

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

ÉVALUATION DES CHARGES D'ENTRAÎNEMENT EXTERNES ET
INTERNES CHEZ DES ATHLÈTES DE SOCCER FÉMININ

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN KINANTHROPOLOGIE

PAR
MAJHTAR SECK

JUILLET 2021

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.04-2020). 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

À mon directeur de recherche : Dr. ALAIN STEVE COMTOIS

Je vous remercie vivement pour votre grande contribution à ce projet, votre collaboration tout au long de mon programme de maîtrise. Vos connaissances et votre soutien m'ont été bénéfiques pour la réalisation de ce mémoire, mais également pour mon développement comme étudiant et chercheur en sciences de l'activité physique. Puisse ce travail vous satisfaire et refléter ma haute considération de vous.

À l'équipe de recherche : JÉRÉMIE CHARRON ET PIERRE-MARC FERLAND

Je tiens à vous remercier pour le fait d'avoir été présents pour moi. Vous avez secondé mon directeur de recherche dans la tâche de me guider, de me conseiller et de m'apporter votre expérience pour la rédaction d'un mémoire et la réalisation d'un projet de recherche. D'autre part, l'apport de votre point de vue m'a aidé à la construction de ce projet. Veuillez trouver ici l'expression de ma gratitude la plus sincère.

Aux préparateurs physiques de l'équipe de soccer féminin : ATHANASIO DESTOUNIS ET ADEL BENJEDDOU

Je vous remercie pour l'accès, l'utilisation et le traitement de la base de données utilisée pour ce projet de recherche. Merci également pour votre disponibilité et votre collaboration tout au long de mon projet. J'ai également pu profiter de vos compétences et vos qualités humaines. Je tiens à vous transmettre ma plus profonde reconnaissance.

À mes parents : NAGO SECK ET SYLVIE CLERFEUILLE

Merci pour tout ce que vous avez fait pour moi, vos sacrifices et votre éducation qui m'ont donné l'opportunité d'être admis à ce programme de maîtrise et, par conséquent, réaliser ce mémoire. Rien n'aurait été possible sans vous, votre soutien moral et

financier, le fait de m'avoir guidé à faire les bons choix. Veuillez trouver ici mon amour, mon affection, ma plus haute reconnaissance et plus grande considération.

À mon frère : HERVÉ SECK

Merci pour ton soutien à toute épreuve, dans les bons et mauvais moments, ta loyauté et ton soutien infinis, pour avoir été une source de motivation par ton excellence académique. Tu as mon amour, mon amitié, ma fidélité, ma loyauté et ma reconnaissance éternels.

TABLE DES MATIERES

LISTE DES FIGURES	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACROYMES	viii
RÉSUMÉ.....	xi
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I PROBLÉMATIQUE	2
1.1 Objectifs de recherche.....	3
1.2 Questions de recherche	4
1.3 Hypothèses de recherche.....	6
1.4 Pertinence de la recherche.....	6
CHAPITRE II CADRE THÉORIQUE	8
2.1 Spécificités du soccer.....	8
2.2 Périodisation en sports collectifs	10
2.3 Charge d'entraînement externe en compétition et en entraînement.....	11
2.4 Charge d'entraînement externe en compétition et à l'entraînement selon les postes de jeu.....	13
2.5 « Training Load » en compétition et en entraînement selon les postes de jeu dans le soccer féminin.....	15
2.6 sRPE et Charge d'entraînement externe	15
2.7 sRPE et Fréquence cardiaque.....	16
CHAPITRE III MÉTHODOLOGIE	19
3.1 Participants.....	19
3.2 Matériel et Méthodes	20
3.2.1 Contexte	20
3.2.2 Procédure.....	21
3.2.3 La charge d'entraînement externe	21
3.2.4 La charge d'entraînement interne.....	22
3.3 Analyse statistique	23

CHAPITRE IV RÉSULTATS	25
4.1 Charge d'entraînement externe à l'entraînement et en compétition	25
4.2 Comparaison de la charge d'entraînement externe à l'entraînement et en compétition entre les postes de jeu	27
4.3 Charge d'entraînement externe	28
4.4 Relation entre la charge d'entraînement externe et interne	30
4.5 Charge d'entraînement interne.....	32
CHAPITRE V DISCUSSION.....	33
ANNEXE A CALENDRIER DE LA PRÉPARATION PHYSIQUE	42
BIBLIOGRAPHIE	43

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
2.1 Représentation de l'équation TRIMP	17
4.1 Régression linéaire de prédiction des courses à vitesse élevée (HSR) à partir de la distance totale (DT) en matchs	29
4.2 Régression linéaire de la prédiction de la perception de l'effort à partir de la distance totale en matchs	30
4.3 Régression linéaire de prédiction de la perception de l'effort à partir de la distance à vitesse élevée en matchs	31
4.4 Régression linéaire de prédiction de la perception de l'effort à partir de la fréquence cardiaque moyenne en matchs	32

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
2.1 Tableau descriptif des valeurs moyennes pour les différents efforts spécifiques aux sports collectifs selon les sports	9
2.2 Statistiques descriptives des charges d'entraînement externes selon différents types d'entraînement et matchs	11
2.3 Représentation des valeurs moyennes de charge d'entraînement externe pour différents types d'entraînement et en match	13
2.4 Comparaison des moyennes de charge d'entraînement externe par poste en entraînement et en match.....	14
3.1 Échelle de Borg de perception de l'effort modifiée par Foster	22
4.1 Moyennes d'équipe de la distance totale (DT) et des courses à vitesse élevée (HSR) pour les différents types d'entraînement et en matchs	26
4.2 Distance totale (DT) et courses à vitesse élevée (HSR) à l'entraînement et en matchs.....	26
4.3 Distance totale pour les différents types d'entraînement et les matchs selon les postes de jeu	27
4.4 Courses à vitesse élevée exprimées en pourcentage de la distance totale (%DT) pour les différents types d'entraînement et matchs selon les postes de jeu	28
4.5 La corrélation de Spearman pour la distance totale moyenne et la distance à vitesse élevée moyenne lors des compétitions	29
4.6 La corrélation de Spearman entre la distance totale moyenne et la perception de l'effort moyenne en matchs	30
4.7 Corrélation de Spearman entre la distance moyenne à vitesse élevée (HSR) et la perception de l'effort (sRPE) moyenne en matchs.....	31

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACROYMES

AC	Attaquants centraux
ATP	Adénosine Triphosphate
ATT	Attaquants
AVG HR	Average Heart Rate (Fréquence Cardiaque Moyenne)
BPM	Battements par minute
cECG	Capacity Electrocardiogram (Electrocardiogramme de capacité)
CI	Confidence Interval (Intervalle de confiance)
CR	Category-Ratio (Rapport-Catégorie)
DC	Défenseurs centraux
DEF	Défenseurs
ECG	Electrocardiogram (Electrocardiogramme)
ETL	External Training Load (Charge d'entraînement externe)
GPS	Global Position System
HIR	High Intensity Running (Course à haute intensité)

HR	Heart Rate (Fréquence Cardiaque)
ITL	Internal Training Load (Charge d'entraînement interne)
LPS	Local Position System
M1	Match 1
M	Mètres
MAX HR	Maximal Heart Rate (Fréquence Cardiaque Maximale)
MC	Milieux de terrain centraux
MIL	Milieux de terrain
ML	Milieux de terrain latéraux
MN	Minutes
S1	Entraînement 1 (Session)
SD	Standard Deviation (Ecart-type)
SmO ₂	Saturation musculaire en oxygène
sRPE	Session-Rate Perceived Exertion (Évaluation de la Perception de l'effort)
TL	Training Load (Charge d'entraînement)
TRIMP	Training Impulse (Impulsion d'entraînement)

VHIR Very High Intensity Running (Course à très haute intensité)

VO₂ Volume d'oxygène

RÉSUMÉ

Contexte : La performance au soccer exige une capacité à fournir des efforts courts et intenses comme des sprints, des sauts, des changements de direction et des déplacements latéraux de manière répétée. Ces différents efforts doivent être répétés de nombreuses fois lors d'une compétition, ce qui veut dire sur une longue durée (2x45 min). La fréquence des compétitions crée un stress physiologique sur les athlètes, ainsi que la fréquence des entraînements en fonction de leur volume et intensité. On parle ici de « training load » ou « charge d'entraînement » (TL) (Morales *et al.*, 2019). Objectifs : Analyser la charge d'entraînement externe et interne pour une équipe de soccer féminin universitaire. Méthodes : Nous avons observé chez 21 joueuses de soccer universitaire ($21,67 \pm 1,59$ ans; $167,94 \pm 5,16$ cm; $60,27 \pm 10,09$ kg) (moyenne \pm écart type) la charge d'entraînement externe à l'aide des ceintures intelligentes Beyond Pulse (BP Smart Belt, LLC, Portland, Oregon, USA). Ces ceintures permettent de mesurer la distance totale (DT) exprimée en mètres et « distance parcourue à vitesse élevée » (HSR), qui est l'ensemble des courses à vitesse élevée supérieures à 80% de la vitesse maximale. Elles permettent également d'évaluer la fréquence cardiaque moyenne (AVG HR) exprimée en % de la fréquence cardiaque maximale (MAX HR) que nous avons exprimé HR dans cette étude. La charge d'entraînement interne était mesurée en utilisant le test de « Perception de l'effort » (sRPE). Nous avons utilisé la version CR-10 de Borg *et al.* (1987) modifiée par Foster *et al.* (2001). Résultats : Nous avons observé une différence significative de la distance totale en match et en entraînement ($p < 0,05$). En ce qui concerne les différents types d'entraînement, il y a une différence significative en match comparé aux entraînements de vivacité ($p < 0,001$) et d'activation ($p < 0,05$), et des résultats non significatifs avec les entraînements de renforcement musculaire et de vitesse. La variable HSR est significativement plus basse en matchs qu'à l'entraînement ($p < 0,05$), et elle est significativement plus élevée lors des entraînements de vitesse que lors des autres types d'entraînements et matchs ($p < 0,05$), sauf lors des entraînements de vivacité. Aucune différence significative a été observée entre les postes de jeu pour aucun type d'entraînement ou match (DEF, $n = 8$; MIL = $n = 5$; ATT, $n = 8$). Il existe une corrélation positive non-significative entre DT et sRPE [$r = 0,315$, $p = 0,203$] et entre sRPE et HR [$r = 0,286$, $p = 0,25$]. Les corrélations entre DT et HSR et entre HSR et sRPE sont négatives et non-significatives [respectivement, $r = -0,271$; $r = -0,203$]. Conclusion : Les résultats viennent confirmer notre hypothèse de départ selon laquelle la distance totale serait significativement plus grande en match qu'en entraînement. On l'observe pour les entraînements de vivacité et d'activation mais pas pour les entraînements de renforcement musculaire et de vitesse. L'absence de signification des résultats obtenus pour les corrélations entre DT et SRPE et HSR et SRPE ne nous permet pas de confirmer nos hypothèses sur la relation entre la charge d'entraînement externe et la charge d'entraînement interne. On observe la même chose pour la corrélation entre sRPE et HR et notre hypothèse sur la relation

entre ces deux variables de la charge d'entraînement interne. Cependant, les résultats des différents types d'entraînement sont pertinents pour la préparation physique quant à la périodisation au soccer féminin, notamment la construction des microcycles d'entraînement, et laissent place à de nouvelles études sur le sujet.

Mots clés : soccer féminin, charge d'entraînement externe, fréquence cardiaque, RPE

INTRODUCTION

La préparation physique et la recherche en performance se sont beaucoup développées lors des dernières années. L'objectif permanent des entraîneurs et préparateurs physiques est d'améliorer les performances des sportifs.

Dans les sports collectifs, la performance dépend de plusieurs facteurs. L'environnement extérieur (le public, l'arbitre, le temps de jeu, le climat, etc.) va jouer un rôle important sur les capacités mentales de l'athlète et représentent un stress constant lors de la compétition. La préparation mentale, permettant de contribuer à développer la gestion de ses émotions et autres réactions chimiques, se développe depuis les dernières années. Au niveau des interactions avec les partenaires et adversaires, la performance de l'athlète va dépendre de ses capacités cognitives et motrices, donc les aptitudes à réagir rapidement à une contrainte ou une situation (Murr *et al.*, 2018). L'amélioration de ces capacités vont dépendre des entraînements techniques et tactiques. Les préparateurs physiques ont le contrôle sur les facteurs qui nous intéressent, qui sont les capacités physiques du sportif.

CHAPITRE I

PROBLÉMATIQUE

Malgré l'avancée importante dans le domaine, définir les qualités physiques requises en sports collectifs est encore aujourd'hui un sujet de recherche qui intéresse, soulève des débats et prête toujours à confusion. Cependant, certains concepts semblent ressortir et sont fréquemment utilisés dans de nombreuses études.

La performance au soccer exige une capacité à fournir des efforts courts et intenses comme des sprints, des sauts, des changements de direction, déplacements latéraux de manière répétée. Ces différents efforts doivent être répétés de nombreuses fois lors d'une compétition, ce qui veut dire sur une longue durée.

La fréquence des compétitions crée un stress physiologique sur les athlètes, ainsi que la fréquence des entraînements en fonction de leur volume et intensité. On parle ici de « training load » ou « charge d'entraînement » (TL) (Morales *et al.*, 2019). La charge d'entraînement est gérée par les différents intervenants en entraînement, le plus souvent les préparateurs physiques et entraîneurs dans les sports collectifs de haut niveau, jouant un rôle déterminant dans la performance de l'athlète.

Ces intervenants doivent organiser les entraînements en fonction du calendrier des compétitions prévues, en fonction des blessures des athlètes au cours de la saison, du stress et de la fatigue accumulée (manque de sommeil, alimentation, prise de médicaments, etc) tout en s'assurant de tendre vers la progression des athlètes et de les préparer à performer dans les meilleures conditions en situation de compétition (Allard *et al.*, 2020). L'ensemble de ces facteurs que l'entraîneur et le préparateur physique doivent prendre en considération rend leur tâche complexe.

En plus de la contrainte de compétition, la charge d'entraînement doit répondre aussi au niveau de fatigue de l'athlète, et ceci amène une autre problématique : comment être le plus précis pour évaluer la fatigue de l'athlète. La littérature montre que l'utilisation de la charge d'entraînement interne est pertinente car il y a souvent un décalage entre la fatigue perçue de l'extérieure par les coaches et la réelle fatigue ressentie par l'athlète (Lambert et Borresen, 2010). C'est pourquoi de nouvelles méthodes d'évaluation de la charge d'entraînement se sont développées, centrées davantage sur la perception individuelle de l'athlète et les adaptations physiologiques internes de son corps. Les deux variables retenues dans cette étude sont la fréquence cardiaque moyenne à l'effort (HR) et la perception de l'effort (sRPE) (Costa *et al.*, 2019; Ludwig *et al.*, 2018).

1.1 Objectifs de recherche

L'objectif principal de cette recherche est d'analyser la charge d'entraînement externe en compétition et la comparer à celle en entraînement pour une équipe de soccer féminin universitaire. Pour se faire, nous allons utiliser les données recueillies pour les variables de distance totale (DT) et de distance parcourue à vitesse élevée (HSR) exprimée en % de DT.

La charge d'entraînement externe ou « External Training Load » (ETL), définie par le travail physique effectué lors d'un match ou un entraînement, est quantifiée par

différents critères qui sont la fréquence, le volume, l'intensité et la densité. Des composantes sont utilisées pour la mesurer telles que la distance totale (DT), la distance parcourue à vitesse élevée ou « High Speed Running » (HSR), le temps effectif, correspondant au temps d'effort excluant le temps de récupération sur la durée totale de l'entraînement.

Dans un deuxième temps, nous allons comparer ces données en fonction des postes des joueuses. Les mêmes variables mesurant la charge d'entraînement vont être comparées entre les défenseuses (DEF), les milieux de terrains (MIL) et les attaquantes (ATT). Notre échantillon ne nous permettra pas une analyse profonde ($n = 19$), toutefois il est pertinent pour de futures recherches de faire ressortir ces comparaisons.

Afin d'analyser la relation entre la charge d'entraînement externe et la charge d'entraînement interne, nous allons utiliser la corrélation entre la distance totale parcourue (DT) et la perception de l'effort (sRPE) et également la corrélation entre la distance parcourue à vitesse élevée (HSR) et la perception de l'effort (sRPE) lors d'un match.

La charge d'entraînement interne ou « Internal Training Load » (ITL), qui représente l'ensemble des réactions physiques, physiologiques de l'athlète à l'effort, ce qui se mesure « à l'intérieur » de l'athlète et qui n'est pas visible à l'œil nu par les intervenants en entraînement. Les composantes principales mesurées sont la fréquence cardiaque ou « Heart Rate » (HR) et le niveau de fatigue perçu ou « Rate of Perceived Exertion » (RPE) (Akenhead *et al.*, 2016).

1.2 Questions de recherche

La charge d'entraînement externe est-elle plus élevée en entraînement ou compétition ?

Une différence de charge d'entraînement externe est-elle observable selon les périodes de jeu lors d'un match ?

Y a-t-il des différences de charge d'entraînement externe selon les postes des joueuses ?

Existe-t-il une corrélation entre la charge d'entraînement externe et la charge d'entraînement interne ?

La perception de l'effort (sRPE) augmente-t-elle avec la fréquence cardiaque (HR) ?

1.3 Hypothèses de recherche

Nous formulons l'hypothèse principale que la distance totale et la distance parcourue à vitesse élevée devraient être significativement plus élevées en compétition qu'à l'entraînement.

Les sous-hypothèses suivantes seront aussi vérifiées :

Les milieux de terrain parcourent une distance totale (DT) plus élevée que les défenseuses et les attaquantes.

La distance à vitesse élevée (HSR) chez les attaquantes est plus grande que chez les défenseuses et les milieux de terrain.

Des corrélations directement proportionnelles entre la DT et HSR, DT et sRPE, HSR et sRPE et entre HR et sRPE seront présentes.

1.4 Pertinence de la recherche

Comme mentionné précédemment, la planification et la périodisation de la charge d'entraînement dans le soccer s'avèrent être complexe, elles doivent répondre aux demandes de chaque poste de jeu tout en étant adaptées aux compétitions et aux obstacles pouvant se présenter (blessures, absences, etc.). Toutefois, ce type d'analyse/études est rarissime dans la littérature scientifique chez les équipes féminines. Donc, nous avons jugé pertinent d'étudier la charge d'entraînement chez une équipe féminine à partir d'une analyse secondaire *a posteriori*. Les données ont été recueillies de manière routinière durant les séances d'entraînement et matchs (été 2019) par les préparateurs physiques de l'équipe. En fait, selon les différents types d'entraînement utilisés par les préparateurs physiques, l'analyse proposée dans ce

mémoire a la possibilité de permettre d'apporter des connaissances sur la place de chacun de ces types d'entraînement dans la périodisation en fonction de la compétition (Issurin, 2010; Mujika *et al.*, 2018). En d'autres termes, une charge d'entraînement élevée pour un type d'entraînement permet au préparateur physique de juger si ce type d'entraînement doit être plus ou moins éloigné de la compétition. De nombreuses études ont été faites sur la charge d'entraînement dans le soccer, cependant peu d'entre elles ont été faites sur des équipes féminines selon la revue de Datson *et al.* (2014). Nous avons voulu contribuer à renforcer les études sur cette population, ainsi que le fait de comparer cette charge d'entraînement selon les postes de jeu. Il apparait dans cette revue répertoriant l'ensemble des études faites sur les demandes physiologiques sur le soccer féminin qu'il y a encore un manque dans la littérature sur la comparaison des postes de jeu au niveau de la charge d'entraînement externe, notamment sur les courses à vitesse élevée (HSR), ce qui est l'une des variables étudiées ici.

Cette distinction et comparaison des postes de jeu tend davantage à affiner la planification d'entraînement quant à l'adaptation de l'entraînement selon les demandes physiques et physiologiques pour chaque poste de jeu (Di Salvo *et al.*, 2007; Martin-Lopez *et al.*, 2018).

En ce qui concerne la perception de l'effort (sRPE), nous avons choisi d'analyser les données recueillies en compétition, ce qui est moins courant dans la littérature, comptant davantage d'études sur la perception d'effort en condition d'entraînement (Rago *et al.*, 2020). Le fait de vouloir analyser sRPE en compétition a pour but d'avoir une référence sur l'intensité ressentie par l'athlète, permettant de savoir vers quel niveau de perception tendre lors des entraînements afin de simuler le mieux possible l'intensité de compétition.

CHAPITRE II

CADRE THÉORIQUE

2.1 Spécificités du soccer

L'objectif de la préparation physique en sports collectifs, qui en fait également sa complexité, est de développer simultanément les capacités d'endurance et de force-vitesse (puissance).

Il existe également des différences entre les différents sports collectifs, se distinguant au regard des temps d'efforts et de l'intensité de chacun des efforts fournis en compétition.

L'un des premiers facteurs qui nous permet de différencier l'effort au soccer aux autres sports collectifs est la distance totale parcourue. En s'appuyant sur la revue de (Taylor *et al.*, 2017), 21 études ont montré que la distance totale parcourue lors d'un match en soccer se situe en moyenne entre 9000 et 12000m chez les hommes. 5 études ont montré une similarité dans les résultats chez les femmes avec en moyenne entre 9600 et 10440m parcourus. Cette même revue répertorie les études qui ont traité de la fréquence

de sprints, assez égale selon les sexes chez les adultes de haut niveau et se situant entre 7 et 61 sprints par match. Les sprints représentent entre 4 et 12,3% de la distance totale, tandis que les courses à intensité élevée sont autour de 5.1 et 18,2%. Ces mêmes courses à intensité élevée représentent une distance moyenne d'entre 222 et 1900m chez les hommes et entre 608 et 2452m chez les femmes.

Tableau 2.1 Tableau descriptif des valeurs moyennes pour les différents efforts spécifiques aux sports collectifs selon les sports

Movement category	Player type	Soccer	Basketball	Handball	Futsal	Field hockey	Volleyball
Total distance (m)	Male	10,794	6300	3855	4313	7694	
	Female	10,321	6177	3442		6931 ^a	
	Junior male	6175	7558 ^a	1777 ^a			
	Junior female	8024	5587 ^a	3399 ^a			
Lateral movement distance (m)	Male	316 ^a	208	468			
	Female		944 ^a	138 ^a			
	Junior male	381	125 ^a				
Jump frequency	Male	10 ^a	48	19 ^a			34 ^a
	Female		45				23 ^a
	Junior male	4 ^a	35	89 ^a			

^a Based on one included study in this category

Taylor *et al.* (2017)

La distance totale est relativement plus élevée au soccer que dans d'autres sports collectifs (Tableau 2.1), les filières énergétiques sollicitant un effort important d'endurance, et en même temps les courses à haute intensité sont plus fréquentes, ce qui fait de cette discipline un stress constant sur de nombreux systèmes physiologiques (Taylor *et al.*, 2017).

La préparation physique en soccer connaît une complexité majeure qui est celle de développer simultanément les capacités d'endurance et de force-vitesse. Physiologiquement, on sait que l'endurance développe les fibres lentes et la force-vitesse les fibres rapides. Ce sont donc deux systèmes qui s'opposent pour certaines réactions physiologiques. On cherche de manière permanente à trouver le « juste-milieu » le plus optimal possible pour permettre de développer les deux capacités à leur

potentiel maximal. Les termes « aérobie » et « anaérobie » ont longtemps été utilisés pour désigner et regrouper les types d'efforts en catégories distinctes. Le système anaérobie est souvent mal compris, on l'associe souvent à un système fonctionnant sans oxygène or c'est un système qui n'a pas besoin d'oxygène pour fonctionner. On devrait l'appeler « oxygène-indépendant » ou « non-mitochondrial ». Et de manière plus précise, le système anaérobie alactique devrait être nommé plus précisément par la voie des phosphagènes tandis que le système anaérobie lactique devrait être appelé le système glycolytique. Le terme de phosphorylation oxydative devrait remplacer le système aérobie (Chamari et Padulo, 2015). Ces auteurs partent du principe que décrire les efforts selon leurs mécanismes physiologiques peut conduire à des erreurs.

2.2 Périodisation en sports collectifs

La périodisation joue un rôle majeur dans cette tâche en incluant des phases ou des cycles de différents objectifs d'entraînement et qualités physiques sollicitées (endurance, force, vitesse, puissance). Ces qualités physiques sont planifiées au cours de la présaison, tout au long de la phase de compétition, de l'après-saison et des différentes phases de transition qui peuvent se présenter (Mara *et al.*, 2015). Dans les sports collectifs, les compétitions ont souvent lieu 1 à 2 fois par semaine, et ce dès la phase de présaison.

La périodisation est donc souvent gérée de manière hebdomadaire pour également prendre en compte les blessures accumulées (Stevens *et al.*, 2017). Ne disposant pas de visibilité à long terme, les intervenants utilisent le plus souvent des microcycles, plus petits que les mésocycles, d'une durée de 4 et 7 jours en moyenne.

À l'intérieur des microcycles de 7 jours, qui sont les plus fréquents, on va retrouver les entraînements comportant une charge d'entraînement élevée au premier jour

d'entraînement pré-compétition, c'est-à-dire 5 jours avant le jour de match, et au contraire les entraînements à charge d'entraînement basse au dernier jour d'entraînement pré-compétition, la veille du jour de match. Cette méthode de réduction progressive de la charge d'entraînement à l'approche de la compétition est courante dans les sports collectifs (Akenhead *et al.*, 2016; Pyne *et al.*, 2009).

2.3 Charge d'entraînement externe en compétition et en entraînement

L'un des objectifs de la recherche en préparation physique est de réduire l'écart entre les sollicitations physiques à l'entraînement et en compétition par l'expérimentation de différents protocoles d'entraînement visant à se rapprocher le plus près possible des conditions de match (Gimenez *et al.*, 2019). Il a été montré que des protocoles d'entraînement se rapprochant le plus près possible de la réalité de match en termes de charge d'entraînement externe et interne permettent d'améliorer les qualités physiques en compétition (Owen *et al.*, 2017). Plusieurs études dans la littérature s'y sont intéressées.

Tableau 2.2 Statistiques descriptives des charges d'entraînement externes selon différents types d'entraînement et matchs

Variable	SSG (n=104) M ± SD	MG (n=104) M ± SD	CT (n=104) M ± SD	LSG (n=14) M ± SD	FM (n=28) M ± SD
	Distance covered (m)				
WD (<2.2 m/s)	1777.8 ± 88.8	1546 ± 67 ^a	1336 ± 97.1 ^{a,b}	1788.7 ± 102 ^{b,c}	1634.3 ± 148 ^{a,c}
JD (>2.2 ≤ 3.3 m/s)	913.9 ± 147.1	866 ± 132	272.3 ± 49.4 ^{a,b}	824.7 ± 211 ^c	1098.8 ± 230.6 ^{b,c,d,f}
LSR (>3.3 ≤ 4.2 m/s)	349.3 ± 80.1	367.5 ± 100	295.4 ± 36.5	289 ± 106.1	559 ± 204.5 ^{a,b,c}
MSD (>4.2 ≤ 5 m/s)	159.3 ± 53.5	177.3 ± 63.7	339.1 ± 65.3 ^{a,b}	120.5 ± 73.6 ^c	287.1 ± 106.8 ^{a,b}
HSD (>5 m/s)	66.1 ± 42.4	73.2 ± 33	303.5 ± 81.4 ^{a,b}	52.5 ± 31.1 ^c	243.8 ± 113.7 ^{a,b}
Total distance	3266.5 ± 291.6	3030 ± 276.6	2546.4 ± 132.9 ^{a,b}	3075.4 ± 408.1 ^c	3823.1 ± 398.6 ^{a,b,c}

Note = WD: distance walking; JD: distance jogging; LSR: low speed running distance; MSD: moderate speed running distance; HSD: high speed distance; Dec: decelerations; Acc: accelerations; MVR: maximum velocity reached; WRR: Work-Rest Ratio; RPE: Self-reported rating of exertion; A.U.: absolute units.

^a p < 0.01 vs. SSG.

^b p < 0.01 vs. MG.

^c p < 0.01 vs. CT.

^d p < 0.01 vs. LSG.

^f p < 0.05 vs. SSG.

^{*} p < 0.05 vs. MG.

Gimenez *et al.* (2019)

Pour ce qui est de la distance totale parcourue, les résultats observés lors des matchs amicaux (FM) ($3823,1 \pm 398,6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) sont plus élevés que lors des différentes formes d'entraînement, ici, les jeux réduits ou « small-sided games » (SSG), jeux sur espace large ou « large-sided games » (LSG), jeux avec petits buts ou « mini-goal games » (MG) et des circuits training avec ballon ou « ball circuit training » (CT) (respectivement, $3266 \pm 291,6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $3030 \pm 276,6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $2546,4 \pm 132,9\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $3075,4 \pm 408,1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$). Pour les distances parcourues à vitesse modérée (MSD) et élevée (HSD), le seul type d'entraînement qui se rapproche de l'effort fourni en compétition est le circuit training (CT) avec des chiffres plus élevés qu'en compétition (respectivement, $339,1 \pm 65,3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ et $287,1 \pm 106,8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $303,5 \pm 81,4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ et $243,8 \pm 113,7\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) (Tableau 2.2) (Gimenez *et al.*, 2019).

Une autre étude faite sur des joueurs de soccer a montré cette fois une différence significative en termes de distance totale entre les matchs (FM = $7584,5 \pm 694\text{m}$) et les 3 types de séance proposés (sessions 1, 2 et 3) même si cette fois les différents types d'entraînements (les 4 mêmes que dans la précédente étude) ont été combinés dans une même séance (respectivement, $64054 \pm 685,1\text{m}$; $5822,7 \pm 610,0\text{m}$; $6204,1 \pm 585,1\text{m}$). Même observation en termes de distance parcourue à vitesse élevée ($> 5\text{m/s}$) significativement plus élevée en match ($499,4 \pm 228,2\text{m}$) qu'à l'entraînement (respectivement, $124,6 \pm 70,2\text{m}$; $230,0 \pm 109,4\text{m}$; $219,1 \pm 54,7\text{m}$) (Tableau 2.3) (Gimenez *et al.*, 2020).

Tableau 2.3 Représentation des valeurs moyennes de charge d'entraînement externe pour différents types d'entraînement et en match

Variable	Session(1)	Sesión (2)	Sesson (3)	Session (4)
	SSG+MG+LSS	SSG+CT+LSS	MG+CT+LSS	FM
Distance covered rate (m)	M ± SD	M ± SD	M ± SD	M ± SD
<2.2 m/s	3553.8 ± 191.4	3349.3 ± 189.5	3405.7 ± 178.9	3267.3 ± 288.2
>2.2 ≤3.3 m/s	1749.4 ± 376.6	1322.6 ± 286.5	1582.1 ± 338.7	2139.2 ± 438.2
>3.3 ≤4.2 m/s	667.6 ± 178.4	538.9 ± 154.5	663.0 ± 174.4	1100.7 ± 376.3
>4.2 ≤5 m/s	310.6 ± 132.1	382.0 ± 95.1	334.3 ± 81.3	578.0 ± 208.0
>5 m/s	124.6 ± 70.2	230.0 ± 109.4	219.1 ± 54.7	499.4 ± 228.2
Total	6405.4 ± 685.1	5822.7 ± 610.0	6204.1 ± 585.1	7584.5 ± 694

SSG = small-sided game; MG = mini goal game; LSS= large-side game; CT = circuit training; FM = friendly match; MD = mean differences; SD = standard deviation.

Gimenez *et al.* (2020)

2.4 Charge d'entraînement externe en compétition et à l'entraînement selon les postes de jeu

Les performances au soccer ne sont pas simples à évaluer car elles dépendent de nombreux critères. Comme on l'a vu précédemment, la charge d'entraînement externe à l'entraînement en fait partie. Le poste du joueur est également facteur de performance car selon qu'il soit offensif ou défensif, central ou latéral, il représente différentes caractéristiques techniques, tactiques, et surtout différentes sollicitations physiques (Di Salvo *et al.*, 2007). Il a même été montré qu'il existe des spécificités aux niveaux morphologique et anthropologique pour chacun de ces postes (Cardenas-Fernandez *et al.*, 2019).

Les intervenants doivent ainsi organiser les entraînements de manière que les joueurs soient capables de développer les qualités propres à leur poste. Il est, de ce fait, évident que tous les joueurs ne connaissent pas la même charge d'entraînement externe. Plusieurs études ont comparé les performances physiques en compétition à celles en entraînement selon les postes de jeu. Selon l'étude de Castillo-Rodriguez *et al.* (2020),

il existe des différences significatives à l'entraînement et en match selon les postes au niveau des distances parcourues (DT).

On observe que lors des matchs d'entraînement, les milieux de terrain (MI), les attaquants (FO) et les défenseurs latéraux (ED) parcourent une distance plus importante à vitesse élevée (exprimé en pourcentage de la distance totale : %TD) que les défenseurs centraux (ID) (respectivement $5,2 \pm 1,8\%TD$; $5,6 \pm 1,0\%TD$; $4,6 \pm 0,8\%TD$; $3,0 \pm 0,7\%TD$)($p = 0,001$), de même que lors des matchs de compétition (respectivement, $4,7 \pm 1,9\%TD$; $5,6 \pm 0,5\%TD$; $4,9 \pm 0,4\%TD$; $3,1 \pm 0,8\%TD$) (Tableau 2.4) (Castillo-Rodriguez *et al.*, 2020).

Tableau 2.4 Comparaison des moyennes de charge d'entraînement externe par poste en entraînement et en match

Table 4. One-way ANOVA of physical responses of soccer players in TM and CM according to playing position.

		ED (N = 10)	ID (N = 10)	MI (N = 10)	FO (N = 10)	$F_{(1,39)}$	p	d
meanS (km/h)	TM	5.6 ± 1.2	5.7 ± 1.2	6.4 ± 1.7	6.2 ± 1.4	0.696	0.563	0.19
	CM	6.1 ± 0.4	6.2 ± 0.3	6.5 ± 1.7	6.7 ± 0.6	0.378	0.770	0.14
maxS (km/h)	TM	26.9 ± 5.3	25.8 ± 5.6	23.7 ± 5.5	27.1 ± 3.9	0.782	0.514	0.19
	CM	28.5 ± 2.3	28.3 ± 1.8	24.1 ± 6.2	29.0 ± 1.4	2.138	0.136	0.32
TD (m)	TM	5275.6 ± 786.5	5790.3 ± 393.1	7227.6 ± 53.0	6559.2 ± 951.3	3.501	0.129	0.40
	CM	9369.0 ± 1042.8	9697.7 ± 431.4	$11,225.9 \pm 673.3$	$10,104.8 \pm 1491.5$	2.710	0.080	0.36
DH (%)	TM	4.6 ± 0.8^{ID}	$3.0 \pm 0.7^{ED,MI,FO}$	5.2 ± 1.8^{ID}	5.6 ± 1.0^{ID}	7.692	0.001	0.54
	CM	4.9 ± 0.4	3.1 ± 0.8^{FO}	4.7 ± 1.9	5.6 ± 0.5^{ID}	4.748	0.016	0.45
DS (%)	TM	3.9 ± 1.3	2.3 ± 0.9	3.1 ± 2.5	3.9 ± 1.6	1.702	0.190	0.29
	CM	3.6 ± 1.0	2.2 ± 0.5	2.0 ± 1.1^{FO}	3.8 ± 1.5^{MI}	3.425	0.045	0.39

p : significant value; d : effect size; CM: competition match; TM: training match; meanS: mean speed; maxS: maximum speed; TD: Total distance; DW and SW: distance covered and time of sprints run between 0 and 6.9 km/h; DL and SL: distance covered and time of sprints run between 7.0 and 12.9 km/h; DM and SM: distance covered and time of sprints run between 13.0 km/h and 17.9 km/h; DH and SH: distance covered and time of sprints run between 18.0 and 20.9 km/h; DS and SS: distance covered and time of sprints run from 21.0 km/h; ED: external defender; ID: internal defender; MI: midfielder; FO: forward. Bonferroni post hoc ($p < 0.05$) with playing position as the exponent.

Castillo-Rodriguez *et al.* (2020)

Dans le passé, Hartwig *et al.* (2011) ont aussi observé les qualités physiques en compétition et à l'entraînement en analysant les postes d'avants et d'arrières au rugby. Cependant, aucune différence significative n'a été observée.

2.5 « Training Load » en compétition et en entraînement selon les postes de jeu dans le soccer féminin

Nous avons constaté que peu d'études ont été publiées sur les exigences physiques dans le soccer féminin de haut niveau et une seule a analysé les exigences physiques en situation d'entraînement, de matchs amicaux (Gabbett et Mulvey, 2008). D'autres études, certes moins pertinentes, analysent la charge d'entraînement externe en match compétitif et nous donne matière à comparer nos futures données avec celles déjà observées dans la littérature (Datson *et al.*, 2014; Hewitt *et al.*, 2008; Mohr *et al.*, 2008).

Pour ce qui est des postes de jeu, on retrouve les milieux de terrains parcourant une plus grande distance totale ($10.67 \pm 1.34\text{km}$) en compétition que les défenseurs ($9.62 \pm 1.20\text{km}$) et les attaquants ($9.61 \pm 0.36\text{km}$) (Gabbett et Mulvey, 2008; Hewitt *et al.*, 2008). La distance parcourue à une vitesse élevée par les défenseurs ($1.26 \pm 0.11\text{km}$) est également largement en dessous des milieux de terrain et des attaquants (respectivement, $1.65 \pm 0.11\text{km}$ and $1.63 \pm 0.10\text{km}$), alors que celle parcourue en sprints ($>25\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$) est plus importante chez les attaquants ($0.52 \pm 0.03\text{km}$) que chez les milieux de terrain et les défenseurs (respectivement, $0.43 \pm 0.04\text{km}$ and $0.33 \pm 0.05\text{km}$) (Mohr *et al.*, 2008).

2.6 sRPE et Charge d'entraînement externe

L'une des composantes de la charge d'entraînement interne, la méthode RPE, est mesurée sur différentes échelles et se base sur la propre perception de l'effort de l'athlète. Depuis plusieurs années, elle est utilisée en corrélation avec la fréquence cardiaque (HR) (Foster *et al.*, 2001; Impellizzeri *et al.*, 2004). Plusieurs échelles ont été expérimentées afin de mesurer la RPE ; on parle le plus souvent de la CR-10 qui évalue la fatigue entre 1 et 10 et la CR-100, trouvée un peu plus tard, qui l'évalue de 1 à 100 (Borg et Borg, 2002; Borg *et al.*, 1987). La littérature a néanmoins montré que

ces échelles demeurent semblables au regard des résultats observés sur les athlètes (Fanchini *et al.*, 2016; Scott *et al.*, 2013). La sRPE est la méthode consistant à recueillir la valeur de RPE (CR-10 le plus souvent) pour la durée totale d'une session d'entraînement. L'évaluation de la perception est habituellement mesurée 30mn après l'effort afin d'avoir une évaluation basée sur l'ensemble de la séance et non pas uniquement sur l'intensité du dernier exercice de la séance (Foster *et al.*, 2001).

La méthode sRPE est encore aujourd'hui discutée et controversée pour évaluer l'effort. Certains auteurs parlent de subjectivité surtout en sports collectifs, car en fonction des postes de jeu, les joueurs connaissent des demandes physiques différentes. Aussi, le contact et les chocs avec adversaires provoquent un stress physiologique qui s'avère influencer négativement le réel jugement de l'effort (Lambert et Borresen, 2010). Afin d'analyser sa fiabilité les auteurs ont regardé les résultats de sRPE pour voir si ceux-ci montraient des corrélations avec la charge d'entraînement externe imposée à l'athlète. (Impellizzeri *et al.*, 2004; Lambert et Borresen, 2010; Scott *et al.*, 2013). Selon les études ayant traité de la relation entre les charges d'entraînement externe et interne, les corrélations observées entre la sRPE et DT [$r = 0,82$; $r^2 = 0.7$], et entre la sRPE et HSR [$r = 0.47$; $r^2 = 0.3$] sont positives (McLaren *et al.*, 2018).

2.7 sRPE et Fréquence cardiaque

La fréquence cardiaque demeure un indicateur physiologique très utilisé en préparation physique car il est facilement accessible pour les intervenants sur le terrain et, au regard des différents outils de mesure, il ne demande pas d'installation longue et complexe (Ludwig *et al.*, 2018; Teichmann *et al.*, 2012).

Avec l'avancée des technologies, une multitude d'appareils sensitifs portables existent aujourd'hui pour la mesurer tout en exerçant une activité physique. Les méthodes les plus reconnues sont celles de l'« Electrocardiogram » (ECG) avec électrodes, la méthode « HR Breast Belt » avec ceintures électromagnétiques, ou encore la méthode « Capacitive Electrocardiogram » (cECG) avec électrodes sans contact (Ludwig *et al.*, 2018; Teichmann *et al.*, 2012).

Cette fréquence cardiaque est évaluée par différentes méthodes comme la méthode « Training impulse » (TRIMP) utilisant l'équation de Banister en utilisant la durée de l'entraînement, la fréquence cardiaque maximale (HR_{max}), la fréquence cardiaque de repos (HR_{rest}) et la fréquence cardiaque moyenne (Borresen et Lambert, 2009).

TRIMP = duration of training (min) x ΔHR ratio x Y, où :

ΔHR ratio = $\frac{HR_{ex} - HR_{rest}}{HR_{max} - HR_{rest}}$; Y = $0.64e^{1.92x}$ pour les hommes ; Y = $0.86e^{1.67x}$ pour les femmes, Y étant un facteur mettant en avant l'intensité d'exercice qui permet de ne pas donner trop d'importance aux efforts longs et à intensité basse par rapport aux efforts courts et de haute intensité.

(Banister *et al.*, 1991)

Figure 2.1 Représentation de l'équation TRIMP

La fréquence cardiaque représente un marqueur physiologique direct de l'ITL. Les études cherchent à observer une similarité ou une différence dans les résultats des différents marqueurs. C'est pourquoi la fréquence cardiaque sous la méthode TRIMP

est souvent mesurée simultanément à la sRPE. Les études ont montré une corrélation entre 0.50 and 0.77 chez les hommes et entre 0.67 et 0.95 chez les femmes selon la corrélation de Pearson (Costa *et al.*, 2019; Impellizzeri *et al.*, 2004; Kelly *et al.*, 2016).

CHAPITRE III

MÉTHODOLOGIE

3.1 Participants

Les sujets de cette étude sont 21 joueuses de soccer universitaire ($21,7 \pm 1,6$ ans, $167,9 \pm 5,1$ cm, $60,3 \pm 10,1$ kg) (moyenne \pm écart-type) évoluant dans le Réseau du Sport Étudiant du Québec (RSEQ), encadré lui-même par l'organisation des sports universitaires du Canada (U Sports). Elles jouent à des postes différents, répertoriés comme défenseuses ($n = 8$), milieux de terrain ($n = 5$) et attaquantes centrales ($n = 8$). La même saison durant laquelle les données ont été collectées, cette équipe a fini en première position du classement RSEQ de la saison régulière avec un bilan de 12 victoires et 1 défaite. La collecte de données fut faite au préalable de cette étude, dans le cadre du programme de préparation physique proposé par le responsable de la préparation physique de l'ensemble des équipes sportives de l'université. Ce dernier nous a accordé l'accès aux données recueillies pour cette étude, c'est donc une analyse secondaire que nous avons effectuée. De fait, les participantes signent un formulaire de consentement permettant aux préparateurs physiques de recueillir régulièrement des données pour le suivi de leurs entraînements et progressions. Cette approche d'analyse secondaire de données a été effectuée selon l'approche décrite par Winter et Maughan (2009) la démarche d'éthique selon les trois conseils du Canada et comme nous avons utilisé dans une publication récente par notre groupe (Ferland *et al.*, 2021). En effet une

analyse secondaire de données n'oblige pas le consentement des participants, mais néanmoins doit répondre à certaines conditions informées par le CIEREH établies par les trois conseils du Canada : a- Les données en question sont essentielles à la recherche; b- L'utilisation de ces données sans le consentement des participants n'est pas dans le but d'affecter le bien-être des individus concernés par ces données; c- Les chercheurs prendront des mesures appropriées pour respecter l'anonymat des individus et conserver les données en sécurité; d- Les chercheurs se conformeront à toute préférence exprimée au préalable par les individus sur l'utilisation des données; e- Il est impossible de chercher le consentement des individus concernés par les données; f- Les chercheurs ont obtenu une quelconque autre permission nécessaire pour une utilisation secondaire des données à des fins de recherche, spécifique à notre cas, celle du préparateur physique.

3.2 Matériel et Méthodes

3.2.1 Contexte

Pour cette étude, nous avons observé les performances physiques des 21 joueuses pendant 3 semaines, allant du 12 août au 4 septembre 2019. Lors de cette période, les données ont été récoltées sur 12 des 13 entraînements effectués et 4 des 5 matchs ayant eu lieu lors de cette période. Les joueuses incluses dans la recherche sont celles ayant participé aux entraînements et aux compétitions. Pour les compétitions, nous excluons les joueuses blessées et celles ayant joué moins de 10 minutes, correspondant au dernier changement souvent effectué lors des matchs (Gomez *et al.*, 2016).

3.2.2 Procédure

Sur la période observée, les participantes ont joué 5 matchs. Un match sur la première semaine puis deux matchs durant les deux semaines suivantes. Les qualités physiques sollicitées aux entraînements différaient selon que ces entraînements soient rapprochés ou éloignés du jour du match. Les entraînements planifiés étaient nommés « vitesse », « vivacité », « activation » et « renforcement musculaire », correspondant aux qualités physiques sollicitées. Tous les entraînements avaient lieu sur la surface spécifique à la pratique du soccer, c'est-à-dire un terrain avec pelouse en gazon ou en synthétique, correspondant aux mêmes surfaces utilisées pour les compétitions.

3.2.3 La charge d'entraînement externe

Les données correspondant à la charge d'entraînement externe ou « *External Training Load* » ont été recueillies à l'aide des ceintures intelligentes Beyond Pulse (BP Smart Belt, LLC, Portland, Oregon, USA). Ces ceintures permettent de mesurer la distance totale (DT) exprimée en mètres par accéléromètre 3D et qui représente la distance totale parcourue sur toute la durée de l'activité, entraînement ou match. La variable « *High-Speed Running* » (HSR) représente l'ensemble des courses à vitesse élevée supérieures à 80% de la vitesse maximale. Les valeurs de vitesse maximale sont estimées à 90% fiables selon le fabricant que nous avons directement contacté. Malheureusement, aucune étude scientifique n'a encore validé ce système. Néanmoins, la distance est calculée à partir du nombre de pas et d'une longueur de foulée à la marche de 0,75 mètres (communication personnelle avec le fabricant). Et, à ce propos, la littérature montre que la mesure de distance sur les pas à la marche a été observée comme plus fiable que sur les pas à la course pour la majeure partie des outils GPS validés (Cummins *et al.*, 2013). Néanmoins, les résultats de distances dans le présent mémoire ayant utilisé une analyse secondaire de donnée sont reconnus avec une erreur interne

de la mesure que nous assumons constantes. Parmi ces courses sont distinguées les courses à vitesse élevée (80% max) et à vitesse maximale (>90% Vmax). Les ceintures intelligentes nous donnent également les distances parcourues à ces vitesses, exprimées en pourcentage de la distance totale. Comme toutes autres ceintures intelligentes, la ceinture est placée de manière horizontale au niveau du plexus du sujet. Au centre de la ceinture, donc au niveau du plexus, une puce sensitive électronique était placée à chaque début d'entraînement. Ces puces étaient conservées par le préparateur physique, piles chargées, et rincées à l'eau avant chaque recueil de données. La ceinture est composée d'électrodes que la puce électronique va détecter, elle est faite d'une matière résistante à l'eau afin de pouvoir nettoyer la ceinture entre les séances et surtout de résister à la transpiration.

3.2.4 La charge d'entraînement interne

La charge d'entraînement interne ou « Internal Training Load » était mesurée en utilisant le test de session-Rate Perceived Exertion. Nous avons utilisé la version CR-10 de Borg *et al.* (1987) modifiée par Foster *et al.* (2001) organisée comme ceci :

Tableau 3.1 Échelle de Borg de perception de l'effort modifiée par Foster

TABLE 1. Borg's CR10-scale modified by Foster et al. (16).

Rating	Descriptor
0	Rest
1	Very, very easy
2	Easy
3	Moderate
4	Somewhat hard
5	Hard
6	
7	Very hard
8	
9	
10	Maximal

(Foster *et al.*, 2001)

La méthode consiste à poser la question « sur une échelle de 1 à 10, à combien évaluez-vous l'effort de cette séance ? ». La question était posée à l'ensemble du groupe par un des intervenants du staff, le plus souvent un entraîneur assistant, autour duquel les joueuses étaient rassemblées, environ 30 minutes après la fin de l'entraînement. Lors des compétitions, les données récoltées dans le vestiaire environ 30 minutes après la fin du match. Pour permettre une fiabilité supplémentaire des auto-évaluations, l'ensemble des joueuses ont été familiarisées à la méthode avant le début de la collecte de données (Impellizzeri *et al.*, 2004).

Sur les différentes variables de fréquence cardiaque recueillies par les ceintures intelligentes Beyond Pulse, nous avons retenu la fréquence cardiaque moyenne (AVG HR), exprimée en pourcentage de la fréquence cardiaque maximale (% MAX HR).

La fréquence cardiaque maximale a été estimée par les fabricants selon l'équation $220 - \text{âge}$, et après les avoir contactés, nous ont affirmé que les résultats s'avèrent être corrects pour 90% des participants.

3.3 Analyse statistique

Tous les résultats sont présentés comme moyenne \pm écart type (section IV). Nous avons vérifié la normalité des variables de l'échantillon avec le test de Shapiro-Wilk (Razali, 2011). En ce qui concerne les comparaisons des variables dépendantes (VD) entre les matchs et les entraînements, nous avons utilisé le test non-paramétrique de Wilcoxon étant donné notre petit échantillon ($n = 20$) malgré une distribution normale pour certaines VD. Le test non-paramétrique de Kruskal-Wallis a été utilisé pour comparer les moyennes des variables selon les postes de jeu (3 postes distincts). La corrélation

non-paramétrique de Spearman a été utilisée pour analyser les relations entre DT et HSR, DT et sRPE, HSR et sRPE et HR et sRPE. La valeur $p < 0,05$ a été acceptée pour exprimer la signification des résultats. Pour ce qui est de la puissance statistique, nous avons établi une taille d'effet modérée (0,5) (Hopkins *et al.*, 2009). Les analyses statistiques ont été réalisées à partir du logiciel IBM SPSS Statistics (Ver.26).

CHAPITRE IV

RÉSULTATS

4.1 Charge d'entraînement externe à l'entraînement et en compétition

Dans un premier temps, nous avons analysé la comparaison entre la charge d'entraînement externe, c'est-à-dire la distance totale (DT) et la distance à vitesse élevée (HSR), en match et à l'entraînement. Nous avons scindé les différents types d'entraînement afin de pouvoir les comparer individuellement aux matchs.

La distance totale en "Matches" est plus élevée de manière significative que les entraînements de vivacité et d'activation ($p < 0,05$), en revanche on observe des différences non-significatives avec les entraînements de vitesse ($p = 0,058$) et de renforcement musculaire (RM) ($p = 0,071$) (Tableau 4.1).

Tableau 4.1 Moyennes d'équipe de la distance totale (DT) et des courses à vitesse élevée (HSR) pour les différents types d'entraînement et en matchs

	Types d'entraînement				Compétition
	Vitesse	Vivacité	RM	Activation	Matchs
DT (m)	5713,6 ± 808,4	4643,1 ± 947,9*	6016,4 ± 654,9	5130,5 ± 1075,6*	6548,2 ± 1959,9
HSR (% DT)	20,5 ± 4,1**	18,2 ± 7,5	13,9 ± 3,8	14,4 ± 3,6	16,3 ± 4,7

Moyenne ± écart-type. *p < 0,05, significativement différent de Matchs ; ** p < 0,05, significativement différent des autres variables ; DT = distance totale ; HSR = courses à vitesse élevée. Vitesse = sessions d'entraînement spécifiques au travail de vitesse; Vivacité = sessions d'entraînement basées sur le travail de vitesse d'appuis, changements de direction et de réactivité ; RM = sessions d'entraînement basées sur le travail de renforcement musculaire; Activation = sessions d'entraînement basées sur le travail d'activation neuromusculaire.

Nous avons fait la moyenne de tous les types d'entraînement pour ces deux variables et le résultat principal qui en ressort est la différence significative de la distance totale entre les entraînements et les matchs (respectivement, 6699,8 ± 1779,5m et 4822,9 ± 696,2m; p < 0,001). High Speed Running pour les entraînements de vitesse est significativement plus grand que pour tous les autres types d'entraînements et les matchs (p < 0,05), sauf pour l'entraînement de vivacité (p = 0,133) (Tableau 4.1). Pour HSR, les performances en matchs sont significativement plus basses que pour la moyenne de tous les types d'entraînement (respectivement, 16,3 ± 4,7; p < 0,001) (Tableau 4.2).

Tableau 4.2 Distance totale (DT) et courses à vitesse élevée (HSR) à l'entraînement et en matchs

	Entraînements	Matchs
DT (m)	4822,9 ± 696,2*	6699,8 ± 1779,5
HSR (%DT)	23,4 ± 3,8*	16,3 ± 4,7

Moyenne ± écart-type. *p < 0,05, significativement différent de Matchs ; DT = distance totale ; HSR = courses à vitesse élevée (>80% max speed). Entraînements = moyenne de tous les entraînements, tous types d'entraînement confondus.

4.2 Comparaison de la charge d'entraînement externe à l'entraînement et en compétition entre les postes de jeu

Tableau 4.3 Distance totale pour les différents types d'entraînement et les matchs selon les postes de jeu

Postes de jeu	Types d'entraînement				Compétitions
	Vitesse	Vivacité	RM	Activation	Matches
DEF	5906,1 ± 247,6	4987 ± 991,9	5954,8 ± 466,5	4998 ± 657,3	6163,4 ± 2476,3
MIL	5726,4 ± 1158,7	4380,7 ± 1086,7	6542 ± 1156,8	5840,1 ± 1420,8	6488,4 ± 1791
ATT	5513,2 ± 974,7	4460,5 ± 809,3	5867,8 ± 675,8	4775,1 ± 1106	7030,8 ± 1549,1

Moyenne ± écart-type. DEF = défenseuses ; MIL = milieux de terrain ; ATT = attaquantes. Vitesse = sessions d'entraînement spécifiques au travail de vitesse; Vivacité = sessions d'entraînement basées sur le travail de vitesse d'appuis, changements de direction et de réactivité ; RM = sessions d'entraînement basées sur le travail de renforcement musculaire; Activation = sessions d'entraînement basées sur le travail d'activation neuromusculaire.

Deuxièmement, nous avons pu observer ces différentes variables pour différents postes de jeu : les défenseuses (n = 8), les milieux de terrain (n = 5) et les attaquantes (n = 8). Aucune différence significative a été remarquée entre les différents postes de jeu pour aucun type d'entraînement ni en matchs (Tableau 4.3).

Tableau 4.4 Courses à vitesse élevée exprimées en pourcentage de la distance totale (%DT) pour les différents types d'entraînement et matchs selon les postes de jeu

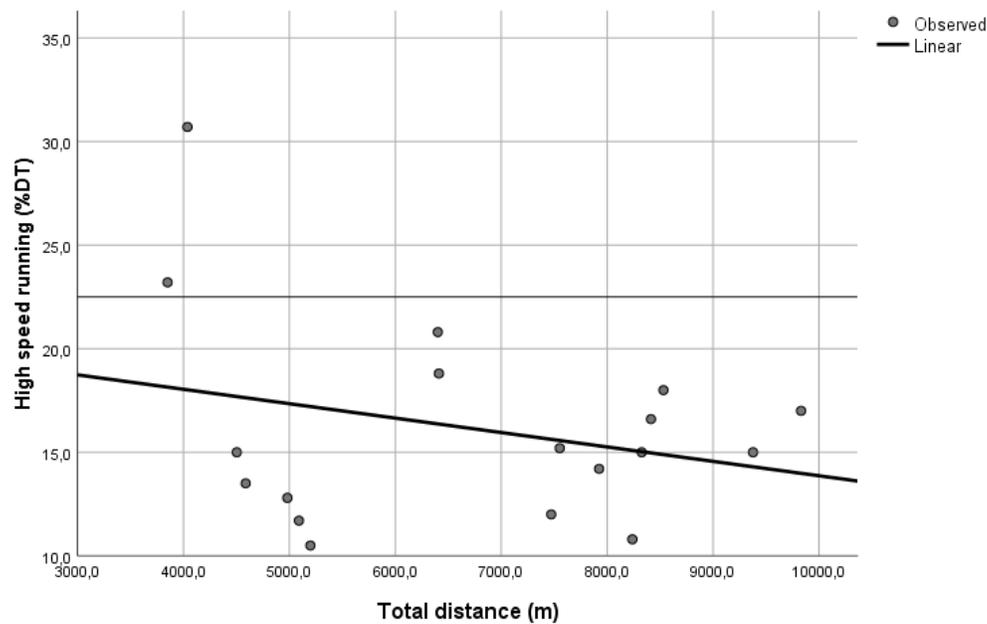
Postes de jeu	Types d'entraînement				Compétitions
	Vitesse	Vivacité	RM	Activation	Matches
DEF	20,6 ± 3,2	16,9 ± 3,9	13,2 ± 1,9	13,1 ± 2,7	17,4 ± 6,5
MIL	20,6 ± 3,7	16,1 ± 4,7	17 ± 8,5	17,6 ± 5,0	16,2 ± 3,4
ATT	20,3 ± 5,5	21,1 ± 11,2	13,4 ± 3,6	13,8 ± 2,4	15,3 ± 3,4

Moyenne ± écart-type. DEF = défenseuses ; MIL = milieux de terrain ; ATT = attaquantes. Vitesse = sessions d'entraînement spécifiques au travail de vitesse; Vivacité = sessions d'entraînement basées sur le travail de vitesse d'appuis, changements de direction et de réactivité ; RM = sessions d'entraînement basées sur le travail de renforcement musculaire; Activation = sessions d'entraînement basées sur le travail d'activation neuromusculaire.

La figure 4.2 ne montre pas de différence pour HSR entre les postes de jeu, et même certaines similitudes, notamment pour l'entraînement en vitesse (Tableau 4.4)

4.3 Charge d'entraînement externe

Nous avons décidé d'analyser la relation entre DT et HSR. Pour cela, nous avons utilisé la corrélation de Spearman et la régression linéaire. La régression linéaire a pour rôle de prédire l'évolution d'une variable, la variable dépendante, en se basant sur l'évolution d'une autre variable, la variable indépendante. Cette méthode d'analyse statistique vient appuyer la corrélation de Spearman dans l'étude de la relation entre deux variables. L'équation de régression est la suivante : $Y = A + BX$ où Y est la variable dépendante, X la variable prédictive (indépendante), A la pente de la courbe et B l'interception.



$R^2 = 0,073$. Total distance = moyenne de distance totale en matchs ; High speed running = moyenne des courses à vitesse élevée (>80% Vmax) en matchs. Observed = points représentant les joueuses ; Linear = courbe de régression.

Figure 4.1 Régression linéaire de prédiction des courses à vitesse élevée (HSR) à partir de la distance totale (DT) en matchs

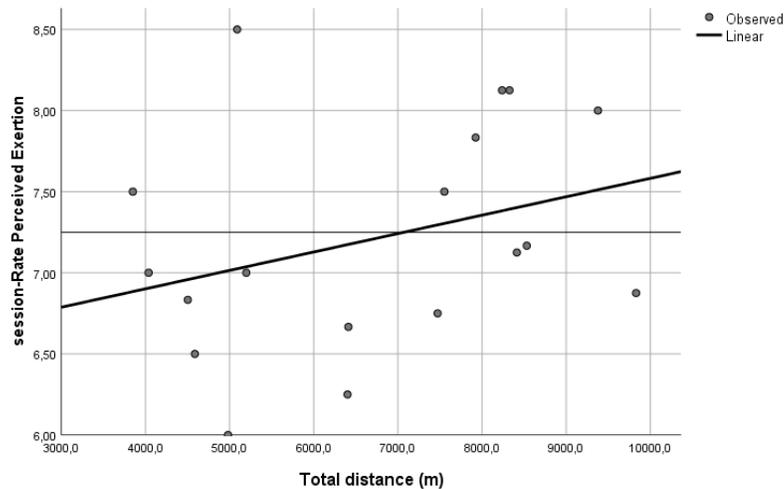
En effet, les résultats montrent une corrélation négative non-significative de HSR et DT [$r = -0,271$] (Tableau 4.5). La courbe de régression linéaire témoigne d'une tendance, cependant aucune signification n'est observable (Figure 4.1). Ici l'équation de régression linéaire montre que la distance totale n'est pas un bon prédicateur de HSR [$HSR = -0,000696 + 20,821191 \times DT$].

Tableau 4.5 La corrélation de Spearman pour la distance totale moyenne et la distance à vitesse élevée moyenne lors des compétitions

		DT	HSR
DT	Corrélation de Spearman	1	-,271
	Sig. (bilatéral)		,277
HSR	Corrélation de Spearman	-,271	1
	Sig. (bilatéral)	,277	

a. DT = Distance totale ; HSR = Distance parcourue à vitesse élevée (High Speed Running)

4.4 Relation entre la charge d'entraînement externe et interne



$R^2 = 0,099$. session-Rate Perceived Exertion = moyenne d'évaluation de perception de l'effort en matchs, classes de 1 à 10 ; total distance = distance totale moyenne en matchs. Linear = courbe de régression ; Observed : points représentant les joueuses

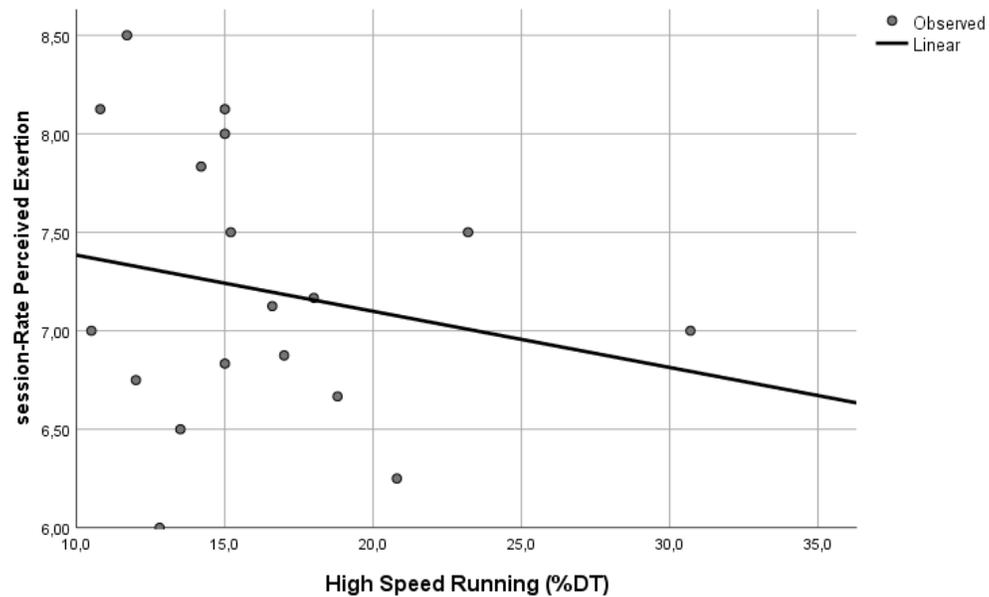
Figure 4.2 Régression linéaire de la prédiction de la perception de l'effort à partir de la distance totale en matchs

Selon l'équation de régression, la distance totale n'est pas un prédicteur de la perception de l'effort en matchs [$sRPE = 0,001 + 6,447 \times (DT)$], comme on le voit avec la régression linéaire entre ces deux variables (Figure 4.4) [$r = 0,315$, $p = 0,203$].

Tableau 4.6 La corrélation de Spearman entre la distance totale moyenne et la perception de l'effort moyenne en matchs

		DT	sRPE
DT	Corrélation de Spearman	1	,315
	Sig. (bilatéral)		,203
sRPE	Corrélation de Spearman	,315	1
	Sig. (bilatéral)	,203	

a. DT = Distance totale ; sRPE = moyenne d'évaluation de perception de l'effort (session-rate perceived exertion)



$R^2 = 0,041$. session-Rate Perceived Exertion = moyenne d'évaluation de perception de l'effort (session-rate perceived exertion) en matchs, classes de 1 à 10 ; High Speed Running = distance parcourue à vitesse élevée. Linear = courbe de régression ; Observed : points représentant les joueurs.

Tableau 4.7 Corrélation de Spearman entre la distance moyenne à vitesse élevée (HSR) et la perception de l'effort (sRPE) moyenne en matchs

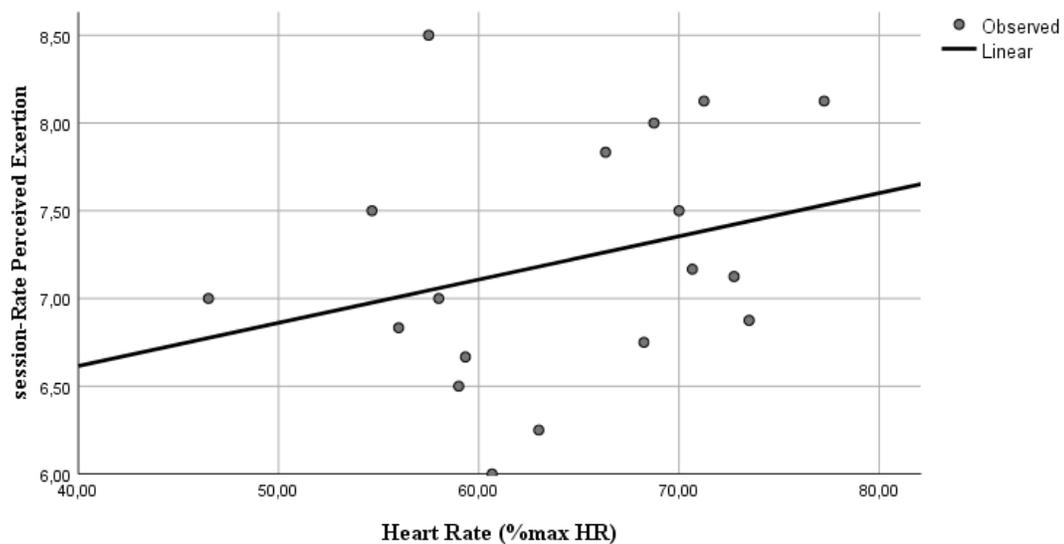
		HSR	sRPE
HSR	Corrélation de Spearman	1	-,203
	Sig. (bilatéral)		,419
sRPE	Corrélation de Spearman	-,203	1
	Sig. (bilatéral)	,419	

a. HSR = distance parcourue à vitesse élevée ; sRPE = moyenne d'évaluation de perception de l'effort (session-rate perceived exertion) en matchs

Figure 4.3 Régression linéaire de prédiction de la perception de l'effort à partir de la distance à vitesse élevée en matchs

Comme on peut le voir sur la Figure 4.3, la régression linéaire montre une corrélation négative non-significative, donc la distance à vitesse élevée ne permet pas de prédire la perception de l'effort en matchs [$r = -0,203$, $p = 0,419$] (Tableau 4.7).

4.5 Charge d'entraînement interne



$R^2 = 0,082$. session-Rate Perceived Exertion = moyenne d'évaluation de perception de l'effort (session-rate perceived exertion) en matchs, classes de 1 à 10 ; Heart Rate = Fréquence cardiaque moyenne sur la période complète du match, phases de repos et effort inclus, exprimée en pourcentage de la fréquence cardiaque maximale estimée. Linear = courbe de régression ; Observed = points représentant les joueurs.

Figure 4.4 Régression linéaire de prédiction de la perception de l'effort à partir de la fréquence cardiaque moyenne en matchs

L'analyse de régression linéaire (Figure 4.4) démontre une corrélation positive non significative entre la fréquence cardiaque moyenne (HR) et la perception de l'effort (sRPE) [$r = 0,286$; $p = 0,250$]. La fréquence cardiaque moyenne n'est pas un prédicteur significatif de la perception de l'effort

CHAPITRE V

DISCUSSION

Lors de cette étude, notre objectif principal était d'analyser la charge d'entraînement externe en situation d'entraînement par rapport à la situation de compétition. Tout d'abord la distance totale en match est plus élevée qu'à l'entraînement de manière significative pour les entraînements de vivacité et d'activation (respectivement, $p < 0,001$, $p < 0,05$). L'entraînement en vivacité se définit par le travail de vitesse de départ, la vitesse d'action et de réaction (Turpin, 2006) sur de très courtes distances et de très courte durée suivis par des repos importants. Le temps d'effort est faible tandis que le repos est important complet ou quasiment complet pour permettre une intensité d'effort maximale. Cela permet d'expliquer une faible distance totale pour ce type d'entraînement.

Les entraînements d'activation sont souvent utilisés les jours de matchs afin de garder en éveil les fonctions neuromusculaires du corps (proprioception, équilibre, réactivité, coordination), cela permet une récupération du corps et optimiser la condition physique le jour du match tandis que les entraînements en renforcement

musculaire consiste à travailler sur de la musculature avec poids du corps en position statique (fentes, squats, planche, push ups, etc) précédant les parties techniques et tactiques. Les faibles intensité et volume d'entraînement de l'entraînement en activation et les positions statiques des exercices lors des entraînements de renforcement musculaire pourraient expliquer la plus faible distance totale parcourue. Cependant, ce n'est pas le cas pour tous les types d'entraînement. Nous n'observons pas de différence significative pour les entraînements en vitesse et en renforcement musculaire. Ces entraînements comprenaient une partie de travail spécifique des qualités physiques sollicitées. Notre hypothèse de départ selon laquelle la distance totale serait significativement plus grande en match qu'en entraînement ne s'avère pas être confirmée en scindant les différents types, ces observations ne sont pas systématiques. La charge d'entraînement de certains types d'entraînement se rapprochent davantage de celle en compétition, dans cette étude les entraînements en renforcement musculaire et en vitesse. De plus amples recherches dans ce sens seraient intéressantes et pourraient permettre de comparer la charge d'entraînement en matchs avec seulement les types d'entraînement qui s'en rapprochent le plus. Cette démarche serait dans le but d'optimiser la préparation des athlètes en reproduisant le mieux possible l'effort de compétition.

Nous avons observé que HSR en entraînement en vitesse est significativement plus élevée qu'en entraînement de renforcement musculaire et d'activation et en matchs ($p < 0,05$). Pas de différence significative pour HSR entre les entraînements en vitesse et en vivacité. Comme pour la vivacité, les qualités physiques priorisées lors de l'entraînement en vitesse est un travail qualitatif (intensité) avant d'être quantitatif (volume), sollicite des efforts à haute intensité, ce qui inclue des courses à haute vitesse (Turpin, 2006). Le grand nombre de sprints et le pourcentage de la haute distance totale à vitesse élevée lors de ces entraînements devraient être causées par un faible rapport

effort/repos, avec un repos entre les exercices, séries et répétitions souvent complet qui sollicite une distance et une intensité très faibles voire quasi nulles.

Pour en revenir à notre hypothèse de départ selon laquelle la charge d'entraînement externe (ETL) serait significativement plus élevée en match qu'en entraînement, nous nous sommes attardés sur l'ETL en entraînement (tout type d'entraînement confondu), et nous avons pu remarquer que la distance totale est significativement plus faible qu'en match ($p < 0,001$).

Contrairement à ce que nous avons hypothétisé, HSR est significativement plus élevé qu'en match ($p < 0,001$). Une des explications pourraient être la gestion de la fatigue et la lucidité technique au fur et à mesure du match. En effet, dans la littérature, il a été montré que les équipes se positionnant au haut du classement et les plus performantes en soccer avaient des performances physiques moins importantes que les équipes en bas de classement, probablement du fait d'une meilleure gestion de l'effort et une meilleure lucidité tactique et technique (Bangsbo *et al.*, 2006; Drust *et al.*, 1998; Garcia-Unanue *et al.*, 2018; Mohr *et al.*, 2003).

L'ETL n'a présenté aucune différence significative en fonction des postes de jeu. Dans le passé, les études traitant le soccer féminin et comparant les mêmes 3 postes de jeu ont montré des résultats différents, notamment une plus grande distance totale parcourue par les milieux de terrain et une distance élevée plus grande chez les attaquants (Gabbett et Mulvey, 2008; Hewitt *et al.*, 2008).

Nous n'avons pu retenir que trois différents postes : défenseurs, milieux de terrain et attaquants du fait du faible échantillon de cette étude, contrairement aux cinq postes de jeu (défenseurs latéraux, défenseurs centraux, milieux centraux, milieux latéraux, attaquants). Les joueurs latéraux et centraux étaient confondus lors de cette étude malgré le fait que, selon la littérature, ils sollicitent des charges d'entraînement externe différentes (Castillo-Rodriguez *et al.*, 2020) ainsi que différentes caractéristiques anthropologiques et morphologiques en compétition (Cardenas-Fernandez *et al.*, 2019). Des différences plus importantes auraient probablement été visibles en match, au niveau de la distance totale parcourue pour les milieux centraux, et de la distance parcourue à vitesse élevée chez les milieux latéraux (Di Salvo *et al.*, 2007).

Selon nos hypothèses, il existerait une corrélation significative directement proportionnelle (positive) entre la charge d'entraînement externe et la charge d'entraînement interne en compétition. Les résultats en matchs de cette étude ont montré une corrélation positive non-significative entre DT et sRPE [$r = 0,315$, $p = 0,203$] et une corrélation négative non-significative entre HSR et sRPE [$r = -0,203$, $p = 0,419$]. Afin d'étudier plus en profondeur la dynamique, nous avons observé la relation entre DT et HSR et, tout comme pour sRPE, la relation est négative de manière non-significative [$r = -0,271$, $p = 0,277$]. Ce qui ne nous permet pas d'affirmer que la distance totale augmente en même temps que l'intensité de course diminue. La question qui se pose ici est de savoir si le fait que HSR ne peut prédire ni la distance totale ni la perception de l'effort n'est pas due à une gestion de l'effort au fur et à mesure que le match avance, ou tout simplement une baisse des capacités physiques et physiologiques des joueuses leur empêchant de répéter des courses à haute intensité.

En effet, dans la littérature, il a été montré que les équipes se positionnant au haut du classement et les plus performantes en soccer avaient des performances physiques

moins importantes que les équipes en bas de classement, probablement du fait d'une meilleure gestion de l'effort et une meilleure lucidité tactique et technique (Bangsbo *et al.*, 2006; Drust *et al.*, 1998; Garcia-Unanue *et al.*, 2018; Mohr *et al.*, 2003).

Une baisse de l'intensité des courses résulterait d'une baisse des capacités à répéter les efforts à haute intensité, ce qui pourrait être un déficit de plusieurs processus physiologiques.

Au niveau glycolytique, il aurait été intéressant d'observer en simultané l'évolution des réserves de créatine phosphate car elle représente la voie la plus rapide de re-phosphorylation d'ATP, qui lui-même est utilisé en quantité importante lors des courses de vitesse à haute intensité (Baldi *et al.*, 2017; Girard *et al.*, 2011). Un deuxième système glycolytique pertinent serait la lactatémie, autrement dit le rapport entre la production et l'élimination le lactate lors du processus de glycolyse qui a lieu dans la fibre musculaire. Une accumulation de lactate entrainerait une saturation de la dégradation du glycogène en pyruvate et par la suite une baisse de la production d'ATP. La lactatémie serait ainsi une variable à regarder et pourrait nous donner plus d'explications sur ce phénomène (Bishop *et al.*, 2011; Medbø et Burgers, 1990; Tabata *et al.*, 1996).

Pour les capacités oxydatives des athlètes, des mesures de la consommation d'oxygène systémique (VO_2) et locale (oxygénation musculaire) auraient été pertinentes pour observer, respectivement le rapport entre l'entrée d'oxygène et la sortie de dioxyde de carbone (VO_2/VCO_2) et la saturation musculaire en oxygène (SmO_2). Le contenu en mitochondries dans la fibre musculaire pourrait aussi être un indicateur des capacités oxydatives des athlètes, les mitochondries étant des organites où ont lieu l'ensemble

des processus oxydatifs, notamment la phosphorylation oxydative lors de laquelle résulte se déroule la phosphorylation d'ATP.

La relation entre sRPE et HR est une corrélation positive non-significative [$r = 0,286$, $p = 0,250$]. L'absence de signification peut s'expliquer par plusieurs choses. Tout d'abord, la fréquence cardiaque utilisée pour cette corrélation est la fréquence cardiaque moyenne, prenant en compte les repos et les efforts et se situent pour la majeure partie des joueuses très loin de leur fréquence cardiaque maximale [$n = 21$, 194-200bpm]. Deuxièmement, pour cette corrélation, les critères d'inclusion étaient les joueuses ayant joué plus de 10mn (Gomez *et al.*, 2016), ce qui sous-entend que les joueuses ayant fait une courte apparition mais supérieure à 10mn ont pu avoir une perception de l'effort influencée forcément plus faible que les joueuses ayant effectué la durée complète ou quasi-complète du match.

Lors de cette étude nous avons connu des limites. La première fut la taille de l'échantillon qui a connu une diminution au fur et à mesure du protocole, notamment lors de la dernière semaine car il s'agissait de la reprise des cours pour les étudiantes - athlètes. Certaines joueuses ont donc dû manquer des entraînements. Les valeurs de sRPE n'ont pas été prises sur le 1^e match amical par les préparateurs physiques, ce match n'a donc pas pu être considéré pour l'analyse des résultats compétition vs entraînement ou encore des corrélations en compétition mais, cela dit, nous avons inclus le premier match de championnat qui faisait suite à la dernière semaine d'entraînement de présaison.

En effet notre étude n'a pas présenté de résultats significatifs pour nombreuses de nos analyses, notamment les tests non paramétriques de charge d'entraînement externe

matches vs les différents types d'entraînements et les corrélations. Parmi les différentes pistes d'explication, nous nous sommes penchés vers l'analyse de puissance statistique. La comparaison entre la distance totale en matchs et en entraînement de renforcement musculaire ($p = 0,097$) [Power ($1 - \beta$) = 0,29], celle entre la distance totale en matchs et en entraînement de vitesse ($p = 0,062$) [Power ($1 - \beta$) = 0,57] et enfin pour l'analyse de la corrélation entre la distance totale et la perception de l'effort (s-RPE) en matchs ($p = 0,203$) [Power ($1 - \beta$) = 0,26].

L'analyse par postes aurait sûrement été plus pertinente avec davantage de participants, cependant la situation sanitaire défavorable liée à la Covid-19 ne nous a pas permis d'augmenter cette taille d'échantillon et d'effectuer une nouvelle collecte de données.

En ce qui concerne les mesures de la fréquence cardiaque, nous sommes conscients d'avoir été limités quant à la précision des données recueillies dans cette analyse secondaire. Il aurait été probablement été plus intéressant de disposer de tests de fréquence cardiaque maximale effectués directement sur les athlètes afin de réduire la marge d'erreur des données recueillies pour la fréquence cardiaque. Nos spéculations peuvent nous amener à penser qu'une marge d'erreur plus petite aurait peut-être conduit à des résultats significatifs concernant la corrélation entre la perception de l'effort et la fréquence cardiaque.

Il en est de même pour les données de charge d'entraînement externe. L'absence d'études et donc de fiabilité dans la littérature sur les ceintures utilisées dans cette étude (BP Smart Belt, LLC, Portland, Oregon, USA) pourrait être une des raisons du fait de certains résultats non-significatifs. Malheureusement, la situation sanitaire de Covid-

19 ne nous a pas non plus permis d'effectuer une nouvelle collecte de données et utiliser différentes ceintures déjà validées par la littérature.

Malgré ces limites, cette étude fut pertinente à différents niveaux. Malgré peu de résultats significatifs, les données ont tout de même été intéressantes et ont révélées certaines hypothèses mentionnées précédemment. Nous sommes les premiers à avoir utilisé ces ceintures et cela laisse place à de futures études et analyses avec ce matériel qui viendraient valider ou non la fiabilité de celles-ci.

Il est également important de mentionner que malgré le contexte sanitaire actuel de Covid-19, nous avons voulu tout de même se pencher sur une analyse de données, contrairement à la plupart des études effectuées dans le programme lors de cette période, plutôt orientées vers des revues systématiques ou revues de littératures.

L'étude de plusieurs types d'entraînement s'avère être intéressante pour la préparation physique et plus spécifiquement pour la périodisation en fonction des compétitions. Car, dans la littérature, on parle d'un véritable défi pour les entraîneurs de périodiser et quantifier les entraînements. Notre étude pourrait proposer une périodisation adaptée à des microcycles idéalement de 7 jours avec des matchs hebdomadaires. Les entraînements en vitesse et en renforcement musculaire sollicitent une plus grande distance totale, donc pourraient être plus éloignés du match que les entraînements en activation ou vivacité, sollicitant une distance totale parcourue plus basse. La récupération musculaire complète peut être très longue, contrairement à des entraînements cardiovasculaires, en général plutôt courts (McGlory *et al.*, 2017; Romero *et al.*, 2017). Il serait alors pertinent de placer le renforcement musculaire 3 jours avant le match (J-4) Lors des entraînements de vitesse, les muscles sont sollicités

à un faible volume mais toute fois les efforts sont à intensité maximale et légèrement plus longs que pour la vivacité. Pour pouvoir travailler à intensité maximale, cet entraînement requiert une forme physique complète du corps, donc le premier entraînement du microcycle (J-5 ou J-4). Les entraînements de vivacité peuvent être rapprochés du match car, sollicitant la vitesse de réaction, d'appuis, de départ et de freinage, il s'agit d'un travail neuromusculaire et musculaire, demandant une récupération assez courte (maximum 24h). Ils peuvent facilement avoir lieu 48 heures, soit 2 jours avant le match (J-2). Les entraînements en activation sont essentiellement basés sur le travail neuromusculaire, c'est-à-dire la capacité des neurones à transmettre le message moteur le plus rapidement aux fibres musculaires via les motoneurones, on parle donc d'une intensité et d'un volume faibles. De plus, le but est de garder cette capacité neuromusculaire la plus active possible pour la compétition, donc rapprochée du match (J-1, voire le jour du match). À noter que ces deux types d'entraînements comportent des temps de repos importants, propices à la récupération complète au niveau musculaire.

Certaines études proposent différentes approches pour construire des mésocycles, comprenant seulement une ou deux qualités physiques par cycle, contrairement à l'approche longtemps utilisée dans les sports collectifs qui était celle de vouloir travailler toutes les qualités physiques de façon combinée dans le même microcycle et qui pourrait être à l'origine d'une accumulation de fatigue pour les compétitions (Issurin, 2010). Ces contrastes viennent à proposer de futures études sur la périodisation.

ANNEXE A

CALENDRIER DE LA PRÉPARATION PHYSIQUE

Date	Entrainement	Thème physique
12-août	ENTRAINEMENT	Vitesse
13-août	ENTRAINEMENT	Activation
14-août	ENTRAINEMENT	évaluation (beep test)
15-août	ENTRAINEMENT	vivacité
16-août	Match	Aérobic
19-août	ENTRAINEMENT	Activation
20-août	Match	Aérobic
21-août	ENTRAINEMENT	vitesse
22-août	ENTRAINEMENT	vivacité
23-août	Match	Aérobic
26-août	ENTRAINEMENT	renforcement musculaire
27-août	ENTRAINEMENT	activation
28-août	Match	Aérobic
29-août	ENTRAINEMENT	Activation
30-août	Match	Aérobic
02-sept	ENTRAINEMENT	renforcement musculaire
03-sept	ENTRAINEMENT	vitesse
04-sept	ENTRAINEMENT	activation
05-sept	ENTRAINEMENT	
06-sept	Match	

BIBLIOGRAPHIE

- Akenhead, R., Harley, J. A. et Tweddle, S. P. (2016, Sep). Examining the External Training Load of an English Premier League Football Team With Special Reference to Acceleration. *J Strength Cond Res*, 30(9), 2424-2432. doi: 10.1519/jsc.0000000000001343
- Allard, P., Martinez, R., Deguire, S. et Tremblay, J. (2020, Jan 28). In-Season Session Training Load Relative to Match Load in Professional Ice Hockey. *J Strength Cond Res*. doi: 10.1519/jsc.00000000000003490
- Baldi, M., JF, D. A. S., Buzzachera, C. F., Castagna, C. et Guglielmo, L. G. (2017, Jan-Feb). Repeated sprint ability in soccer players: associations with physiological and neuromuscular factors. *J Sports Med Phys Fitness*, 57(1-2), 26-32. doi: 10.23736/s0022-4707.16.05776-5
- Bangsbo, J., Mohr, M. et 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.
- Banister, E., Macdougall, J. et Wenger, H. (1991). *Modeling elite athletic performance. Physiological testing of High-performance athletes* : Human Kinetics Books, Champaign, Illinois.
- Bishop, D., Girard, O. et Mendez-Villanueva, A. (2011, Sep 1). Repeated-sprint ability - part II: recommendations for training. *Sports Med*, 41(9), 741-756. doi: 10.2165/11590560-000000000-00000
- Borg et Borg. (2002). A comparison of AME and CR100 for scaling perceived exertion. *Acta psychologica*, 109(2), 157-175.
- Borg, Hassmén, P. et Lagerström, M. (1987). Perceived exertion related to heart rate and blood lactate during arm and leg exercise. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 56(6), 679-685.

- Borresen, J. et Lambert, M. I. (2009). The quantification of training load, the training response and the effect on performance. *Sports Med*, 39(9), 779-795. doi: 10.2165/11317780-000000000-00000
- Cardenas-Fernandez, V., Chinchilla-Minguet, J. L. et Castillo-Rodriguez, A. (2019, Jul). Somatotype and Body Composition in Young Soccer Players According to the Playing Position and Sport Success. *J Strength Cond Res*, 33(7), 1904-1911. doi: 10.1519/jsc.0000000000002125
- Castillo-Rodriguez, A., Cano-Caceres, F. J., Figueiredo, A. et Fernandez-Garcia, J. C. (2020, Jan 24). Train Like You Compete? Physical and Physiological Responses on Semi-Professional Soccer Players. *Int J Environ Res Public Health*, 17(3). doi: 10.3390/ijerph17030756
- Chamari, K. et Padulo, J. (2015, Dec). 'Aerobic' and 'Anaerobic' terms used in exercise physiology: a critical terminology reflection. *Sports Med Open*, 1(1), 9. doi: 10.1186/s40798-015-0012-1
- Costa, J. A., Brito, J., Nakamura, F. Y., Figueiredo, P. et Rebelo, A. (2019). Using the Rating of Perceived Exertion and Heart Rate to Quantify Training Intensity in Female Soccer Players: Validity and Utility. *Journal of strength and conditioning research*.
- Cummins, C., Orr, R., O'Connor, H. et West, C. (2013, Oct). Global positioning systems (GPS) and microtechnology sensors in team sports: a systematic review. *Sports Med*, 43(10), 1025-1042. doi: 10.1007/s40279-013-0069-2
- Datson, N., Hulton, A., Andersson, H., Lewis, T., Weston, M., Drust, B. et Gregson, W. (2014, Sep). Applied physiology of female soccer: an update. *Sports Med*, 44(9), 1225-1240. doi: 10.1007/s40279-014-0199-1
- Di Salvo, V., Baron, R., Tschann, H., Calderon Montero, F. J., Bachl, N. et Pigozzi, F. (2007, Mar). Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *Int J Sports Med*, 28(3), 222-227. doi: 10.1055/s-2006-924294
- Drust, B., Reilly, T. et Rienzi, E. (1998). Analysis of work rate in soccer. *Sports Exercise and Injury*, 4(4), 151-155.

- Fanchini, M., Ferraresi, I., Modena, R., Schena, F., Coutts, A. J. et Impellizzeri, F. M. (2016, Apr). Use of CR100 Scale for Session Rating of Perceived Exertion in Soccer and Its Interchangeability With the CR10. *Int J Sports Physiol Perform*, *11*(3), 388-392. doi: 10.1123/ijsp.2015-0273
- Ferland, P.-M., Marcotte-L'Heureux, V., Roy, P., Carey, V. D., Charron, J., Lagrange, S., . . . Comtois, A. S. (2021). Maximal Oxygen Consumption Requirements in Professional North American Ice Hockey. *Journal of Strength and Conditioning Research*.
- Foster, C., Florhaug, J. A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L. A., Parker, S., . . . Dodge, C. (2001). A new approach to monitoring exercise training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *15*(1), 109-115.
- Gabbett, T. J. et Mulvey, M. J. (2008, Mar). Time-motion analysis of small-sided training games and competition in elite women soccer players. *J Strength Cond Res*, *22*(2), 543-552. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181635597
- Garcia-Unanue, J., Perez-Gomez, J., Gimenez, J. V., Felipe, J. L., Gomez-Pomares, S., Gallardo, L. et Sanchez-Sanchez, J. (2018). Influence of contextual variables and the pressure to keep category on physical match performance in soccer players. *PLoS One*, *13*(9), e0204256. doi: 10.1371/journal.pone.0204256
- Gimenez, J. V., Castellano, J., Lipinska, P., Zasada, M. et Gomez, M. A. (2020, Apr 22). Comparison of the Physical Demands of Friendly Matches and Different Types On-Field Integrated Training Sessions in Professional Soccer Players. *Int J Environ Res Public Health*, *17*(8). doi: 10.3390/ijerph17082904
- Gimenez, J. V., Jimenez-Linares, L., Leicht, A. S. et Gomez, M. A. (2019, Dec 17). Predictive modelling of the physical demands during training and competition in professional soccer players. *J Sci Med Sport*. doi: 10.1016/j.jsams.2019.12.008
- Girard, O., Mendez-Villanueva, A. et Bishop, D. (2011). Repeated-sprint ability—Part I. *Sports medicine*, *41*(8), 673-694.

- Gomez, M.-A., Lago-Peñas, C. et Owen, L. A. (2016). The influence of substitutions on elite soccer teams' performance. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 16(2), 553-568.
- Hartwig, T. B., Naughton, G. et Searl, J. (2011). Motion Analyses of Adolescent Rugby Union Players: A Comparison of Training and Game Demands. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(4), 966-972. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181d09e24
- Hewitt, A., Withers, R. et Lyons, K. (2008). *Match analyses of Australian international female soccer players using an athlete tracking device*. Routledge.
- Hopkins, W., Marshall, S., Batterham, A. et Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and science in sports and exercise*, 41 1, 3-13.
- Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., Coutts, A. J., Sassi, A. et Marcora, S. M. (2004). Use of RPE-based training load in soccer. *Medicine & Science in sports & exercise*, 36(6), 1042-1047.
- Issurin, V. B. (2010, Mar 1). New horizons for the methodology and physiology of training periodization. *Sports Med*, 40(3), 189-206. doi: 10.2165/11319770-000000000-00000
- Kelly, Strudwick, Atkinson, G., Drust, B. et Gregson, W. (2016). The within-subjects correlation between perception of effort and heart rate-based estimations of training load in elite soccer players. *Journal of Sports Sciences: Science and Medicine in Football*.
- Lambert, M. I. et Borresen, J. (2010). Measuring training load in sports. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(3), 406-411.
- Ludwig, M., Hoffmann, K., Endler, S., Asteroth, A. et Wiemeyer, J. (2018). Measurement, Prediction, and Control of Individual Heart Rate Responses to Exercise-Basics and Options for Wearable Devices. *Frontiers in physiology*, 9, 778-778. doi: 10.3389/fphys.2018.00778

- Mara, J. K., Thompson, K. G., Pumpa, K. L. et Ball, N. B. (2015). Periodization and physical performance in elite female soccer players. *International journal of sports physiology and performance*, 10(5), 664-669.
- Martin-Lopez, A., Mendes, R. S. et Castillo-Rodriguez, A. (2018, Dec 14). Internal and External Loads in Training Week Before the Competition in U19 High-Level Soccer Players. *J Strength Cond Res*. doi: 10.1519/jsc.0000000000002975
- McGlory, C., Devries, M. C. et Phillips, S. M. (2017, Mar 1). Skeletal muscle and resistance exercise training; the role of protein synthesis in recovery and remodeling. *J Appl Physiol (1985)*, 122(3), 541-548. doi: 10.1152/jappphysiol.00613.2016
- McLaren, S. J., Macpherson, T. W., Coutts, A. J., Hurst, C., Spears, I. R. et Weston, M. (2018, Mar). The Relationships Between Internal and External Measures of Training Load and Intensity in Team Sports: A Meta-Analysis. *Sports Med*, 48(3), 641-658. doi: 10.1007/s40279-017-0830-z
- Medbø, J. et Burgers, S. (1990). Effect of training on the anaerobic capacity. *Medicine and science in sports and exercise*, 22(4), 501-507.
- Mohr, M., Krstrup, P., Andersson, H., Kirkendal, D. et 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. et 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.
- Morales, J., Roman, V., Yáñez, A., Solana-Tramunt, M., Álamo, J. et Fíguls, A. (2019). Physiological and Psychological Changes at the End of the Soccer Season in Elite Female Athletes. *Journal of human kinetics*, 66, 99-109. doi: 10.2478/hukin-2018-0051
- Mujika, I., Halson, S., Burke, L. M., Balagué, G. et Farrow, D. (2018, May 1). An Integrated, Multifactorial Approach to Periodization for Optimal Performance in Individual and Team Sports. *Int J Sports Physiol Perform*, 13(5), 538-561. doi: 10.1123/ijsp.2018-0093

- Murr, D., Feichtinger, P., Larkin, P., O'Connor, D. et Höner, O. (2018). Psychological talent predictors in youth soccer: A systematic review of the prognostic relevance of psychomotor, perceptual-cognitive and personality-related factors. *PloS one*, 13(10), e0205337-e0205337. doi: 10.1371/journal.pone.0205337
- Owen, A. L., Djaoui, L., Newton, M., Malone, S. et Mendes, B. (2017). A contemporary multi-modal mechanical approach to training monitoring in elite professional soccer. *Science and medicine in football*, 1(3), 216-221.
- Pyne, D. B., Mujika, I. et Reilly, T. (2009, Feb 1). Peaking for optimal performance: Research limitations and future directions. *J Sports Sci*, 27(3), 195-202. doi: 10.1080/02640410802509136
- Rago, V., Brito, J., Figueiredo, P., Costa, J., Krustup, P. et Rebelo, A. (2020, Jan). Internal training load monitoring in professional football: a systematic review of methods using rating of perceived exertion. *J Sports Med Phys Fitness*, 60(1), 160-171. doi: 10.23736/s0022-4707.19.10000-x
- Razali, N. (2011). Power comparisons of shapiro-wilk, kolmogorov-smirnov, lilliefors and anderson-darling tests. *Journal of statistical modeling and analytics*, 2(1), 21-33.
- Romero, S. A., Minson, C. T. et Halliwill, J. R. (2017, Apr 1). The cardiovascular system after exercise. *J Appl Physiol (1985)*, 122(4), 925-932. doi: 10.1152/jappphysiol.00802.2016
- Scott, T. J., Black, C. R., Quinn, J. et Coutts, A. J. (2013, Jan). Validity and reliability of the session-RPE method for quantifying training in Australian football: a comparison of the CR10 and CR100 scales. *J Strength Cond Res*, 27(1), 270-276. doi: 10.1519/JSC.0b013e3182541d2e
- Stevens, de Ruiter, C. J., Twisk, J. W. et JP, G. (2017). Quantification of in-season training load relative to match load in professional Dutch Eredivisie football players. *SCIENCE AND MEDICINE*, 1(2), 117-125.
- Tabata, I., Nishimura, K., Kouzaki, M., Hirai, Y., Ogita, F., Miyachi, M. et Yamamoto, K. (1996). Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity

intermittent training on anaerobic capacity and $\dot{V}O_2$ max. *Medicine and science in sports and exercise*, 28, 1327-1330.

Taylor, Wright, A. A., Dischiavi, S. L., Townsend, M. A. et Marmon, A. R. (2017, Dec). Activity Demands During Multi-Directional Team Sports: A Systematic Review. *Sports Med*, 47(12), 2533-2551. doi: 10.1007/s40279-017-0772-5

Teichmann, D., Brüser, C., Eilebrecht, B., Abbas, A., Blanik, N. et Leonhardt, S. (2012). *Non-contact monitoring techniques-Principles and applications* IEEE.

Turpin, B. (2006). LA PREPARATION PHYSIQUE EN FOOTBALL: LA VITESSE, LA VIVACITE. *FOOTBALL & RECHERCHES*, 18.

Winter, E. M. et Maughan, R. J. (2009). Requirements for ethics approvals. *Journal of sports sciences*, 27(10), 985-985.

