soit celui du SL. En effet, les qualités de vitesse et de puissance maximale théorique horizontales ont été fortement positivement corrélées à la performance au test de SL. Ces associations statistiques ainsi que la littérature disponible sur le sujet ont permis de définir une importance au test de SL en ce qui concerne l'évaluation des qualités neuromusculaires horizontales.

Finalement, à la suite d'une régression linéaire, il a été possible de définir l'influence de certaines variables de performance sur la performance au test de changement de direction utilisé dans ce projet soit le *pro-agility*. En effet, il a été défini que la vitesse théorique maximale horizontale expliquait une partie importante de la variance dans la performance au *pro-agility* et que la valeur de force réactive évaluée, le RSI_mod, permettait d'expliquer une petite partie supplémentaire de la variance dans la performance. Ceci était également supporté par la littérature actuelle sur le sujet expliquant que la vitesse maximale théorique avait une très grande influence sur la performance lors du test du *pro-agility* en raison des 3 courses à haute vitesse effectuées durant ce test. Les recommandations en matière de préparation physique suite à ces conclusions seraient donc d'orienter la préparation physique vers le développement de la vitesse maximale

de course ainsi que la force réactive si une équipe souhaite améliorer les performances de ses athlètes lors des changements de direction.

Ce projet comportait des limites évidentes qui ont contribué à retirer certaines données des analyses statistiques avancées en raison d'une mauvaise qualité dans les données brutes amassées. En effet, les données relatives au profil F-V VRT, à la suite d'analyses préliminaires, se sont révélées être de qualité insuffisante. Ceci a pu être démontré, une fois les analyses préliminaires effectuées, par des valeurs extrêmement faibles de coefficient de détermination (R^2), témoignant ainsi d'un très grand bruit dans les données brutes amassées. La principale raison derrière ces données de mauvaise qualité s'est située au niveau de la conception du protocole d'évaluation du profil F-V VRT. En effet, la mise en place du squat sauté, de par sa conception, ne permettait pas aux athlètes évalués de conserver une position qui aurait permis un enregistrement adéquat de la hauteur de saut.

Également, lors du test du *pro-agility*, il a seulement été possible d'effectuer une analyse quantitative de la capacité de changement de direction. En effet, en l'absence d'analyse qualitative des changements de direction, il a été impossible d'illustrer les différences techniques qui auraient pu influencer la performance. De plus, en raison des réalités d'une organisation préprofessionnelle de soccer telle que celle de l'Académie du CF Montréal, il a été impossible de standardiser le moment de la collecte de données pour les 3 groupes observés. Ainsi, il est possible que le moment dans la saison des différents groupes ait exercé une influence sur l'expression des qualités neuromusculaires des athlètes évalués.

En terminant, la réalisation de ce projet permet certaines applications pratiques pour d'éventuels futurs travaux sur le sujet des profil F-V ou encore de l'évaluation des variables de performance chez les athlètes de soccer. En effet, ce projet représente une base de comparaison solide en ce qui concerne les qualités neuromusculaires des athlètes masculins âgés de 15 à 19 ans et des athlètes féminines âgées de 15 à 17 ans. Ces populations étant particulièrement étudiées dans la littérature, ce projet offre donc des bases sur lesquelles s'appuyer lorsqu'il est question de l'évaluation de jeunes athlètes de soccer en développement. De plus, ce projet apporte des recommandations et des liens utiles concernant la préparation physique des jeunes athlètes de soccer, surtout en ce qui a trait au développement des qualités neuromusculaires et l'optimisation de la performance aux changements de direction.

Finalement, ce projet propose des recommandations concernant la mise en place de futures évaluations des profils F-V ou même l'utilisation de certains tests terrain permettant une observation précise de certaines variables de performance comme la force réactive, la puissance horizontale et la capacité de changement de direction.

BIBLIOGRAPHIE

- Al'Hazzaa, H., Almuzaini, K., Al-Refae, S., & Sulaiman, M. (2001). Aerobic and anaerobic power characteristics of Saudi elite soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 41(1), 54.
- Andersson, H. Å., Randers, M. B., Heiner-Møller, A., Krstrup, P., & Mohr, M. (2010). Elite female soccer players perform more high intensity running when playing in international games compared with domestic league games. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(4), 912-919.
- Bachl, N., & Prokop, L. (1977). Wie gut trainiert sind österreichische Fußballspieler? Leistungsdiagnostische Standortbestimmung aus der Sicht des Sportphysiologen. *Österr. J. Sportmed*, 7, 3-10.
- Bangsbo, J. (1994). The physiology of soccer--with special reference to intense intermittent exercise. *Acta Physiologica Scandinavica. Supplementum*, 619, 1-155.
- Bangsbo, J., Mohr, M., & Krstrup, P. (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Journal of sports sciences*, 24(07), 665-674.
- Berryman, N., Maurel, D., & Bosquet, L. (2010). Effect of plyometric vs. dynamic weight training on the energy cost of running. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(7), 1818-1825.
- Bishop, D., Girard, O., & Mendez-Villanueva, A. (2011). Repeated-sprint ability—part II: recommendations for training. *Sports medicine*, 41, 741-756.
- Bishop, C., Jarvis, P., Turner, A., & Balsalobre-Fernandez, C. (2022). Validity and Reliability of Strategy Metrics to Assess Countermovement Jump Performance Using the Newly Developed Smartphone Application. *Journal of Human Kinetics*, 83(1), 185-195.
- Bloomfield, J., Polman, R., & O'Donoghue, P. (2007). Physical demands of different positions in FA Premier League soccer. *Journal of sports science & medicine*, 6(1), 63.
- Bosco, C., Luhtanen, P., & Komi, P. V. (1983). A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 50(2), 273-282.
- Bradley, P. S., Sheldon, W., Wooster, B., Olsen, P., Boanas, P., & Krstrup, P. (2009). High-intensity running in English FA Premier League soccer matches. *Journal of sports sciences*, 27(2), 159-168.
- Carling, C., Bloomfield, J., Nelsen, L., & Reilly, T. (2008). The role of motion analysis in elite soccer. *Sports medicine*, 38(10), 839-862.
- Casajús, J. A. (2001). Seasonal variation in fitness variables in professional soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 41(4), 463-469.
- Castagna, C., Belardinelli, R., & Abt, G. (2005). The HR Response to Training with a Ball in Youth Soccer Players. *Science and Football V: The Proceedings of the Fifth World Congress on Sports Science and Football*.

- Chaabene, H., Prieske, O., Negra, Y., & Granacher, U. (2018). Change of direction speed: Toward a strength training approach with accentuated eccentric muscle actions. *Sports medicine*, 48(8), 1773-1779.
- Clemente, F. M., Martins, F. M. L., & Mendes, R. S. (2014). Developing aerobic and anaerobic fitness using small-sided soccer games: Methodological proposals. *Strength & Conditioning Journal*, 36(3), 76-87.
- Cohen, J. (2013). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Routledge.
- Cormie, P. (2011). Sports Med. Developing maximal neuromuscular power: part 2-training considerations for improving maximal power production. *Sports Med*, 41, 125-146.
- Cormie, P., McBride, J. M., & McCaulley, G. O. (2007). The influence of body mass on calculation of power during lower-body resistance exercises. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(4), 1042-1049.
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2011). Developing maximal neuromuscular power. *Sports medicine*, 41(1), 17-38.
- Cross, M. R., Lahti, J., Brown, S. R., Chedati, M., Jimenez-Reyes, P., Samozino, P., Eriksrud, O., & Morin, J.-B. (2018). Training at maximal power in resisted sprinting: Optimal load determination methodology and pilot results in team sport athletes. *PLoS One*, 13(4), e0195477.
- Di Salvo, V., Baron, R., Tschann, H., Calderon Montero, F., Bachl, N., & Pigozzi, F. (2007). Motion characteristics in elite level soccer. *Int J Sports Med*, 28, 222-227.
- Dong, L., Pageaux, B., Romeas, T., & Berryman, N. (2022). The effects of fatigue on perceptual-cognitive performance among open-skill sport athletes: A scoping review. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 1-52.
- Dos' Santos, T., Thomas, C., Comfort, P., McMahon, J. J., Jones, P. A., Oakley, N. P., & Young, A. L. (2018). Between-session reliability of isometric midthigh pull kinetics and maximal power clean performance in male youth soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(12), 3364-3372.
- Draper, J., & Lancaster, M. (1985). The 505 test: A test for agility in the horizontal plane performance. *Exerc Sport Sci Rev*, 31, 8-12.
- Dugdale, J. H., Arthur, C. A., Sanders, D., & Hunter, A. M. (2019). Reliability and validity of field-based fitness tests in youth soccer players. *European journal of sport science*, 19(6), 745-756.
- Ebben, W. P., & Petushek, E. J. (2010). Using the reactive strength index modified to evaluate plyometric performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(8), 1983-1987.
- Edwards, T., Weakley, J., Banyard, H. G., Cripps, A., Piggott, B., Haff, G. G., & Joyce, C. (2021). Influence of age and maturation status on sprint acceleration characteristics in junior Australian football. *Journal of sports sciences*, 39(14), 1585-1593.
- Enoka, R. M., & Duchateau, J. (2016). Translating fatigue to human performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 48(11), 2228.

- Esposito, F., Impellizzeri, F. M., Margonato, V., Vanni, R., Pizzini, G., & Veicsteinas, A. (2004). Validity of heart rate as an indicator of aerobic demand during soccer activities in amateur soccer players. *European journal of applied physiology*, 93(1), 167-172.
- Faude, O., Koch, T., & Meyer, T. (2012). Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *Journal of sports sciences*, 30(7), 625-631.
- Fernández-Galván, L. M., Jiménez-Reyes, P., Cuadrado-Peñañiel, V., & Casado, A. (2022). Sprint performance and mechanical force-velocity profile among different maturational stages in young soccer players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(3), 1412.
- Forster, J. W., Uthoff, A. M., Rumpf, M. C., & Cronin, J. B. (2021). Advancing the pro-agility test to provide better change of direction speed diagnostics. *The Journal of Sport and Exercise Science*, 5(2), 101-106.
- Forster, J. W., Uthoff, A. M., Rumpf, M. C., & Cronin, J. B. (2022). Pro-agility unpacked: Variability, comparability and diagnostic value. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 17(5), 1225-1240.
- Gabbett, T. J. (2010). The development of a test of repeated-sprint ability for elite women's soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(5), 1191-1194.
- Giménez, J. V., Castellano, J., Lipinska, P., Zasada, M., & Gómez, M.-Á. (2020). Comparison of the physical demands of friendly matches and different types On-field integrated training sessions in professional soccer players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(8), 2904.
- Gollnick, P., & Bayly, W. (1986). Biochemical training adaptations and maximal power. Human muscle power. Champaign (IL): *Human Kinetics*, 255-267.
- Gordon, A., Huxley, A. F., & Julian, F. (1966). The variation in isometric tension with sarcomere length in vertebrate muscle fibres. *The Journal of physiology*, 184(1), 170-192.
- Harley, J. A., Barnes, C. A., Portas, M., Lovell, R., Barrett, S., Paul, D., & Weston, M. (2010). Motion analysis of match-play in elite U12 to U16 age-group soccer players. *Journal of sports sciences*, 28(13), 1391-1397.
- Harper, D. J., McBurnie, A. J., Santos, T. D., Eriksrud, O., Evans, M., Cohen, D. D., ... & Kiely, J. (2022). Biomechanical and neuromuscular performance requirements of horizontal deceleration: A review with implications for random intermittent multi-directional sports. *Sports Medicine*, 52(10), 2321-2354.
- Hill-Haas, S. V., Dawson, B., Impellizzeri, F. M., & Coutts, A. J. (2011). Physiology of small-sided games training in football. *Sports medicine*, 41(3), 199-220.
- Hill-Haas, S. V., Dawson, B. T., Coutts, A. J., & Rowsell, G. J. (2009). Physiological responses and time-motion characteristics of various small-sided soccer games in youth players. *Journal of sports sciences*, 27(1), 1-8.
- Hoff, J. (2005). Training and testing physical capacities for elite soccer players. *Journal of sports sciences*, 23(6), 573-582.

- Hoff, J., Wisløff, U., Engen, L. C., Kemi, O., & Helgerud, J. (2002). Soccer specific aerobic endurance training. *British journal of sports medicine*, 36(3), 218-221.
- Hunter, S. K., Angadi, S. S., Bhargava, A., Harper, J., Hirschberg, A. L., Levine, B. D., Moreau, K. L., Nokoff, N. J., Stachenfeld, N. S., & Bermon, S. (2023). The biological basis of sex differences in athletic performance: consensus statement for the American college of sports medicine. *Translational Journal of the American College of Sports Medicine*, 8(4), 1-33.
- Jarvis, P., Turner, A., Read, P., & Bishop, C. (2022). Reactive strength index and its associations with measures of physical and sports performance: a systematic review with meta-analysis. *Sports medicine*, 52(2), 301-330.
- Jiménez-Reyes, P., Garcia-Ramos, A., Párraga-Montilla, J. A., Morcillo-Losa, J. A., Cuadrado-Peñafiel, V., Castaño-Zambudio, A., Samozino, P., & Morin, J.-B. (2022). Seasonal changes in the sprint acceleration force-velocity profile of elite male soccer players. *Journal of strength and conditioning research*, 36(1), 70-74.
- Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., García-Ramos, A., Cuadrado-Peñafiel, V., Brughelli, M., & Morin, J.-B. (2018). Relationship between vertical and horizontal force-velocity-power profiles in various sports and levels of practice. *PeerJ*, 6, e5937.
- Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., Pareja-Blanco, F., Conceição, F., Cuadrado-Peñafiel, V., González-Badillo, J. J., & Morin, J.-B. (2017). Validity of a simple method for measuring force-velocity-power profile in countermovement jump. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(1), 36-43.
- Jones, P. A., Bampouras, T., & Marrin, K. (2009). An investigation into the physical determinants of change of direction speed. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 49(1), 97-104.
- Kraemer, W. J., & Newton, R. U. (2000). Training for muscular power. *Physical medicine and rehabilitation clinics of North America*, 11(2), 341-368.
- Krustrup, P., & Bangsbo, J. (2001). Physiological demands of top-class soccer refereeing in relation to physical capacity: effect of intense intermittent exercise training. *Journal of sports sciences*, 19(11), 881-891.
- Krustrup, P., Mohr, M., Amstrup, T., Rysgaard, T., Johansen, J., Steensberg, A., Pedersen, P. K., & Bangsbo, J. (2003). The yo-yo intermittent recovery test: physiological response, reliability, and validity. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35(4), 697-705.
- Krustrup, P., Mohr, M., Steensberg, A., Bencke, J., Kjær, M., & Bangsbo, J. (2003). Muscle metabolites a football match relation to a decreased sprinting ability. *Communication to the Fifth World Congress of soccer and Science, Lisbon, Portugal*.
- Krustrup, P., Mohr, M., Steensberg, A., Bencke, J., Kjær, M., & Bangsbo, J. (2006). Muscle and blood metabolites during a soccer game: implications for sprint performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 38(6), 1165-1174.
- Lacour, J., Bouvat, E., & Barthelemy, J. (1990). Post-competition blood lactate concentrations as indicators of anaerobic energy expenditure during 400-m and 800-m races. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 61(3-4), 172-176.

- Lindberg, K., Solberg, P., Bjørnsen, T., Helland, C., Rønnestad, B., Thorsen Frank, M., Haugen, T., Østerås, S., Kristoffersen, M., & Midttun, M. (2021). Force-velocity profiling in athletes: *Reliability and agreement across methods*. *PLoS One*, *16*(2), e0245791.
- Lockie, R. G., Davis, D. L., Birmingham-Babauta, S. A., Beiley, M. D., Hurley, J. M., Stage, A. A., Stokes, J. J., Tomita, T. M., Torne, I. A., & Lazar, A. (2016). Physiological characteristics of incoming freshmen field players in a men's Division I collegiate soccer team. *Sports*, *4*(2), 34.
- Lockie, R. G., Moreno, M. R., Lazar, A., Orjalo, A. J., Giuliano, D. V., Risso, F. G., Davis, D. L., Crelling, J. B., Lockwood, J. R., & Jalilvand, F. (2018). The physical and athletic performance characteristics of Division I collegiate female soccer players by position. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *32*(2), 334-343.
- Mallo, J., Mena, E., Nevado, F., & Paredes, V. (2015). Physical demands of top-class soccer friendly matches in relation to a playing position using global positioning system technology. *Journal of Human Kinetics*, *47*, 179.
- Mangine, G. T., Huet, K., Williamson, C., Bechke, E., Serafini, P., Bender, D., Hudy, J., & Townsend, J. (2018). A Resisted Sprint Improves Rate of Force Development During a 20-m Sprint in Athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *32*(6), 1531-1537. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000002030>
- Marcote-Pequeño, R., García-Ramos, A., Cuadrado-Peñafiel, V., González-Hernández, J. M., Gómez, M. Á., & Jiménez-Reyes, P. (2019). Association between the force–velocity profile and performance variables obtained in jumping and sprinting in elite female soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *14*(2), 209-215.
- Marshall, J., Bishop, C., Turner, A., & Haff, G. G. (2021). Optimal training sequences to develop lower body force, velocity, power, and jump height: A systematic review with meta-analysis. *Sports medicine*, *51*(6), 1245-1271.
- Martínez-Hernández, D., Quinn, M., & Jones, P. (2023). Linear advancing actions followed by deceleration and turn are the most common movements preceding goals in male professional soccer. *Science and Medicine in Football*, *7*(1), 25-33.
- McGuigan, M. (2016). Principles of test selection and administration. *Essentials of Strength Training and Conditioning*, 4th ed.; Haff, GG, Triplett, NT, Eds, 249-258.
- McQuilliam, S. J., Clark, D. R., Erskine, R. M., & Brownlee, T. E. (2022). Mind the gap! A survey comparing current strength training methods used in men's versus women's first team and academy soccer. *Science and Medicine in Football*, *6*(5), 597-604.
- Mohr, M., Krstrup, P., Andersson, H., Kirkendal, D., & Bangsbo, J. (2008). Match activities of elite women soccer players at different performance levels. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *22*(2), 341-349.
- Mohr, M., Krstrup, P., & Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of sports sciences*, *21*(7), 519-528.
- Mohr, M., Krstrup, P., Nybo, L., Nielsen, J. J., & Bangsbo, J. (2004). Muscle temperature and sprint performance during soccer matches—beneficial effect of re-warm-up at half-time. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, *14*(3), 156-162.

- Morin, J.-B., & Samozino, P. (2016). Interpreting power-force-velocity profiles for individualized and specific training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(2), 267-272.
- Munro, B. H. (2005). Statistical methods for health care research (Vol. 1). *lippincott williams & wilkins*.
- Newton, R. U., & Dugan, E. (2002). Application of strength diagnosis. *Strength and Conditioning Journal*, 24(5), 50-64.
- Nimphius, S., Callaghan, S. J., Spiteri, T., & Lockie, R. G. (2016). Change of direction deficit: A more isolated measure of change of direction performance than total 505 time. *Journal of strength and conditioning research*, 30(11), 3024-3032.
- Nimphius, S., Geib, G., Spiteri, T., & Carlisle, D. (2013). Change of direction” deficit measurement in Division I American football players. *J Aust Strength Cond*, 21(S2), 115-117.
- Ozbar, N., Ates, S., & Agopyan, A. (2014). The effect of 8-week plyometric training on leg power, jump and sprint performance in female soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(10), 2888-2894.
- Popowczak, M., Rokita, A., Świerzko, K., Szczepan, S., Michalski, R., & Maćkała, K. (2019). Are linear speed and jumping ability determinants of change of direction movements in young male soccer players? *Journal of sports science & medicine*, 18(1), 109.
- Querido, S. M., & Clemente, F. M. (2020). Analyzing the effects of combined small-sided games and strength and power training on the fitness status of under-19 elite football players. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 60, 1-10.
- Reilly, T. (1976). A motion analysis of work-rate in different positional roles in professional football match-play. *J Human Movement Studies*, 2, 87-97.
- Reilly, T. (2005). An ergonomics model of the soccer training process. *Journal of sports sciences*, 23(6), 561-572.
- Reilly, T., Bangsbo, J., & Franks, A. (2000). Anthropometric and physiological predispositions for elite soccer. *Journal of sports sciences*, 18(9), 669-683.
- Reilly, T., Williams, A. M., Nevill, A., & Franks, A. (2000). A multidisciplinary approach to talent identification in soccer. *Journal of sports sciences*, 18(9), 695-702.
- Rienzi, E., Drust, B., Reilly, T., Carter, J. E. L., & Martin, A. (2000). Investigation of anthropometric and work-rate profiles of elite South American international soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 40(2), 162.
- Robertson, S., Duthie, G. M., Ball, K., Spencer, B., Serpiello, F. R., Haycraft, J., ... & Aughey, R. J. (2023). Challenges and considerations in determining the quality of electronic performance & tracking systems for team sports. *Frontiers in Sports and Active Living*, 5, 1266522.
- Rodriguez Jr, S. A. (2021). The Association between Bilateral Broad Jump Performance and the Sprint Profile. *The University of Texas at El Paso*.

- Russell, M., Benton, D., & Kingsley, M. (2011). The effects of fatigue on soccer skills performed during a soccer match simulation. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6(2), 221-233.
- Saltin, B., & Hermansen, L. (1966). Esophageal, rectal, and muscle temperature during exercise. *Journal of applied physiology*, 21(6), 1757-1762.
- Samozino, P., Edouard, P., Sangnier, S., Brughelli, M., Gimenez, P., & Morin, J.-B. (2013). Force-velocity profile: imbalance determination and effect on lower limb ballistic performance. *International journal of sports medicine*, 505-510.
- Samozino, P., Morin, J.-B., Hintzy, F., & Belli, A. (2008). A simple method for measuring force, velocity and power output during squat jump. *Journal of biomechanics*, 41(14), 2940-2945.
- Samozino, P., Rabita, G., Dorel, S., Slawinski, J., Peyrot, N., Saez de Villarreal, E., & Morin, J. B. (2016). A simple method for measuring power, force, velocity properties, and mechanical effectiveness in sprint running. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 26(6), 648-658.
- Sams, M. L., Sato, K., DeWeese, B. H., Sayers, A. L., & Stone, M. H. (2018). Quantifying changes in squat jump height across a season of men's collegiate soccer. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(8), 2324-2330.
- Šarabon, N., Kozinc, Ž., & Bishop, C. (2023). Comparison of Vertical and Horizontal Reactive Strength Index Variants and Association with Change of Direction Performance. *Journal of strength and conditioning research*, 37(1), 84-90.
- Sarmiento, H., Clemente, F. M., Harper, L. D., Costa, I. T. d., Owen, A., & Figueiredo, A. J. (2018). Small sided games in soccer—a systematic review. *International journal of performance analysis in sport*, 18(5), 693-749.
- Sauls, N. M., & Dabbs, N. C. (2017). Differences in male collegiate and recreationally trained soccer players on balance, agility, and vertical jump performance. *International Journal of Kinesiology and Sports Science*, 5(4), 45-50.
- Sayers, M. (2014). Does the 5-0-5 test measure change of direction speed? *Journal of Science and Medicine in Sport*, 18, e60.
- Sheppard, J. M., & Young, W. B. (2006). Agility literature review: Classifications, training and testing. *Journal of sports sciences*, 24(9), 919-932.
- Siff, M. (2000). Biomechanical foundations of strength and power training. In (pp. 103-139): London: Blackwell Scientific Ltd.
- Sole, C. J., Suchomel, T. J., & Stone, M. H. (2018). Preliminary scale of reference values for evaluating reactive strength index-modified in male and female NCAA Division I athletes. *Sports*, 6(4), 133.
- Sporis, G., Jukic, I., Ostojic, S. M., & Milanovic, D. (2009). Fitness profiling in soccer: physical and physiologic characteristics of elite players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(7), 1947-1953.
- Stølen, T., Chamari, K., Castagna, C., & Wisløff, U. (2005). Physiology of soccer. *Sports medicine*, 35(6), 501-536.

- Thomas, C., Dos' Santos, T., Comfort, P., & Jones, P. A. (2018). Relationships between unilateral muscle strength qualities and change of direction in adolescent team-sport athletes. *Sports*, 6(3), 83.
- Tomáš, M., František, Z., Lucia, M., & Jaroslav, T. (2014). Profile, correlation and structure of speed in youth elite soccer players. *Journal of Human Kinetics*, 40, 149.
- Turner, A., Walker, S., Stenbridge, M., Coneyworth, P., Reed, G., Birdsey, L., Barter, P., & Moody, J. (2011). A testing battery for the assessment of fitness in soccer players. *Strength & Conditioning Journal*, 33(5), 29-39.
- Vescovi, J. D. (2012). Sprint profile of professional female soccer players during competitive matches: Female Athletes in Motion (FAiM) study. *Journal of sports sciences*, 30(12), 1259-1265.
- Vescovi, J. D. (2013). Motion characteristics of youth women soccer matches: female athletes in motion (FAiM) study. *International journal of sports medicine*, 110-117.
- Vescovi, J. D., & Favero, T. G. (2014). Motion characteristics of women's college soccer matches: Female Athletes in Motion (FAiM) study. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(3), 405-414.
- Vescovi, J. D., & McGuigan, M. R. (2008). Relationships between sprinting, agility, and jump ability in female athletes. *Journal of sports sciences*, 26(1), 97-107.
- Weakley, J., Black, G., McLaren, S., Scantlebury, S., Suchomel, T. J., McMahon, E., Watts, D., & Read, D. B. (2022). Testing and profiling athletes: recommendations for test selection, implementation, and maximizing information. *Strength & Conditioning Journal*, 10.1519.
- Weldon, A., Duncan, M. J., Turner, A., Sampaio, J., Noon, M., Wong, D., & Lai, V. W. (2021). Contemporary practices of strength and conditioning coaches in professional soccer. *Biology of Sport*, 38(3), 377-390.
- Wing, C. E., Turner, A. N., & Bishop, C. J. (2020). Importance of strength and power on key performance indicators in elite youth soccer. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 34(7), 2006-2014.
- Wisloeff, U., Helgerud, J., & Hoff, J. (1998). Strength and endurance of elite soccer players. *Medicine and science in sports and exercise*, 30(3), 462-467.
- Wragg, C., Maxwell, N., & Doust, J. (2000). Evaluation of the reliability and validity of a soccer-specific field test of repeated sprint ability. *European journal of applied physiology*, 83(1), 77-83.