



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherches Scientifique



Université Hassiba BEN BOUALI - Chlef

Institut des Sciences et Techniques des Activités Physiques et
Sportives

Spécialité : Entraînement Sportif

Thèse de Doctorat

Jeux réduit en football :
Effets sur les déterminants physiques et physiologiques
de la performance et impact sur la prophylaxie des
blessures chez le footballeur.

Par **RAHOU ABDELKARIM**

Soutenu le : 2 Novembre 2025

Devant le jury composé de :

Pr. SAIDI-ZERROUKI Youssouf (Directeur) (Université Hassiba Ben Bouali-Chlef Algérie)

Pr. MERZOUK Abdellah (Co-Directeur) (Université de Picardie Jules Verne-Amiens France)

Pr. BENNOUR Mamar (Président) (Université Hassiba Ben Bouali Chlef - Algérie)

Pr. CHIHA Fouad (Université Abdelhamid Mehri Constantine 2 - Algérie)

Pr. BENKARA Yassine (Université Abdelhamid Mehri Constantine 2 - Algérie)

Dr. BOUDOUANI Abderrezak (Université Hassiba Ben Bouali Chlef - Algérie)

Mes remerciements

*A ma mère **Kheira**, à mon père **Larbi**, pour leur amour inconditionnel, leur patience et leurs innombrables sacrifices. Leur soutien moral, leur confiance et leur foi en moi ont été une source constante de motivation.*

*À ma femme **Fadia**, je veux exprimer toute ma gratitude pour sa compréhension, sa patience et son soutien sans faille durant toutes ces années. Sa présence bienveillante a été un véritable pilier dans cette réalisation scientifique et familiale.*

*A ma famille, ma sœur **Naima** et mes frères **Mohamed, Mourad et Rachid** pour leur soutien et leurs encouragements permanents durant la réalisation de ce travail de doctorat.*

*A ma belle-famille **Zementzali, Faouzia, Belkacem, Djamel, Tewfik, Alice**.*

*Une attention particulière avec mes remerciements au Professeur Mme **Fatima-Zohra Elkebir***

Au terme de ce travail de thèse, je tiens à exprimer ma plus sincère reconnaissance à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à l'aboutissement de ce projet. Chacune de leurs interventions a été précieuse, et je leur en suis profondément reconnaissant.

*Mes remerciements les plus profonds vont au **Professeur Abdellah Merzouk**, mon encadrant, pour la qualité de son accompagnement, sa disponibilité constante, ses conseils éclairés et sa rigueur scientifique. Au-delà de son rôle d'encadrant, il a été un véritable guide tout au long de ce parcours, m'encourageant dans les moments de doute et m'aidant à donner le meilleur de moi-même. Sa rigueur et son professionnalisme ont largement contribué à la qualité de ce projet, Sa confiance et son engagement ont été des éléments déterminants dans l'aboutissement de cette thèse.*

*Je tiens également à remercier très chaleureusement le **Professeur Youssouf Saidi Zerrouki**, directeur de cette thèse, pour son encadrement bienveillant, ses orientations pertinentes et son soutien académique tout au long de ce travail.*

*Mes remerciements et ma gratitude au **Professeur S. Ahmaïdi**, pour la confiance qu'il m'a témoignée et pour m'avoir accordé l'opportunité d'intégrer le laboratoire de recherches EA3300 APERE dans le cadre de mes travaux de thèse.*

*Je remercie les membres du jury **Pr Chiha Fouad, Pr. Benkara Yassine, Dr. Boudouani Abderrezak et le Dr. Benhiba Tadjeddine**, d'avoir accepté de lire, d'évaluer et de faire partie du jury. Je les remercie vivement du temps et de l'attention qu'ils ont consacré à l'expertise de mon travail et je leur suis très reconnaissant de l'honneur qui m'ont fait en acceptant de faire partie du jury de mon travail de thèse.*

*Je remercie particulièrement le **Docteur Abderrezak Boudouani**, mon ancien professeur au STAPS de Chlef, pour m'avoir transmis sa passion, ses conseils avisés et pour avoir cru en mes capacités dès le début de mon cursus universitaire.*

*Je remercie également le **Docteur M. OUDDAK** ses conseils avisés. Au-delà de la qualité académique qu'il incarne, j'ai particulièrement apprécié son esprit de collaboration, son exigence constructive et la confiance qu'il m'a accordée.*

*Un grand merci à **Mlle Ahnoudj Lisa** pour son aide précieuse dans la relecture et traduction des textes en anglais. Sa disponibilité, sa gentillesse et son professionnalisme ont été d'un grand secours.*

*Ma reconnaissance va également au **Coach A. Hamdane**, de l'AC Amiens, pour son soutien, sa disponibilité et sa confiance.*

*J'adresse mes sincères remerciements à **Monsieur le Président du Centre de Formation de l'AC Amiens**, pour l'accueil qu'il m'a réservé, pour sa confiance et son appui tout au long de mon travail*

Une attention particulière avec mes remerciements à : A. Ranebi, D. Mazari, M. Latef, B. Zoubiri, K. Bouarab, W. Bounoua, D. Saidi, M. Djilali-Aiad, I. Cheikh, ; amis, préparateurs physiques et entraîneurs des différents clubs où je suis passé ou intervenu.

Mes sincères remerciements aux joueurs qui ont participé à ce travail. Ils étaient les acteurs de la réussite des séances mises en place et du bon déroulement des différents protocoles.

*À toutes ces personnes, je dis **merci**, du fond du cœur.*

1. Valorisations scientifiques

A. Rahou, Y. Saidi-Zerrouki, F. Chiha, A. Merzouk. Prevention Methods and incidence of injuries in young footballers in training center. Science et Sports ; 04/2025 ; SCISPO-D-25-00168.

A. Rahou, Y. Saidi-Zerrouki, F. Chiha, A. Merzouk. Modeling small-sided soccer games ; The Excellence Journal In Sciences Techniques of Physical Activity and Sport. 06/2024 ; Volume 9 Numéro 1.

A. Rahou. La quantification de la charge d'entraînement des exercices contextualisées à l'aide des GPS ; Colloque national de la préparation physique ; institut d'éducation physique et sportive Chlef ; 05/2024

A. Rahou, A. Idermochene, T. Gueracha, M. Oudak. Effect of a 2v2 Small-Sided Game Exercise on Countermovement Jump Performance in Young Football Players; Journal of Namibian studies; 10/2023; Volume 36.

A. Rahou, Y. Saidi-Zerrouki, B. Zoubiri, A. Merzouk. Modélisation des jeux réduits en football ; colloque national institut d'éducation physique et sportive Université de Tismilt ; 06/2023.

A. Rahou, Y. Saidi-Zerrouki, A. Merzouk. Effet de l'entraînement intermittent supra-max sur l'aptitude aérobie, avec un suivi préventif de type isocinétique chez des joueurs de football ; 3ème Congrès International des Sciences du Sport ; Sciences et Santé ; Université de Constantine 2 ; 05/2023.

A. Rahou, Y. Saidi-Zerrouki, A. Merzouk. Modélisation des jeux réduits en football type 2C2 ; 3ème Congrès International des Sciences du Sport ; Sciences et Santé ; Université de Constantine 2 ; 05/2023.

A. Rahou, M. Oudak, M. Saadaoui. Identification des talents, enjeux et déterminants ; Colloque national institut d'éducation physique et sportive Université de Tismilt ; 11/2022.

A. Rahou, A. Merzouk. L'aide de l'outil GPS dans le suivi de la charge d'entraînement en football. 2nd International Sports Sciences Congress. Université de Constantine 2. 05/2021

A. Rahou, A. Hamdane, S. Ahmaidi, A. Merzouk. L'effet de l'entraînement supra-max sur le développement de la VAM et le système neuro-musculaire. Congrès international de l'ACAPS Université Paris- Descartes ; 10/2019.

A. Rahou, J. Hourcade, S. Ahmaidi, A. Merzouk. Modélisation des jeux réduits type 2c2 ; congrès international de l'ACAPS Université Paris- Descartes ; 10/2019.

2. Valorisations Professionnelles et Universitaires : Diplômes et Certificats

2012 : Licence en Science et Technique des Activité Physiques et Sportives, option EPS, Institut d'éducation physique et sportive Université Hassiba Ben Bouali Chlef, **Algérie**.

2014 : Master en Science et Technique des Activité Physiques et Sportives, option EPS, Institut IEPS Université Hassiba Ben Bouali Chlef - **Algérie**.

2015 : Diplôme Professionnel de Préparateur Physique Football, Fédération Algérienne de Football, **Algérie**.

2016 : Certificat d'Éducateur Sportif CFF1 Ligue de Football Région Haut de France - **France**

2018 : DIU Diplôme Professionnel de Préparateur Physique Sport Collectif, Université de Lille 2-**France**.

2019 : Certificat d'Expertise Technique et Perfectionnement en GPS et Gestion de la Charge d'entraînement, Centre de formation ACPASPORT Bordeaux - **France**.

2020 : Master 2 EOPS : Entraînement et Optimisation de la Performance Sportive. UFR STAPS, Université de Picardie Jules VERNE Amiens - **France**

2021 : Inscription en doctorat en Science et Techniques de Activités Physiques et Sportives Option Préparation Physique, STAPS Université Hassiba Ben Bouali Chlef - **Algérie**.

3. Expériences Professionnelles : *Spécialisation et expertise dans le domaine de l'entraînement et de la performance*



Saisons 2021/2023 : Entraîneur école de formation U18



Saisons 2020/2021 : Préparateur athlétique école de formation U18/U19



Saisons 2018/2020 : Préparateur athlétique U15/U16/U17.



Saisons 2018/2019 : Préparateur athlétique équipe sénior N2.



Mars 2018 : Stage de perfectionnement avec l'équipe A ligue 2.



Saisons 2017/2018 : Préparateur athlétique U15/U16/U17.



Saisons 2015/2017 : Préparateur athlétique équipe sénior féminine R1.

4. Création d'entreprise

2020 – Entreprise de Distribution, Formation et accompagnement dans l'utilisation des techniques embarqués et systèmes GPS. Objet : formation des préparateurs physiques dans l'encadrement et le coaching.

Table des indexes et lequixes :

PPG	Préparation physique générale.	PPS	Préparation physique spécifique.
PPC	Préparation physique a la compétition.	VMA	Vitesse maximal aérobie.
PMA	Puissance maximal aérobie.	VO2max	Consommation maximale d'oxygène.
FC	Fréquence cardiaque.	DPm	Distance parcourue en mètre
DPMm (0 – 7,2 km/h)	Distance parcourue en marche en mètre (0 - 7,2 km/h)	DPCFIm (7,2 - 14,4 km/h)	Distance parcourue en course de faible intensité en m (7,2 - 14,4 km/h)
DPCMIIm (14,4 – 19,8 km/h)	Distance parcourue en course de moyenne intensité en m (14,4 - 19,8 km/h)	DPCHIIm (19,8 – 25,2)	Distance parcourue en course de haute intensité en m (19,8 - 25,2km/h)
Nb Sp> 25,2 km/h	Nombre de sprints (supérieur à 25,2 km/h)	DTP	Distance total parcourue par match.
HI	La haute intensité.	THI	La très haute intensité.
DC	Défenseur central.	AL	Attaquant latéral.
ENC	Entraînement continu.	ENI	Entraînement intermittent.
MC	Milieu central.	ML	Milieu latéral.
ATT	Attaquant.	GPS	Global Positioning System.
CE	Charge d'entraînement.	RPE	Racing of perceived exertion.
SSG	small, sided game.	IMC	Indice de masse corporelle.
CMJ	Contre mouvement jump.	DT	Distance total parcourue.
IA	Indice d'amplitude	SJ	Squat jump
DHI	Distance total parcourue à haute intensité.	DTHI	Distance total parcourue a très haute intensité.
NBS	Nombre de sprint.	NB ACC	Nombre d'accélération.
PCR	Phosphate créatine.	NB DEC	Nombre de décélération.
ATP	Énergie de l'adénosine triphosphate.	CP	Créatine phosphate.
RSA	Repeated sprint ability, capacité à répéter les sprints.	RCOD	Repeated change of direction, capacité à répéter les changements de direction.
Rep	Répétition.	1RM	1 répétition maximale.
YPD	Young Physical Development (développement physique des jeunes).	PHV	Pic Height Velocity (pic de vélocité de croissance).
3RM	3 Répétition maximale.	MD	Minimal Difference (différence minimale).
DC	Développé couché.	ICC	Intraclass Correlation Coefficient (coefficient de corrélation intraclasse)
CV	Coefficient de variation.	REC	récupération.

CA	Charge Aigue.	CC :	Charge Chronique.
IC 95 %	Intervalle de confiance 95 %.	Ration A/C	Ration Charge Aigue/Charge Chronique.
RR	Risque Relatif.	RRi	Risque Relatif inférieur.
RRs	Risque Relatif supérieur.	UA	Unité Arbitraire.
FMS	Functionnal Movement Screen.	G	Gauche
D	Droite	QUAD	Quadriceps
IJ	Ischio jambier	CON	Concentrique
EX	Excentrique	TFD	Test de flexibilité debout.
TFA	Test de flexibilité assis.	RR	Le risque ration.
Dom	Dominante.	NDom	Non dominante.

Table des matières

I.	Introduction générale	1
II.	État de l'art : physiologie, performance et football	4
1.	La performance sportive	4
1.1	Déterminants et qualités physiques de la performance	5
1.2	Principes de l'entraînement sportif	12
2.	La préparation physique en football	18
2.1	La Préparation Physique Générale (PPG)	18
2.2	La Préparation Physique Spécifique (PPS)	19
2.3	La Phase de Pré-Compétition ou Phase d'Affûtage	20
2.4	Organisation de la préparation physique	21
3.	Analyse de la discipline : football	22
3.1	Catégorisation des intensités d'activité physique chez les footballeurs	24
3.2	Courses et distances parcourues aux différentes intensités, selon les postes de jeu :	24
3.3	Caractéristiques Physiques et physiologiques du footballeur (<i>De l'évaluation à la quantification de l'entraînement</i>)	28
3.4	Caractéristiques physiques et spécificités de la pratique footballistique	29
3.5	Paramétrage du volume d'exercice en football	33
3.6	Indicateurs et paramètres d'intensité des exercices en football	38
4.	Applications du GPS dans le domaine du football (<i>GPS et pratique footballistique</i>)	43
4.1	Histoire et Actuel	43
4.2	Applications et précisions des mesures GPS	44
4.3	Défis techniques de l'utilisations des GPS en Football	45
III.	Problématique	49
IV.	Contributions Personnelles, Recherches et Applications Terrain	51
	Partie 1 : Jeux Réduits	52
	Étude 1 : Modélisation d'un jeu réduit en football Type 2 contre 2	53
1.	Introduction	54
2.	L'entraînement sportif (Performance et Principes)	54
2.1	La programmation de l'entraînement	56
2.2	Périodisation de l'entraînement	57
2.3	Méthodologie de l'entraînement en football	58
3.	Les jeux réduits en football	62
4.	Charge d'Entraînement et charges Physiques	64
5.	Matériels et Méthodes	66
5.1	But et objectifs	66
5.2	Matériels	67
5.3	Méthodes	71
6.	Analyse des résultats et Discussion	74
6.1	Résultats des tests du CMJ, de la RPE, de l'Indice d'Amplitude et de la Charge d'Entraînement : Groupe U16 (CMJ, RPE, IA, CE)	75
6.2	Résultat des tests du CMJ, de la RPE, de l'Indice d'Amplitude et de la Charge d'Entraînement : Groupe U17 (CMJ, RPE, IA, CE)	76
6.3	Résultats des analyses des concentrations du lactate pour U17 et U16	78
7.	Discussion (<i>Applications pratiques</i>)	79
8.	Conclusion	79
	Étude 2 : Modélisation d'un jeu réduit type 3c3 avec appuis fixes puis mobiles et son impact sur la charge d'entraînement.	81
1.	Introduction & Revue de la littérature	82
2.	Les jeux réduits en football	88
2.1	Définition	88
2.2	Contraintes et Intérêts des jeux réduits en football	88
3.	Matériels et Methodes	89
4.	Analyses des Résultats & Discussion	90
4.1	Analyse Statistique	90
4.2	Calcul de l'indice d'amplitude	90
4.3	Résultats et Discussion	91
5.	Applications pratiques – coach	95

6. Conclusion.....	96
Étude 3 : Impact de 2 modalités d'entraînements sur la capacité à répéter les sprints et les sauts chez les jeunes footballeurs	97
1. Introduction.....	98
2. Revue de littérature.....	99
3. But et Objectifs.....	102
4. Matériels et méthodes.....	102
4.1 Sujets.....	102
4.2 Outils et protocoles d'évaluation.....	104
4.3 Protocole d'entraînement.....	105
4.4 Analyse statistique.....	105
5. Résultats.....	106
5.1 Résultats du test RSA.....	106
5.2 Résultats du Test RCOD.....	106
5.3 Résultats du test VAM et VAL.....	107
5.4 Résultats du test Sargent.....	107
6. Discussion.....	108
7. Conclusion.....	110
Partie 2 : Prévention des blessures Charge d'Entraînement, Exploration isocinétique et Réathlétisation.	112
Étude 1 : Relation des indicateurs de la charge d'entraînement et de l'incidence des blessures avec une mise en place d'un protocole de prévention chez des joueurs de football en centre de formation.....	113
1. Introduction.....	115
2. Revue Bibliographique.....	116
2.1 La blessure.....	116
2.2 La charge d'entraînement.....	118
2.3 Charge d'entraînement et blessure dans le football.....	121
2.4 Méthodes prophylactiques.....	122
3. Objectifs et Perspectives.....	123
4. Matériel et Méthodes.....	124
4.1 Participants.....	124
4.2 Méthodologie.....	125
4.3 Analyses statistiques.....	126
5. Analyse des Résultats.....	127
6. Discussion.....	129
7. Conclusion.....	131
Étude 2 : Exploration isocinétique, prévention et incidence des blessures chez les jeunes footballeurs (Relation entre les tests de début de saison et l'incidence de blessure chez les jeunes footballeurs).....	134
1. Introduction.....	135
2. Revue de littérature.....	138
2.1 Les lésions musculaires.....	139
2.2 Les tendinopathies.....	143
2.3 Blessures Articulaires des genoux et des chevilles.....	143
2.4 Les facteurs de risques & les tests.....	146
3. Matériel et Méthode.....	149
3.1 Population.....	149
3.2 Test et Méthodes.....	150
4. Analyse des Résultats.....	156
5. Discussion.....	163
6. Conclusion.....	166
Étude 3 : Évaluation isocinétique et analyse musculaire comparative des ratios Agonistes/Antagonistes chez des footballeurs/Sport Co.....	169
1. Introduction.....	170
2. État de l'art.....	171
2.1 Les filières Énergétiques sollicitées.....	171
2.2 Biomécanique et Physiologie des Membres Inférieurs.....	171
2.3 Sollicitation Musculaire.....	172
2.4 Qualités physiques des membres inférieurs.....	172
2.5 L'isocinétisme.....	Erreur ! Signet non défini.
2.6 Les ratios.....	175
3. Matériels et Méthodes.....	179
3.1 Participants.....	179

3.2 Matériels utilisés.....	179
3.3 Méthodologie	180
3.4 Protocole d'évaluation	180
3.5 Statistiques.....	182
4. Résultats et Analyses	182
4.1 Résultats Isocinétique (Eval-Type)	182
4.2 Résultats comparatifs des couples de force	188
4.3 Résultats comparatifs des Ratios Isocinétiques	191
5. Discussion.....	191
6. Conclusion.....	194
V. Discussion Générale.....	196
VI. Conclusion Générale	200
VII. Références bibliographiques.....	204
VIII. Annexes	217
IX. Liste des tableaux	225
X. Liste des figures	228
XI. Résumé général/Abstract	231

I. Introduction générale

Le football est l'activité sportive la plus répandue à l'échelle planétaire, que ce soit en termes de couverture médiatique ou de participation active. Avec plus de 265 millions de pratiquants répertoriés dans le monde et 207 nations affiliées à la Fédération Internationale de Football Association (FIFA), cette discipline fait l'objet de nombreuses investigations scientifiques visant à optimiser l'efficacité des protocoles d'entraînement et, par conséquent, à améliorer les performances des athlètes (Stølen et al., 2005).

Dans le contexte actuel du football professionnel, la préparation physique revêt une importance capitale en raison de la multiplication des événements compétitifs majeurs, réduisant considérablement les périodes de repos et de récupération. Par ailleurs, on observe une évolution significative des exigences physiologiques lors des compétitions, notamment une augmentation de la fréquence et de la durée des efforts à haute intensité, ainsi que de la distance totale parcourue. Lors d'événements d'envergure tels que la Coupe du Monde, les performances des joueurs sont fortement influencées par leur niveau de préparation physique préalable.

Le football se caractérise par des efforts intermittents réalisés à différentes intensités, engendrant un stress physiologique hautement spécifique (Bangsbo et al., 1991 ; Bradley et al., 2010 ; Di Salvo et al., 2007). Au niveau professionnel, le degré d'exigence élevé nécessite un nombre important de séances d'entraînement hebdomadaires, soulevant ainsi la problématique d'une gestion optimale de la charge de travail physique. L'alternance des exercices et des périodes de récupération, l'intensité, la durée, ainsi que la proportion des situations avec et sans ballon doivent être soigneusement contrôlées. On peut supposer que la simple pratique du jeu ne suffit pas au développement "contrôlé" des qualités athlétiques.

Répondre aux exigences physiologiques croissantes du jeu représente l'objectif primordial des entraîneurs, en développant et en maintenant l'ensemble des qualités physiques spécifiques de leur effectif, notamment l'endurance, la force-vitesse, la capacité à répéter des sprints et la coordination.

Le processus d'entraînement des footballeurs s'inscrit dans cette optique, visant à améliorer et/ou maintenir les qualités physiques tout au long de la saison compétitive. Cette approche permet aux joueurs d'exprimer leurs habiletés technicotactiques avec la plus grande efficacité possible lors des rencontres. En effet, un niveau optimal de préparation physique est essentiel

pour soutenir les exigences physiologiques élevées du football moderne et ainsi maximiser les performances sur le terrain.

Ces dernières années, les exigences physiologiques en compétition ont connu une progression substantielle dans le football. À titre d'exemple, la fréquence des efforts à très haute intensité est passée d'un effort toutes les 1 minute et 17 secondes dans les années 1970 à un effort toutes les 55 secondes depuis les années 2000. En termes de volume, on note également une légère augmentation de la distance moyenne parcourue par les joueurs, avoisinant les 11 000 mètres pour tous les postes, à l'exception des gardiens de but.

Les contenus d'entraînement sont élaborés en fonction des performances réalisées lors des matchs. Les entraîneurs et les préparateurs physiques déterminent les quantités optimales d'entraînement nécessaires pour permettre des performances maximales (Foster et al., 1996). Selon Morton (1997), l'objectif principal serait de trouver le stimulus d'entraînement adéquat permettant de maximiser et d'optimiser la performance, tout en minimisant les risques liés à l'entraînement (fatigue, maladie, blessure, surentraînement). Certains auteurs ont souligné l'importance d'un équilibre dans la gestion de la charge d'entraînement, entre le travail et la récupération (Impellizzeri et al., 2004 ; Greig & McNaughton, 2014 ; Gaudino et al., 2015).

Les jeux réduits, également connus sous le nom de "small-sided games" ou "jeux à effectifs réduits", sont devenus un outil incontournable dans l'entraînement moderne du football (Krysciak et al., 2023). Cette forme d'exercice, qui implique un nombre réduit de joueurs sur un terrain de dimensions réduites, offre de nombreux avantages sur le plan physiologique, technique et tactique.

D'un point de vue physiologique, les jeux réduits permettent de solliciter de manière intense les différents systèmes énergétiques impliqués dans l'activité footballistique. En effet, ces exercices sont caractérisés par une alternance de phases d'efforts intenses et de récupérations incomplètes, similaires aux demandes intermittentes du football. Cela entraîne une sollicitation importante des filières anaérobies lactiques et alactiques, ainsi que du système aérobie.

Plusieurs études ont démontré que les jeux réduits induisent des réponses physiologiques comparables, voire supérieures, à celles observées lors des matchs officiels. Les paramètres tels que la fréquence cardiaque, la consommation d'oxygène et les concentrations de lactate sanguin atteignent des niveaux élevés, témoignant de l'intensité de l'effort fourni.

Afin d'atteindre cet équilibre, il est essentiel de quantifier les charges liées à l'entraînement et aux matchs, à travers un processus individualisé combinant des mesures objectives (activité technique, physique, indicateurs physiologiques) et subjectives (questionnaires) (Bartlett et al., 2017). Ces mesures de la charge d'entraînement et de compétition permettent également

d'évaluer et de mieux comprendre la fatigue des joueurs (Halson, 2014), un facteur clé dans la gestion de la performance.

La diversification des modalités d'exercices au sein des séances d'entraînement impacte de manière significative le contrôle des charges d'entraînement respectives. Ces dernières, quantifiées par la combinaison des variables de volume, d'intensité et de fréquence, nécessitent un suivi et un ajustement continu. Une gestion rigoureuse des charges d'entraînement pourrait favoriser l'optimisation des différentes adaptations physiologiques ciblées, tout en minimisant les risques potentiels de blessures. Cette optimisation requière des méthodes de quantifications précises des charges d'entraînement. Pour ce faire, l'entraîneur doit recourir à des outils de mesure précis. Bien que les charges prévisionnelles des exercices analytiques soient relativement aisées à appréhender, l'évaluation s'avère plus complexe pour certains exercices avec ballon, notamment les jeux à effectifs réduits et les exercices à puissance maximale, qui constituent désormais une part importante des programmes d'entraînement des footballeurs.

Dans le monde du football professionnel, l'utilisation de technologies de pointe est devenue incontournable pour optimiser les performances des joueurs et des équipes. Parmi ces technologies, le système de positionnement global (GPS) occupe une place de choix, offrant aux entraîneurs et aux préparateurs physiques des données précieuses sur les déplacements et les charges de travail des joueurs. Le GPS est un système de navigation par satellite qui permet de déterminer avec précision la position, la vitesse et le déplacement d'un objet ou d'une personne sur Terre. Dans le contexte du football, des dispositifs GPS miniatures sont intégrés aux équipements des joueurs, généralement dans un gilet ou un harnais spécifique. Ces dispositifs captent les signaux émis par les satellites GPS en orbite et calculent en temps réel les coordonnées géographiques, la vitesse et l'accélération du joueur. Ces données sont ensuite transmises sans fil à un ordinateur central pour être analysées et interprétées.

Les données GPS offrent aux entraîneurs et aux préparateurs physiques des informations précieuses pour optimiser les programmes d'entraînement et gérer les charges de travail des joueurs.

Bien que coûteux, les systèmes GPS représentent un investissement précieux pour les clubs professionnels, leur permettant d'optimiser la préparation physique, de réduire les risques de blessures et d'améliorer les performances des joueurs sur le terrain.

II. État de l'art : physiologie, performance et football

Revue générale de la littérature : Performance Sportive et Entraînement (Principes et Généralités)

1. La performance sportive

La performance sportive exprime les possibilités maximales d'un individu dans une discipline à un moment donné de son développement. Elle peut s'exprimer sous forme de classement, de distance, de temps ou de résultat, généralement lors de compétitions, et surtout par la reproductibilité de ces derniers. La performance est le résultat d'un entraînement complexe, dont les facteurs déterminants doivent être connus et intégrés dans le processus d'entraînement.

Les paramètres influençant la performance peuvent être regroupés en plusieurs catégories : Facteurs techniques, Facteurs physiques et physiologiques (*Condition physique : force, vitesse, endurance, souplesse...*), Capacités psychiques, Capacités cognitives, Capacités technico-tactiques, Facteurs constitutionnels et anthropométriques, État de santé physique en réponse aux blessures sportives.

Ainsi, la performance sportive est un phénomène complexe résultant de l'interaction de multiples facteurs interdépendants, tels que :

L'environnement social, scolaire et professionnel- Le patrimoine génétique- L'entraînement-

La préparation physique, psychologique et technique- La nutrition- La récupération- La motivation

Cette approche multidimensionnelle de la performance sportive est essentielle pour optimiser le développement et la préparation des athlètes de haut niveau.

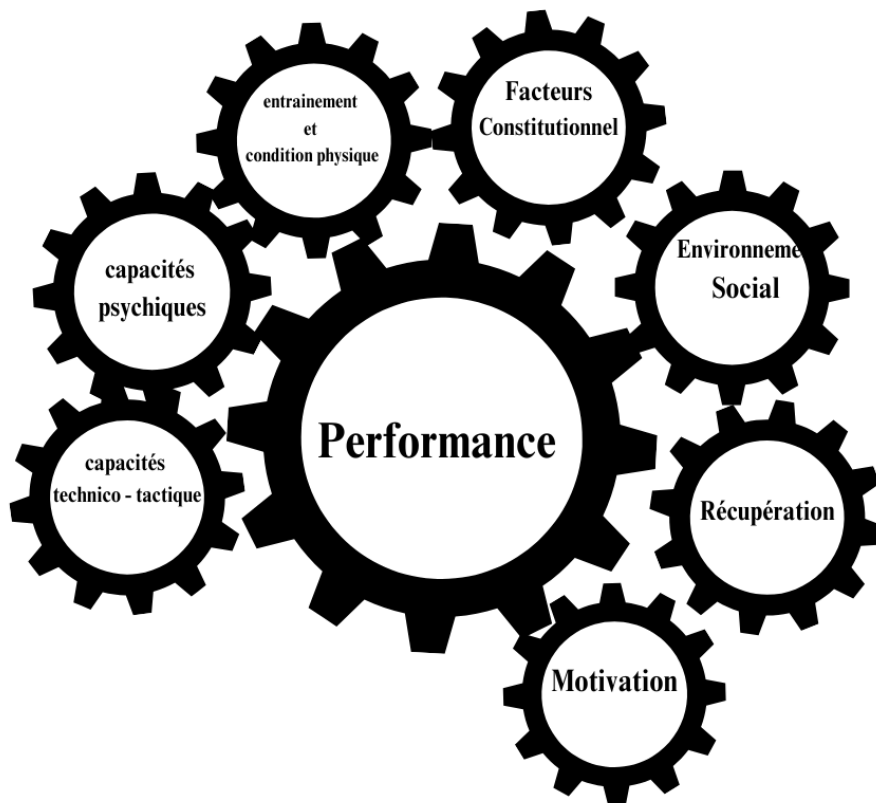


Figure 1 : les facteurs de la performance sportive en football

1.1 Déterminants et qualités physiques de la performance

Le développement des qualités physiques telles que l'endurance, la vitesse, la force et l'explosivité, combinées à l'intégration du ballon, permet d'optimiser les capacités technico-tactiques et mentales nécessaires pour performer sur la durée d'un match et d'une saison complète.

✓ **L'endurance**

L'endurance aérobie fait référence à la capacité de l'organisme à soutenir des efforts prolongés sans interruption, en présence d'un apport suffisant en oxygène. Ce type d'endurance repose sur les processus énergétiques aérobie, où l'oxygène est utilisé pour produire de l'énergie (*ATP : Adénosine triphosphate*) de manière efficace. La disponibilité de l'oxygène fourni par le processus énergétique aérobie favorise la capacité de récupération entre les efforts.

La capacité de rendement aérobie de l'organisme constitue la base énergétique pour l'endurance de base et l'endurance de force, deux qualités physiques essentielles pour le footballeur. Une bonne endurance aérobie permet au joueur de maintenir des efforts soutenus sur de longues périodes, favorisant ainsi ses performances technicotactiques et mentales tout au long du match et de la saison.

✓ VMA (Vitesse Maximale Aérobie) & VO₂max (Volume d'oxygène Maximal)

La Vitesse Maximale Aérobie (VMA) est la vitesse de course à partir de laquelle un athlète atteint sa consommation maximale d'oxygène (VO₂max). Selon Astrand et Rodhal (1980), la VO₂max est définie comme la consommation maximale d'oxygène qu'un individu peut atteindre lors d'un exercice musculaire intense. Connaître sa VMA est essentiel pour planifier l'entraînement d'un footballeur, car cette valeur fournit des indications précieuses sur son potentiel actuel et futur. Elle est mesurée à l'aide de différents tests de terrain plus ou moins précis et faciles à mettre en œuvre. Dans le cadre d'une équipe de football, la VMA permet de déterminer les intensités de travail et la durée des efforts pour chacune de ces intensités. Plus le niveau de l'équipe est élevé, plus les joueurs ont besoin d'exercices spécifiques tel que la musculation et autres, en plus du travail sur la VMA ; de ce fait elle n'est pas le seul facteur à prendre en considération dans l'optimisation de la condition physique.

La **VO₂ max** (Volume d'oxygène Maximal ou consommation maximale d'oxygène) est un indicateur fondamental de la capacité aérobie ou aptitude aérobie, représentant le volume maximal d'oxygène qu'un individu peut consommer en millilitre par minute lors d'un effort physique intense donnant ainsi la VO₂max **absolue** (ml.min⁻¹) ; rapportée au poids corporel, elle exprime la VO₂ max **relative** (ml.kg⁻¹.min⁻¹). Elle reflète l'efficacité du système cardio-respiratoire et musculaire à transporter et à utiliser l'oxygène.

Le calcul et l'estimation du volume d'oxygène transporté et consommé est réalisé à partir de l'équation dont la VO₂ est considérée comme un débit : $VO_2 = Q \times d_{(a-v)}O_2$; où Q = débit cardiaque et $d_{(a-v)}O_2$ = différence artério-veineuse en O₂. Le débit cardiaque correspond au produit $Q = Fc \times VES$ (*Fc* : Fréquence cardiaque, *VES* : Volume d'éjection systolique).

La mesure indirecte de l'aptitude aérobie a permis de développer plusieurs équations permettant d'estimer la VO₂ max, notamment dans des contextes de terrain. Par exemple, le test de Cooper (course de 12 minutes) utilise la formule : **VO₂ max (ml·kg⁻¹·min⁻¹) = (distance en mètres - 504.9) / 44.73** (Cooper, 1968). Le test de Léger-Boucher (test navette) repose sur une estimation en fonction de la vitesse maximale atteinte : **VO₂ max = 31.025 + 3.238 × V - 3.248 × Âge + 0.1536 × V × Âge**, où V est la vitesse maximale en km/h (Léger & Boucher, 1980).

La VO₂ max mesurée en laboratoire et de manière directe à l'aide d'un analyseur de gaz lors d'un effort à intensité croissante jusqu'à épuisement, reste la méthode de référence absolue en termes de précision (Bassett & Howley, 2000). Les applications de la VO₂ max sont multiples : évaluation de la performance aérobie chez les athlètes, suivi de l'efficacité des programmes

d'entraînement, dépistage de pathologies cardiovasculaires et prédiction du risque de mortalité chez les patients (Kodama et al., 2009). Son intégration dans les programmes de sport et de santé publique souligne l'importance de cette mesure pour le suivi individualisé et l'optimisation de la condition physique (Kodama et al, 2009).

✓ **La Puissance Maximale Aérobie (PMA)**

La filière aérobie, clé et facteur important de l'endurance, doit être développée en priorité pour son aspect de puissance aérobie. Cela permet de travailler à des intensités élevées, similaires à celles rencontrées lors d'un match. La puissance maximale aérobie est améliorée principalement par des exercices intermittents tels que 30"/30", 15"/15" ou 10"/10", consistant à effectuer des courses de 15 secondes suivies de 15 secondes de récupération pendant 6 à 8 minutes (Billat et al, 2004, Buccheit, 2008).

Pour ce type d'entraînement, il est primordial de calibrer les intensités de travail en fonction des capacités individuelles des joueurs. À cette fin, il est recommandé de réaliser un test en début de saison pour évaluer la Vitesse Maximale Aérobie (VMA) de chacun. Les résultats de ces tests permettront d'associer une vitesse de course spécifique à chaque joueur lors des entraînements intermittents.

Les intensités seront choisies en fonction du temps d'effort utilisé :

Travail de 30"/30" avec 95% à 105% de la VMA - Travail de 15"/15" avec 100% à 110% de la VMA

Travail de 10"/10" avec 110% à 120% de la VMA (Buccheit at al, 2013).

De même, le temps de travail total devra être ajusté en fonction de l'intensité, plus cette dernière sera élevée, plus le temps de travail doit être court. La puissance aérobie a un impact significatif sur la performance des joueurs de football. Notamment, sur leur capacité à répéter les sprints et actions intenses et sur leur capacité de récupération entre les actions brèves et intenses. L'intensité des actions est souvent proche du maximum pendant les 90 minutes d'un match ce qui implique une bonne récupération de la puissance musculaire entre les efforts. Ainsi, les joueurs peuvent mieux enchaîner les efforts explosifs tout au long du match. Cela est essentiel dans un sport comme le football, dont le travail est intermittent alternant des courses intenses avec des périodes de récupération.

Par ailleurs, on note que l'amélioration de la puissance aérobie permet d'augmenter l'efficacité de course, c'est-à-dire que le muscle dépense moins d'énergie pour le même travail et pour une même vitesse.

Donc, une adaptation à la gestion de la dépense énergétique qui se traduit par une meilleure endurance sur le terrain. Aussi, un entraînement visant à développer la puissance aérobie, comme

des exercices intermittents 15"/15" ou 30"/30", permet d'améliorer les performances lors des tests d'endurance intermittente spécifiques au football (ex : Yo-Yo Intermittent Recovery Test, Bangsbo et al, 2008 ; Buchheit, 2008).

En résumé, travailler la puissance aérobie permet aux footballeurs d'enchaîner plus facilement les efforts intenses, de mieux récupérer entre ces efforts, d'être plus efficaces dans leurs déplacements et d'augmenter leur endurance intermittente, facteurs clés de la performance sur un match.

✓ **La force / Vitesse**

La force musculaire est la capacité d'un muscle ou d'un groupe musculaire à développer une tension suite à une série de contractions musculaires, initiant l'action de mettre un corps en mouvement (Merzouk et al, 2009). Mécaniquement et cinématiquement, la force peut être représentée par ses caractéristiques à savoir : direction, sens, intensité, point d'application. Sur un plan dynamique et mécanique, la force musculaire représente la capacité motrice qui permet à l'homme de vaincre une résistance ou de s'y opposer par un effort intense de sa musculature. (Weineck 1996).

Plusieurs autres définitions sont utilisées pour définir la force en lien directe avec l'effort réalisé, le mode de contraction musculaire et les sollicitations coordonnées et synchronisées des groupes musculaires lors d'un mouvement précis. Il revient à considérer l'unité fonctionnelle du muscle c'est-à-dire le sarcomère limité par les stries « Z » et l'ensemble des déplacement des protéines contractiles avec la variation de la longueur entre les stries « Z » : Rapprochement des stries « Z » correspond au mode concentrique (diminution de la longueur sarcomérique), l'éloignement de ces même stries correspond au mode de travail excentrique (travail en résistance, avec augmentation de la longueur sarcomérique) alors quand cette longueur reste constante ceci correspond au mode isométrique. In vivo on observe et on qualifie ces modes à travers le rapprochement et l'éloignement des insertions musculaires (origines proximale et distale).

Lorsque cette force est développée de manière maximale ou explosive, elle favorise la puissance musculaire, qui correspond au produit de la force (F) par la vitesse (V) du mouvement ($P = F \times V$). La puissance musculaire peut également être exprimée comme la quantité de travail (T) effectuée contre une résistance par unité de temps (t) ($P = T / t$).

Donc, la force musculaire est la tension développée lors d'une contraction, tandis que la puissance musculaire est le produit de cette force par la vitesse du mouvement, ou encore le travail effectué par unité de temps.

La vitesse est une capacité essentielle qui permet d'accomplir des actions motrices avec la plus grande rapidité possible, reposant sur le fonctionnement des processus du système

neuromusculaire et de la force. Elle se définit également comme l'aptitude à exécuter un mouvement très rapidement ou à répéter un grand nombre de mouvements dans un temps donné.

Dans le football actuel, la performance de vitesse représente souvent un facteur décisif pour développer les qualités physiques du footballeur, optimiser les composantes de celle-ci pour une réussite dans sa pratique. Essentiellement, les composantes de la vitesse sont : capacité d'accélération et de démarrage, capacité à atteindre rapidement une vitesse maximale à partir d'une position statique ou en mouvement, vitesse de déplacement sur de courtes ou longues distances, vitesse d'exécution de mouvements, mouvements isolés acycliques avec combinaison de mouvements complexes (arrêt et redémarrage du mouvement, changements de direction, sauts et réception, rythme de jeu), capacité à enchaîner rapidement des actions techniques et tactiques.

L'interconnexion étroite entre les performances physiques et technico-tactiques liées à la vitesse est typique des exigences du football moderne. Les compétitions actuelles et futures mettent l'accent sur les capacités de vitesse générale, d'accélération, de démarrage, ainsi que sur les vitesses acycliques, particulièrement dans les mouvements sur espaces réduits. Ces éléments doivent donc être priorisés dans la préparation globale des joueurs.

✓ **La coordination Motrice / Adresse et Précision**

La coordination motrice est un facteur essentiel de la performance ; c'est la faculté d'exécuter avec vitesse et efficacité un mouvement intentionnel pour résoudre une tâche concrète simple ou complexe. La capacité de coordination synonyme d'adresse repose principalement sur les processus de contrôle et de régulations nerveuses et neuromusculaires des mouvements, de la posture et celui de l'équilibre. Une bonne coordination facilite l'apprentissage rapide des gestes techniques complexes.

Dans la pratique physique et sportive, cette coordination motrice repose sur l'apprentissage et l'entraînement pour la réalisation de gestes techniques précis. Ces derniers sont réalisés avec souplesse et une certaine vitesse, avec une dépense énergétique minimale et un geste adapté aux contraintes environnementales ; tout ceci représente certaines capacités de la coordination motrice selon plusieurs auteurs. À la base d'une bonne maîtrise technique gestuelle, les capacités de coordination permettent de contrôler, réguler et maîtriser avec précision les mouvements segmentaires et dynamiques et les mouvements de déplacement.

Les capacités de coordination jouent un rôle crucial dans la maîtrise technique au football. Elles permettent aux joueurs de contrôler, réguler et exécuter avec précision les mouvements techniques, tant dans des situations prévisibles que dans des situations imprévisibles.

Ainsi, l'optimisation de la coordination motrice chez le sportif d'un certain niveau de pratique est une tendance logique vers plus de précision du geste technique et technico-tactique

dans sa réalisation à un niveau complexe par le sportif qui maîtrise mieux les caractéristiques spatiale, temporelle et dynamique du mouvement. La préparation physique et l'entraînement permettent le maintien de cette optimisation par la reproductibilité de la fiabilité du geste technique et de la réussite dans sa réalisation.

Les capacités de coordination sont fondamentales pour une bonne maîtrise technique au football, car les exigences de la pratique du football sont liées aux performances de force dynamique, particulièrement la force explosive dans les sauts, les frappes de balle et de tête, ainsi que les changements de direction, dans le but de conserver la possession du ballon. Ces éléments clés pour le développement des capacités physiques et celui de la performance dans la pratique footballistique reposent sur une bonne coordination d'ensemble.

✓ La Souplesse (Vélocité)

La souplesse est définie comme l'aptitude de mobilité segmentaire d'une ou plusieurs articulations, permettant une plus grande amplitude articulaire lors de la réalisation de gestes techniques spécifiques et adaptés (Beyer 1983, Hoff. 2005). La réalisation de gestes technico-tactiques spécifiques à la discipline sportive repose en partie sur cette aptitude tissulaire et articulaire acquise par l'entraînement. La souplesse qualifiée de vélocité en physiologie peut être étudiée à travers les concepts biomécaniques de la raideur et des contraintes mécanique du compartiment musculaire. Certaines approches distinguent la souplesse articulaire active permettant d'avoir une amplitude segmentaire maximale obtenue par une action musculaire concentrique, d'une souplesse passive due à un mouvement de résistance obtenu grâce à l'action de forces extérieures de résistance en mode excentrique.

La préparation physique ainsi que les entraînements spécifiques aux disciplines sportives induisent à la longue une vélocité appropriée et spécifique à la discipline sportive, impactant d'une façon significative les différents éléments actifs et passifs de l'appareil locomoteur (APL).

Ainsi, certaines approches de la préparation physiques tel que les étirements passifs et actif contribuent énormément à optimiser la souplesse tissulaire et articulaire du sportif d'une part et à éviter les blessures d'autre part. Ceci a permis d'initier divers programmes d'étirements et d'assouplissements indispensable et nécessaire dans la pratique sportive, à réaliser avant et après match et aussi lors des périodes de décrassage et de récupération post-match. Plusieurs travaux ont mis en évidence l'importance au niveau métabolique et énergétique l'application et la réalisation des étirements d'assouplissement dans le cadre de la préparation physique ; tel que la capacité à stocker de l'énergie afin de permettre une plus grande restitution de celle-ci sur le mouvement spécifique ou bien l'optimisation de l'élasticité tendon-muscle induite via l'entraînement pliométrique (basé sur les cycles étirements-raccourcissements musculaires). Ces éléments

potentialisent nécessairement la contraction musculaire pour des gains en force musculaire plus important (Zatsiorski 1966 ; Cometti, 2004), une diminution des inhibitions concernant le réflexe myotatique (Schmidtbleicher. 1985 ; MC Hugh et al, 2008) et enfin une élévation du seuil d'activation des récepteurs de Golgi (Ziltener et al, 2005), permettant ainsi un mouvement complet réalisé pleinement et en toute souplesse et vélocité.

Faire le point sur les connaissances concernant la performance et l'entraînement en force-vitesse (Puissance) dans le domaine de la pratique du football en particulier et la pratique physique et sportive en générale, revient à considérer les travaux récents indiquant les principaux processus et paramètres responsables des caractéristiques physiologiques et mécaniques du compartiment musculaire (Merzouk et al, 2009) d'une part et les adaptations physiologiques fibrillaires et métaboliques en termes d'hypertrophie et d'hyperplasie d'autre part. Tout en rappelant les bases de la genèse de la contraction musculaire source complexe de la force, de la vitesse et du travail musculaire.

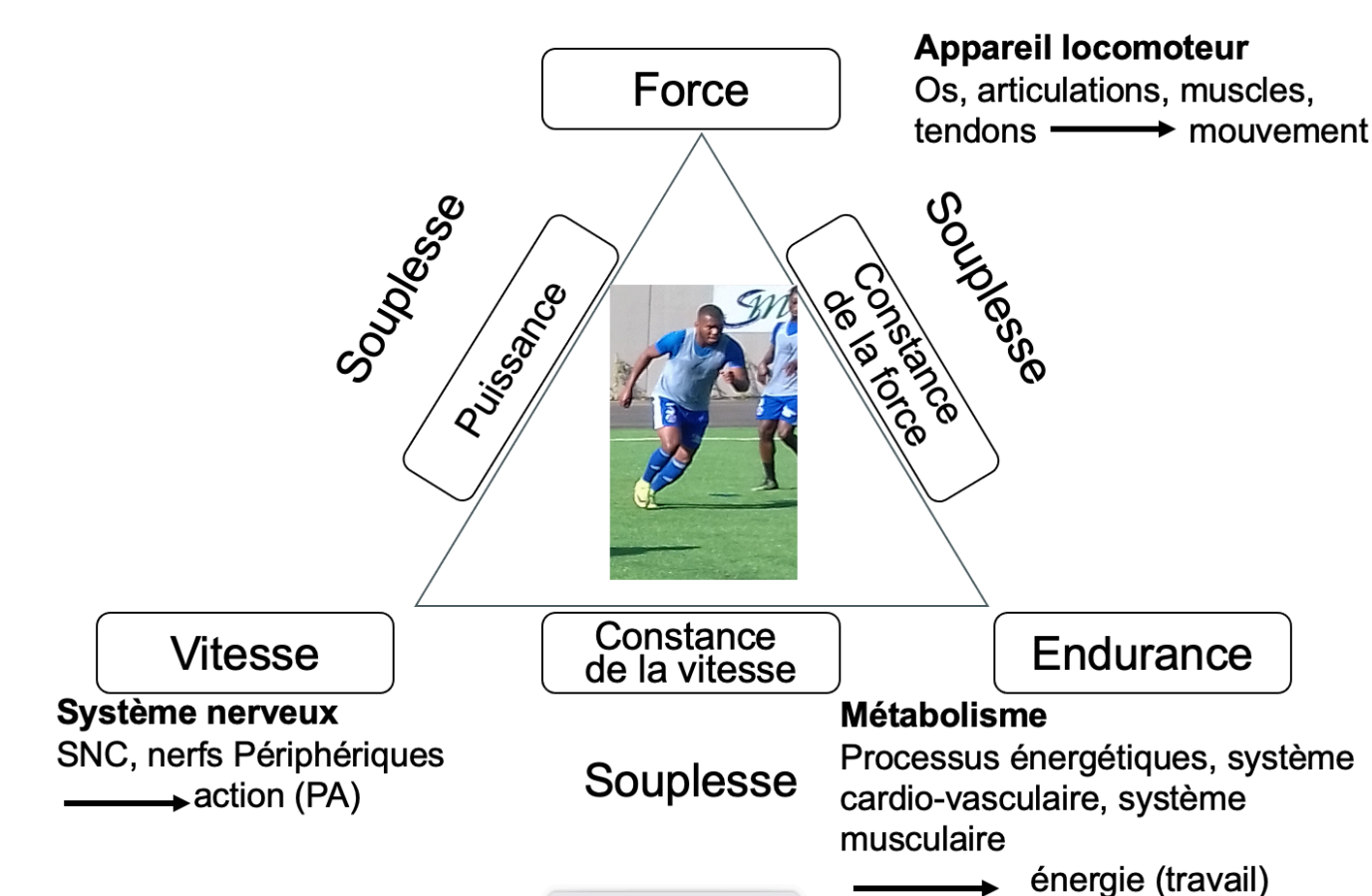


Figure 2 : les différentes qualités physiques requises pour la pratique footballistique (Triangulation selon Weineck 1990, Adaptée par A Merzouk 2003)

1.2 Principes de l'entraînement sportif

L'entraînement est un processus structuré et méthodique visant à améliorer les performances physiques et mentales des athlètes. Il repose sur plusieurs principes fondamentaux, notamment la spécificité, la progressivité, la périodisation, et la récupération. Ces principes sont essentiels pour optimiser les performances et minimiser les risques de blessures.

✓ **Individualisation**

L'individualisation de l'entraînement sportif est un principe fondamental qui reconnaît que chaque athlète possède des caractéristiques physiologiques, biomécaniques et psychologiques uniques. Par conséquent, un programme d'entraînement standardisé ne produira pas les mêmes résultats pour tous les individus. Les réponses adaptatives à un programme d'entraînement peuvent varier considérablement en fonction de facteurs génétiques, de l'historique d'entraînement, de l'état de santé, et des objectifs spécifiques de chaque athlète (Kiely, 2012). Pour optimiser les performances, il est crucial d'adapter les programmes d'entraînement aux besoins individuels de chaque athlète. Cela peut inclure la modification des volumes et des intensités d'entraînement, l'intégration de techniques spécifiques de récupération, et l'ajustement des stratégies nutritionnelles (Bompa & Haff, 2009). L'utilisation de tests et d'évaluations régulières permet de surveiller les progrès et d'ajuster les programmes en conséquence pour maximiser les adaptations positives et minimiser les risques de blessures (Stone et al., 2007).

✓ **Spécificité**

Principe clé de l'entraînement sportif, elle consiste à adapter les exercices et les méthodes d'entraînement aux exigences spécifiques du sport pratiqué. Par exemple, un coureur de fond se concentrera sur des entraînements axés sur l'endurance et la capacité aérobie, tandis qu'un haltérophile mettra l'accent sur la force explosive (Bompa & Haff, 2009). La spécificité implique également de prendre en compte les capacités individuelles de chaque athlète pour définir des objectifs réalistes et des contenus d'entraînement adaptés (Issurin, 2008).

✓ **Continuité**

Le maintien des adaptations acquises lors de l'entraînement sportif est un aspect crucial pour préserver les gains de performance obtenus. Lorsque l'entraînement est interrompu ou réduit de manière significative, un phénomène connu sous le nom de "désentraînement" peut se produire, entraînant une perte progressive des adaptations physiologiques et des capacités physiques développées (Mujika & Padilla, 2000).

Le désentraînement est un processus réversible qui se produit lorsque les stimuli d'entraînement sont supprimés ou considérablement réduits. Les adaptations acquises lors de l'entraînement, telles que l'augmentation de la force musculaire, de l'endurance cardiovasculaire et de la puissance, commencent à diminuer progressivement (Mujika & Padilla, 2001). La vitesse à laquelle ces adaptations sont réduites dépend de plusieurs facteurs, notamment la durée et l'intensité de l'entraînement précédent, ainsi que les caractéristiques individuelles de l'athlète (Coyle et al., 1984).

Pour éviter le désentraînement et préserver les adaptations acquises, il est essentiel de maintenir un niveau d'entraînement régulier et continu, même pendant les périodes de transition ou de repos. L'entraînement de maintien, qui consiste à réduire le volume et l'intensité de l'entraînement tout en conservant une certaine charge de travail, peut aider à minimiser la perte des qualités physiques développées (Mujika & Padilla, 2000).

✓ **Progressivité**

Le corps humain possède une capacité remarquable à s'adapter aux stress imposés par l'entraînement. Lorsqu'une surcharge appropriée est appliquée, le corps réagit en activant des processus physiologiques et métaboliques visant à s'adapter à cette nouvelle demande (Fleck & Kraemer, 2004). Ces adaptations peuvent inclure l'hypertrophie musculaire, l'augmentation de la capacité cardiovasculaire, l'amélioration de l'efficacité énergétique, et le renforcement des systèmes neuromusculaires.

L'intensité fait référence à la charge de travail relative appliquée pendant l'entraînement. Elle peut être exprimée en pourcentage de la force maximale, de la vitesse maximale, ou d'autres mesures spécifiques au sport. L'augmentation progressive de l'intensité est essentielle pour stimuler des adaptations continues et éviter la stagnation de la performance (Kraemer & Ratamess, 2004).

Le volume d'entraînement fait référence à la quantité totale de travail effectué, généralement exprimée en termes de distance parcourue, de nombre de répétitions ou de durée d'entraînement. L'augmentation progressive du volume permet d'imposer une charge de travail supplémentaire au corps, favorisant ainsi des adaptations spécifiques (Fleck & Kraemer, 2004).

Bien que la surcharge progressive soit essentielle pour stimuler des adaptations, il est crucial de gérer cette surcharge de manière appropriée pour minimiser les risques de blessure et de surentraînement. Une augmentation trop rapide ou excessive de la charge d'entraînement peut entraîner des dommages tissulaires, une fatigue excessive et une diminution des performances

(Halson, 2014). Une approche progressive et individualisée, avec une surveillance étroite des réponses de l'athlète, est recommandée pour optimiser les gains tout en minimisant les risques.

✓ **Récupération**

La récupération est un facteur crucial de la performance sportive, souvent sous-estimé. Elle permet aux systèmes physiologiques de se réparer et de s'adapter aux charges d'entraînement. Une récupération adéquate améliore la performance en permettant une meilleure assimilation des adaptations induites par l'entraînement (Kellmann, 2010). La récupération peut inclure des journées de repos complet, des séances de récupération active ou passive, ou bien des techniques de récupération spécifiques telles que les massages et les bains de glace.

Pour les athlètes débutants, il est particulièrement important d'intégrer des jours de repos réguliers dans le programme d'entraînement. Un jour de repos hebdomadaire est souvent recommandé pour permettre une récupération suffisante et prévenir le surentraînement (Kraemer & Fleck, 2007). Cette approche aide à construire une base solide de la condition physique sans surcharger le système musculo-squelettique et le système nerveux central.

En alternant les périodes d'intensité, la périodisation ondulatoire prépare l'organisme à de nouvelles charges d'entraînement intensives. Les phases de récupération permettent de réduire la fatigue accumulée et de restaurer les réserves énergétiques, ce qui est essentiel pour maintenir des performances élevées sur le long terme (Rhea & Alderman, 2004). Cette approche est particulièrement efficace pour les athlètes de haut niveau qui doivent gérer des charges d'entraînement élevées tout au long de l'année.

✓ **Périodisation**

La périodisation de l'entraînement est une méthode structurée de la planification qui divise l'année d'entraînement en périodes distinctes (Figure 3), chacune ayant des objectifs spécifiques. Cette approche permet de passer d'un travail général à un travail spécifique, en fonction des exigences de la discipline sportive. La périodisation est généralement organisée en macrocycles, mésocycles et microcycles, permettant une gestion précise et progressive de la charge d'entraînement (Bompa & Haff, 2009).

La planification de l'entraînement est souvent divisée en trois grandes périodes :

La préparation physique générale (PPG), la préparation physique spécifique (PPS), et la préparation à la compétition (PPC).

- Préparation Physique Générale (PPG) : Cette période se concentre sur le développement des capacités physiques de base, telles que l'endurance, la force, et la flexibilité. L'objectif

est de créer une base solide sur laquelle les adaptations spécifiques pourront être construites (Issurin, 2008).

- Préparation Physique Spécifique (PPS) : Durant cette période, l'entraînement devient plus spécifique aux exigences de la discipline sportive. Les exercices et les charges d'entraînement sont ajustés pour imiter les conditions de compétition et améliorer les compétences techniques et tactiques (Bompa & Haff, 2009).
- Préparation à la Compétition (PPC) : Cette phase vise à affiner les performances et à atteindre le pic de forme pour les compétitions importantes. L'accent est mis sur l'optimisation de la performance et la réduction de la fatigue accumulée (Issurin, 2008).

La périodisation permet une transition progressive du travail général au travail spécifique. Cette approche est cruciale pour développer les capacités physiques de base avant de se concentrer sur les compétences spécifiques à la discipline sportive. En structurant l'entraînement de cette manière, les athlètes peuvent maximiser leurs adaptations physiologiques et techniques, tout en minimisant les risques de surentraînement et de blessures (Kiely, 2012).

✓ **La planification de l'entraînement**

La planification de l'entraînement est un processus complexe qui ne peut être considéré comme une science exacte en raison des nombreuses incertitudes liées à sa nature multifactorielle. Elle requiert une combinaison de connaissances scientifiques issues de méthodes expérimentales et d'habiletés pratiques acquises par l'expérience empirique des entraîneurs.

Au-delà de la simple programmation des contenus d'entraînement, la planification englobe l'organisation globale de l'environnement dans lequel se déroulera la préparation. Elle peut donc être considérée comme un élément essentiel d'une approche sportive structurée en plusieurs étapes :

- Définition des objectifs à long, moyen et court terme, tout en considérant les limites potentielles liées à l'athlète et à son environnement.
- Identification des capacités requises pour atteindre la performance visée.
- Établissement d'une planification à long terme guidant les orientations prioritaires, les programmes annuels et les périodes d'entraînement.
- Mise en place d'un système d'accompagnement multidisciplinaire (médical, psychologique, matériel, etc.).
- Sélection de tests valides, fiables et accessibles pour évaluer et suivre les capacités ciblées.
- Choix de méthodes d'entraînement adaptées aux priorités et exigences de la performance.

- Formation continue des entraîneurs et athlètes.
- Ajustements réguliers basés sur l'analyse des résultats des tests de performance.
- Évaluation annuelle des conditions matérielles, sociales, médicales et psychologiques entourant la préparation.

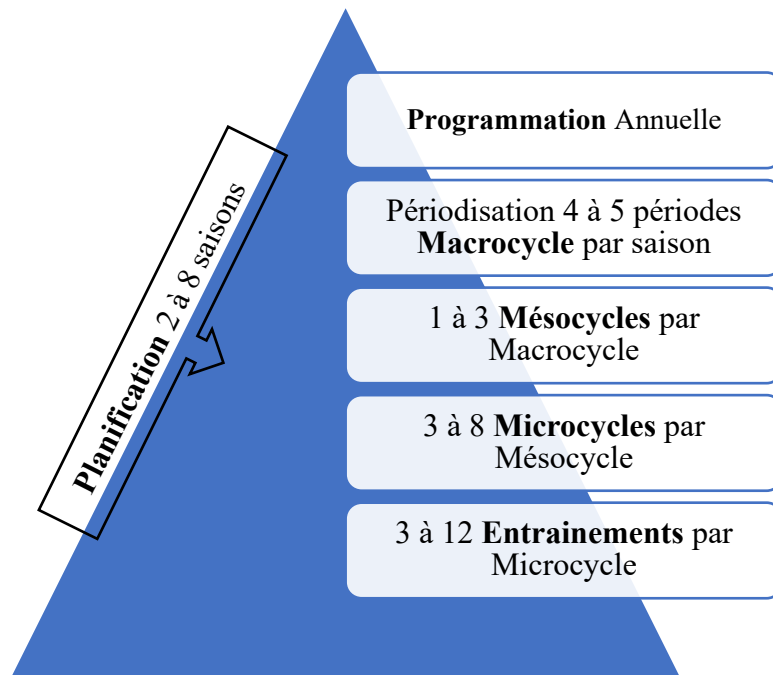


Figure 3 : Organigramme : Planification, Programmation et Périodisation de l'entraînement.

L'entraînement footballistique se divise en deux périodes principales : la préparation d'avant-saison et la période de compétition. La phase de préparation, d'une durée de 4 à 6 semaines, se caractérise par une charge d'entraînement élevée, avec des séances biquotidiennes et un volume de course accru. La période de compétition s'étend sur environ 39 semaines, avec une réduction du nombre de séances hebdomadaires (Figure 3).

La programmation hebdomadaire s'adapte au rythme des matchs, alternant travail physique, technique et tactique. Les exercices se répartissent en trois catégories : jeux et exercices spécifiques au football, exercices d'endurance, et exercices de puissance musculaire et de vitesse maximale. Chaque type d'exercice vise des objectifs précis, de la reproduction de situations de jeu à l'amélioration de la capacité aérobie et au développement de la force explosive.

✓ **La programmation de l'entraînement**

La programmation de l'entraînement est une approche prophylactique qui, dans le cadre d'une planification préalablement définie, consiste à élaborer un plan détaillé des contenus

d'entraînement pour une saison sportive. Ces contenus doivent inclure un ensemble d'instructions nécessaires à l'exécution d'une suite logique d'opérations adaptées au rythme d'acquisition de l'athlète, dans le but de développer les capacités requises pour la performance visée.

Bases de la Programmation

La programmation et la périodisation de l'entraînement sont des pratiques théorisées qui ne reposent pas toujours sur des bases expérimentales solides. Cependant, elles sont guidées par des principes généraux, souvent issus de l'expérience empirique et des pratiques des anciens pays de l'Est. Un moyen mnémotechnique pour se souvenir des différentes conditions à mettre en œuvre dans une programmation est l'acronyme F.A.I.T.P.A.S., où chaque lettre représente une modalité spécifique

(Fréquence-Assiduité-Intensité-Temps-Progressivité-Alternance-Spécificité).

Fréquence : La fréquence peut être appréhendée de plusieurs façons, telles que le nombre de répétitions d'un exercice au sein d'une série, le nombre de séries au sein d'une séquence, le nombre de séquences au sein d'une séance, et le nombre de séances d'entraînement au sein d'un microcycle. Les combinaisons possibles de ces modalités sont multiples et dépendent de plusieurs facteurs, notamment l'effet recherché, le niveau d'entraînement de l'athlète, et les interactions entre la durée, l'intensité, et la nature des récupérations intermédiaires.

Assiduité : L'assiduité est cruciale pour maintenir et améliorer la condition physique. Les spécialistes de la physiologie de l'exercice soulignent que le bénéfice de l'entraînement est long et difficile à acquérir, relativement aisé à entretenir, mais très facile à perdre. Une période d'inactivité de quatre semaines ou plus nécessite une reprogrammation complète de l'entraînement. Il est donc recommandé de maintenir une ou deux séances hebdomadaires même pendant les périodes d'interruption pour entretenir les acquis.

Intégration des Modalités : Bien que chaque modalité de l'acronyme F.A.I.T.P.A.S. représente une condition spécifique, elles sont en constante interaction dans la pratique. Par exemple, la fréquence des séances d'entraînement doit être équilibrée avec l'intensité et la durée des exercices pour optimiser les adaptations physiologiques et minimiser le risque de surentraînement.

La programmation de l'entraînement, bien que théorisée, elle doit être flexible et adaptée aux besoins individuels de l'athlète. Elle repose sur une combinaison de principes empiriques et scientifiques pour structurer les contenus d'entraînement de manière à maximiser les performances tout en minimisant les risques de blessures et de surentraînement.

✓ **Programmation d'une semaine d'entraînement**

La programmation hebdomadaire s'adapte au rythme des compétitions. Le nombre de séances est réduit à environ 6 par semaine pendant la période de compétition. L'organisation des

séances tient compte de l'alternance entre travail physique, technique et tactique, ainsi que de la gestion de la récupération entre les matchs.

Classification des exercices spécifiques au football

Les exercices d'entraînement sont catégorisés en fonction de leurs objectifs et de leur intensité. Cette classification permet d'optimiser la planification et l'efficacité des séances.

La catégorie 1, comprend des exercices qui reproduisent les situations de jeu, comme les jeux réduits. Ces exercices visent à améliorer simultanément la condition physique et les compétences techniques des joueurs dans un contexte proche des conditions de match.

La catégorie 2 regroupant les exercices d'endurance, sont conçus pour améliorer la capacité aérobie des joueurs. Ils peuvent inclure des exercices intermittents et sont souvent individualisés selon les postes des joueurs pour répondre aux exigences spécifiques de chaque rôle sur le terrain. Enfin, les exercices de puissance musculaire et de vitesse maximales sont classés dans la catégorie 3. Cette dernière englobe les exercices de renforcement musculaire et de développement de la vitesse. Elle comprend le travail en salle de musculation, des exercices sur le terrain, et met l'accent sur le travail prophylactique pour prévenir les blessures.

2. La préparation physique en football

Cette préparation physique est sectionnée en deux grandes phases, la préparation physique générale (PPG) et la préparation physique spécifique (PPS), le plus souvent associées en football à une phase troisième partie qui est la phase de Pré-Compétition ou Phase d'Affûtage. Ces phases sont interdépendantes et chacune d'elles est structurée en plusieurs parties complémentaires.

2.1 La Préparation Physique Générale (PPG)

La Préparation Physique Générale (PPG) est définie comme un ensemble de procédures visant principalement à créer chez l'athlète un état physique et mental lui permettant d'aborder l'entraînement spécifique. Selon la FIFA (2002), elle possède des objectifs clairs, à savoir le développement des différentes qualités physiques.

L'objectif recherché est de favoriser l'équilibre général entre ces qualités, de sorte que le footballeur acquière le potentiel le plus complet possible et évite qu'un déficit chronique n'affecte l'un des facteurs de ses déterminants de la performance et de sa motricité ; tout en conservant la motivation du footballeur tout au long de ce processus (Kryscak et al,2023). De ce fait, la PPG représente une partie très importante de cette période de préparation physique, en veillant au poids

des joueurs et au maintien en équilibre des fonctions respiratoires et cardio-vasculaires. La PPG vise par ailleurs, à développer les qualités physiques de base nécessaires à la pratique du football de haut niveau, tout en préparant le corps des joueurs à supporter des charges d'entraînement spécifiques au football et à une pratique physique intense.

Le développement équilibré des différentes qualités physiques de base dites fondamentales comme l'endurance, la force, la vitesse et la coordination, permet de construire des bases athlétiques solides chez le footballeur. Aussi, ce développement et l'acquisition d'une bonne base athlétique de la part du joueur permettent de le prémunir contre les risques de blessures liées à un entraînement intensif ou autres (Moalla et al, 2006 ; Temfemo et al, 2007). Par ailleurs, la PPG présente une double prévention physique et psychologique. Hormis l'aspect physique, la PPG contribue également au développement de qualités psychologiques telles-que la motivation, la confiance en soi et l'enthousiasme, essentielles chez le joueur.

Donc, la préparation physique générale pose les bases d'un développement athlétique complet et sain du footballeur, tant sur le plan physique que psychologique, tout en le préparant aux charges d'entraînement spécifiques propres à la discipline et à son intensité de pratique (Ramirez Campilo et al, 2021).

2.2 La Préparation Physique Spécifique (PPS)

La Préparation Physique Spécifique (PPS) est consacrée à l'atteinte de l'état de forme optimale, c'est-à-dire l'harmonisation et l'optimisation de tous les facteurs déterminants de la performance pour la réussite en compétition (Dellal, 2008, Ramirez Campilo et al, 2021). Orientée vers la discipline sportive concernée, cette phase nécessite un investissement physique et psychologique important de l'athlète. Comme souligné par plusieurs auteurs ainsi que par les grandes instances du football (FIFA 2002, Kryszak et al,2023), mettre en œuvre les ressources d'un individu ne peut se faire sans une volonté de dépassement de soi soutenue par une motivation intrinsèque et profonde (Ferhani et al, 2024).

Au cours de cette phase spécifique, plusieurs points sont visés comme objectifs tels que, le gain en explosivité afin de réaliser un match complet à haute intensité accompagné d'efforts spécifiques au match (changements de direction, démarrages et blocages, sauts), toute en développant une bonne capacité de récupération.

Cette PPS passe nécessairement par le développement des qualités athlétiques et psychologiques nécessaires pour performer lors des matchs et des compétitions. S'appuyant sur ce développement, la PPS apparait comme une phase d'optimisation des qualités physiques spécifiques au football

travaillées lors de la PPG ainsi que les déterminants physiques et physiologiques de la performance (vitesse, force et puissance, explosivité, endurance intermittente) qualités essentielles pour répondre aux efforts intenses et répétés exigés par le jeu. L'atteinte d'une condition physique optimale pour répondre aux exigences d'une compétition d'un haut niveau c'est-à-dire des charges intenses, passe forcément par le développement des qualités spécifiques à la discipline et par l'optimisation de la condition physique idéale à la compétition intensive. Ceci permettra par ailleurs de réduire les risques de blessures au vu du nombre important de chocs, de changements de direction et décélérations observés pendant ces matchs et ces compétitions intenses. Le travail avec et sans ballon faisant partie intégrante du geste technique en football est travaillé aussi bien en PPG qu'en PPS, en phase avec l'ensemble des autres qualités physique spécifiques au football. La préparation physique spécifique vise à doter les footballeurs des qualités physiques et mentales requises pour performer lors des matchs, tout en minimisant les risques de blessures liés aux charges élevées de la compétition.

2.3 La Phase de Pré-Compétition ou Phase d'Affûtage

Selon l'organigramme de la préparation et de l'entraînement, cette phase d'affûtage est positionnée dans les dernières semaines avant le début de la période de compétition. Elle est assimilée à une phase synonyme de période de récupération physique et psychologique suite aux charges de travail imposées lors de la préparation physique spécifique ; d'où l'appellation d'affûtage" (Bangsbo et al,2023).

En parallèle à la récupération physique et mentale, les objectifs poursuivis lors de cette phase de pré-compétition sont essentiellement, le rappel d'exercices modérés afin de maintenir les différentes qualités athlétiques à un niveau optimal pour aborder la compétition ; tout en passant en revue les réglages tactiques et technico-tactiques ainsi que les stratégies de jeu.

Durant cette phase, tous les facteurs et procédés favorables à la récupération sont mis en œuvre ; la gestion de la charge d'entraînement (CE) et de sa réduction notoire, ainsi que la diminution du volume et de l'intensité des séances tout en maintenant un niveau d'activité suffisant pour conserver les acquis.

Par ailleurs, une attention particulière sera portée au sommeil, à la nutrition et aux périodes de repos des joueurs. Un sommeil suffisant (7-9 h/nuit), des journées de repos intégrées au programme, une alimentation équilibrée riche en protéines, glucides et nutriments essentiels favorisant la récupération musculaire et la régénération des réserves énergétiques, avec un apport hydrique optimal. Des séances de récupération active basse intensité dite légère (footing, vélo,

étirements) en parallèle aux soins de kinésithérapie, de physiothérapie et massages sont au programme ; tout-cela permettra une métabolisation accrue des déchets métaboliques avec une réduction significative des tensions musculaires et des éventuelles courbatures, accélérant le processus de récupération après les charges d'entraînement, tout en maintenant une activité modérée. Un suivi individualisé via des tests physiques et questionnaires permet d'ajuster au mieux la charge de travail et les besoins en récupération spécifiques ; accompagné d'une gestion du stress à travers la méditation, le travail sur la respiration ou la visualisation mentale ceci complètera la récupération sur le plan psychologique.

Une approche globale intégrant tous ces facteurs est nécessaire pour optimiser la récupération des joueurs avant la période cruciale de compétition, tout en maintenant les joueurs à leur pic de forme optimal. (FIFA, 2002, Ferhani et al, 2024).

2.4 Organisation de la préparation physique

La préparation physique des athlètes est un élément crucial dans leur développement et leur performance, souvent fractionnée en trois types d'organisations : dissociée, associée et intégrée. Dépendantes de la période de la saison et des objectifs visés, chacune de ces approches présente aussi bien des avantages que des inconvénients spécifiques dans sa réalisation. Essentiellement, la facilité plus ou moins grande de cibler une filière énergétique précise en appréciant la charge d'entraînement souhaitée ; ou bien la rapidité et l'efficacité de transfert du développement d'une qualité précise vers un geste technique spécifique et enfin la disponibilité des athlètes et des infrastructures.

✓ Préparation physique dissociée (PPD)

- *Organisation* : Dans cette approche, les séances physiques et techniques sont séparées. Cela permet d'utiliser des exercices physiques paramétrés et programmés de manière spécifique, sans interférence avec les aspects techniques.

- *Période de réalisation* : La préparation physique dissociée est généralement utilisée de la reprise d'entraînement jusqu'à la fin de la période de développement des qualités physiques visées, c'est-à-dire pendant les phases préparatoire et spécifique.

✓ Préparation physique associée (PPA)

- *Organisation* : Dans ce cas, le temps et les charges de travail physique et technique s'alternent au sein d'une même séance. L'objectif est d'étayer la performance en ciblant une qualité physique particulière à travers des exercices spécifiques.

- *Période de réalisation* : La préparation physique associée est généralement utilisée pendant la période de maintien du potentiel, où seuls des rappels de charge sont nécessaires (phase précompétitive).

✓ **Préparation physique intégrée (PPI)**

- *Organisation* : dans ce cadre, la dimension physique est intégrée directement dans la pratique spécifique de la discipline sportive. Il ne s'agit pas réellement d'une préparation physique méthodologique, mais plutôt d'une utilisation des qualités physiques dans le cadre de l'activité.

- *Période d'utilisation* : La préparation physique intégrée est généralement utilisée pendant la période d'affûtage et de compétition, lorsque la priorité absolue est donnée à la dimension technico-tactique.

La quantification de la charge de travail à l'aide de système tel que les systèmes GPS, lors de cette phase permet une meilleure appréciation de la PPI.

3. Analyse de la discipline : football

Le football est une discipline en constante évolution, caractérisée par des changements significatifs en termes de vitesse, de réduction des espaces de jeu, et d'exigences techniques et physiques. Cette transformation nécessite une attention particulière pour comprendre les impacts physiques des matchs de haut niveau (Houllier, 2007 ; Di Salvo et al., 2007 ; Dupond et al, 2019).

Pour optimiser l'entraînement des joueurs de football, il est crucial de comprendre comment les joueurs dépensent leur énergie et les types d'efforts qu'ils effectuent durant un match. Cela inclut une analyse quantitative de la distance totale parcourue et une analyse qualitative des temps de récupération entre les sprints, particulièrement pour des postes spécifiques comme celui d'attaquant (Mohr, Krustup, & Bangsbo, 2003).

Les études montrent que les joueurs de football de haut niveau parcourent en moyenne entre 10 et 13 kilomètres par match, avec des variations en fonction du poste et du style de jeu. Cette distance comprend des phases de course à haute intensité, de sprint, et de marche, ce qui souligne l'importance de l'endurance et de la capacité à répéter des efforts intenses (Di Salvo et al., 2007).

	INTERNATIONAL JUNIOR Catégorie: A			PROFESSIONNEL					
	DEF	MIL	ATT	DEF-C	DEF-L	MIL-D	MIL-O	ATT-P	ATT-S
MARCHE (Km)	3	1,9	4,6	4,2	2,8	2,4	2,2	4,4	2,2
TROT (Km)	2,5	5,9	2,2	2,7	4,2	9,4	6,8	2,1	5,0
COURSE (Km)	1,2	1,2	1,0	0,5	1,3	0,6	2,6	1,3	0,6
SPRINT (Km)	0,9	0,8	1,4	0,5		0,6		0,9	

Tableau 1. Distance totale parcourue aux différentes allures, selon le poste occupé et le niveau, (Verheijen, 1998).

DEF : Défenseur ; Mil : Milieu ; ATT : Attaquant ; DEF-C : Défenseur Central ; DEF-L : Défenseur Latéral ; Mil-D : Milieu Défensif ; MIL-O : Milieu Offensif ; ATT-P : Attaquant de pointe ; ATT-S : Attaquant de soutien

	International Danois	1ère Ligue Anglaise
ARRET (Sec)	7'	
MARCHE (Km)	3,4	3,2
TROT (Km)	2,2	2,4
COURSE LENTE (Km)	3,2	3,1
COURSE MOYENNE (Km)	1,3	1,2
COURSE RAPIDE (Km)	0,6	0,7
SPRINT MAX (Km)	0,4	0,3
MARCHE ARRIERE (Km)	0,4	0,35

Tableau 2. Distance totale parcourue aux différentes allures et selon le niveau de jeu, (Bangsbo, 1994).

	DPm	DPMm (0-7,2km/h)	DPCFIm (7,2-14,4km/h)	DPCMIm (14,4-19,8km/h)	DPCHIm (19,8-25,2km/h)	Nb Sp > 25,2 km/h
Défenseurs Centraux	9995	3846	1458	278	76	18
Défenseurs Latéraux	11233	3504	1601	211	123	31
Milieus	11748	3341	1726	467	118	24
Attaquants	10233	3844	1361	321	95	27

Tableau 3. Distances parcourues durant un match selon les postes et l'intensité de course, (Rampinini et al, 2007).

1. DPm : Distance parcourue en mètre
2. DPMm (0 – 7,2 km/h) : Distance parcourue en marche en mètre (0 - 7,2 km/h)
3. DPCFIm (7,2 - 14,4 km/h) : Distance parcourue en course de faible intensité en m (7,2 - 14,4 km/h)
4. DPCMIm (14,4 – 19,8 km/h) : Distance parcourue en course de moyenne intensité en m (14,4 - 19,8 km/h)
5. DPCHIm (19,8 – 25,2) : Distance parcourue en course de haute intensité en m (19,8 - 25,2km/h)
6. Nb Sp > 25,2 km/h : Nombre de sprints (supérieur à 25,2 km/h)

3.1 Catégorisation des intensités d'activité physique chez les footballeurs

De nombreuses technologies ont été utilisées, comparées et validées scientifiquement pour mesurer l'activité physique des joueurs de football, notamment les systèmes semi-automatiques à multiples caméras, l'analyse vidéo des déplacements en fonction du temps, et les GPS.

Quelle que soit la méthode utilisée, la littérature distingue généralement les distances parcourues selon des catégories de vitesses prédéfinies pour quantifier l'intensité de l'activité, en match et à l'entraînement : "Piétinement" (0-0,7 km/h), Marche (0,2-2 m/s = 0,07-7,2 km/h), Trotinement ou course à basse intensité (2-4 m/s = 7,2-14,4 km/h), Course à intensité modérée (4-5,5 m/s = 14,4-19,8 km/h), Course rapide ou haute intensité (HI) (5,5-7 m/s = 19,8-25,2 km/h), Sprint (>7 m/s ou >25,2 km/h).

Certaines études regroupent le « piétinement », la marche et le trotinement en une seule catégorie d'activités dites à "basse intensité" (BI) (0-3 m/s = 0-11 km/h). Les limites des catégories HI et sprint peuvent varier légèrement d'une étude à l'autre. Cependant, les calibrations les plus élevées n'ont jamais dépassé 25,2 km/h, à l'exception de l'étude de Mohr et al. (2003). Aucune autre étude ne s'est attardée sur l'analyse des distances parcourues à des vitesses proches des vitesses maximales atteintes en match, observées entre 29 et 35 km/h lors de matchs professionnels (Tableau 1).

3.2 Courses et distances parcourues aux différentes intensités, selon les postes de jeu :

L'activité physique lors d'un match de football peut être quantifiée en utilisant différentes catégories de courses et distances parcourues à diverses intensités. Les études montrent qu'en moyenne, les joueurs professionnels parcourent environ 10-12 km de distance totale (DTP) par match, répartie comme suit : 7 km à basse intensité, 1,4-2,0 km à intensité modérée, 1,8-3,0 km à haute intensité (HI) et 0,6-1,0 km à très haute intensité (THI). En termes de temps, cela représente 300 sec à piétiner, 3100-3500 sec à marcher, 1300-1700 sec à trotiner, 300-500 sec à courir, 80-120 sec à courir vite et 20-30 sec à sprinter (Tableau 5).

La DTP peut également être exprimée en distance par minute, avec une moyenne d'environ 123 m.min⁻¹ chez les professionnels, répartie en 47 m.min⁻¹ de marche, 36 m.min⁻¹ de trotinement, 17 m.min⁻¹ de course modérée, 11 m.min⁻¹ de HI et 12 m.min⁻¹ de THI. Le nombre de sprints réalisés varie généralement entre 20 et 40 chez les joueurs de Premier League anglaise.

Enfin, les distances parcourues à différentes vitesses peuvent être exprimées en pourcentage de la DTP, avec 62% des distances effectuées à basse intensité, 15,5% à trotter, 10% à courir, 8% à HI, 2,5% à THI et 2% à sprinter chez les joueurs de Liga espagnole.

Les distances parcourues à haute intensité (HI) (21-24 km.h⁻¹) et en sprintant (>24 km.h⁻¹) diffèrent selon les postes de jeu. Les défenseurs centraux (DC) et arrières latéraux (AL) couvrent les plus faibles distances à HI (230 m et 274 m respectivement), tandis que les milieux latéraux (ML) et milieux offensifs centraux (MOC) parcourent les plus grandes distances (335 m) chez les joueurs de Ligue 1. Les DC sprintent le moins (199 m) et les attaquants (ATT) le plus (290 m). Au total, les DC couvrent la plus faible proportion de distance à plus de 21 km.h⁻¹ avec 4,1%, tandis que les ATT ont la plus élevée à 5,4% (Tableau 3, Tableau 5).

Pour les intensités de marche et de jogging (0-11 km.h⁻¹), aucune différence n'est observée entre les postes (7000 m). Cependant, pour les courses à basses et moyennes intensités (11,1-19 km.h⁻¹), les milieux de champ (MC) combinant MDC et MOC parcourent les plus grandes distances (4100 m), suivis des ML (3700 m), AL et ATT (3200 m), puis des DC (2700 m) chez les joueurs de Liga espagnole (Tableau 4).

Références	Performance	DC	AL	MC	ML	ATT	Observation principale
<i>Akenhead et al. (2016)</i>	Distances totales (m) « accélérées »	421	463	502	461	435	ML=MC > DC=AL=ATT
<i>Akenhead et al. (2016)</i>	Distances totales (m) « décélérées »	360	405	441	411	378	Pas de différence significative
<i>Gregson et al. (2010)</i>	Nombre total de sprints	34,6 ± 10,6	29,5 ± 11,0	33,1 ± 11,2	24,9 ± 10,2	26,5 ± 12,6	MC=DC > AL > ML=ATT
<i>Di Salvo et al. (2009)</i>	Distances (m) parcourues >25, 2 km.h ⁻¹	167 ± 53	238 ± 55	217 ± 46	260 ± 47	262 ± 63	ML=ATT > AL > MC > DC
<i>Di Salvo et al. (2009)</i>	Distances (m) parcourues >19, 8 km.h ⁻¹	681 ± 128	911 ± 123	928 ± 124	1049 ± 106	968 ± 143	ML > A > AL=MC > DC
<i>Di Salvo et al. (2009)</i>	% sprints à accélération explosive	31,4 ± 3,9	30,1 ± 4,1	32,5 ± 4,2	29,9 ± 4,2	28,8 ± 4,6	ATT < DC = (MC > AL=ML=A TT)
<i>Di Salvo et al. (2009)</i>	% sprints à accélération progressive	68,6 ± 3,9	69,9 ± 4,1	67,5 ± 4,2	70,1 ± 4,2	71,2 ± 4,6	ATT > DC = (MC < AL=ML=A TT)
<i>Rampinini et al. (2007)</i>	Temps (s) passés à [14,4-19,8] km.h ⁻¹	278 ± 62	411 ± 72	467 ± 76	NC	321 ± 59	MC > AL > ATT=DC
<i>Rampinini et al. (2007)</i>	Temps (s) passés à [7,2-14,4] km.h ⁻¹	1458 ± 155	1601 ± 156	1726 ± 174	NC	1361 ± 160	MC > AL > DC=ATT
<i>Rampinini et al. (2007)</i>	Temps (s) passés à [0,7-7,2] km.h ⁻¹	3549 ± 213	3241 ± 209	3103 ± 207	NC	3534 ± 210	DC=ATT > AL > MC
<i>Di Salvo et al. (2007)</i>	Distances totales (m) parcourues	10627 ± 1016	11410 ± 708	12027 ± 625	11990 ± 776	11254 ± 804	MC=ML > AL=ATT > DC

Tableau 4. Performances athlétiques en match de football en fonction du poste de jeu

DC : Défenseur centrale, AL : Attaquant latérale, MC : Milieu centrale, ML : Milieu latérale, ATT : Attaquant

Une analyse complémentaire de Di Salvo et al. (2009) a quantifié les différentes activités de sprint chez les joueurs de Premier League anglaise en les différenciant selon les distances parcourues : 0-5 m, 5,1-10 m, 10,1-15 m, 15,1-20 m et >20 m. Les résultats ont montré que les défenseurs centraux (DC) réalisaient le moins de sprints, tandis que les milieux latéraux (ML) en effectuaient le plus, à égalité avec les attaquants (ATT), sur toutes les distances de sprint entre 5,1 et 20 m (Figure 4). Ainsi, les postes offensifs et les joueurs excentrés sont les plus impliqués dans les déplacements aux très hautes intensités, tandis que les milieux axiaux le sont dans l'activité globale (Tableau 5).

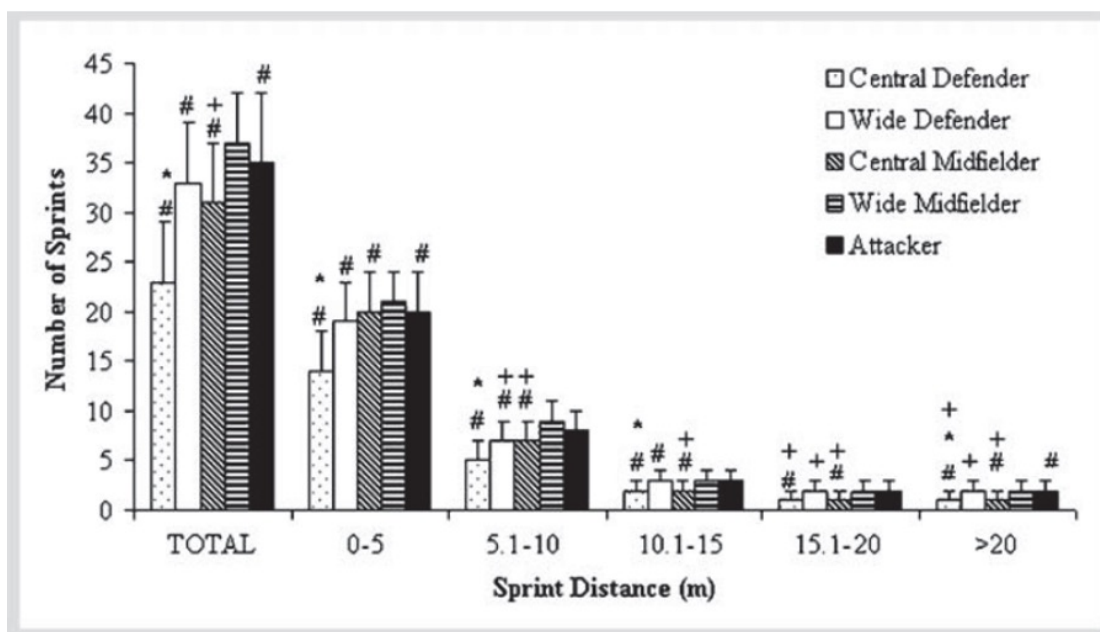


Figure 4 : Influence des postes de jeu sur le nombre total de sprints et le nombre de sprints complétés sur différentes distances (selon Di Salvo et al., 2009).

POSTE	Distance parcourue (en mètres)	Nb de sprint >25km/h	Nb de course HI >15km/h	Distance en sprint >25km/h (en mètres)	Distance à HI >15km/h (en mètres)	Distance en course entre 20 et 25 km/h (en mètres)	Nb Acc >2 m.s ²	Nb Déc <-2 m.s ²
GB	5178	0.7	19.8	4	146	26	66	60
DC	9831	12.5	136.3	87	1599	410	133	135
DL	10513	22.0	175.0	143	2343	669	166	166
MC	11257	15.0	201.0	77	2458	602	139	155
ME	10506	27.0	181.0	107	2556	747	150	150
MO	10732	19.0	185.0	98	2373	585	138	157
ATT	10269	22.4	170.0	86	2244	648	153	166

Tableau 5 : Données ligue 1- 2023/2024 : Moyenne à partir de données de 20 équipes (10 matchs) sur une journée de ligue 1 française.

GB : Gardien de but, DC : Défenseur central, DL : Défenseur latéral, MC : Milieu central, ME : Milieu excentrique, MO : Milieu offensive, ATT : Attaquant. HI : Haute Intensité, Nb : Nombre, Acc : Accélération, Déc : Décélération.

Commentaire :

- *Nombre e distance de sprint plus élevé pour les ME (joueur off, de couloir)*
- *Similitude dans les données athlétiques concernant DL/ME => jouer de couloir*
- *Distance à HI > 15 Km/h de niveau similaire entre DL/MC/MO-ATT*
- *Il semble que les joueurs d'axe (MC, MO) répètent moins de course à HI et sprint que les joueurs de couloir (ME, DL)*
- *Plus gros volume chez les MC (distance totale + Nb de course HI) alors que plus d'intensité chez les ME et DL (Nb de sprint + distance sprint + distance entre 20-25 Km/h)*

3.3 Caractéristiques Physiques et physiologiques du footballeur (De l'évaluation à la quantification de l'entraînement)

Le football implique des types de déplacements variés, avec des intensités et des distances différentes, rendant les efforts fournis particulièrement spécifiques à ce sport. Les joueurs professionnels effectuent environ 1 400 actions au cours d'un match, soit une toutes les 4 secondes (Bangsbo et al., 1991 ; Rienzi et al., 2000). Pendant les 90 minutes de jeu, ils alternent entre des courses de différentes intensités, interrompues par des phases de récupération imprévisibles, ces dernières représentant environ 98 % du temps où ils ne sont pas en possession du ballon (Drust, 1998 ; Reilly et Thomas, 1976 ; Withers, 1982). En ce sens, le football est une activité intermittente, marquée par des déplacements dans diverses directions (Bloomfield et al., 2007), dont la quantité, l'intensité et la fréquence diffèrent en fonction du poste joué et des conditions de la compétition (Bradley et al., 2013 ; Drust, 2000, 1998 ; Ekblom, 1986 ; Rampinini et al., 2007a ; Suarez-Arrones et al., 2015 ; Tierney et al., 2016 ; Van Gool, 1988).

Les qualités physiologiques les plus couramment associées à la pratique du football à haut niveau englobent plusieurs composantes métaboliques, notamment sur les plans aérobie, anaérobie et musculaire (Green, 1992 ; Hoff et Helgerud, 2004 ; Shephard, 1999 ; Tumilty, 1993). Il est largement admis que les exigences d'un match ne suffisent pas à développer pleinement toutes les qualités physiques d'un joueur. Par exemple, au cours d'un match, la fréquence cardiaque varie entre 70 et 90 % de la fréquence cardiaque maximale (Dellal, 2012), avec une moyenne comprise entre 80 et 90 % (Bangsbo et al., 2006 ; Buchheit et Laursen, 2013a ; Ekblom, 1986). Ces variations ne garantissent pas de maintenir suffisamment longtemps une intensité située entre 90 et 100 % de la fréquence cardiaque maximale (*FCmax*), nécessaire pour optimiser la consommation maximale d'oxygène (Buchheit et al., 2013a). Les capacités physiques sont donc développées en début de saison (et de carrière) puis maintenues tout au long de la saison à l'aide de programmes d'entraînement individualisés et rationnels. Ces programmes, élaborés par des équipes de

spécialistes toujours plus compétentes, visent à optimiser la performance tout en minimisant le risque de blessures. L'introduction récente de nouveaux experts (tels que des conseillers scientifiques, les réathlétisateurs et les récupérateurs) reflète cette évolution et contribue à l'amélioration des méthodes d'entraînement. Face à l'augmentation des enjeux, tant sportifs que financiers, les équipes techniques sont tenues d'obtenir des résultats significatifs. Elles relèvent ainsi le défi quotidien de concilier développement des qualités des joueurs, prévention des blessures et maintien de la performance au plus haut niveau.

3.4 Caractéristiques physiques et spécificités de la pratique footballistique

a. *Évolution anthropométrique et aptitude aérobie des footballeurs*

L'évolution physique des footballeurs professionnels *européens depuis 1970* se caractérise par une augmentation constante de leur taille moyenne. Celle-ci est passée de 176,80 cm (*période 1975-1980*) à 181,94 cm (*période 2010-2023*), soit une progression d'environ plus d'un centimètre par décennie. Cette tendance dépasse légèrement celle observée dans la population masculine européenne générale. Plusieurs facteurs expliquent cette évolution, notamment la génétique (qui représenterait 80% de l'influence selon certaines études), l'amélioration de la nutrition, des conditions de vie et des soins de santé. Les politiques de détection et de sélection mises en place par les clubs professionnels ont également pu jouer un rôle dans cette tendance.

L'accroissement de la taille des joueurs s'est accompagné d'une évolution de leur masse corporelle. Cette dernière a été accompagnée par une modification de la composition corporelle en termes de masse maigre et de masse grasse, ce qui a impacté significativement les capacités physiques et les performances des joueurs de football. Ces changements morphologiques ont potentiellement influencé les performances des joueurs sur le terrain, nécessitant des changements et des modifications stratégiques dans certains aspects du jeu.

En plus des modifications anthropométriques des joueurs, l'aptitude respiratoire élément important dans le développement et l'optimisation de la performance s'est vu graduellement augmentée.

Cette aptitude aérobie représentée essentiellement par la consommation maximale d'oxygène (VO_{2max}), c'est-à-dire la quantité maximale d'oxygène que l'organisme peut utiliser par unité de temps lors d'un effort intense ; constitue un indicateur clé de la capacité aérobie des footballeurs.

Les valeurs moyennes de VO_{2max} observées chez les footballeurs professionnels varient selon les études et les populations étudiées. Cependant, ces valeurs fournissent des repères importants pour

évaluer la condition physique des joueurs, ce qui a permis d'observer une différence notable de VO₂max en fonction des postes de jeu et les positions occupées sur le terrain. Des écarts notables existent entre les attaquants, les milieux de terrain, les défenseurs et les gardiens de but, reflétant les exigences spécifiques de chaque poste. Certaines études confirment que les valeurs moyennes de VO₂max varient selon les niveaux de compétition, du niveau amateur à l'élite internationale et que ces différences reflètent les exigences physiologiques croissantes à mesure que le niveau de jeu s'élève. La corrélation entre la VO₂max et les performances individuelles et collectives n'est plus à démontrer car le niveau de VO₂max impacte significativement les performances des joueurs et de l'équipe démontrant ainsi la corrélation entre la VO₂max et divers indicateurs de la performance sur le terrain.

b. Quantification et analyse des efforts et des déplacements en football *(Outils de mesure, d'évaluation et d'observation)*

L'évaluation des performances physiques, notamment à travers l'analyse des déplacements en compétition, est un sujet central dans la recherche sur les sports collectifs, et le football ne fait pas exception. Depuis plus de quarante ans, une abondante littérature scientifique traite de ce domaine. L'étude de Reilly et Thomas en 1976 est souvent considérée comme un tournant, grâce à sa validation méthodologique rigoureuse (Reilly et Thomas, 1976). Les recherches sur les performances des joueurs en compétition s'intéressent non seulement au volume de course, mais aussi aux paramètres d'intensité. Ces analyses se basent sur des zones d'intensité (non encore définies par des vitesses précises à l'époque), permettant ainsi d'identifier des profils propres aux différents postes et d'établir des liens avec des objectifs physiologiques spécifiques (Green, 1992 ; Hoff et Helgerud, 2004 ; Saltin et Astrand, 1967 ; Shephard, 1999 ; Stolen et al., 2005 ; Tumilty, 1993). Les recherches se sont multipliées dans les années 80 et 90, avec des avancées notables dues aux progrès technologiques (Bangsbo et al., 1991 ; Ekblom, 1986 ; Mayhew, 1985 ; Van Gool, 1988 ; Withers, 1982).

Pour produire une analyse scientifique complète des déplacements des joueurs en compétition, il est essentiel d'adopter une approche systématique qui prend en compte l'ensemble du contexte du match observé. Divers facteurs influencent les résultats, tels que les schémas tactiques utilisés (Bradley et al., 2011 ; Clemente et al., 2013 ; Tierney et al., 2016), le moment de la saison (Bradley et al., 2011 ; Mohr et al., 2003 ; Rampinini et al., 2007a ; Tierney et al., 2016), les conditions météorologiques (Mohr et al., 2012 ; Ohashi, 1987), la surface de jeu (Andersson et al., 2008a), la qualité de l'adversaire (Rampinini et al., 2007a), le niveau technique des équipes (Rampinini et al., 2009), ou encore le lieu du match (à domicile ou à l'extérieur) (Lago, 2010). Toutefois, peu

d'études tiennent compte de tous ces facteurs simultanément (voir tableau 1). Un autre défi réside dans l'incohérence des définitions des zones de vitesse utilisées pour analyser les capacités physiques. Par exemple, la vitesse à partir de laquelle un joueur est considéré en "sprint" varie selon les études : au-delà de 25 km/h dans certaines (Bradley et al., 2009 ; Di Salvo et al., 2009 ; Gregson et al., 2010) et à partir de 18 km/h dans d'autres (Mohr et al., 2003).

Bien que la notation manuelle ait été utilisée de manière confidentielle (Ekblom, 1986 ; Knowles, 1974), ainsi que l'observation par trigonométrie (Ohashi, 1987), l'enregistrement des données a longtemps reposé sur des systèmes vidéo manuels (Bangsbo et al., 1991 ; Mohr et al., 2003).

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

Tableau 6 : Synthèse et Caractéristiques des principales études relatives à l'analyse des déplacements du footballeur (1976 à 2016)

Les avancées technologiques, apparues au début des années 2000, ont permis le développement de nouveaux outils d'analyse des déplacements des joueurs, spécifiques à chaque pays (Carling et al., 2008). Parmi les systèmes les plus réputés à l'échelle mondiale, on peut citer les systèmes

vidéo automatiques comme Prozone Sport Ltd (Angleterre), Amisco Pro (France), Tracab (Suède), DVideo (Brésil) et Feedback Football (Nouvelle-Zélande), ainsi que des systèmes utilisant des transmissions électroniques comme LPM Soccer 3D (Pays-Bas) ou le système CBT basé sur l'utilisation de tablette et stylo électronique (Track Performance, Australie) (Edgecomb et Norton, 2006). Ces dispositifs servent souvent de références pour valider indirectement d'autres technologies, telles que les unités GPS (Buchheit et al., 2014b ; Edgecomb et Norton, 2006 ; Harley et al., 2011 ; Randers et al., 2010).

Les études comparatives effectuées montrent qu'il est souvent indispensable d'appliquer des équations de correction afin d'obtenir des résultats précis (Buchheit et al., 2014b ; Randers et al., 2010). Malgré ces ajustements, les systèmes d'analyse multi-caméras constituent toujours des outils très performants pour la quantification des données (Buchheit et al., 2014b ; Carling et al., 2008 ; Di Salvo, 2006). Leur efficacité est telle qu'en 2017, la majorité des clubs de haut niveau les utilisent non seulement pour analyser leurs matchs, mais également pour évaluer leurs entraînements (Akenhead et al., 2016 ; Mohr et al., 2003).

L'utilisation des unités GPS en compétition officielle a été récemment approuvée par la FIFA lors de la saison 2015-2016 (FIFA, 2015). Par conséquent, les études scientifiques publiées sur les données de matchs restent encore limitées (Akenhead et al., 2016 ; Suarez-Arrones et al., 2015). Certains fabricants proposent également des extrapolations de ces données grâce à des algorithmes (dont les détails sont souvent flous), afin d'estimer la charge d'entraînement à partir des accélérations accumulées (Casamichana et al., 2013a). Par ailleurs, certains systèmes intègrent désormais aux données GPS des paramètres physiologiques supplémentaires (fréquence cardiaque, variabilité cardiaque, température corporelle, pression artérielle, saturation en oxygène). Le suivi en temps réel grâce à des bio-textiles est voué à devenir un outil précieux pour les staffs techniques dans les années à venir, tant pour les séances d'entraînement que pour les matchs.

Bien que certaines réserves aient été émises concernant la validation scientifique de ce matériel (Boyd et al., 2011 ; Varley et al., 2012) ; entraîneurs et scientifiques du sport disposent désormais d'une compréhension solide des capacités physiques et physiologiques des joueurs. Sur la base de ces observations, un audit couvrant les quatre dernières décennies sera entrepris, axé sur l'analyse des trois indicateurs fondamentaux caractérisant les déplacements en football : le volume de course, l'intensité et la fréquence des efforts spécifiques. En nous appuyant sur les principales études, nous observerons l'évolution de ces paramètres physiques depuis les années 1970, tout en comparant, si possible, le profil des joueurs d'hier à celui d'aujourd'hui.

3.5 Paramétrage du volume d'exercice en football

a. Quantification du volume

Le terme « volume » fait référence à la durée, mesurée soit en unités de temps (Pollock, 1973 ; Wenger et Bell, 1986), soit en distance parcourue (Reilly et Thomas, 1976), et peut être mesuré avec précision à différentes intensités. D'autres indicateurs, tels que le nombre de sprints, de sauts ou d'accélération, sont également importants pour décrire les efforts produits en football et sont enregistrés en temps réel via les unités GPS. Selon les travaux de Casamichana et al., la somme des accélérations du centre de masse constitue un bon indicateur de la charge externe des joueurs, étant fortement corrélée aux distances totales parcourues à l'entraînement (Casamichana et al., 2013a). Les distances totales parcourues par zone de vitesse peuvent également servir à comparer différents types d'exercices. Par exemple, une opposition à 9 contre 9 génère une distance totale plus élevée à des vitesses supérieures à 21 km/h, comparé à un jeu réduit à 6 contre 6 ($p=0,013$; $ES=0,91$) (Casamichana et al., 2015).

En complément, les distances sont parfois associées à la durée pour exprimer une vitesse ou distance relative (m/min), permettant ainsi des comparaisons entre joueurs ayant des temps de jeu différents en compétition. De plus, cette unité peut être utilisée pour évaluer le volume moyen ou la vitesse relative moyenne des séances d'entraînement (Bartlett et al., 2016).

b. Volume et répartition des distances parcourues

Distances moyennes parcourues par équipe en match

De nombreuses études rapportent les distances totales parcourues lors des matchs (Bangsbo et al., 2006 ; Bradley et al., 2011 ; Dellal, 2010 ; Di Salvo et al., 2007 ; Mohr et al., 2003 ; Rampinini et al., 2007a). Les équipes de première division européenne parcourent généralement entre 10 100 et 11 900 mètres par match, avec une moyenne de 10 950 mètres depuis 1974. Les distances plus faibles observées dans d'autres continents s'expliquent par l'influence de facteurs tels que la culture locale, les conditions environnementales et les différences dans la préparation physique. Par exemple, Barros et al. ont constaté une moyenne de $10\,012 \pm 1024$ mètres chez les joueurs professionnels brésiliens, soit 8 % de moins que la moyenne européenne (Barros et al., 2007). Des résultats similaires ont été rapportés pour d'autres équipes sud-américaines ($10\,104 \pm 703$ mètres) (Rienzi et al., 2000) et australiennes ($10\,100 \pm 1400$ mètres) (Burgess et al., 2006).

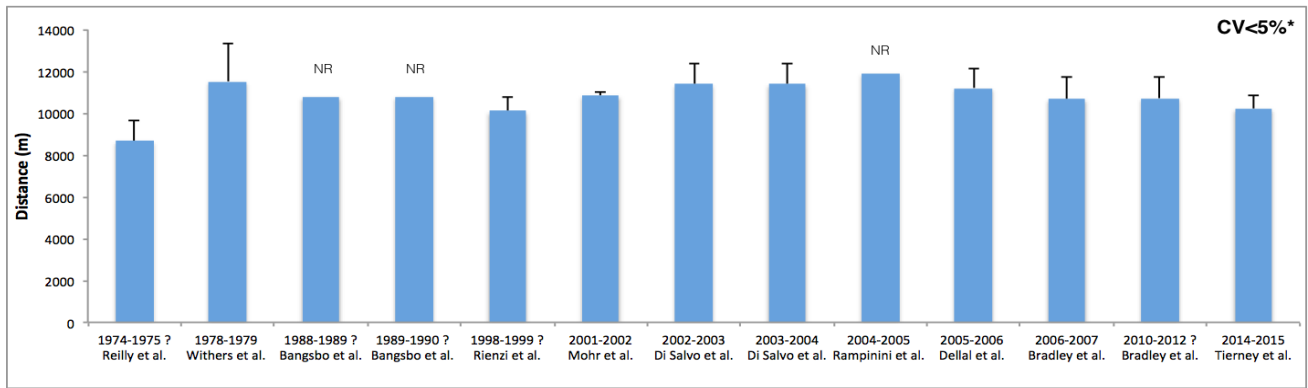


Figure 5 : Principales études répertoriant les distances moyennes parcourues en match par des équipes professionnelles européennes masculines depuis 1974 (NR=Écart-type Non Renseigné) (*) = ne tient pas compte de l'étude de Reilly et al. 1976).

La qualité de l'adversaire peut également affecter le volume total de course, ainsi que les distances parcourues à haute et très haute intensité. Mohr et al., ont observé que les équipes de plus haut niveau couvrent des distances plus importantes, à la fois globalement et lors des sprints, par rapport aux équipes moins performantes (+5 %, +28 % et +58 % respectivement) (Mohr et al., 2003). En revanche, Rampinini et al. ont observé que les équipes affrontant des formations européennes de premier plan parcourent généralement des distances plus courtes, tant au niveau global qu'à haute et très haute intensité (11097 ± 778 vs. 10827 ± 760 mètres) (Rampinini et al 2006 ; Bangsbo et al., 1991 ; Bradley et al., 2011 ; Bradley et al., 2013 ; Bradley et al., 2009).

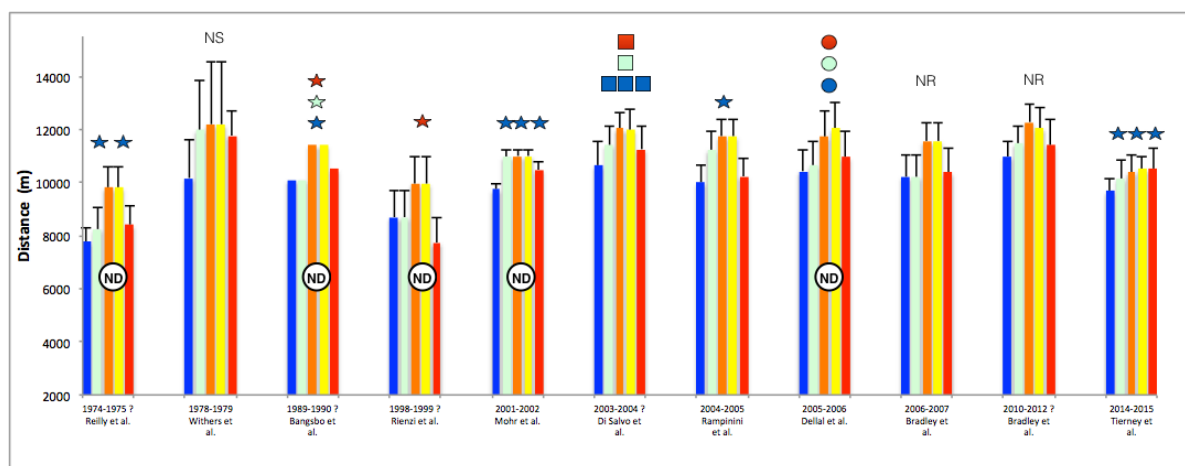
Les principales études ayant analysé les distances moyennes parcourues lors de matchs par des équipes professionnelles européennes masculines depuis 1974 sont regroupées dans la figure 6. Les valeurs moyennes relevées indiquent que les équipes de première division européenne parcourent généralement entre 10 100 et 11 900 mètres, avec une moyenne d'environ 10 950 mètres. Ces distances peuvent être influencées par la culture du pays, les conditions environnementales et les spécificités de la préparation physique. Par exemple, Barros et ses collègues ont observé, lors d'une étude couvrant trois saisons (2001-2004) avec des joueurs professionnels brésiliens, que ceux-ci parcouraient en moyenne $10\,012 \pm 1024$ mètres, soit environ 8 % de moins que la moyenne européenne. Ces résultats sont confirmés par des études sur d'autres équipes d'Amérique du Sud ($10\,104 \pm 703$ m) et d'Australie ($10\,100 \pm 1\,400$ m), ce qui reflète des différences de style de jeu, de préparation physique et de conditions locales.

La performance des équipes de haut niveau se distingue par un volume de course total plus élevé ainsi que par de plus grandes distances parcourues à haute intensité et en sprint par rapport aux équipes de niveau inférieur. Mohr et al (2003) ont démontré que les équipes les plus performantes parcourent en moyenne 5 % de plus en volume total de course, 28 % de plus à haute intensité et

58 % de plus en sprint. Toutefois, Rampinini et ses collègues ont observé que les équipes affrontant des adversaires de premier plan parcourent généralement moins de distance (environ 11097 ± 778 m contre 10827 ± 760 m), notamment pour les distances à haute intensité (2770 ± 528 m contre 2630 ± 536 m) et à très haute intensité (902 ± 237 m contre 883 ± 268 m). Cette différence est expliquée par une meilleure maîtrise technique et tactique des meilleures équipes, qui leur permet de réduire le besoin de couvrir autant de terrain, tandis que les équipes moins bien classées doivent compenser par des efforts plus intenses pour récupérer le ballon.

Distances moyennes par équipe selon les systèmes de jeu

Les études sur les distances parcourues en match en fonction des systèmes de jeu adoptés par les équipes restent rares. Cependant, le système de jeu, les consignes tactiques et le positionnement (pression constante ou bloc bas) influencent fortement les paramètres physiques des joueurs. La distinction entre les différents postes et lignes d'équipe n'est pas toujours homogène entre les études, rendant parfois les comparaisons difficiles. Certaines études différencient les milieux axiaux et excentrés, tandis que d'autres regroupent ces postes. De même, les rôles offensifs dans les systèmes à deux attaquants peuvent varier, entre attaquant de profondeur et attaquant de soutien.



DT (Distance Totale) > (Couleur associée au poste comparé) ☆ $p < 0.05$ □ $p < 0.0001$ ○ p Non précisé NS = Non significatif, NR = Non Renseigné, ND = Non Différencié

Figure 6 : Comparatifs des distances parcourues en fonctions des postes depuis 1974 (barre bleue=défenseurs centraux, barre verte=défenseurs latéraux, barre orange=milieux axiaux, barre jaune=milieux excentrés, barre rouge=attaquants)

Enfin, les conditions environnementales (météo, température, état du terrain) sont rarement évoquées dans les études, bien qu'elles soient des facteurs déterminants de la performance. Par exemple, Whitehead a démontré qu'une température supérieure à 30°C peut réduire de moitié la distance parcourue en sprint par des joueurs professionnels suédois en seconde mi-temps.

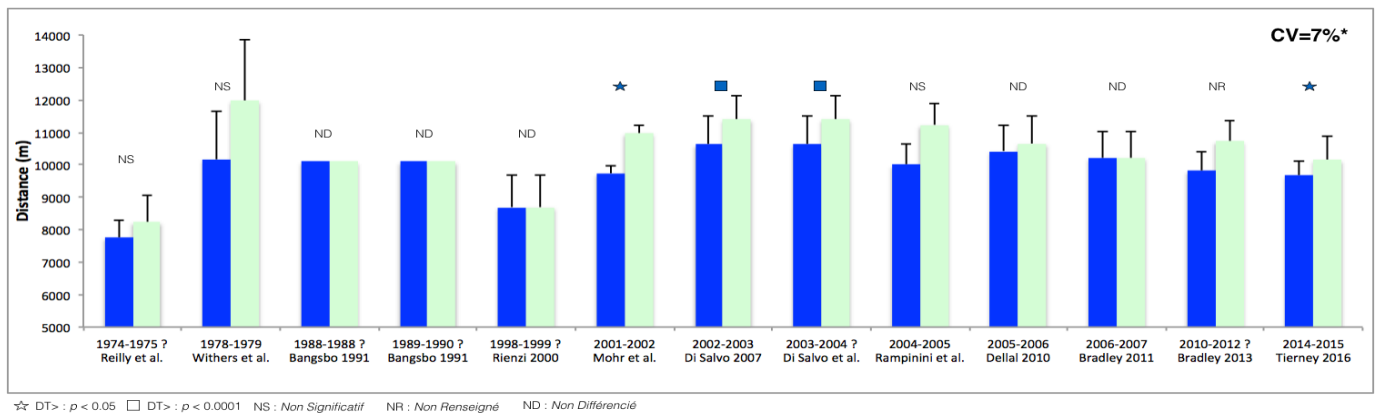


Figure 7 : Principales études répertoriant les distances moyennes parcourues en match par les défenseurs depuis 1974 (barre bleue=défenseurs centraux, barre verte=défenseurs latéraux) (*) CV identiques pour les deux postes.

Analyse des systèmes de jeu

Une étude a analysé l'influence des organisations tactiques sur le volume de course des joueurs. Lors de 20 matchs officiels, les performances de 153 joueurs professionnels anglais ont été observées (Bradley et al., 2011). Le terme qui définit l'équipe en tant qu'unité unique, dans le contexte tactique et technique du football, est souvent désigné par l'expression "*bloc équipe*". Cela fait référence à la capacité d'une équipe à fonctionner collectivement, où chaque joueur agit en coordination avec ses coéquipiers pour former une entité cohérente sur le terrain. Le "*bloc équipe*" peut être haut, médian ou bas selon la position collective de l'équipe et l'intention tactique (pression haute, bloc bas défensif, etc.).

Concernant les systèmes de jeu étudiés, une analyse a été menée pour évaluer l'impact des systèmes 4-4-2, 4-3-3 et 4-5-1 (4-2-3-1) sur le volume de course, montrant qu'il n'y avait pas de différence significative en termes de distance totale parcourue entre ces systèmes. Cependant, une étude ultérieure (Tierney et al., 2016) a révélé qu'un système en 3-5-2 engendre un volume de course supérieur de 2,3 à 4,5 % par rapport aux autres systèmes.

Sur les postes individuels, les défenseurs centraux parcourent généralement moins de distance que les défenseurs latéraux (9333-10980 m contre 10152-11474 m). Les milieux de terrain, qu'ils soient axiaux ou excentrés, affichent des distances parcourues plus importantes que les défenseurs et les attaquants (environ 11 300 m contre 10 095 m et 10 374 m respectivement). Enfin, les attaquants montrent des écarts de distance importants selon leur rôle, avec un attaquant de profondeur parcourant environ 774 m de plus qu'un attaquant de soutien (11493 m contre 10719 m).

En somme, les différences de distance parcourue sont influencées par le système de jeu, le poste des joueurs et la dynamique collective du *bloc équipe*

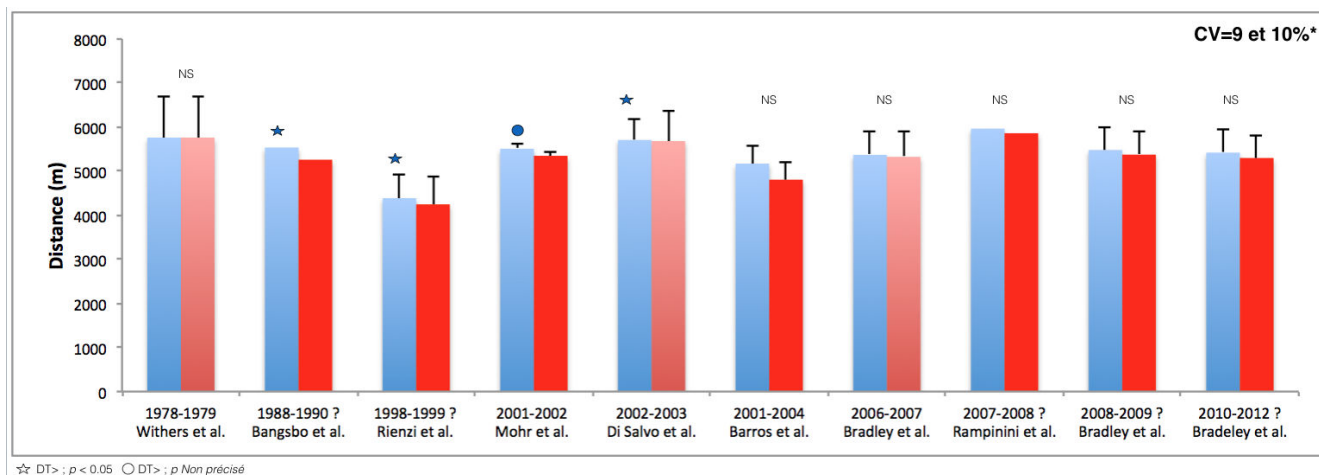


Figure 8 : Comparaison des distances parcourues en compétition entre la première et la deuxième mi-temps depuis 1978 (barre bleue pour la première mi-temps, barre rouge pour la deuxième mi-temps). (*) CV pour les premières et deuxièmes mi-temps respectivement)

De nombreux chercheurs ont noté que les joueurs affichant un niveau aérobic élevé sont moins susceptibles de connaître des diminutions dans leurs distances parcourues (Helgerud et al., 2001 ; Tumilty, 1993). De plus, Mohr et ses collègues ont étudié les distances parcourues par deux groupes de joueurs de haut niveau lors de compétitions européennes, en tenant compte des différences de leurs compétitions, du nombre d'internationaux et du classement FIFA de leurs équipes nationales respectives (rangs 1-10 vs. 10-20) (Mohr et al., 2003). Les joueurs des équipes nationales classées parmi les 10 premières parcouraient une distance plus importante et ne montraient pas de variations significatives entre les deux mi-temps, contrairement à ceux du deuxième groupe. Des observations similaires ont été faites par Rienzi et al (2000). Concernant des internationaux australiens en comparaison avec des joueurs de la Premier League anglaise (Rienzi et al., 2000), ainsi que par Bradley et al (2010) sur les performances des joueurs internationaux par rapport à ceux qui ne le sont pas (Bradley et al., 2010).

L'analyse approfondie des études disponibles, en fonction des postes, révèle également peu de différences dans les distances parcourues entre les deux mi-temps. Bien que Bradley et al. aient identifié quelques variations entre les distances des défenseurs latéraux et centraux, avec des écarts allant de 2,10 à 3,3 % (Bradley et al., 2011 ; Bradley et al., 2013), ces résultats demeurent relativement isolés. Fait surprenant, ces études ne montrent aucune baisse de performance significative chez les milieux de terrain, soutenant l'idée que les joueurs de haut niveau sont de mieux en mieux préparés, notamment pour les postes les plus exigeants.

c. Paramètres du Volume dans la discipline football :

Les spécificités et caractéristiques essentielles retenus du volume dans la pratique du football sont :

- Le paramètre de volume se définit par la distance totale parcourue, la distance en zone de vitesse, ainsi que par la somme des accélérations et/ou des sprints.
- En moyenne, les distances parcourues par les équipes n'ont pas connu d'augmentation significative au cours des 40 dernières années, se maintenant autour de 10 880 m.
- Il semble y avoir une légère augmentation des distances parcourues par les défenseurs, probablement liée à l'adoption plus répandue de la défense de zone, favorisant une plus grande implication offensive des défenseurs latéraux.
- Les milieux de terrain parcourent les plus grandes distances, quel que soit leur positionnement axial ou excentré.
- Les attaquants couvrent davantage de distance que les défenseurs centraux, mais moins que les défenseurs latéraux.
- Les écarts de distances entre les deux mi-temps existent, mais semblent diminuer depuis une vingtaine d'années, suggérant une amélioration de la condition athlétique des joueurs.

Il est important d'interpréter ces résultats avec prudence, car ils dépendent des méthodes de collecte des données, des systèmes de jeu et des directives tactiques actuelles.

3.6 Indicateurs et paramètres d'intensité des exercices en football

L'intensité représente la variable la plus complexe à analyser lors de l'évaluation de la performance sportive. Les chercheurs s'appuient sur divers indicateurs (Banister, 1991 ; Desgorces et al., 2007 ; Edwards, 1993 ; Foster et al., 2001 ; Mujika et al., 1995) selon l'activité physique observée. Par exemple, l'intensité maximale peut être mesurée en km/h pour un sprint de 100 m, en watts lors d'un test d'évaluation physiologique jusqu'à l'épuisement sur un ergomètre, en kg lors d'une épreuve de musculation, ou encore en pourcentage de la fréquence cardiaque lors d'un effort d'endurance. Évaluer différents types d'efforts dans un même programme d'entraînement avec une unité de mesure unique s'avère complexe.

a. Fréquence cardiaque

La fréquence cardiaque (FC) a longtemps été considérée comme le principal indicateur d'intensité lors des efforts continus d'endurance, en raison de sa relation étroite avec la consommation maximale d'oxygène (Achten et Jeukendrup, 2003 ; Arts et Kuipers, 1994 ; Robinson et al., 1991). Ainsi, de nombreux athlètes s'entraînent en fonction de zones de fréquence cardiaque adaptées à leurs objectifs (McArdle et al., 1969). Étant donné les groupes musculaires

sollicités dans le football, la relation entre la FC et le VO₂ suggère que la FC est un indicateur fiable du niveau d'effort en termes de VO₂ max (Bangsbo, 1994b ; Esposito et al., 2004 ; Hoff et al., 2002). Si de nombreux auteurs continuent à utiliser des pourcentages de FCmax en valeur absolue, il est préférable d'utiliser la FC de réserve (Karvonen et al., 1957).

Dans le football, de nombreuses études menées en compétition révèlent que les valeurs moyennes de fréquence cardiaque varient entre 80 et 90 % de la FC max (Bangsbo, 1994b ; Ekblom, 1986 ; Helgerud et al., 2001 ; Mohr et al., 2004 ; Stroyer et al., 2004). Il est intéressant de noter que la FC varie entre 70 et 90 % de la FC max pendant 65 % du temps de jeu et fluctue tout au long du match (Dellal, 2012). Des baisses de FC sont également observées entre les deux mi-temps. Thatcher et al. (2004) rapportent une diminution de la FC moyenne, passant de 170 ± 10 à 163 ± 8 bpm, soit une variation de 85 à 81 % de la FC max (Thatcher et Batterham, 2004). En outre, les milieux de terrain présentent généralement des valeurs moyennes de FC plus élevées, suivies par les attaquants, puis les défenseurs. Cela peut être attribué aux exigences spécifiques de chaque poste, les milieux de terrain parcourant les plus longues distances en compétition, ainsi que celles effectuées à haute intensité (Bangsbo, 2002). Bujnovsky et al (2015) estiment que le temps passé au seuil anaérobie est de $21,8 \pm 7,8$ %, et de 61,9 % si l'on considère le temps passé au-dessus de ce seuil (Bujnovsky, 2015).

L'une des principales limites de la fréquence cardiaque réside dans son temps d'inertie, qui rend difficile l'évaluation précise des efforts intermittents et/ou supra-maximaux (sprints, sauts), caractéristiques du football de haut niveau.

b. Lactatémie

La lactatémie est souvent utilisée comme un indicateur reflétant les variations d'intensité dans de nombreuses activités physiques (Mujika et al., 1996). Le dosage du lactate se fait par de micro-prélèvements sanguins, réalisés à l'oreille ou à la pulpe du doigt. Si les contraintes logistiques constituaient un obstacle dans les années 80, les analyseurs portatifs (tels que Lactate Pro2, LT1730 TM, Arkray, Kyoto, Japon) facilitent aujourd'hui leur utilisation sur le terrain. Cependant, le coût des prélèvements demeure élevé, rendant difficile l'utilisation quotidienne de ces outils en fonction des conditions climatiques variables dans des sports collectifs comme le football.

Les concentrations de lactate sanguin mesurées en compétition varient généralement entre 7 et 12,8 mmol/L (Bangsbo, 1994a ; Ekblom, 1986 ; Green, 1992). Ces concentrations sont positivement corrélées aux distances parcourues et aux intensités soutenues avant le prélèvement (Bangsbo, 1994b), justifiant ainsi les différences significatives observées entre les individus et en

fonction de leur poste. Plusieurs études confirment également une diminution des distances parcourues en deuxième mi-temps, en parallèle avec les concentrations de lactate sanguin (Mohr et al., 2003 ; Reilly et Thomas, 1976).

c. Évaluation de la perception de l'effort (RPE : Rating of Perceived Exertion)

L'évaluation de la perception de l'effort repose sur des échelles standardisées. Depuis les années 1960, des recherches ont été menées pour établir un lien entre la perception de l'effort physique et la fatigue, ainsi que l'adaptation aux charges de travail (effort musculaire sur ergomètre), tant pour des sujets sains que pour ceux souffrant de pathologies (Borg, 1960). Les interactions entre cognition, perception, processus métaboliques et facteurs environnementaux sont désormais validées scientifiquement (Eston, 2012). Initialement, ces échelles étaient fondées sur la relation entre perception de l'effort et fréquence cardiaque. En 1970, Borg propose une échelle qui sert de modèle pendant près de 30.

Au début des années 2000, des systèmes de vidéo semi-automatisés ont été installés de manière permanente dans les stades, notamment les solutions proposées par Amisco Pro et Prozone Sports Ltd, qui sont des concurrents majeurs au niveau européen. Bien que ces deux systèmes présentent une nomenclature similaire, ils établissent des seuils de vitesse différents (Tableau 3). À noter qu'en 2011, ces deux entreprises ont fusionné pour former le groupe "Stats".

Les dispositifs GPS ont l'avantage de fournir des données qualitatives additionnelles, telles que le nombre d'accélération et de décélération, les changements de direction, ainsi que le nombre de sauts. Bien que les seuils pour ces efforts à intensité maximale puissent parfois être ajustés, il n'existe pas encore de consensus sur des valeurs standardisées, chaque système étant défini selon des sensibilités spécifiques (Akenhead et Nassis, 2015). Étant récemment autorisés en compétition, les GPS devraient permettre d'accéder à de nouvelles informations précieuses dans les études futures (Suarez-Arrones et al ;2015).

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

Tableau 7 : Appellations et zones de vitesse proposées par les systèmes Amisco Pro et Prozone Sports Ltd

d. Autres indicateurs d'intensité : zones de vitesses et ratios de paramétrage

1. Zones de vitesse (*établies selon les technologies d'évaluation*)

Les publications sur le sujet classifient les zones de vitesse en fonction de diverses catégories, y compris la position debout, la marche, les courses à allure modérée, ainsi que les sprints. Certaines études incluent également les courses arrière et les déplacements latéraux (Rienzi et al., 2000). Les vitesses de course sont généralement exprimées en km/h et associées à ces différentes classifications.

Les critères de définition des zones de vitesse varient d'un auteur à l'autre, influencés par les moyens techniques utilisés (Bangsbo et al., 1991 ; Reilly et Thomas, 1976 ; Rienzi et al., 2000). Par exemple, certains considèrent que les efforts à « haute intensité » commencent à 14,4 km/h (Bradley et al., 2011 ; Bradley et al., 2013), tandis que d'autres ne les classifient qu'au-dessus de 21 km/h (Dellal, 2010). En ce qui concerne les sprints, les valeurs seuils varient également : 18 km/h (Mohr et al., 2003), 21 km/h (Suarez-Arrones et al., 2015), 23 km/h (Di Salvo et al., 2007), et jusqu'à 25,2 km/h (Bradley et al., 2011 ; Bradley et al., 2013 ; Di Salvo, 2009 ; Rampinini et al., 2007a). Par ailleurs, il est à noter que le système Amisco Pro n'établit pas toujours la même borne pour ces vitesses (23,1 km/h contre 24,1 km/h) (Dellal, 2010 ; Di Salvo et al., 2009), ce qui peut être dû à des personnalisations demandées par le personnel ou à une version différente du logiciel. Il est intéressant de relever que les zones de vitesse ne sont pas systématiquement individualisées en fonction des caractéristiques physiques et physiologiques des joueurs. L'application de vitesses relatives aux capacités individuelles pourrait enrichir l'expertise et la compréhension des exigences spécifiques à chaque poste. Dans cette perspective, les données pourraient être rapportées à des pourcentages individuels de VMA, de vitesse maximale, d'endurance limite ou exprimées en fonction des références de compétition.

Pour effectuer des comparaisons entre les études, nous avons opté pour deux zones principales de vitesse, qui sont communes à la plupart d'entre elles, en utilisant par défaut les seuils d'intensité proposés par les fabricants de GPS :

- **Zone de « haute intensité »** : entre 14 km/h et 19 km/h (Barros et al., 2007 ; Bradley et al., 2011 ; Bradley et al., 2013 ; Di Salvo et al., 2007 ; Lago, 2010). Ce choix repose sur le fait que la limite inférieure se rapproche de la vitesse moyenne au seuil aérobie des joueurs professionnels (Green, 1992 ; Kindermann, 1993), tandis que la limite supérieure est proche des valeurs de VMA des joueurs de très haut niveau (Le Gall, 2002a).

- Zone de « très haute intensité » : au-dessus de 19 km/h (Barros et al., 2007 ; Bradley et al., 2013 ; Dellal et al., 2010 ; Di Salvo et al., 2007 ; Di Salvo, 2009 ; Lago, 2010). Cette zone inclut les valeurs de sprints lorsque celles-ci sont précisées.

2. Ratios pour évaluer le paramètre d'intensité

Dans l'objectif d'établir des comparaisons entre les études, nous avons choisi des échantillons de population significatifs (entre 153 et 300 joueurs). Toutes les équipes étudiées sont professionnelles et évoluent dans la première division de leur pays, appartenant ainsi aux meilleurs championnats du monde (Espagne, Italie, France, Angleterre).

Pour mettre en perspective une distance parcourue à une certaine intensité par rapport à la distance totale. Étant donné la distinction entre « haute et très haute intensité » observée dans les études retenues, il est possible d'analyser l'évolution de l'intensité des efforts en compétition au fil des ans. La valeur moyenne du ratio des efforts à haute intensité était de 0,10 pour la période 1978-1999. Pour la période 2001-2011, elle est restée stable à 0,15, supérieure à celle de la période précédente.

Depuis 2015, l'utilisation des GPS en compétition est désormais permise par la FIFA, ce qui ouvre la voie à de nouvelles données. Cette technologie offre des critères d'analyse similaires à ceux des systèmes automatiques multi-caméras, en incluant les distances parcourues par zone de vitesse spécifique ainsi que de nouveaux paramètres tels que les accélérations et décélérations. Le ratio des efforts à « haute intensité » a connu une nette progression par rapport à la période 2002-2011 (0,19 contre 0,15), mais cette valeur ne peut pas être comparée aux autres études en raison des seuils de vitesse GPS étant plus bas (13-18 km/h contre 14-19 km/h), ce qui conduit logiquement à une surestimation de près de 18 % de la distance totale parcourue à cette intensité.

3. Limitations et systèmes vidéo professionnels

Limitations des Études Traditionnelles : Certaines recherches continuent d'utiliser des classifications fondées sur des évaluations subjectives, telles que « vitesse élevée mais non maximale » (Rienzi et al., 2000). Une des limites majeures de ces études est que les résultats sont généralement présentés en pourcentage du temps passé dans les différentes zones de vitesse, sans toujours tenir compte du pourcentage de la distance totale parcourue.

Systèmes Vidéos Professionnels : Au début des années 2000, des systèmes vidéo semi-automatiques ont été installés de façon permanente dans les stades, parmi lesquels les solutions Amisco Pro et Prozone Sports Ltd, deux acteurs majeurs sur le marché européen. Bien que ces systèmes utilisent une nomenclature similaire, leurs seuils de vitesses étaient différents. En 2011, ces deux entreprises ont fusionné pour former le groupe « Stats ».

4. Applications du GPS dans le domaine du football (*GPS et pratique footballistique*)

4.1 Histoire et Actuel

Le GPS, ou système de positionnement par satellites, a vu le jour grâce à l'invention de l'horloge atomique (Aughey, 2011). Ce système permet de déterminer une position géographique précise en utilisant des signaux émis par des satellites. Son origine remonte au programme américain TRANSIT (Figure 8), développé en 1964 pour la marine des États-Unis. Ce premier système de navigation par satellite permettait de localiser des sous-marins et de guider des missiles avec une précision variant entre 200 et 500 mètres (Ahamed et al., 2006).

Entre 1978 et 1985, onze satellites ont été mis en orbite, améliorant progressivement la puissance et la précision des signaux (Evans, 1998). À l'origine réservé à des usages militaires, le GPS a été autorisé pour un usage civil en 1983, bien que son exploitation publique n'ait réellement débuté qu'après les années 1990, notamment après la « guerre du Golfe », où tous les systèmes et satellites disponibles ont été utilisés (Kaplan, 2006).

L'ouverture de cette technologie au grand public a permis des avancées considérables, notamment dans la collecte et l'analyse de données, par exemple dans le domaine sportif. En 1997, Shutz et Chambaz ont été parmi les premiers à évaluer l'utilisation du GPS pour analyser la performance sportive. Ils ont démontré son potentiel, tout en soulignant ses limites, notamment à haute vitesse. La première validation spécifique au football a été réalisée en 2006 par Edgecomb et Norton. Leur étude a confirmé la pertinence de ce système, mais aussi relevé certaines imprécisions entre les distances mesurées et celles réellement parcourues par les athlètes.

En 2010, Randers et al., ont montré que le GPS fournit des données comparables ($p < 0,05$) à celles obtenues avec d'autres outils d'analyse, tels que les systèmes vidéo ou semi-automatiques à caméras multiples. Ces résultats confirment la fiabilité du GPS comme outil de mesure, capable de produire des données exploitables sur un large éventail d'échantillons.

Avant l'arrivée de ces technologies, l'analyse du mouvement était réalisée manuellement et se limitait à un joueur à la fois sur une période donnée. Aujourd'hui, grâce à des outils avancés comme le GPS, il est possible d'observer simultanément les mouvements de plusieurs joueurs avec une

grande précision (Jennings et al., 2010). Cette gestion GPS s'appuie sur divers satellites mis à disposition (*Figure 9*).

4.2 Applications et précisions des mesures GPS

La précision du système de positionnement par satellites (GPS) a évolué de manière significative au fil du temps. Jusqu'en mai 2000, le département de la Défense américain appliquait un brouillage intentionnel des signaux satellites, appelé « Selective Availability » (SA), notamment en raison des « conflits au Koweït ». Cette restriction limitait alors la précision à environ 100 mètres (Kremer et al., 1990). Une fois le brouillage élevé, la précision typique du GPS s'est améliorée, atteignant environ 15 mètres, offrant ainsi des données plus fiables et sécurisées aux utilisateurs (Bekraoui et al., 2010 ; Rahou et al, 2020). Cependant, cette précision restait inférieure à celle du GPS différentiel (DGPS), une version améliorée du GPS. Grâce à l'ajout d'un réseau de stations terrestres fixes, le DGPS permet de réduire les erreurs à une marge de 3 à 5 mètres (Bekraoui et al., 2010 ; Rahou et al, 2020). Contrairement au GPS classique, qui repose uniquement sur les satellites, le DGPS corrige les écarts entre les positions mesurées par les satellites et les positions réelles enregistrées par les stations (*Figure 9*).

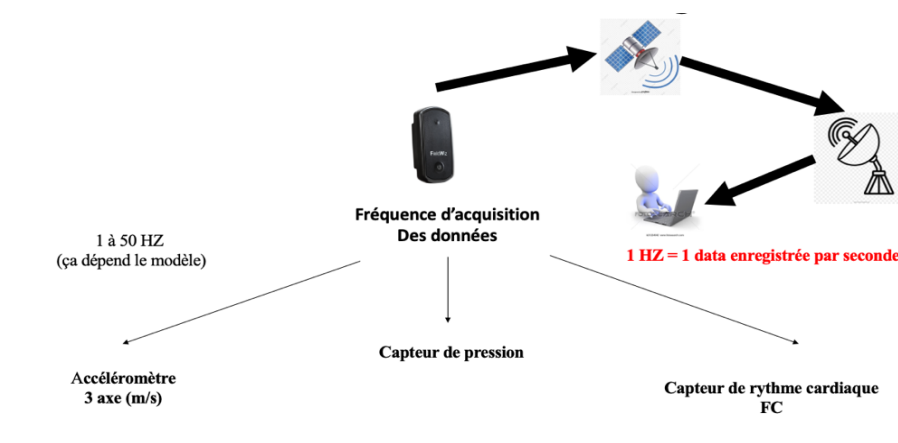


Figure 9 : principe du fonctionnement du GPS (A. Rahou and Insiders, 2020)

Les joueurs portent désormais des appareils GPS légers et compacts, intégrés dans leurs gilets ou maillots, qui enregistrent en temps réel des données précises sur leur position, vitesse, distance parcourue, changements de direction, etc. Ceci permet plusieurs analyses ainsi que la mise au point d'indicateurs de la performance :

Analyse des performances en temps réel : Un avantage clé est la capacité d'analyser les performances des joueurs en temps réel grâce aux données GPS transmises à un système d'analyse. Cela permet d'optimiser l'entraînement, de surveiller les charges de travail et de prévenir les blessures.

Amélioration de la prise de décision tactique : Les données GPS fournissent des informations précieuses sur les mouvements et positions des joueurs, permettant d'analyser les schémas tactiques et d'ajuster les stratégies en conséquence.

Indicateurs de performance détaillés : Grâce au GPS, on peut désormais mesurer de nombreux paramètres clés : vitesse maximale, distance à haute intensité, nombre de sprints/accélérations, changements de direction à haute intensité, etc. Cela permet d'établir un profil athlétique complet.

Comparaison aux standards professionnels : Certaines solutions proposent des scores comparant les performances d'un joueur à celles de professionnels de même profil (âge, sexe, poste), permettant d'identifier les points forts (forces) et les points faibles (faiblesses).

Certification et normes FIFA : La FIFA a lancé un programme de certification des systèmes GPS portables afin de garantir leur précision et leur innocuité pour les joueurs, contribuant à leur adoption généralisée.

4.3 Défis techniques de l'utilisations des GPS en Football

(Principaux défis techniques liés à l'utilisation des systèmes GPS dans le football)

✓ Individualisation des seuils de vitesse

L'un des défis majeurs est l'individualisation des seuils de vitesse GPS pour chaque joueur en fonction de ses capacités physiques individuelles. Cela permet une interprétation plus précise des données de charge externe. Cependant, cela soulève des complexités comme la nécessité de tests de terrain spécifiques (VAM-EVAL, sprint 40m) pour déterminer les seuils individuels.

Les tests composites d'endurance intermittente sur terrain ne sont pas adaptés pour cette individualisation. La mise en œuvre pratique des seuils individualisés pour toute une équipe peut être complexe en raison d'une fréquence d'échantillonnage élevée.

Les premiers GPS ne fournissaient qu'une donnée par seconde, insuffisant pour capter les mouvements rapides des joueurs. Les appareils modernes comme le MinimaxX v4.0 atteignent une fréquence de 10 Hz (10 données/seconde), permettant un suivi précis.

✓ **Certification et normes de précision** : La FIFA a mis en place un programme de certification des systèmes GPS portables afin de garantir leur précision et innocuité, contribuant à leur adoption généralisée dans le football professionnel.

✓ **Intégration des données dans les stratégies d'équipe** : Un défi réside dans l'interprétation intelligente des nombreuses données GPS (vitesse, accélérations, puissance métabolique, etc.) et leur intégration dans les stratégies d'entraînement et de jeu de l'équipe.

- ✓ **Coût des solutions haut de gamme** : Bien que de plus en plus abordables, les solutions GPS haut de gamme avec analyses avancées représentent encore un investissement significatif pour de nombreux clubs.

Au final, les défis techniques majeurs concernent l'individualisation des données, la précision des appareils, la certification, ainsi que l'intégration intelligente et le coût des solutions GPS de pointe pour le football.

a. Impact des données GPS sur l'entraînement et la Formation des joueurs

Selon les sources professionnelles et scientifiques, les entraîneurs utilisent les données GPS pour optimiser la formation des joueurs de plusieurs manières :

- ✓ **Personnalisation des programmes d'entraînement** : Les données GPS détaillées sur les distances parcourues, vitesses, accélérations, etc. permettent aux entraîneurs d'adapter les charges d'entraînement aux besoins individuels de chaque joueur. Ils peuvent ainsi personnaliser les programmes pour maximiser les performances et minimiser les risques de blessures.
- ✓ **Structuration des séances d'entraînement** : En analysant les données GPS des joueurs pendant les entraînements (vitesses, distances à haute intensité, etc.), les entraîneurs peuvent structurer des séances plus efficaces pour garder les joueurs frais et engagés. Ils ajustent ainsi l'intensité et le contenu pour un entraînement optimal.
- ✓ **Conception des programmes hors-saison** : Les profils de performance GPS des joueurs aident les entraîneurs à concevoir des programmes d'entraînement hors-saison plus éclairés et adaptés, afin de préparer au mieux la saison à venir.
- ✓ **Identification des baisses de régime** : Les données GPS permettent d'identifier les baisses de régime des joueurs au cours d'un match ou d'un entraînement. Les entraîneurs peuvent alors prioriser les changements/rotations pour optimiser les performances.
- ✓ **Comparaison aux standards professionnels** : Certaines solutions proposent des scores comparant les données GPS d'un joueur à celles de professionnels de même profil, aidant à cibler les axes d'amélioration spécifiques.

En résumé, l'analyse objective des données GPS révolutionne la préparation physique en permettant un suivi individualisé, une structuration optimale des charges d'entraînement et l'identification des points à travailler pour chaque joueur.

b. Impact des données GPS sur les stratégies de jeu en football

Les utilisateurs du GPS au niveau terrain dans le cadre de la pratique footballistique ainsi que plusieurs études confirment l'importance de l'influence des données GPS sur les stratégies de jeu ; ce qui permet d'ouvrir un large spectre d'applications et d'analyses :

- ✓ *Analyse des comportements collectifs* : Les données GPS individuelles des joueurs (vitesse, accélérations, déplacements, etc.) combinées à l'analyse vidéo permettent d'identifier et de modéliser les comportements collectifs d'une équipe lors des phases de jeu. Cela aide à déceler les schémas tactiques et les forces/faiblesses de l'équipe.
- ✓ *Conception de scénarios tactiques* : En croisant les profils GPS des joueurs avec les données historiques, il devient possible de prédire certains comportements d'équipe grâce à des algorithmes d'IA. Les entraîneurs peuvent ainsi concevoir et tester différents scénarios tactiques adaptés aux caractéristiques de leur effectif.
- ✓ *Ajustements tactiques en cours de match* : Le suivi en temps réel des données GPS des joueurs (vitesse, distances parcourues à haute intensité, etc.) permet aux entraîneurs d'ajuster leur stratégie et leurs remplacements en fonction de la fraîcheur physique de chacun.
- ✓ *Préparation tactique face aux adversaires* : L'analyse vidéo couplée aux données GPS des équipes adverses renseigne sur leurs systèmes de jeu, permettant de mieux s'y préparer tactiquement. On peut par exemple étudier leur jeu au pied, leur stratégie sur les touches, etc.
- ✓ *Modélisation des exercices tactiques* : Les données GPS aident à concevoir des exercices d'entraînement reproduisant au mieux les charges de travail et intensités des situations de match, afin de préparer les joueurs dans un contexte réaliste.

En résumé, l'exploitation intelligente des données GPS offre une meilleure compréhension des forces en présence et permet d'ajuster finement la stratégie de jeu d'une équipe, que ce soit dans la préparation, les ajustements en cours de match ou la conception d'exercices tactiques.

Il ressort que selon certains travaux, les types de données GPS les plus significatives et les plus importantes pour évaluer la performance des joueurs de football sont essentiellement :

Vitesse et distances parcourues - Vitesse maximale atteinte - Distances parcourues à différentes intensités (marche, course, sprint, etc.) - Nombre de sprints/accélérations.

Ces données permettent d'analyser les efforts physiques fournis par les joueurs et de quantifier les charges de travail. Alors que d'autres critères tel que : Accélérations/Décélérations - Nombre et

intensité des accélérations/décélérations - Changements de direction à haute intensité ; apparaissent essentiels pour évaluer les efforts explosifs et les capacités de changements de rythme des joueurs.

L'approche de la puissance métabolique, de l'estimation de la puissance métabolique développée et des indicateurs de la fatigue musculaire par les données GPS, permet entre autres de mieux comprendre la dépense énergétique des joueurs et leur état de fraîcheur.

Les données de position, de cartographie des déplacements sur le terrain ainsi que les distances totales parcourues paraissent très utiles par ailleurs pour analyser les schémas tactiques et les charges de travail globales. Enfin, l'enregistrement de la fréquence cardiaque et son suivi en temps réel par le système ambulateur de type GPS apporte une indication complémentaire et objective de l'intensité des efforts fournis par le footballeur.

En croisant ces différents types de données GPS, il devient possible d'établir un profil de performance physique très détaillé pour chaque joueur et d'optimiser la préparation physique en conséquence.

Enfin, l'évolution des technologies GPS permet une analyse beaucoup plus fine et en temps réel des performances physiques, physiologiques et tactiques des footballeurs, révolutionnant ainsi l'entraînement et la préparation physique des joueurs et celle des équipes.

III. Problématique

Le football moderne exige des niveaux croissants de performance physique, technique et tactique, tout en exposant les joueurs à un risque élevé de blessures, notamment musculaires et articulaires. Dans ce contexte, les jeux réduits (small-sided games) se sont imposés comme un outil d'entraînement privilégié, permettant de combiner intensité physique, développement des habiletés techniques et travail tactique en conditions simulées de match.

Cependant, malgré leur large adoption, les effets précis des SSG sur les déterminants de la performance physique et physiologique – tels que la capacité aérobie, la force, la vitesse ou l'agilité – restent encore discutés, notamment selon les variables de conception (surface de jeu, nombre de joueurs, règles, etc.). En parallèle, leur rôle dans la prophylaxie des blessures est de plus en plus mis en avant, en particulier par leur potentiel à améliorer la condition physique générale, à renforcer les groupes musculaires stabilisateurs et à mieux préparer les joueurs aux exigences du jeu réel.

Dès lors, il devient essentiel de comprendre dans quelle mesure les jeux réduits peuvent optimiser la performance tout en limitant l'incidence des blessures. Cette problématique soulève une interrogation centrale :

Comment la modélisation des jeux réduits en football influence-t-elle simultanément les déterminants physiques et physiologiques de la performance, et dans quelle mesure peut-elle contribuer à la prévention des blessures chez les footballeurs ?

Hypothèse 1 – Performance aérobie : La pratique régulière de jeux réduits en football entraîne une amélioration significative de la capacité aérobie des joueurs, comparable ou supérieure à celle obtenue par des méthodes classiques d'entraînement intermittent de haute intensité (HIIT).

Hypothèse 2 – Capacités neuromusculaires : Les jeux réduits sollicitant des actions explosives (changements de direction, sprints courts, sauts) améliorent les qualités neuromusculaires telles que la vitesse, l'agilité et la puissance, chez les joueurs de football.

Hypothèse 3 – Transfert à la performance en match : Les adaptations physiques induites par les jeux réduits se traduisent par une amélioration mesurable de la performance en situation de match, notamment en termes de distance parcourue à haute intensité et de fréquence d'actions décisives (passes, duels, tirs).

Hypothèse 4 – Prophylaxie des blessures : L'intégration structurée des jeux réduits dans la planification hebdomadaire réduit l'incidence des blessures musculaires et articulaires, en

renforçant les groupes musculaires spécifiques sollicités lors du jeu réel et en améliorant la tolérance à la charge d'entraînement.

Hypothèse 5 – Effet de la taille des formats de jeu : La variation des formats de jeux réduits entraîne des effets différenciés sur les paramètres physiologiques et biomécaniques, avec les plus petits formats générant une intensité cardiovasculaire plus élevée et une sollicitation plus marquée des actions neuromusculaires.

Hypothèse 6 – Individualisation et prévention : Une prescription individualisée des jeux réduits, en fonction du profil physiologique du joueur (âge, position, historique de blessures), maximise les bénéfices en performance tout en réduisant le risque de surcharge ou de récurrence de blessure.

IV. Contributions Personnelles, Recherches et Applications Terrain

Première Partie : Jeux Réduits

Étude 1 : Modélisation d'un jeu réduit en football Type 2 contre 2

Étude 2 : Modélisation d'un jeu réduit type 3c3 avec appuis fixe puis mobiles et son impact sur la charge d'entraînement.

Étude 3 : Impact de 2 modalités d'entraînements sur la capacité à répéter les sprints et les sauts chez les jeunes footballeurs

Deuxième Partie : Prévention des blessures :

Charge d'entraînement, Exploration Isocinétique et Réathlétisation

Étude 1 : Relation des indicateurs de la charge d'entraînement et de l'incidence des blessures avec une mise en place d'un protocole de prévention chez des joueurs de football en centre de formation.

Étude 2 : Exploration isocinétique, prévention et incidence des blessures chez les jeunes footballeurs. « *Relation entre les tests de début de saison et l'incidence de blessure chez les jeunes footballeur* »

Étude 3 : Évaluation isocinétique et analyse musculaire comparative des ratios Agonistes/Antagonistes chez des footballeurs/Sport Co.
« *Analyse musculaire de l'articulation du genou grâce au dynamomètre isocinétique et les différences observées entre des joueurs de handball et de football* ».

CONTRIBUTION PERSONNELLE

Partie 1 : Jeux Réduits

Étude 1 : Modélisation d'un jeu réduit en football : Type 2 contre 2

Étude 2 : Modélisation d'un jeu réduit type 3c3 avec appuis fixe puis mobiles et son impact sur la charge d'entraînement.

Étude 3 : Impact de 2 modalités d'entraînements sur la capacité à répéter les sprints et les sauts chez les jeunes footballeurs



Partie 1 : Jeux réduits

Étude 1 : Modélisation d'un jeu réduit en football Type 2 contre 2

Résumé

La préparation physique est indispensable en football, notamment face à l'intensification des efforts et la réduction du temps de récupération. Pour répondre aux nouvelles exigences, des jeux réduits contextualisés sont intégrés à l'entraînement. L'étude porte sur 24 joueurs U16 et U17 ayant suivi un protocole d'entraînement basé sur un jeu réduit 2c2 sur 361 m² (19 x 19m). Chaque séance incluait 1 minute de travail, 2 minutes de récupération, et un échauffement de 25 minutes. Les consignes visaient à optimiser l'effort collectif et la gestion du ballon. Les joueurs ont été évalués avant et après via un test CMJ. Les résultats montrent une différence significative entre les deux groupes, avec une meilleure résistance neuromusculaire chez les U16. Le jeu a permis de solliciter efficacement la force dans un cadre ludique. Ce type de travail se révèle donc efficace en remplacement de séances analytiques. Il contribue à améliorer les performances tout en respectant les contraintes du football moderne.

Mots Clés : Football, jeux réduit, Modélisation.

Abstract

This study involved 24 U16 and U17 players who followed a training protocol based on a 2v2 small-sided game played on a 361 m² pitch (19 x 19 m). Each session included 1 minute of play, 2 minutes of recovery, and a 25-minute warm-up. Instructions were aimed at optimizing collective effort and ball management. Players were assessed before and after the intervention using a countermovement jump (CMJ) test. The results revealed a significant difference between the two age groups, with U16 players demonstrating greater neuromuscular resilience. The small-sided game effectively engaged strength development in a playful context. This type of training thus proves effective as a substitute for analytical sessions, contributing to performance enhancement while aligning with the demands of modern football.

Key Words: Soccer, small sided games, Modeling.

1. Introduction

Indissociée de l'entraînement, la préparation physique (PP) concerne l'ensemble des techniques visant à développer et à entretenir les qualités physiques des joueurs. Elle permet de réaliser une meilleure adaptation des systèmes cardiovasculaire, respiratoire et neuromusculaire à l'effort et une bonne récupération pour une meilleure gestion de la fatigue. La PP permet de développer d'une façon significative l'ensemble des déterminants physiques et physiologiques de la performance tels que la vitesse, la force, la puissance, l'endurance. Au niveau métabolique, elle contribue pleinement à une meilleure gestion de la dépense énergétique à travers les processus métabolique et énergétiques ce qui engendre une endurance adaptée à la pratique sportive de haut niveau. La sollicitation et l'apprentissage répété des exercices lors de la PP permet de développer la synchronisation musculaire, la coordination segmentaire et l'explosivité gestuelle, ce qui au final permet l'optimisation des gestes techniques spécifiques à la pratique footballistique.

Aujourd'hui, la préparation physique en football prend une place de plus en plus importante, au vu du nombre croissant d'évènements footballistiques proches réduisant significativement le temps de repos et celui de la récupération. Par ailleurs, on note une évolution importante des exigences en compétition ; essentiellement une augmentation de la fréquence des efforts à haute intensité et leur durée, ainsi que la distance parcourue. Lors d'évènement majeur tel que la coupe du monde, on observe une différence significative des performances des joueurs au vu de leur préparation physique préalable à cet évènement. En football, les exigences en compétition ont largement évolué ces dernières années. Depuis, on compare l'exemple des fréquences d'efforts réalisés à très haute intensité ; passer d'un effort toutes les 1'17" dans les années 70 à un effort toutes les 55" depuis les années 2000. Aussi, en termes de volume on note une petite évolution sur les distances parcourue (11000 m en moyenne pour tous les postes hors gardien de but).

Pour répondre à ces nouvelles exigences, l'intégration à l'entraînement de jeux réduits en référence au travail contextualisé, est devenue essentielle pour atteindre des intensités proches de celles de la compétition.

Revue de la littérature

2. L'entraînement sportif (Performance et Principes)

Avant de proposer toute forme de planification, il semble en effet, important de revoir en quoi consiste l'entraînement et de connaître l'activité ou la discipline dans laquelle il est appliqué

et qu'il doit être adapté. La notion d'entraînement s'emploie dans les domaines sportifs et professionnels les plus divers et désigne le plus souvent un ensemble de méthodes et de processus empiriques qui visent à atteindre un niveau de performance plus ou moins élevé que le niveau initial selon les objectifs définis, et par l'application d'un ensemble d'exercices physiques appropriés et spécifique.

Selon plusieurs auteurs, un protocole comprenant une préparation physique, une approche technico-tactique, un soutien intellectuel et psychologique pour la pratique d'un athlète, l'aidant dans la réalisation d'exercices physiques, constitue une bonne part de l'entraînement.

On comprend que l'entraînement sportif est l'ensemble des exercices sportif qui permettent à l'athlète de progresser ou d'arriver au maximum de ses capacités.

-Selon Platonov (1988) : il comprend l'ensemble des tâches qui assurent une bonne santé, une éducation, un développement physique harmonieux, une maîtrise technique et tactique, et un haut niveau de développement des qualités physiques (*Voir : Déterminants physiques et physiologiques de la performance chap 1 : Revue littérature*). Par ailleurs, l'adhésion et l'intégration au sein d'une équipe et un groupe développe chez les pratiquants une bonne communication et une citoyenneté le préparant à mieux s'intégrer dans la société civile (*Figure 10, Figure 11*).

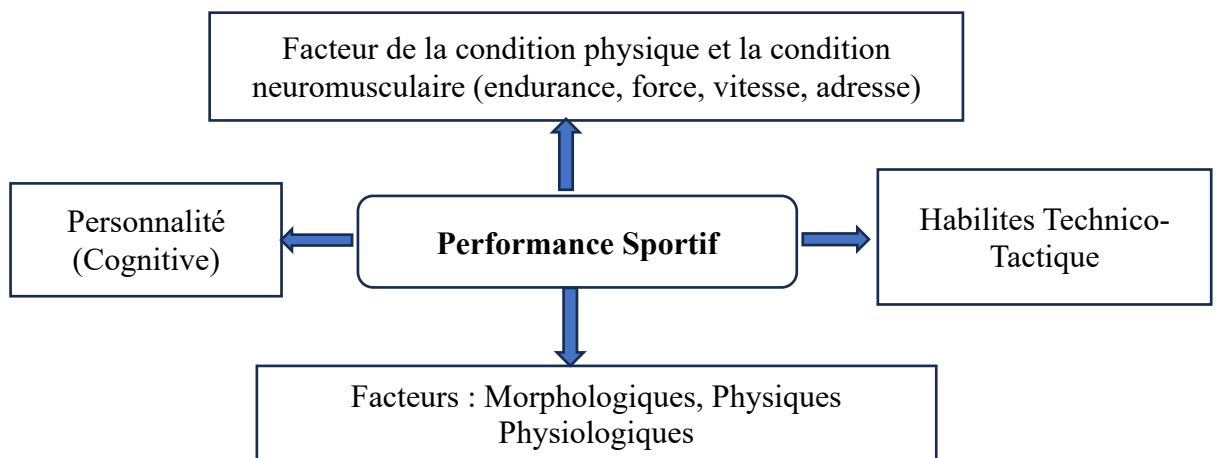


Figure 10 : Schéma descriptif et arborescences de l'entraînement sportif (*J. Weineck, 1996*)

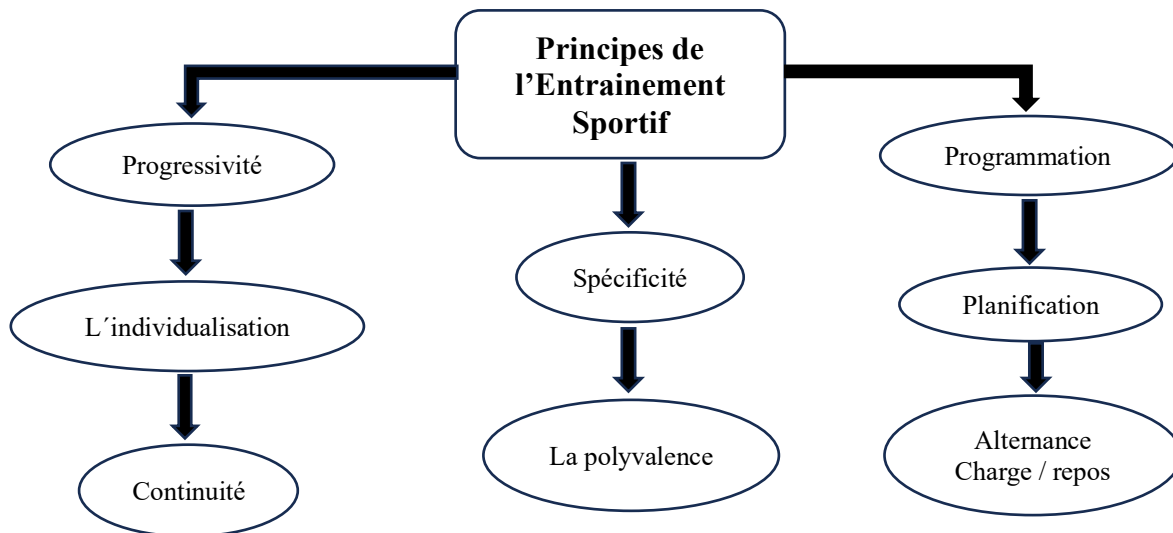


Figure 11 : Interdépendance de certains principes de l'entraînement Sportif
(Voir chapitre 1 : principes de l'entraînement : Revue littérature)

2.1 La programmation de l'entraînement

La programmation sportive est un processus structuré visant à organiser et à planifier l'entraînement d'un athlète ou d'une équipe sur une période donnée, en tenant compte de leurs objectifs spécifiques, des phases de compétition, et des capacités individuelles. Cette démarche repose sur plusieurs principes clés, dont la périodisation, qui divisent l'année en cycles d'entraînement (macrocycles, mésocycles, microcycles, *Figure 11*) pour optimiser les performances au moment des compétitions (*Voir : principes de l'entraînement chap 1 : Revue littérature*).

Un élément central de la programmation est l'adaptation progressive de l'intensité, du volume et de la fréquence des exercices, tout en intégrant des phases de récupération pour éviter les risques de surentraînement (Issurin, 2008). Selon Platonov (2013) une planification efficace doit également intégrer des tests réguliers pour évaluer les progrès et ajuster les charges. En sport collectif, la programmation inclut également des dimensions tactiques et stratégiques, adaptant les contenus aux exigences spécifiques du jeu, comme le rapporte Reilly et al. (2009). Cela permet de combiner les développements physiques avec des entraînements techniques et cognitifs.

En résumé, la programmation sportive vise une optimisation holistique de la performance, tout en respectant les principes de surcharge progressive, de précision et de récupération. Cette méthodologie, validée par de nombreuses études, est essentielle pour maximiser le potentiel des athlètes tout en définissant les risques de blessures (*Figure 12*).

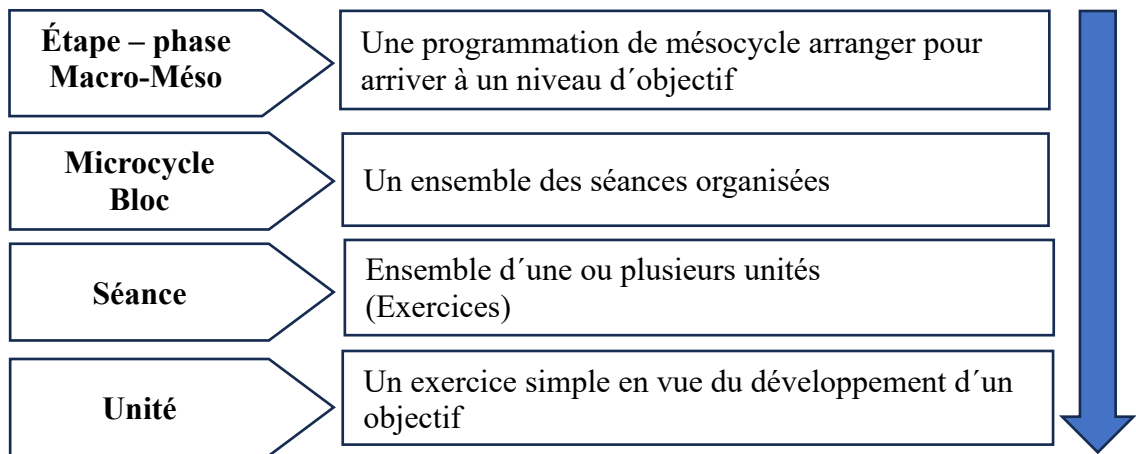


Figure 12 : programmation de l'entraînement sportif

2.2 Périodisation de l'entraînement

La répartition des périodes d'entraînement au cours de l'année est une stratégie fondamentale en préparation physique, visant à structurer l'effort en cycles pour optimiser la performance tout en minimisant le risque de blessures (*Figure 12*). Généralement, une année d'entraînement est divisée en trois grandes périodes : préparatoire, compétitive et transitionnelle. La phase préparatoire, souvent subdivisée en phases générales et spécifiques, est consacrée au développement des qualités physiques de base et des compétences spécifiques nécessaires à la discipline (Bompa & Haff, 2009). La phase compétitive se concentre sur le maintien des acquis physiques et l'optimisation des performances pour les compétitions principales (Issurin, 2008). Enfin, la phase de transition permet une récupération active, essentielle pour prévenir le surentraînement et maintenir la motivation à long terme (Plisk & Stone, 2003). La périodisation, qu'elle soit traditionnelle ou plus contemporaine (par exemple, ondulatoire), joue un rôle crucial pour ajuster les charges d'entraînement en fonction des objectifs et du calendrier compétitif (Turner, 2011). Adapter cette périodisation aux caractéristiques individuelles des athlètes et aux exigences de leur sport reste un défi majeur pour les entraîneurs.

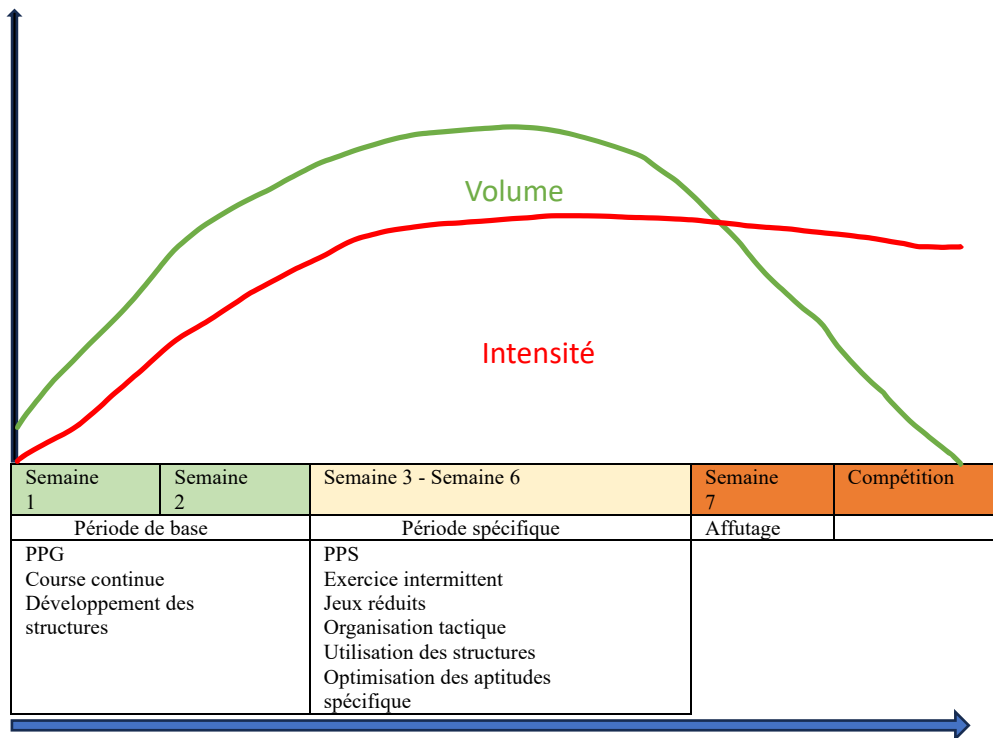


Figure 13 : Organisation d'une préparation physique de début de saison
(A.Rahou et al, 2022)

2.3 Méthodologie de l'entraînement en football

L'entraînement continu (EnC) et l'entraînement par intervalle (intermittent) (EnI) sont les deux types de méthodes d'entraînement préconisées et les plus utilisées par les équipes professionnelles en football.

- ✓ L'entraînement continu, méthode classique basée sur des exercices à périodes prolongées (Tableau 8). Il peut être de type continu long dont le but est d'améliorer l'endurance (*FC entre 70 et 75 % de la FC de réserve*) ou (*FC entre 80 et 85 % de la FC max*) ; ou bien de type continu court dont l'objet est l'amélioration de la puissance (*FC entre 80 et 85 % de la FC de réserve*).
- ✓ L'entraînement par intervalles (*intermittent ou interval training*) ensemble de séquences d'exercices alternant la réalisation d'efforts avec des temps de récupération (travail / récupération). La période de travail représente la partie de l'entraînement consistant à fournir des efforts physiques intenses et bref (5/10/15/30s), alors que la période de récupération va être alterné par les périodes de travail. Cette récupération de type passive ou active est fonction de la filière énergétique de travail (*alactique récupération passive, lactique récupération active*). De ce fait, Cette méthode est largement utilisée pour améliorer la capacité aérobie et anaérobie, la puissance musculaire et la tolérance à l'acide

lactique (Gibala et al., 2006).

Cette méthode d'entraînement alternant des périodes d'effort intense avec des périodes de récupérations active ou passive défini le corps même de l'intermittent qui instaure et défini certaines instructions et des conditions pour sa réalisation. Parmi cela, les choix et les instructions suivants sont souvent préconisés :

- ✓ **Intensité des efforts** : Les périodes d'effort doivent être effectuées à une intensité comprise entre 80 % et 95 % de la fréquence cardiaque maximale pour un entraînement aérobie, et jusqu'à 100 % pour des objectifs anaérobies (Tabata et al., 1996).
- ✓ **Durée des efforts** : La durée peut varier de quelques secondes à plusieurs minutes selon les objectifs, les plus longues étant associées au développement de l'endurance aérobie (Cazorla, 2006 ; Seiler & Tønnessen, 2009).
- ✓ **Récupération** : Les périodes de récupération active (marche ou jogging léger) ou passive doivent permettre une diminution partielle de la fréquence cardiaque, souvent à environ 60 % à 70 % maximale de la fréquence (George Cazorla, 2006).
- ✓ **Nombre de répétitions** : Cela dépend des objectifs et du niveau de l'athlète, généralement de 4 à 12 répétitions par séance.
- ✓ **Fréquence des séances** : Deux à trois fois par semaine sont souvent recommandées pour éviter le surmenage tout en maximisant les adaptations (Buchheit & Laursen, 2013).

Ces choix et instructions doivent être adaptés en fonction de l'âge, du niveau de la condition physique et des objectifs spécifiques de l'athlète pour maximiser les bénéfices tout en évitant les risques de blessures ou de surentraînement.

Types d'exercice	Caractéristiques	Durées	% VAM	Récup	Type de Développement
Continu	Infra maximaux longue durée, type marathon. Long Slow Distance (LSD)	> 30 min	60 - 80		Endurance aérobie
Mixte	Fartlek (3/4-1/4 ; 2/3-1/3 ; 1/2-1/2)	> 20 min	110-140	Active 40-60	Endurance + PAM
Par intervalles Longs	Infra maximaux, maximaux	5-8 min x 4 à 6	80 - 100	Passive 1-2 min	Endurance + PAM + Capacité lactique
Par intervalles Moyens	Maximaux et supra maximaux	30 s à 3 min x 3 à 5	100 - 140	Passive 3-4 min	Capacité lactique + PAM
Par intervalles Courts	Intermittents courts	10 s à 20 s x 30 à 40	110 – 130	Passive 15 à 30s	PAM
Ultra courts	Répétition de sprints	20 à 30 m x 10 à 15	Vit max	Passive 30 à 40s	Endurance de vitesse + Pouvoir oxydatif musculaire
Fractionnés	Distance compétition / par 4, 5, 6...10	Dépend de la compétition.	> Vit. Compet.	Active	Endurance spécifique

Tableau 8 : Tableau récapitulatif des différentes formes d'exercices (Cazorla, 2006).

Ces exigences et la performance attendues par la pratique footballistique moderne regroupées et rapportées par certaines études constituent un socle basé sur les courses, les distances et les intensités réalisées lors de match de compétitions ; offrant ainsi la possibilité d'analyser statistiquement les performances des joueurs (Tableau 9 et figure 14).

Selon Mohr & J Bongsbo 2008, la vitesse de course n'est pas la même tout au long du match, elle a été décomposée en plusieurs allures (Tableau 9) ; un exemple d'approche et d'observation additionnée au socle d'études scientifiques pouvant estimer et évaluer la performance lors d'un match.

Distance totale %	DC	DL	MT	AT
Marche	22,9 à 35,7 %	27,8 à 28,8 %	20,7 à 31,5 %	27,5 à 28,6 %
Course lente	41,1 à 49 %	41,4 à 43,4 %	38,0 à 46,4 %	37,2 à 38,9 %
Course intense	16,9 à 19,6 %	19,3 à 19,7 %	19,7 à 22,4 %	20,9 à 23,1 %
Accélération/sprint	6,3 à 8,5 %	9,5 à 10,2 %	10,5 à 11 %	12,7 à 13,1 %
Distance totale parcourue (m)	7621 à 7753	8006 à 8245	8097 à 9805	7109 à 8397

Tableau 9 : Normalisation en Pourcentage des mouvements réalisés en fonction des distances totales parcourues et réalisées par match selon les postes.

DC : Défenseurs Centraux. DL : Défenseurs Latéraux. MT : Milieux Terrain. AT : Attaquants.

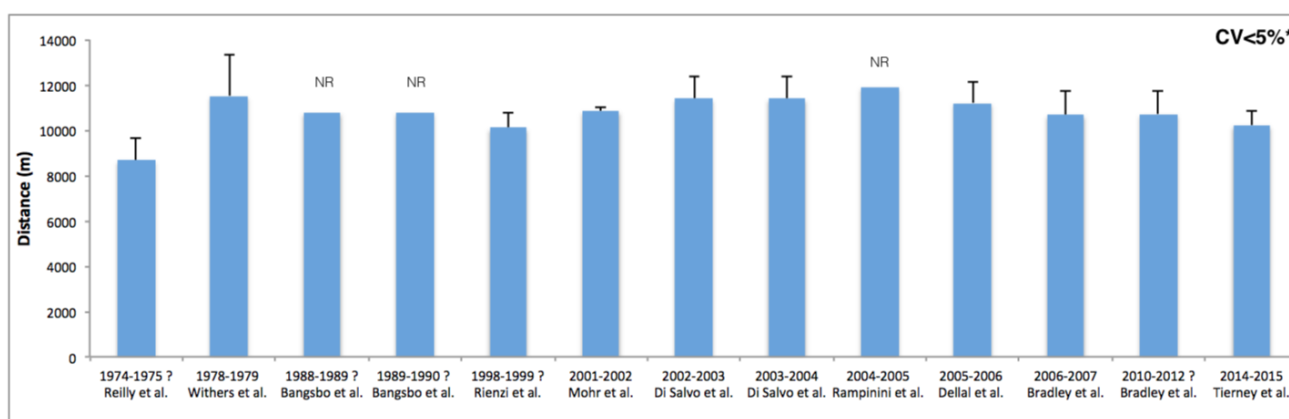


Figure 14 : Principales études et les distances moyennes parcourues en match par des équipes professionnelles européennes masculines depuis 1974 (NR=Écart-type Non Renseigné) (*) =ne tient pas compte de l'étude de *Reilly et al.1976*.

Ces choix et instructions constituent des exigences dans la pratique du football moderne. Les analystes et les scientifiques développent plusieurs méthodes d'approches et d'étude de la discipline football, qui semblent parfois éloignés de la créativité même des jeunes joueurs. La créativité devra rester à la base du développement des jeunes. Les meilleures équipes trouvent un équilibre optimal entre des systèmes et des stratégies clairement reconnaissables et une certaine liberté laissée aux joueurs en matière d'initiatives individuelles et de créativité.

De ce fait, l'introduction des jeux réduits renforce aussi bien la liberté d'expression de la créativité sur un plan technicotactique, en même temps que le développement des autres critères de la performance.

3. Les jeux réduits en football

Le jeu réduit (*SSG*) est un travail d'opposition intense sur une surface de jeu réduite normée, permettant au joueur de réaliser un travail sur deux dimensions en même temps ; travailler à la fois l'aspect physique et l'aspect technico-tactique. Plusieurs travaux soulignent que ces aspects sont travaillés d'une façon plus riche et complète que lors d'un entraînement physique traditionnel sans ballon (travail analytique), (Impellizzeri 2006, Little 2006, Reilly 2004).

Les contraintes des jeux réduits en football d'un point de vue technique et physique sont relatives à la l'importance de la motivation des joueurs et à leur tendance à reproduire les situations réelles réalisées lors des matchs. Cette spécificité structurelle et fonctionnelle des jeux réduits permet de travailler significativement les aspects technico-tactiques et offrent la possibilité de solliciter les besoins métaboliques très proches de ceux rencontrés en match.

La nature du jeu réduit lui-même et sa tendance à reproduire les situations réelles proches de celles réalisées lors des matchs, ce qui suppose des hautes intensités et des changements brusques de direction effectifs ; ceci doit nous amener à doubler de vigilance à considérer certaines instructions et consignes de sécurité dans la réalisation des *SSG* lors de la préparation physique. Essentiellement, l'estimation et le contrôle de la charge d'entraînement (*Tableau 10*) ainsi que l'intensité de l'entraînement tout en mettant en phase l'objectif visé ou dominant avec le contenu des *SSG* réalisés.

Par conséquent il est nécessaire de tenir compte des facteurs qui peuvent influencer l'intensité des exercices proposés. Ces derniers sont fonction - des objectifs de la séance ou du niveau de performance des joueurs, du type d'exercice et de la taille ou surface de jeu. En effet, il existe une relation directe entre l'intensité du jeu et le nombre de joueurs (*Tableau 10*).

Plusieurs études, se sont intéressées à classer les jeux réduits en fonction de certains critères tel que le type d'exercice et le nombre de joueurs, l'intensité, la surface de jeu et enfin l'estimation de la charge de travail (*Tableau 10*) ; au vu de l'impact de ces facteurs sur la préparation physique en jeux réduits.

Les travaux de Grant et al.1999 ; Platt et al.2001 ; Jones et al. 2007 ont permis une classification des intensités de sollicitation en fonction du nombre de joueurs en opposition et de la surface de jeu choisie (*Tableau 11 et Figure 15*).

Exercices en Jeux réduit et intensité de réalisation								
Type entraînement	% FC	Lact (m.mol/l)	Vol	DR	Nb -R	Repos	Exemples d'exercice	
							Exercice	Référence
Capacité aérobie	80-90%	3-6	30-60	6-25	1-8	>1min	5x5	<i>Castagna 2004</i>
							6x6	<i>Flampinin 2007</i>
							7x7	<i>Castagna 2004</i>
							8x8	<i>Saasi 2004</i>
Puissance Aérobie 85-90 % VMA	90-95%	6-12	12-35	3-6	4-8	Travail = Repos	3x3	<i>Balsom 1999</i>
							4x4	<i>Holf 2004</i>
Puissance Anaérobie	>85%	>10	4-16	20 sec - 3min	2-4	1-4	2x2	<i>Aros2004</i>
							3x3	<i>Litle 2006</i>

Tableau 10 : Exemples de jeux réduits, leurs niveaux d'intensités ainsi que leurs charges d'entraînement
FC : Fréquence Cardiaque. Lact : Lactate. Vol : Volume. DR : Durée Répétition. Nb-R : Nombre de Répétitions.

Exercice	Structure : temps de jeu temps de récup	Taille du terrain	Intensité : FC max
2 contre 2	4 x 2' Récup (2')	27 m sur 18 m	91%
3 contre 3	4 x 3' Récup (1,30'')	36 m sur 27 m	90%
4 contre 4	5 x 3',30 Récup (2')	45 m sur 27 m	90%
5 contre 5	3 x 5' Récup (1,30'')	50 m sur 27 m	89%
6 contre 6	3 x 6' Récup (1',30'')	55 m sur 36 m	87%
8 contre 8	3 x 10' Récup (2')	64 m sur 41m	85%
5 X 5 pression	5 x 2' Récup (2')	55 m sur 32 m	90%
6 x 6 pression	5 x 2' Récup (2')	59 m sur 27 m	91%

Tableau 11 : Caractéristiques : Corrélations entre les types d'exercices, les surfaces, les intensités et les temps de jeu/récupération d'exemples jeux réduits réalisés.

M

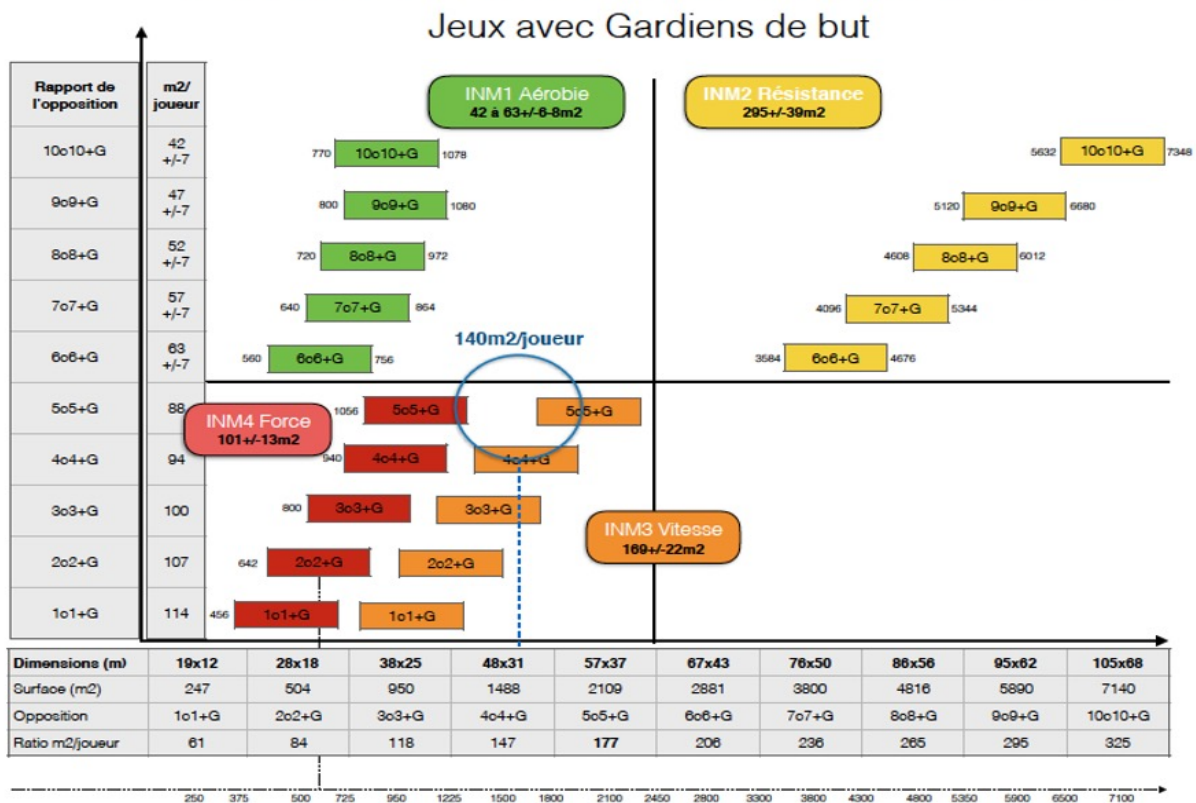


Figure 15 : Model de classification des jeux réduits selon Nick Broad (*remodéliser par JC Hourcad*)

En plus de l'ensemble des éléments cités qui caractérisent les jeux réduits, d'autres facteurs peuvent s'y rajouter pour affiner l'impact majeur des jeux réduits sur la préparation physique et l'optimisation de la performance du joueur professionnel (*Figure 14*). Ces facteurs complémentaires et additifs concernent directement l'encadrement et la gestion du contenu même des SSG, c'est-à-dire la qualité d'animation du préparateur physique ou le coach dans son choix du nombre de joueurs avec la dimension du terrain, ses orientations et consignes dans les règles et le type de marquage et démarquage lors du jeu et enfin son suivi du ratio travail/récupération pour mieux estimer la charge d'entraînement. Les choix, les consignes ainsi que l'encadrement du préparateur physique complète pleinement le contenu de l'entraînement et celui de la préparation à la compétition.

4. Charge d'Entrainement et charges Physiques

La charge d'entraînement correspond au travail effectué par l'athlète. Elle est constituée par l'ensemble des stimulations produites pendant toute la durée de l'exercice et dépend de l'intensité et de la durée (*Figure 15*). Dans le sport en général, et dans les sports collectifs

d'endurance comme le football en particulier, différentes études ont montré les effets physiologiques de l'entraînement sur l'organisme. A la lumière de ces études, la quantification et la détermination de la charge d'entraînement personnalisée pour chaque joueur ou pratiquant sportif reste une approche très individualisée et délicate à généraliser. Elle dépend des distances de courses et des déplacements (10 à 12 -14 Km/Match en moyenne). On note une différence notable et significative entre les joueurs concernant les distances moyennes selon le poste et le système de jeu : Défenseurs latéraux (11 – 13 km) - Attaquants (10 – 12 km) - défenseurs centraux (9 – 11 km) (Tableau 12).

Geste & Mouvement	DC	DL	MT	AT
Nombre : Accélération/ sprint	28	31	39	47
Temps d'Accélération sur une distance moyenne de 22,2 ±13 m	71 Sec	136 Sec	124 Sec	110 Sec
Nombre de Courses intenses	82	96	90	105
Temps de course intense sur une distance moyenne de 21,8 ±15 m	442 Sec	514 Sec	483 Sec	434 Sec

Tableau 12 : Répartition du nombre d'accélération sprint/ courses intenses et temps de réalisation sur des distances moyennes, par match et selon le poste de jeu.

DC : Défenseurs Centraux. DL : Défenseurs Latéraux. MT : Milieux Terrain. AT : Attaquants.

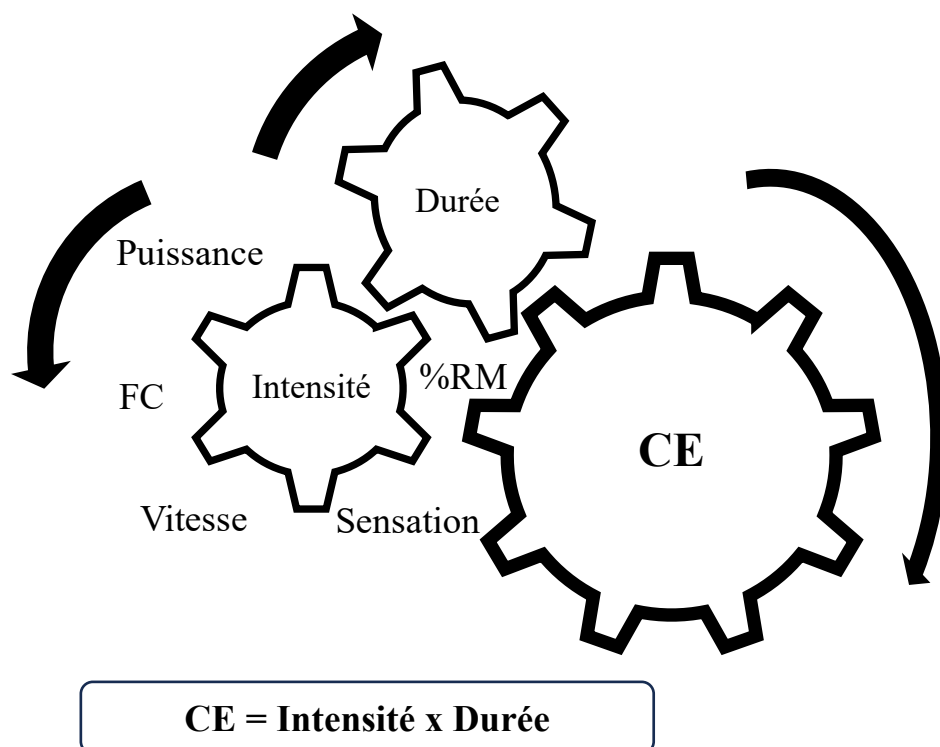


Figure 16 : Quantification de la charge d'entraînement (A.Rahou et al, 2022)

✓ ***Différents types de charge d'entraînement et leur conception :***

- Charge d'entraînement de compétition (CEC) : estimation de la CE par compétition, puis celle-ci est reportée à l'ensemble des compétitions disputées tout le long de l'année.
- Charge d'entraînement spécifique (CES) : CE des exercices qui sont réalisés dans la gestuelle propre de l'activité.
- Charge d'entraînement général (CEG) : CE des exercices non spécifiques à l'activité qui contribuent au développement de certaines qualités physiques de base.
- Charge d'entraînement analytique (CEA) : CE des exercices inhabituels programmés spécifiquement pour avoir une action ciblée sur une fonction précise qu'il est très difficile d'améliorer par les actions conjuguées des charges d'entraînement spécifiques et générales.

Il est souvent conseillé de varier le contenu de l'entraînement et son intensité en fonction de la CE estimée pour ce dernier, ceci permet d'éviter l'installation d'une certaine monotonie dans ces ajustements et durant le travail d'ensemble.

L'intensité des courses avec changement de direction ainsi que les sprints confèrent au football sa pratique athlétique en termes de puissance, d'explosivité et de réactivité. Ceci, conditionne forcément le contenu des séances d'entraînement vers un contenu rythmé et d'intensité du match donc des séances moins longues mais plus intensive en faisant travailler les joueurs dans leur position ; tout en respectant les principes prophylactiques de prévention des blessures veillant aux principes de veille alimentaire et

En effet, la pratique sportive n'a pas les mêmes effets sur tous les sportifs. Dans ce cas, on est en mesure de se poser la question, quelle méthode de quantification et pour quelle pratique afin de nuancer les disciplines par rapport à leurs particularités en termes d'efforts et d'intensités d'efforts.

De plus, l'objectif de l'entraînement est d'améliorer la performance, de ce fait quelles méthodes utiliser pour évaluer CE et quelles variables prendre en compte ? Pour répondre à ces questions, une première partie sera consacrée à définir une méthode de quantification de la charge et du suivi de l'entraînement, avant de déterminer une méthode d'évaluation de la performance.

5. Matériels et Méthodes

5.1 But et objectifs

Après vérification et paramétrage de chaque type d'exercice contextualisé (dimension de terrain, rapport d'opposition, règles, temps de travail et temps de récupération, nombre de

séquences, conditions environnementales, qualités physiques développées par chaque type de jeux réduit), l'objet de notre travail était l'optimisation de ces situations avec ballon.

Aussi, notre étude s'est intéressée à vérifier si l'exercice contextualisé type 2c2 est à dominante force ou bien concernera un autre déterminant physique ou physiologique de la performance ?

Pour cela, on s'est intéressé aux diverses idées et exigences qui ont impacté l'évolution de la pratique du football moderne ces 40 dernières années, à savoir : le volume (distance globale parcourue par match et autre), les paramètres d'évolution caractérisant la pratique tel que la haute intensité (HI= 14 et 19 Km/h), la très haute intensité (THI> 19Km/h), et enfin la fréquence de passage des efforts de THI de 1'17" à 1 effort THI tous les 55". Aussi, nous avons porté un intérêt particulier aux nouvelles méthodes d'entraînement au vu de leur précision et à leurs situations intégrées et contextualisées. Nous nous sommes équipés de GPS afin de réaliser de meilleures analyses des efforts qualitatif et quantitatif.

5.2 Matériels

Structure

Cette étude a été réalisée auprès de jeunes footballeurs de catégorie U16 et U17 (Tableau 13 et 14) évoluant en championnat de la ligue des hauts de France, tous licenciés du club de l'AC Amiens. En parallèle, j'ai pu encadrer l'équipe A (N2 et N3) en tant que préparateur physique suite à l'obtention du DU (*Diplôme Universitaire*) de préparateur physique puis comme coach des U18 en R2, ce qui a permis la continuité de mon travail de thèse au sein de la structure avec un élargissement du thème de travail et l'orientation vers les effets de l'entraînement intermittent supra-max sur l'amélioration de la VAM et la Puissance musculaire chez les footballeurs. J'ai pu réaliser et m'impliquer dans différentes tâches et encadrement au sein de la structure (*Figure 17*).



Figure 17 : différentes tâches réalisées au sein du club (Structure d'accueil).

Population d'étude


	Anthropométrie du Groupe U16			
Sujet	Age (an)	Taille (cm)	Poids (kg)	IMC
S1	15	170	60,3	21,11
S2	15	170	64	22,15
S3	15	174	62	20,48
S4	15	180	65	20,06
S5	15	181	65,6	19,71
S6	15	169	66	21,69
S7	15	169	60	21,09
S8	15	175	63	20,57
S9	15	176	63	16,44
S10	15	160	71,3	26,17
S11	16	175	66,8	21,8
S12	16	183	64,5	19,8
Moyenne	15	173	64	21
Écart-type	0,49	6,89	3,18	1,13

Tableau 13 : Données Anthropométriques du groupe U16


	Anthropométrie du Groupe U17			
Sujet	Age (an)	Taille (cm)	Poids (kg)	IMC (P/T ²)
S1	16	180	66	20,37
S2	16	184	60	16,83
S3	15	180	60,8	18,84
S4	16	160	57	23,88
S5	17	178	63	19,86
S6	17	175	62,6	20,44
S7	15	175	71	21,2
S8	16	180	65	21,22
S9	17	177	68,4	21,52
S10	17	170	68	23,53
S11	16	180	68,4	21,06
S12	16	165	62,7	23,03
Moyenne	16,08	175,58	64,62	20,65
Écart-type	0,51	7,37	3,97	2,16

Tableau 14 : Données anthropométriques du groupe U17.

Matériels utilisés :

My jump 2

Outil pliométrique pratique et ambulatoire facile à utiliser au niveau du terrain. Il permet de recueillir plusieurs types de données anthropométriques relatives à l'exercice et aux sauts. L'application *My Jump2* peut être téléchargée directement sur un smartphone, avec un transfert on-line des données vers un PC pour les traitements et analyses (Figure 18).

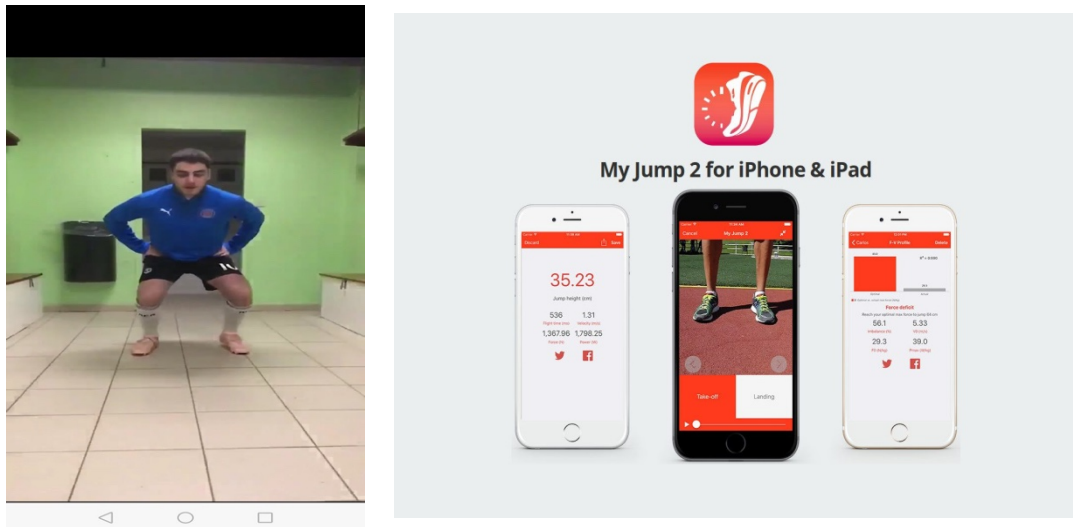


Figure 18 : Réalisation des Test-Terrain du CMJ (*Counter Mouvement Jump*) avec le dispositif et l'application « My jump 2 »

Échelle analogique de perception de l'effort : **Rated Perceived Exertion (RPE)**

Parmi les échelles analogiques d'appréciation de l'intensité de l'effort et de la fatigue, nous avons utilisé l'échelle RPE sur 10 niveaux d'appréciation, proposée par Foster (2001) (*Tableau 15*). L'échelle de FOSTER II valide la fiabilité de la perception de l'effort lorsqu'elle est donnée par l'athlète dans les 30min qui succède la séance (et non uniquement pendant l'effort). Cette note est appelé S-RPE pour session-RPE (séance-RPE). Elle aide aussi à apprécier la charge de l'entraînement et sa gestion.

<i>Q : Comment avez-vous perçu la difficulté de l'effort (de l'exercice ou du Match) ?</i>	
0	Repos
1	Très très facile
2	Facile
3	Moyen
4	Assez difficile
5	Difficile
6	
7	Très difficile
8	
9	Maximal
10	

Tableau 15 : Échelle RPE proposée par *Foster (2001)*

Analyseur des Lactates- Lactate-Pro

Nous avons utilisé le système portatif Lactate-Pro pour doser, quantifier et analyser les concentrations des lactates en post-test du jeu réduit. Outils d'analyse simple d'utilisation et avec une lecture directe sur écran digital de la concentration du lactate sanguin prélevé par capillarité au niveau des doigts. Prélèvements possibles à réaliser aussi au niveau du lobe de l'oreille. (*Pour complément voir : revue générale de la littérature : Lactatémie dans Analyse de la discipline, paramètres d'intensité des exercices en football*).



Figure 19 : Test de prise du lactate à l'aide du Lactate-Pro, pour évaluer l'intensité de l'effort et l'installation de la fatigue musculaire en post-test du jeu réduit.

Utilisation des GPS Fieldwiz

Les joueurs ont été équipés d'appareils GPS légers et compacts de type Fieldwiz, intégrés dans leurs gilets, et enregistrant en temps réel les données précises sur leur position, leur vitesse, leur distances parcourues ainsi que les changements de direction. Au préalable ces GPS ont été étalonnés et calibrés avant leur utilisation sur les terrains réduits. Cela a permis une interprétation plus précise des données de charge externe (*Figure 20*).

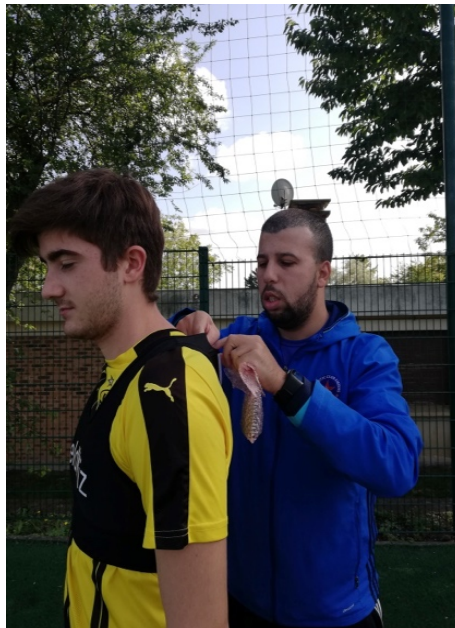


Figure 20 : Mise en place du GPS avant réalisation du protocole de travail. GPS Fieldwi

5.3 Méthodes

Protocoles

Pour notre étude, nous avons proposé un jeu réduit de 2c2 : mise en place 72h après un match, avec : un échauffement standardisé de 25'- 6' de courses à allure modérée - 4' de Gammes athlétiques - 2' d'Étirements - Échauffement technique (passe / contrôle) - Exercices de préparation au duels 2'- Étirement activo-dynamiques 3'.

Puis pratique du jeu réduit : notre choix a été un Jeu réduit 2 contre 2 avec une minute de travail suivie de deux minutes de récupération pour une durée de 24 minutes de travail au total (2c2 : 1 min de travail (1'w) / 2' récup) au total (w) = 24 min) (W= travail).

La surface du terrain choisie était de 19 x 19 m soit (361 m²) / 90,25 m² par joueur.

Les principales consignes étaient de réaliser uniquement 3 touches de Ball puis réaliser la passe pour son coéquipier. Réduire les ongles de passe, protéger et préserver le ballon et se rendre

disponible à la récupération. Ce jeu réduit a été reproduit en pré et post protocole d'entraînement (Figure 21).

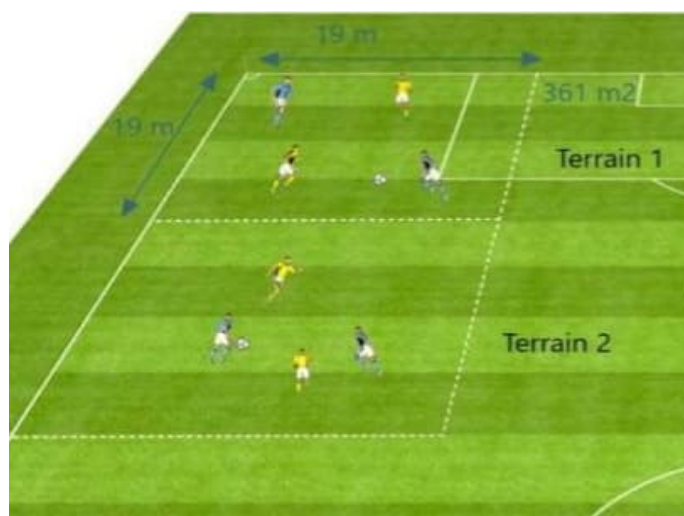


Figure 21 : Dimensions et superficie du terrain du jeu réduit 2c2

L'utilisation des GPS nous a permis d'enregistrer le nombre d'accélérations ainsi que le nombre de décélérations obtenant ainsi le ratio Nb Accélération/Nb de décélération, indice important pour apprécier la charge de travail réaliser en phase avec la performance physique de chacun. Aussi, ce choix des Cardio-GPS nous a permis d'affiner et de mieux quantifier la charge, en obtenant une meilleure lecture de la performance de chacun et celle du rapport quantitative / qualitatif du jeu (Nombre d'accélération, Nombre de décélération, Nombre de sprint, vitesse maximale et distance totale parcouru par joueur) (Figure 22).

Pour une meilleure évaluation de notre protocole et de ses acquis nous avons fait le choix de réaliser une série de CMJ à l'aide de l'application My Jump2 en pré et 24h en post protocole pour une meilleure appréciation de la performance et de la quantification de la charge ; d'apprécier la fatigue et le ressenti de l'intensité des efforts réalisés lors de la pratique du jeu réduit 2c2 à l'aide de l'échelle RPE de Foster, pour les deux groupes de notre population.

Nous avons eu l'opportunité de compléter le ressenti de l'effort par l'approche métabolique et surtout l'installation de la fatigue à travers l'analyse et la quantification du lactate en post-test après chaque jeu réduit par l'utilisation du système Lactate-Pro.

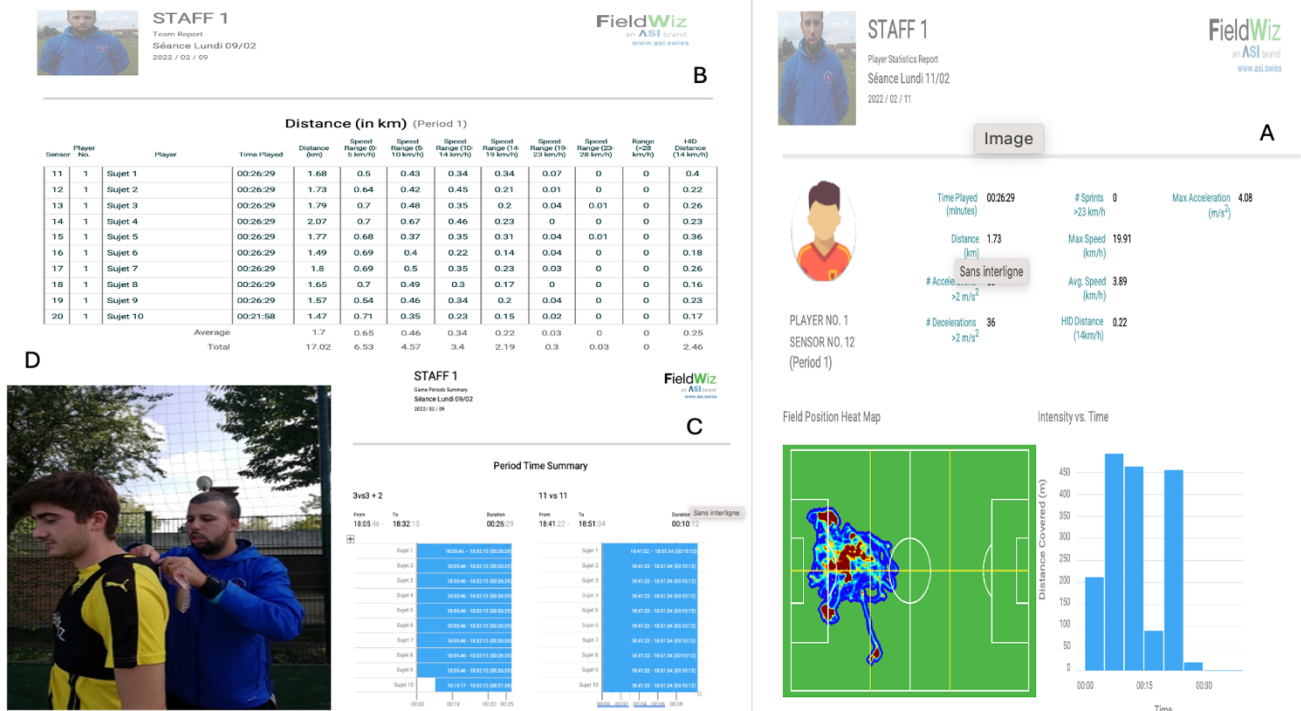


Figure 22 : Mise en place du GPS et type de rapport détaillé obtenu par l'utilisation GPS Fieldwiz

A : Mise en place du GPS. B : Étalonnage et paramétrage du GPS et premiers résultats. C : Type de données et de résultats obtenus par Joueur.

Pour ce premier protocole de jeu réduit représentant *notre première étude de faisabilité*, nous nous sommes basés sur des approches de terrain simples et faciles à appliquer et à réaliser. Essentiellement, un protocole de jeu réduit 2c2 sur un terrain standardisé avec applications du Cardio-GPS, un test de type pliométrique en occurrence le CMJ en pré et 24h en post protocole, l'utilisation de l'échelle RPE sur laquelle chaque joueur note son ressenti à l'effort et au travail spécifique aux muscles des membres inférieur, suite à ma propre demande de collaboration participative.

Analyse Statistique

✓ *Test de normalité ; Test-T de Student et test de Wilcoxon signed-rank*

Nous avons utilisé le logiciel SPSS comme outil d'analyse et de traitement de nos données. Les données ont été présentées en moyennes et des écarts-types, puis nous avons utilisé le test de normalité de Shapiro-Wilk pour déterminer si les données suivent ou non une distribution normale. Si les données ne suivent pas une distribution normale, d'autres tests statistiques plus appropriées doivent être utilisés pour éviter des conclusions erronées. Cela nous a permis de savoir s'il est

préférable d'utiliser le Test-T de Student ou de Wilcoxon signed-rank. Le seuil de significativité a été fixé à $p < 0.05$ pour toutes les analyses.

✓ *Calcul de l'indice d'amplitude*

Indice d'amplitude = moyenne après – moyenne avant / écart type moyen ($IA = \frac{Map - Mav}{ETMoy}$)
(Tableau 16).

Indices amplitude	
+ de 2	Très Grande evolution
entre + 1,2 et + 2	Grande evolution
Entre + 0,6 et + 1,2	Evolution Moyenne
Entre + 0,2 et + 0,6	Petite evolution
Entre -0,2 et + 0,2	Pas d'evolution
Entre - 0,2 et - 0,6	Petite degradation
Entre - 0,6 et - 1,2	Degradation Moyenne
entre - 1,2 et - 2	Grande degradation
- de 2	Très grande degradation

Tableau 16: Table de calcul de l'Indice d'Amplitude

6. Analyse des résultats et Discussion

Pour notre étude, nous avons une population de 24 joueurs, 12 joueurs en U17 avec une moyenne d'âge de 16,08 ans $\pm 0,51$ ans, une taille de 175,58 cm $\pm 7,73$ cm, et un poids de 64,62 kg $\pm 3,97$ kg et un IMC de 20,65 kg/m² $\pm 2,16$ kg/m² ; et 12 joueurs en U16 avec une moyenne d'âge de 15,33 ans $\pm 0,49$ ans, une taille de 173,66 cm $\pm 6,89$ cm, un poids de 64 kg $\pm 3,17$ kg, et un IMC de 21,38 kg/m² $\pm 3,13$ kg/m². L'ensemble de la population évolue en championnat ligue 2 (R2) région Hauts de France. Ils ont tous participé à l'ensemble des tests d'évaluation pré-post protocole proposé dans le cadre de notre étude avec un passage randomisé. Nous avons une homogénéité du groupe vis-à-vis des données anthropométriques, ce qui reconforte nos traitements statistiques.

6.1 Résultats des tests du CMJ, de la RPE, de l'Indice d'Amplitude et de la Charge d'Entraînement : Groupe U16 (CMJ, RPE, IA, CE)


	Résultats du Groupe U16		
Sujet	CMJ (cm)	RPE	CMJ+2 4h (cm)
S1	21,28	6	21,42
S2	20,51	6	20,1
S3	20,48	6	20,1
S4	24,38	5	25,38
S5	29,1	5	28,27
S6	21,69	6	21,5
S7	25,5	6	25,2
S8	24,41	6	24,41
S9	25,5	6	25,2
S10	25	6	24,5
S11	25	6	25
S12	25	6	25
<i>Moyenne</i>	23	5	22
<i>Écart-type</i>	<i>2,61</i>	<i>0,75</i>	<i>2,45</i>
Indice d'amplitude : -0,38 / indice entre -0,2 et -0,6 donc il y a une petite dégradation.			

Tableau 17 : Résultats individuels et moyennes du groupe du CMJ, de la RPE et de l'Indice d'amplitude du groupe U16.

CMJ (cm)	Moyennes	Ecart-type	Test-T Expérimental	Test-T Théorique	Significativité
CMJ pré	23,55	22,58	3,98	1,79	<i>P= 0,5</i> Significative
CMJ+24H	2,61	2,44			
RPE	5,25	CE	CE = 5,25X 24 = 126 UA		

Tableau18 : Analyse statistiques des résultats du CMJ, RPE et CE du groupe U16.

Les résultats des prés et post test de CMJ pour les U16, montre un indice d'amplitude de -0,38, ceci indique une dégradation des performances du groupe. Cette dégradation peut être considérée comme petite ou faible car l'indice devrait se situer entre -0,2 et -0,6, confirmée par les résultats du test T. notant que le T expérimental est supérieur au T théorique, ce qui implique que la différence est significative (Tableau 17 tableau 18, Figure 23).

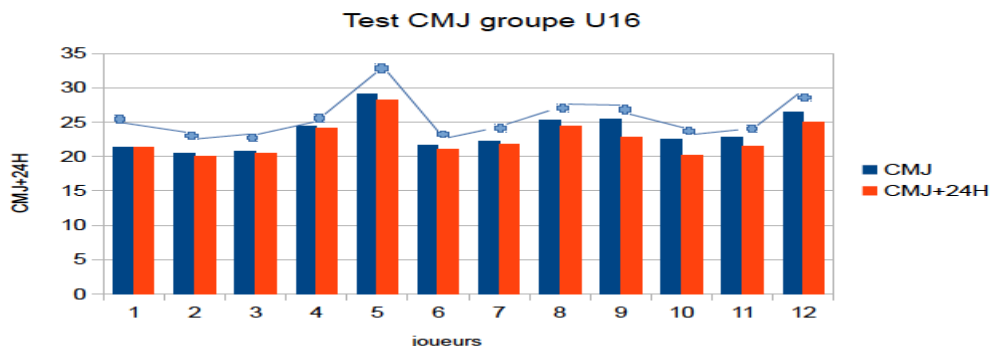


Figure 23 : résultats du test CMJ U16

6.2 Résultat des tests du CMJ, de la RPE, de l'Indice d'Amplitude et de la Charge d'Entraînement : Groupe U17 (CMJ, RPE, IA, CE)

Sujet	Résultats du Groupe U17		
	CMJ (cm)	RPE	CMJ+24h (cm)
S1	22,89	6	22,76
S2	21,6	6	20,56
S3	22,35	6	23,78
S4	22,85	6	22,5
S5	22,27	6	22,27
S6	22,6	5	22,43
S7	22,25	4	22,43
S8	23,97	5	24,33
S9	23,52	5	23,6
S10	23,65	5	23,65
S11	23,5	5	23,5
S12	23,14	5	23,14
Moyenne	22,98	5,41	22,44
Écart-type	0,70	0,79	0,90
Indice d'amplitude : -0,67 / indice entre -0,6 et -1,2 donc une dégradation moyenne.			

Tableau 19 : Résultats individuels et moyennes du CMJ, de la RPE et de l'Indice d'amplitude du groupe U17.

CMJ (cm)	Moyenne	Écart-type	Test-T Expérimental	Test-T Théorique	Significativité
CMJ pré	22,98	0,79	2,42	1,79	$P < 0,5$ Significative
CMJ+24H	22,58	0,90			
RPE	5,41	CE	CE = 5,41 X 24 = 129,84 UA		

Tableau 20 : Analyse statistiques des résultats du CMJ, RPE et CE du groupe U17.

Les résultats des pré et post test du test CMJ pour les U17 montre un indice d'amplitude obtenu est de -0,67, ceci indique une dégradation des performances du groupe. Cette dégradation peut être considérée comme moyenne car l'indice devrait se situer entre -0,6 et -1,2, confirmée par les résultats du test T ; notant que le T expérimental est supérieur au T théorique, ce qui implique que la différence est significative (*Tableau 20 Tableau Figure 24*).

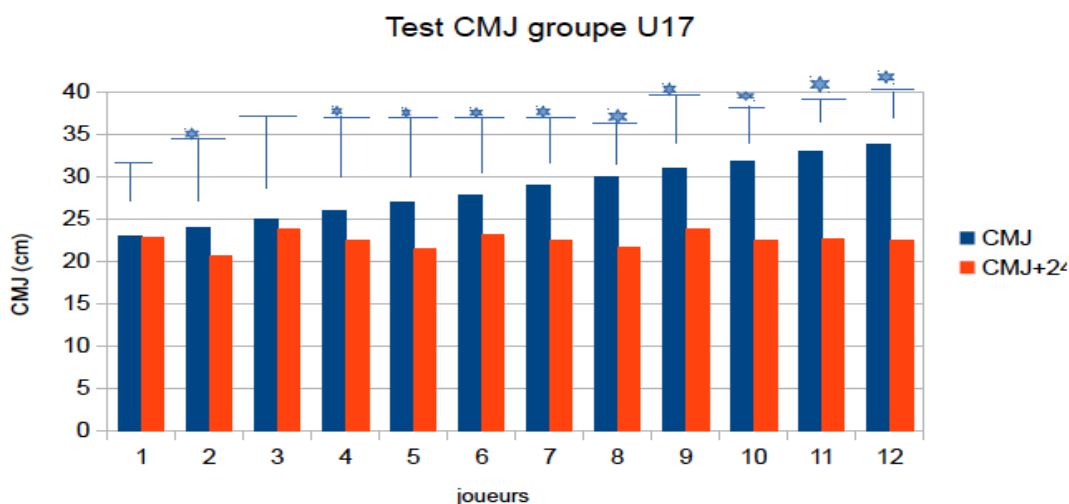


Figure 24 : résultats du test CMJ groupe U17

6.3 Résultats des analyses des concentrations du lactate pour U17 et U16

U17		U16	
Sujets	Lactate mMol.l ⁻¹	Sujets	Lactate mMol.l ⁻¹
S1	4,9	S1	9,8
S2	7,5	S2	5,1
S3	8,9	S3	5
S4	9,1	S4	6
S5	8,9	S5	9,7
S6	10,6	S6	15,8
S7	2,9	S7	4,5
S8	9,7	S8	11,6
S9	5,3	S9	1,4
S10	12,6	S10	4,5
<i>Moyenne</i>	8,04	<i>Moyenne</i>	7,34
<i>Écart-type</i>	2,9	<i>Écart-type</i>	4,28

Tableau 21 et 22 : Résultats des analyses et quantifications des lactates post-test pour les groupes d'étude U16 et U17.

On observe une diminution notable des niveaux de réalisations des CMJ après 24h pour les U17, résultats confirmés par l'analyse statistique. Ceci peut s'expliquer par plusieurs éléments, notamment les intensités réalisées par ces U17 plus importantes que celles réalisées par les U16, cependant au vu de la faible différence d'âge entre les deux groupes cet élément peut être écarté en partie. Si on considère l'IMC (U17 : 20,65, U16 : 21), se rapportant directement et indirectement au poids sur la taille indiquant par ailleurs la présence d'une quantité indicative de la masse grasse (*Masse pondérale*), ceci peut nous renseigner sur l'utilisation accrue du processus aérobie au détriment du processus anaérobie lactique donc une présence faible soit elle de lactate en fin d'effort, plus importante chez les U17 que chez les U16 d'où une récupération non totale et pas pleine chez les U17 démontrée par les résultats moins fournis des efforts du CMJ après 24h.

On note des concentrations lactiques élevées suite au travail réalisé sur petit terrain en jeu réduit, indiquant clairement une installation significative de la fatigue musculaire chez les deux groupes de participants. Cependant, les concentrations moyennes des U17 ($8,04 \pm 2,9 \text{ mMol.l}^{-1}$) et celle des U16 ($7,34 \pm 4,28 \text{ mMol.l}^{-1}$) montrent que cette installation de la fatigue est plus marquée chez les U17 par rapport au U16, résultat déjà observé et confirmé par les données des CMJ et CMJ+24.

7. Discussion (*Applications pratiques*)

En application et indications, il semble important de bien considérer le volume de travail total programmé et déterminé par l'entraîneur et le préparateur physique car le ressenti des efforts, l'installation de la fatigue et la récupération en dépendent pleinement. Une fatigue ressentie et différée sur le plan musculaire et neuromusculaire pourrait être plus importante après la pratique d'un jeu réduit.

Au vu du nombre important de réalisations d'efforts, et autres gestuelles avec diverses intensités, il ressort que la quantification de la CE avec la méthode RPE ne permet pas de différencier l'implication et le travail de l'ensemble des efforts de plusieurs niveaux d'intensités. La RPE reste une indication subjective d'appréciation et d'estimation d'un ressenti après l'effort donc une sommation des intensités des efforts réalisés. Alors que la charge d'entraînement concerne plusieurs autres données métaboliques et physiologiques. Ce constat amène le coach et le préparateur physique à devoir bien gérer l'intensité des exercices contextualisés lors des séances, afin de laisser suffisamment de temps aux joueurs pour bien récupérer sur le plan musculaire et maîtriser ainsi les risques potentiels de fatigue ou de blessure.

Ceci peut être une indication importante pour le coach, elle montre que l'utilisation d'autres approches ou bien l'utilisation des nouvelles technologies telles que les cardio-GPS est une bonne alternative à mieux gérer les contenus des séances avec une meilleure évaluation des intensités, de la CE ainsi que d'autres paramètres relatifs à la performance des joueurs pouvant être travaillés lors de la pratique des jeux réduits. Nous avons constaté que cette utilisation peut être reproduite plusieurs fois sur l'année pour un meilleur suivi et une meilleure gestion des joueurs et de l'équipe.

8. Conclusion

Après vérification et paramétrage de chaque type d'exercice contextualisé (dimension de terrain, rapport d'opposition, règles, temps de travail et temps de récupération, nombre de séquences, conditions environnementales, qualité physique développée par chaque type de jeux réduit), l'objet de notre travail était l'optimisation de ces situations avec ballon. 24 joueurs de niveau district ont participé à l'ensemble des tests d'évaluation d'entrée-sortie randomisés ainsi qu'au protocole d'entraînement. Répartis en 2 groupes U17(n=12) et U16 (n=12) d'âge respectif de $16,08 \pm 0,5$ ans et de $15,33 \pm 0,49$ ans. Homogène en termes de taille ($D=1.92 \pm 0,48$ cm), de poids ($D=0,23 \pm 0,8$ Kg) et d'IMC ($D= 0,73 \pm 0,97$). Ils ont tous réalisé un CMJ avant le protocole et un

second CMJ 24h après ce dernier. Nous avons proposé un jeu réduit 2c2 sur un espace de 19 x 19 m (361 m²) / 90,25 m² densité de jeu par joueur, avec 1 min de travail et 2 min de récupération sur une période de 24min. Les consignes étaient 3 touches de balle-max, réduire les angles des passes, préserver et protéger le ballon et se rendre disponible pour la récupération de ce dernier. Ce jeu a été mis en place 72h après un match de championnat, précédé d'un échauffement standardisé de 25 min.

Les résultats des tests CMJ montrent une différence significative en pré et post protocole. L'indice de performance montre une faible dégradation pour les U16 par rapport à une moyenne de dégradation de celui-ci pour les U17. La dominante force c'est l'équivalent d'une densité de terrain de 101±13 m² par joueur (modèle Nick BROAD), ceci confirme l'effet de notre type de jeux sur le plan neuromusculaire.

Donc on peut dire qu'un entraînement avec un jeu contextualisée 2c2, sur un terrain de 361 m² et une densité de 90,25 m², peut être un travail intéressant pour remplacer un travail analytique à dominante force. L'utilisation des cardio-GPS niveau du terrain dans le cadre de la pratique des jeux réduit nous a permis une meilleure gestion et un bon suivi des consignes du jeu. Notre étude confirme ainsi l'importance de l'influence des données GPS sur les stratégies de jeu, l'évaluation de la performance et son optimisation dans le cadre de l'entraînement et de la préparation en terrain réduits.

Partie 1 : Jeux réduits

Étude 2 : Modélisation d'un jeu réduit type 3c3 avec appuis fixes puis mobiles et son impact sur la charge d'entraînement.

Résumé : Cette étude avait pour objectif d'observer l'impact d'un type de jeux réduit en football selon deux formes différentes. Le premier type jeux réduit 3c3 + 2 appuis fixe offensive, le second du même type avec deux appuis entrant et sortant comme modification de la consigne des appuis.

L'espace de jeu était de 35x 45 m (1575 m²) / 132 m² de densité de jeu par joueur ; avec 2'30 de travail et 2'30 de récupération sur 5 répétitions. La pratique réduite se termine par un 10c10 avec deux gardiens de but sur tout le terrain, afin de donner une dominante physique à chaque model de jeux réduit, permettant au final de quantifier la charge d'entraînement externe de chaque jeu.

Mots clés : *jeux renduits, football, Modélisation, Appuis.*

Abstract:

The objective of this study was to examine the impact of a specific small-sided game format in football, implemented in two distinct variations. The first format consisted of a 3v3 game with two fixed offensive support players, while the second format featured the same structure but with two dynamic (entering and exiting) support players, modifying the initial support instruction. The playing area measured 35 × 45 meters (1,575 m²), resulting in a density of 132 m² per player. Each session included 2 minutes and 30 seconds of activity followed by 2 minutes and 30 seconds of recovery, repeated over 5 bouts. Each small-sided game session concluded with a 10v10 match with goalkeepers on a full-sized pitch, providing a physical emphasis to each game format and enabling the quantification of external training load.

Keywords: *small-sided games, football, modeling, support.*

1. Introduction & Revue de la littérature

Le football est l'un des sports les plus populaires dans le monde, avec des millions de personnes qui y jouent à tous les niveaux, du football de rue aux compétitions professionnelles. Pour devenir un joueur de football accompli, il est essentiel de développer une large gamme de compétences techniques, tactiques et physiques.

Aujourd'hui la préparation physique en football prend une place de plus en plus importante. Lors de chaque coupe du monde, on observe une différence de niveau de jeux, surtout sur le plan physiologique et tactique ; influençant la performance des joueurs et permettant par la même occasion l'amélioration de certains critères de la condition physiques, telles que la vitesse, l'explosive, l'endurance et la réduction de la fatigue. En football, les exigences en compétition ont évolué depuis les dernières quarante ans, si on prend l'exemple de la fréquence des efforts réalisés à très haute intensité, ils sont passés d'un effort toutes les 1'17" dans les années 70 à un effort chaque les 55" depuis les années 2000, et en termes de volume il y'a eu une évolution sur les distances parcourue (11000 m en moyenne pour tous les postes hors gardien de but).

Cette évolution a conduit les spécialistes de réfléchir à des méthodes d'entraînement plus précises pour répondre aux nouvelles exigences, intégrant de plus en plus le travail contextualisées (jeux réduits), dans l'objectif d'atteindre des intensités proches de celles de la compétition à la place ou en complément d'exercices analytiques.

Pour répondre à ces nouvelles exigences, l'intégration à l'entraînement de jeux réduits en référence au travail contextualisé, est devenue essentielle pour atteindre des intensités proches de celles de la compétition. Les jeux réduits en football offrent de nombreux avantages pour les joueurs, quel que soit leur niveau d'expérience. Les principaux avantages sont :

- ✓ Plus de contacts avec le ballon : Avec un espace de jeu plus petit et moins de joueurs sur le terrain, chaque joueur a plus d'opportunités de toucher le ballon, ce qui augmente leur temps de jeu effectif et leurs interactions avec le ballon. Cela permet aux joueurs de développer leur technique de dribble, de passe, de tir et de contrôle du ballon de manière plus intensive et plus rapide.
- ✓ Développement des compétences techniques : Les jeux réduits en football permettent de se concentrer sur des compétences techniques spécifiques, car les joueurs sont constamment confrontés à des situations de jeu qui connaissent l'utilisation de ces compétences. Les joueurs peuvent améliorer leur vision du jeu, leur prise de décision, leur précision de passe et leur capacité à jouer dans des espaces restreints.
- ✓ Développement de la compréhension tactique : Les jeux réduits en football permettent de travailler sur la compréhension tactique du jeu, car les joueurs doivent toujours s'adapter à

la taille réduite du terrain et aux interactions rapides avec les autres joueurs. Cela peut aider les joueurs à mieux comprendre les concepts tactiques tels que le positionnement, le mouvement sans ballon, le jeu en triangle et la coordination avec les coéquipiers.

- ✓ Amélioration de la condition physique : Les jeux réduits en football sont souvent intenses et demandent beaucoup d'efforts physiques, car les joueurs sont constamment en mouvement, en dribble, en passant, en tirant et en défendant dans un espace restreint. Cela peut aider à améliorer la condition physique générale des joueurs, notamment leur endurance et leur vitesse.

L'entraînement en football est devenu de plus en plus perfectionné au fil des années, avec l'utilisation de nouvelles technologies pour aider les joueurs à atteindre leur plein potentiel de performance. L'un de ces outils modernes est l'utilisation des systèmes de positionnement par satellite (GPS) pour quantifier la charge d'entraînement. Dans cette étude, nous allons explorer comment la quantification de la charge d'entraînement avec le GPS peut être utilisée dans le football pour optimiser les performances des joueurs.

La quantification de la charge d'entraînement avec les GPS est un processus qui implique l'utilisation de dispositifs GPS portables pour collecter des données sur la distance parcourue, la vitesse, l'accélération, la décélération, la fréquence cardiaque et d'autres variables physiologiques pendant les séances d'entraînement et les matchs de football. Ces données sont ensuite analysées pour évaluer la charge d'entraînement totale subie par les joueurs.

Les performances athlétiques en football : L'activité physique réalisée lors d'un exercice est influencée par des variables objectives simples comme la durée (des exercices, de la séance, des récupérations) et l'intensité (types d'exercice, intensité demandée par les entraîneurs, engagement, etc.) de la séance basée sur l'utilisation des systèmes de positionnement par satellite (*de l'anglais global positioning system*) (GPS) et les systèmes de capture de 21 mouvements ; la quantification de la charge externe a d'abord été centrée sur les distances totales parcourues et/ou sur les temps passés aux différentes vitesses basés sur les données récoltées, des profils d'activité ont été conçus dans le but de quantifier précisément l'activité de chaque joueur à travers les distances parcourues, les temps d'implication et les vitesses de déplacements de chaque joueur. Cependant, avec cette approche, la totalité de l'activité physique n'était pas évaluée puisque tous les mouvements, comme les sauts et les tacles par exemple, qui impliquent une forte puissance sans vitesse de course, n'étaient pas pris en compte. De plus, le coût énergétique lié aux accélérations, aux décélérations et aux changements de direction, et qui sont une composante importante des déplacements spécifiques du footballeur, était par là même sous-estimé.

Ainsi, plusieurs auteurs ont récemment inclus ces marqueurs d'accélération et de décélération dans les profils d'activité et ont ensuite étudié une mesure estimant la puissance métabolique, calculée à partir du coût énergétique et de la vitesse de déplacement.

Dans cette partie, ces différents paramètres utilisés pour quantifier les performances physiques dans la pratique du football sont présentés avec une mise en avant de leur fiabilité, validité, limites et intérêts pour être intégrés dans un processus de suivi du joueur de football.

Pour mesurer l'activité physique des joueurs de football, de nombreuses technologies ont été utilisées, comparées et validées scientifiquement : des systèmes semi-automatiques à multiples caméras, d'autres basés sur l'analyse vidéo des déplacements en fonction du temps, et les GPS quel que soit le système utilisé, on retrouve dans la littérature des catégories de vitesses prédéfinies pour mesurer l'intensité de l'activité, en match et à l'entraînement, distinguant les distances parcourues en : piétinant ($0-0,7 \text{ km.h}^{-1}$), marchant ($0,2-2 \text{ m.s}^{-1} = 0,07-7,2 \text{ km.h}^{-1}$), trotinant ou courant à basse intensité ($2-4 \text{ m.s}^{-1} = 7,2-14,4 \text{ km.h}^{-1}$), courant à intensité modérée ($4-5,5 \text{ m.s}^{-1} = 14,4-19,8 \text{ km.h}^{-1}$), courant vite ou à HI ($5,5-7 \text{ m.s}^{-1} = 19,8-25,2 \text{ km.h}^{-1}$) et en sprintant ($>7 \text{ m.s}^{-1}$ ou $>25,2 \text{ km.h}^{-1}$).

D'une étude à l'autre, piétiner, marcher et trotter pouvaient être regroupés en une seule catégorie d'activités dite à « basse intensité » ($0-3 \text{ m.s}^{-1} = 0-11 \text{ km.h}^{-1}$). Les classifications des hautes Intensités (HI) et des sprints pouvaient avoir différentes limites (HI : $5,5-6,5 \text{ m.s}^{-1} = 19,8-23,4 \text{ km.h}^{-1}$; sprint: $>6,5 \text{ m.s}^{-1}$ ou $>23,4 \text{ km.h}^{-1}$) ou être considérés quelque peu différemment en séparant les hautes ($>14,4 \text{ km.h}^{-1}$) et très hautes intensités (THI) ($>19,8 \text{ km.h}^{-1}$), les différentes catégories de vitesse rencontrées dans la littérature sont résumées dans le tableau 1. Il est intéressant de constater que les calibrations les plus élevées n'ont jamais dépassé $25,2 \text{ km.h}^{-1}$, sauf dans l'étude de Mohr et al. (2003), et qu'il n'existe aucune étude s'étant attardée sur l'analyse de l'activité physique en match en décrivant des distances parcourues à des vitesses proches des vitesses maximales atteintes en match (observées entre 29 et 35 km.h^{-1} lors de matchs professionnels (Tableau 23).

Auteurs	Période analysée	DTP	Piétinement (%)	Marche (m)	Trot (m)	BI (%)	IM (m)	HI (m)	THI (m)	Sprint (m)
Mohr et al. (2003)	Match entier	10,86 ± 0,18 km	19,5 ± 0,7	41,8 ± 0,9	16,7 ± 0,9	9,5 ± 0,4	4,5 ± 0,3	2,8 ± 0,2	/	1,4 ± 0,1
Di Salvo et al. (2007)	1ère MT	5709 ± 485 m	/	3496 ± 148	851 ± 188	894 ± 251	304 ± 118	/	/	165 ± 959
	2ème MT	5684 ± 663 m	/	3535 ± 302	803 ± 187	865 ± 255	301 ± 110	/	/	172 ± 949
Rampinini et al. (2007a)	Match entier	[10712–12011] ±[669–747] m	/	/	/	/	[2314–3192] ±[347–753]	[779–1014] ±[120–194]	[164–235] ±[45–76]	/
Rampinini et al. (2007b)	Match entier	NC	[238–310] ±[76–101] s	[3103–3549] ±[207–213] s	[1361–1726] ±[155–174] s	/	/	[278–467] ±[59–76] s	[76–123] ±[18–26] s	[18–31] ±[10–12] s
Rampinini et al. (2009)	Match entier	11828 m	/	/	/	/	3947 m	1224 m	/	/
Bradley et al. (2009)	1ère MT	5422 ± 561 m	/	1889 ± 183	2172 ± 338	/	/	879 ± 237	326 ± 111	123 ± 59
	2ème MT	5292 ± 508 m	/	1929 ± 145	2052 ± 315	/	/	827 ± 221	336 ± 114	132 ± 68
Di Salvo et al. (2009)	Match entier	NC	NC	NC	/	NC	[681–1049] ±[106–143]	/	[167–262] ±[46–63]	/
Castellano et al. (2011b)	MT moyenne	5667 ± 450 m	3495 ± 155	881 ± 168	584 ± 166	445 ± 139	145 ± 61	117 ± 76	/	/

Tableau 23 : Différentes catégories de vitesses pour l'analyse de l'activité physique du joueur de football.

MT = mi-temps ; DTP = distance totale parcourue ; NC = non communiqué ; TROT = Trotinant ; THI = Très haute intensité ; HI = Haute intensité ; IM = intensité modérée ; BI = Intensité basse.

Courses et distances parcourues aux différentes intensités, selon les postes de jeu

Ces catégorisations ont permis de quantifier l'activité physique d'un match de football, avec comme moyenne de référence 10-12 km de distance totale parcourue (DTP) réparties en 7 km de course à basse intensité, 1,4-2,0 km de course modérée, 1,8-3,0 km à HI et 0,6-1,0 km à THI chez des joueurs professionnelles. On peut également utiliser ces catégorisations de vitesse pour obtenir des informations sur les temps passés aux différentes intensités, avec par exemple 300 sec à piétiner, 3100-3500 sec à marcher, 1300-1700 sec à trotter, 300-500 sec à courir, 80-120 sec à courir vite et 20-30 sec à sprinter pour des joueurs professionnels pour revenir aux distances parcourues, elles peuvent également être exprimées en distance par minute avec l'équivalent de moyenne de DTP aux alentours de 123 m.min⁻¹, réparties en 47 m.min⁻¹ de marche, 36 m.min⁻¹ de trot, 17 m.min⁻¹ de course modérée,

11 m.min⁻¹ de HI et 12 m.min⁻¹ de THI chez des professionnels de *Série A* italienne, si les distances parcourues informent sur la charge en terme de volume, la perspective relativisée en mètres par minute permet d’avoir un aperçu de la charge en terme d’intensité, puisqu’elle prend en compte les déplacements sans l’influence du temps de pratique le nombre de sprints réalisés, mesuré entre 20 et 40 chez des joueurs de *Premier League* anglaise, peut également être utilisé afin d’obtenir une information supplémentaire sur l’activité physique en terme de volume. Enfin, toutes ces distances parcourues à différentes vitesses peuvent également être exprimées en % des DTP, avec ~62% des distances effectuées à basse intensité, 15,5% à trotter, 10% à courir, 8% à HI, 2,5% à THI et 2% à sprinter chez des joueurs de *Liga* espagnole les profils d’activité des différentes catégories rencontrées dans la littérature sont résumés dans le Tableau 24.

Seuil de vitesse	Distance totale (m)	Distance à haute intensité (m)	Distance en sprint (m)
> 14,4 km/h	10 500	1 300	250
> 19,8 km/h	10 500	600	250
> 25,2 km/h	10 500	150	250

Tableau 24 : Performances athlétiques réalisées en match en fonction des différentes catégorisations de vitesse selon (Teixeira et al ; 2024).

Ces distances sont amenées à varier d’un joueur à l’autre selon son poste de jeu au début des années 90, les chercheurs impliqués dans la recherche sur les performances en football ont d’abord différencié trois positionnements différents sur un terrain (sans compter le gardien de but) : les défenseurs, les milieux de terrain, les ATT, dans cette configuration, les milieux parcouraient 10% de DTP de plus que les deux autres, avec 11.4 km, sans qu’aucune différence ne soit observée dans les HI, une vingtaine d’années plus tard, il a été démontré que tous les défenseurs et que tous les milieux de terrain n’avaient pas la même activité sur un terrain de football, qu’ils soient dans l’axe ou sur un côté, à vocation offensive ou défensive, ainsi jusqu’à six postes de jeu pouvaient être différenciés: les DC, les AL, les milieux défensifs centraux (MDC), les ML, les milieux offensifs centraux (MOC) et les ATT (Tableau 25).

Références	Performance	DC	AL	MC	ML	ATT	Observation principale
<i>Akenhead et al. (2016)</i>	Distances totales (m) « accélérées »	421	463	502	461	435	ML=MC > DC=AL=ATT
<i>Akenhead et al. (2016)</i>	Distances totales (m) « décélérées »	360	405	441	411	378	Pas de différence significative
<i>Gregson et al. (2010)</i>	Nombre total de sprints	34,6 ± 10,6	29,5 ± 11,0	33,1 ± 11,2	24,9 ± 10,2	26,5 ± 12,6	MC=DC > AL > ML=ATT
<i>Di Salvo et al. (2009)</i>	Distances (m) parcourues >25, 2 km.h ⁻¹	167 ± 53	238 ± 55	217 ± 46	260 ± 47	262 ± 63	ML=ATT > AL > MC > DC
<i>Di Salvo et al. (2009)</i>	Distances (m) parcourues >19, 8 km.h ⁻¹	681 ± 128	911 ± 123	928 ± 124	1049 ± 106	968 ± 143	ML > A > AL=MC > DC
<i>Di Salvo et al. (2009)</i>	% sprints à accélération explosive	31,4 ± 3,9	30,1 ± 4,1	32,5 ± 4,2	29,9 ± 4,2	28,8 ± 4,6	ATT < DC = (MC > AL=ML=A TT)
<i>Di Salvo et al. (2009)</i>	% sprints à accélération progressive	68,6 ± 3,9	69,9 ± 4,1	67,5 ± 4,2	70,1 ± 4,2	71,2 ± 4,6	ATT > DC = (MC < AL=ML=A TT)
<i>Rampinini et al. (2007)</i>	Temps (s) passés à [14,4-19,8] km.h ⁻¹	278 ± 62	411 ± 72	467 ± 76	NC	321 ± 59	MC > AL > ATT=DC
<i>Rampinini et al. (2007)</i>	Temps (s) passés à [7,2-14,4] km.h ⁻¹	1458 ± 155	1601 ± 156	1726 ± 174	NC	1361 ± 160	MC > AL > DC=ATT
<i>Rampinini et al. (2007)</i>	Temps (s) passés à [0,7-7,2] km.h ⁻¹	3549 ± 213	3241 ± 209	3103 ± 207	NC	3534 ± 210	DC=ATT > AL > MC
<i>Di Salvo et al. (2007)</i>	Distances totales (m) parcourues	10627 ± 1016	11410 ± 708	12027 ± 625	11990 ± 776	11254 ± 804	MC=ML > AL=ATT > DC

Tableau 25 : Performances athlétiques en match de football en fonction du poste de jeu

DC : Défenseur centrale, AL : Attaquant latérale, MC : Milieu centrale, ML : Milieu latérale, ATT : Attaquant

2. Les jeux réduits en football

2.1 Définition

C'est un travail d'opposition sur une surface réduite, qui permet de travailler à la fois l'aspect physique et technico-tactique. Plusieurs travaux soulignent que ces aspects sont travaillés d'une façon plus riche et complète que lors d'un entraînement l'entraînement physique traditionnel sans ballon (analytique), (Impellizzeri 2006, Little 2006, Reilly 2004).

2.2 Contraintes et Intérêts des jeux réduits en football

D'un point de vue technique et physique l'intérêt du jeu réduit est relatif à certains éléments en lien direct avec les joueurs et leurs performances. Ces liens sont la motivation des joueurs qui serait plus importante. La nature du jeu réduit lui-même et sa tendance à reproduire les situations réelles réalisées lors des matchs, à la possibilité de pouvoir travailler également les aspects tactiques et enfin aux sollicitations des besoins métaboliques qui seraient très proche de ceux rencontrés en match.

Cependant il est nécessaire de faire attention à deux contraintes majeures. La première concerne le contrôle de la charge d'entraînement et l'intensité de l'entraînement (imprévisible) et la seconde est en lien avec la mise en place d'un objectif dominant-majeur. En effet il existe une relation directe entre l'intensité du jeu, le nombre de jeux et le nombre de joueurs. Les travaux de Grant et al.1999. Platt et al.2001 Jones et al. 2007) ont permis une classification des intensités de sollicitation en fonction du nombre de joueurs en opposition et de la surface de jeu choisie.

Par conséquent il est nécessaire de tenir compte des facteurs qui peuvent influencer l'intensité des exercices proposés. Ces derniers sont fonction des objectifs de la séance, du niveau de performance des joueurs, du type d'exercice et de la taille ou surface de jeu.

Ces éléments mettent en lumière des facteurs de conditionnement de l'intensité du jeu réduit. Ces facteurs dépendent essentiellement de la qualité d'animation du coach, du nombre de joueurs, du ratio travail/ récupération, de la dimension du terrain ainsi que du type de marquage et des règles. L'un des avantages des jeux réduits en football est la possibilité et plus d'opportunités données aux joueurs de toucher plus de ballon et de participer au jeu. Avec moins de joueurs sur le terrain, chaque joueur a plus de temps de jeu et peut interagir davantage avec la balle, ce qui favorise le développement de la technique individuelle comme le dribble, le contrôle, la passe et le tir. Les joueurs ont également besoin de prendre des décisions plus rapidement et de développer leur vision périphérique pour anticiper les mouvements de leurs coéquipiers et adversaires dans l'espace réduit

du terrain, ce qui améliore leur prise de décision et leur compréhension tactique du jeu donc leur cognition et intelligence de la lecture du jeu.

Un autre avantage des jeux réduits en football est qu'ils nécessitent la communication et la collaboration entre les joueurs. Sur un terrain plus petit, les joueurs doivent toujours communiquer entre eux pour réaliser leurs actions, travailler en équipe et trouver des espaces pour créer des opportunités de marquer des buts. Cela renforce la cohésion d'équipe, la compréhension tactique et la confiance entre les joueurs, des compétences essentielles pour réussir dans le football.

Les jeux réduits en football sont également un excellent moyen de développer la condition physique des joueurs. Le terrain plus petit et le rythme de jeu rapide exigent des joueurs qu'ils sont plus agiles, rapides et endurants. Les joueurs doivent constamment courir, changer de direction, accélérer et ralentir, ce qui améliore leur vitesse, leur endurance et leur coordination motrice.

En plus du développement des compétences techniques, tactiques et de la condition physique, les jeux réduits en football offrent également une expérience de jeu plus amusante et plus engagée pour les joueurs. Les joueurs sont plus impliqués dans le jeu, car ils sont toujours en action et ont plus d'opportunités de réussir des actions techniques et de marquer des buts. Cela renforce leur motivation, leur passion pour le jeu et leur désir de s'améliorer.

Les jeux réduits en football sont une approche innovante et efficace pour le développement des joueurs, en particulier pour les jeunes. Ils offrent de nombreux avantages, notamment le développement des compétences techniques, tactiques, de la condition physique, la promotion de la communication et de la collaboration en équipe, ainsi que l'amélioration de la motivation et de la passion pour le jeu. Que ce soit dans les académies de football, les écoles ou les clubs, les jeux réduits sont devenus une méthode couramment utilisée pour former les futurs talents du football.

3. Matériels et Methodes

Cette étude a été conduite avec la participation des jeunes joueurs de football en formation U16 de l'AC Amiens, l'expérimentation s'est déroulée sur deux jours lors de la deuxième période compétitive en mars 2023, n=12 joueurs dont 10 joueurs de champ plus 2 gardiens de but.

Deux formes de jeux réduits ont été proposées, un jeu réduit 3vs3 plus 2 appuis fixe et un 3vs3 plus 2 appuis entrant/sortant, les dimensions de terrain ont été calculées par rapport au modèle de Broad modifié par Hourcade ($35 \times 45 \text{ m} = 1575 \text{ m}^2$ soit $132 \text{ m}^2/\text{joueurs}$). Les deux formes de jeux réduits ont été proposées après 48 heures d'une compétition, un travail effectif de $5 \times 2'30$ avec récupération de $2'30$ entre les séquences, un test de CMJ a été mis en place avant la réalisation du jeu réduit et un autre 24 heures après.

Les joueurs étaient équipés d'un GPS type V2 de fieldwiz qui nous a permis de calculer les trois paramètres volume, fréquence et intensité pour les deux formes de jeux réduits proposés. Aussi, nous avons utilisé l'application My Jump 2 pour effectuer les tests du CMJ.

4. Analyses des Résultats & Discussion

4.1 Analyse Statistique

L'utilisation du logiciel SPSS comme outil d'analyse et de traitement des données, nous a permis de présenter nos données en moyennes et en écarts-types, sur lesquelles nous avons appliqué le test de normalité de Shapiro-Wilk pour déterminer si les données suivent ou non une distribution normale. Cela nous a permis d'appliquer et d'utiliser d'une façon préférentielle le Test-T de Student. Le test de Wilcoxon signed-rank permettra d'affiner nos résultats dans le cas de significativité très basse. Le seuil de significativité a été fixé à $p < 0.05$ pour toutes les analyses.

Ensuite, nous avons procédé à l'analyse et au calcul des indices d'amplitudes entre tous les paramètres des mouvements réalisés (distances, intensités, sprint, accélération, décélération) ainsi que l'analyse des tests du CMJ et celui du CMJ après 24h et enfin la comparaison des valeurs du VAM pour les deux jeux réduits, ceci afin d'observer une différence de significativité entre les deux jeux (*Tableau 27*).

4.2 Calcul de l'indice d'amplitude

Indice d'amplitude = moyenne après – moyenne avant / écart type moyen ($IA = \frac{Map - Mav}{ETMoy}$)
(*Tableau 26*)

Indices amplitude	
+ de 2	Très Grande evolution
entre + 1,2 et + 2	Grande evolution
Entre + 0,6 et + 1,2	Evolution Moyenne
Entre + 0,2 et + 0,6	Petite evolution
Entre -0,2 et + 0,2	Pas d'évolution
Entre - 0,2 et - 0,6	Petite degradation
Entre - 0,6 et - 1,2	Degradation Moyenne
entre - 1,2 et - 2	Grande degradation
- de 2	Très grande degradation

Tableau 26: Table de calcul de l'Indice d'Amplitude

4.3 Résultats et Discussion

Charge externe							
Parametres	DT	DHI	DTHI	NB Sprint	NB Accelerations	NB Deccelerations	VMA
Appuies fixe	1702	218	29	1,4	69,4 ± 17,5	61,4 ± 13,64	23,37
	± 175	± 64,42	± 22	± 1,17			± 2
Appuies ent/ sort	1796	230	73	7,8	82,2 ± 16,56	7,1 ± 15,31	21,80
	± 93	± 52	± 43	± 4,28			± 1,8

Tableau 27 : Résultats de la CE (Distances, Intensités et mouvements) en jeu réduit.

	3C3 + 2 appuies fixe			3c3 + 2 appuies entrant/sortant		
DT	1702	±175,61	**IA= 0,70	1796	±92,22	
DHI	218	±64,42	*IA= 0,20	230	±51,42	
DTHI	29	±21,83	***IA= 1,35	73	±42,95	
NB Sprint	1,4	±1,17	****IA= 2,15	7,8	±4,28	
NB Acc	69,4	±17,49	**IA= 0,75	82,2	±16,56	
NB Decc	61,4	±13,64	**IA= 1,08	77,1	±15,31	
VAM	23,37	±1,97	#IA= -0,82	21,80.	±1,83	
CMJ	22,97	±0,78	#IA= 1,56	26,51.	±3,74	
CMJ+24H	22,39	±0,98	#IA= 0,51	23,33	±2,70	

(****) très grande évolution, (***) grande évolution, (**) évolution moyenne, (*) petite évolution, (#) dégradation.

Tableau 28 : Indices de l'amplitude des différents paramètres du mouvement réalisés lors des deux types de jeux réduit.

DT : Distance Totale. DHI : Distance Haute Intensité. DTHI : Distance Très Haute Intensité. NB Sprint : Nombre Sprint. NB Acc : Nombre Accélération. NB Decc : Nombre de Décélération.

L'application et le calcul de l'indice d'amplitude montre une très grande évolution pour le nombre de sprint suivi par une grande évolution de la distance réalisée en très haute intensité. Le nombre d'accélération et de décélération restent significatifs. On note par ailleurs, une dégradation dans la réalisation du CMJ et du CMJ+24h ainsi qu'une dégradation du VAM. Ces résultats montrent clairement le développement des hautes intensités, des distances parcourues

imùportantes et de l'installation de la fatigue lors du travail sur des terrains reduit selon des protocoles de jeux reduit.

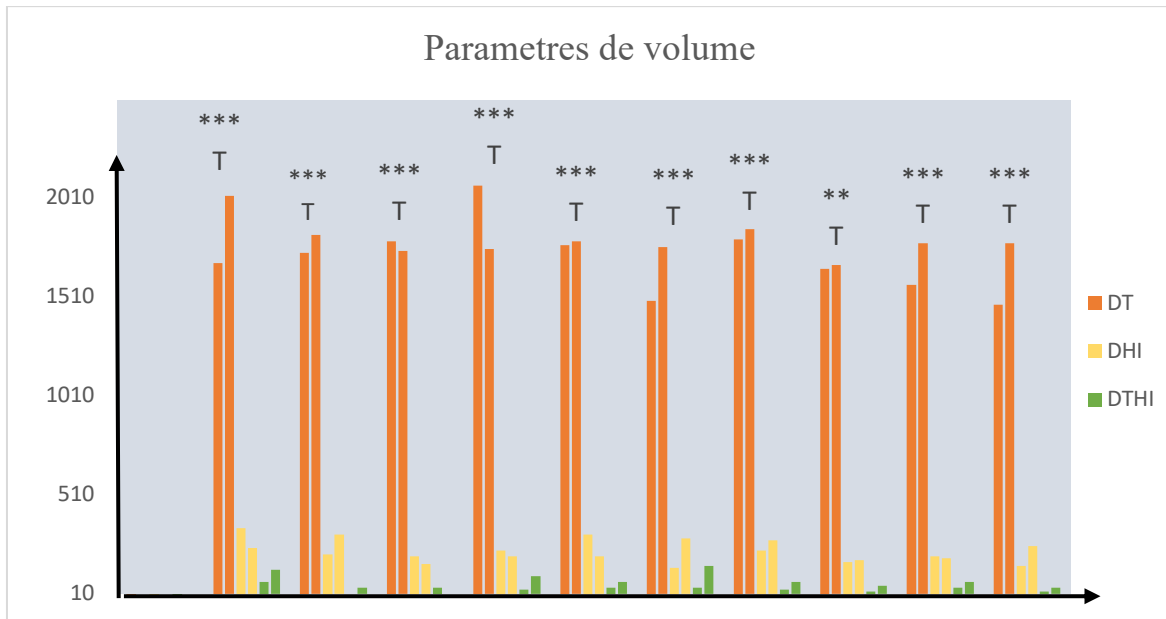


Figure 25 : Comparaison des résultats des paramètres de volume des deux jeux réduit (DT, DTH, DTHI)

La figure 25, présente les résultats des paramètres de volume des deux formes de jeux réduit, on remarque une évolution moyenne pour les distances totales parcourues avec un indice d'amplitude de 0,70. Aussi, on constate une petite évolution pour les distances totales parcourues à haute intensité ou l'indice d'amplitude est équivalent à 0,2, ainsi qu'une grande évolution au niveau des distances totales parcourues à très haute intensité avec un indice d'amplitude de 1,35.

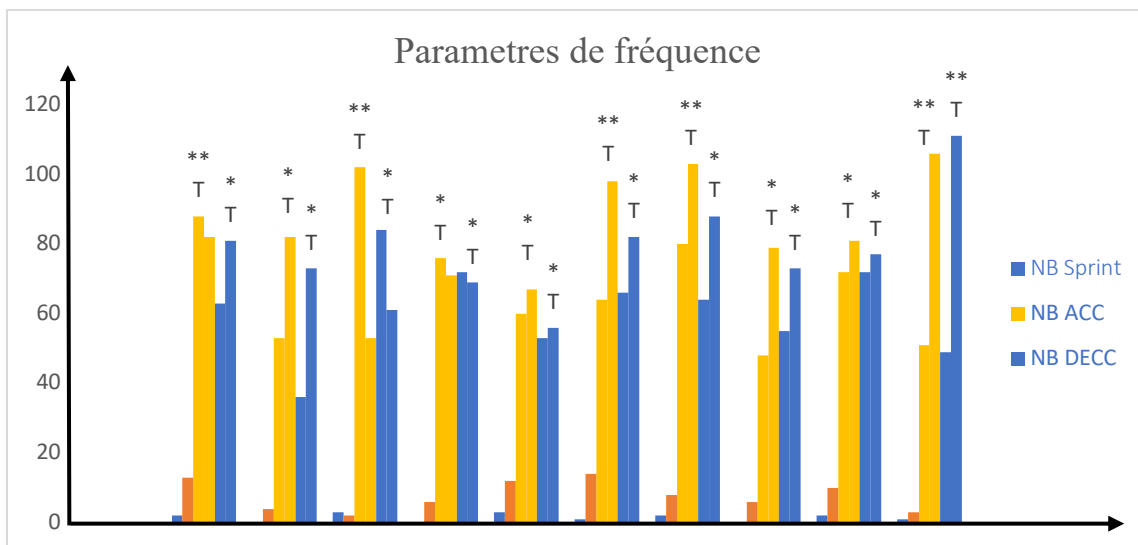


Figure 26 : comparaison des résultats des paramètres de fréquence des deux jeux réduit (NB Sprint, NB Acc, NB Decc).

Les résultats des paramètres de fréquences pour les deux formes de jeux réduit illustrés dans l'histogramme (*Figure 26*), montrent un indice d'amplitude équivalent à 2,25 pour le nombre de sprints ce qui justifie une très grande évolution pour ce paramètre, avec un indice d'amplitude pour le nombre d'accélérations de 0,75 donc une évolution moyenne pour ce paramètre. Pareillement, pour le nombre de décélérations on remarque aussi une évolution moyenne avec un indice d'amplitude de 1,08.

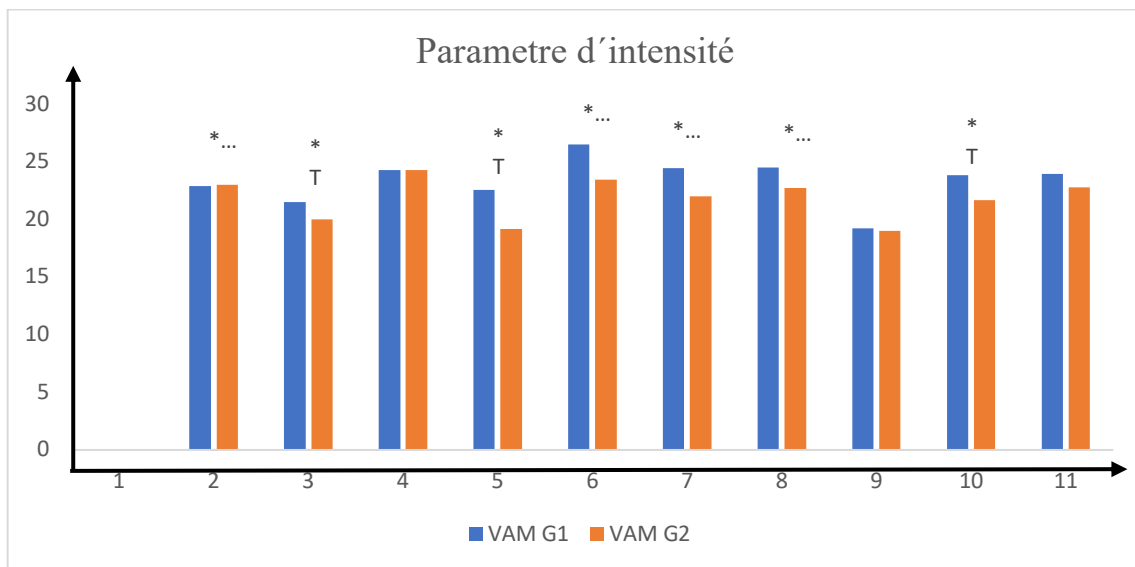


Figure 27 : comparaison des paramètres intensité des deux jeux réduit (VAM)
(VAM G1= Pré test et VAM G2= Post Test)

Les résultats du paramètre intensité concernant les deux formes de jeux réduit 3C3+2 appuis fixe et le second 3C3+2 appuis ent/sort exprimés par VAM G1 et VAM G2 montrent après analyse et calcul de l'indice d'amplitude de 0,70, une évolution moyenne des performances du groupe, car l'IA (0,7) observé est proche du niveau bas des intensités pour une grille de l'IA s'étalant entre 0,6 et 1,2 (*Figure 27*). Ceci confirme les résultats précédents d'installation d'une fatigue aigue empêchant la reproduction d'intensité élevée en sortie des tests.

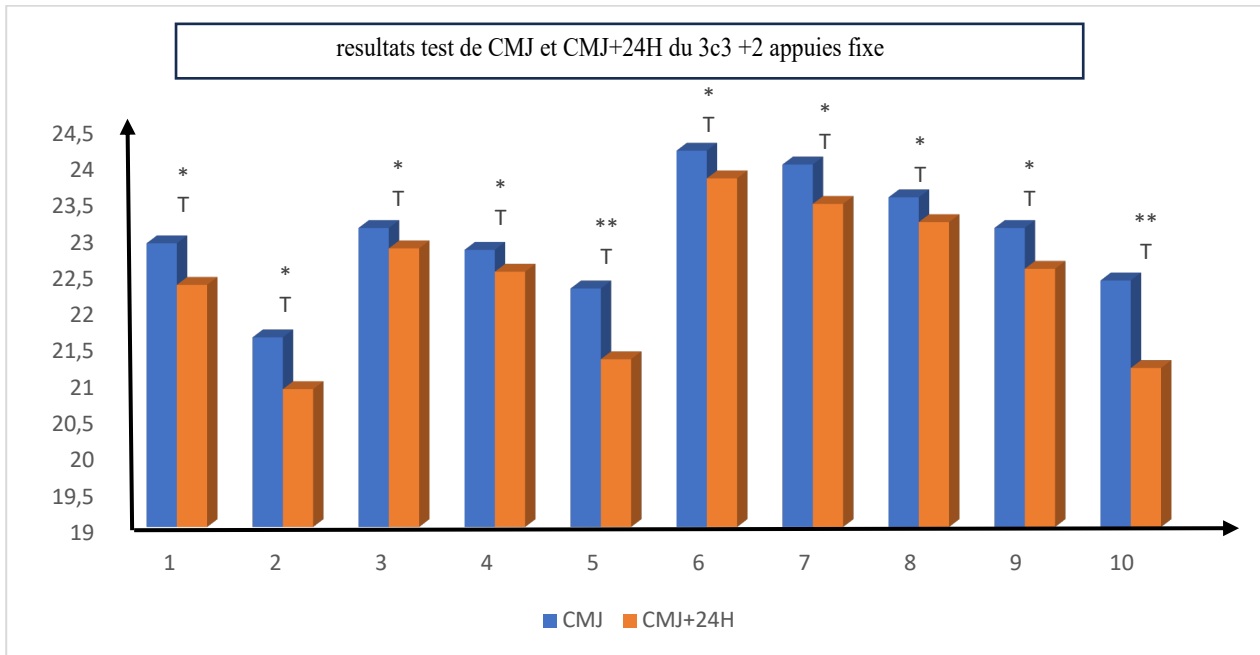


Figure 28 : résultats test de CMJ et CMJ+24H du 3c3 +2 appuies fixe

Les résultats du test CMJ et CMJ+24h pour le jeu réduit 3c3+2 appuies fixe montrent tout d'abord des valeurs inférieures du CMJ+24h, avec un indice d'amplitude de - 0,65 confirment les difficultés de reproduire les mêmes efforts du CMJ d'entrée. Sachant que l'étendue de l'indice d'amplitude pour ce paramètre se situe entre -0,6 et -1,2 et au vu de l'IA obtenu (-0,65) proche du niveau inférieur, ceci confirme une dégradation moyenne des performances après 24h ; ce qui est confirmé par ailleurs par les résultats du test-T. le T-Expérimental est supérieur au T-théorique indiquant une différence significative

($P < 0,05$) (Figure 28, Figure 20).

et après calculer l'indice d'amplitude qui t'égale à -0,65, donc on constate une moyenne dégradation des performances après 24H dan par ce que l'indice d'amplitude est situé entre -0,6 et -1,2, ce qui est confirmer par les résultats du test-T, ou on a trouvé que le T-expérimental est supérieur au T-théorique donc les résultats son significatif ($P < 0,05$) (Figure 28)

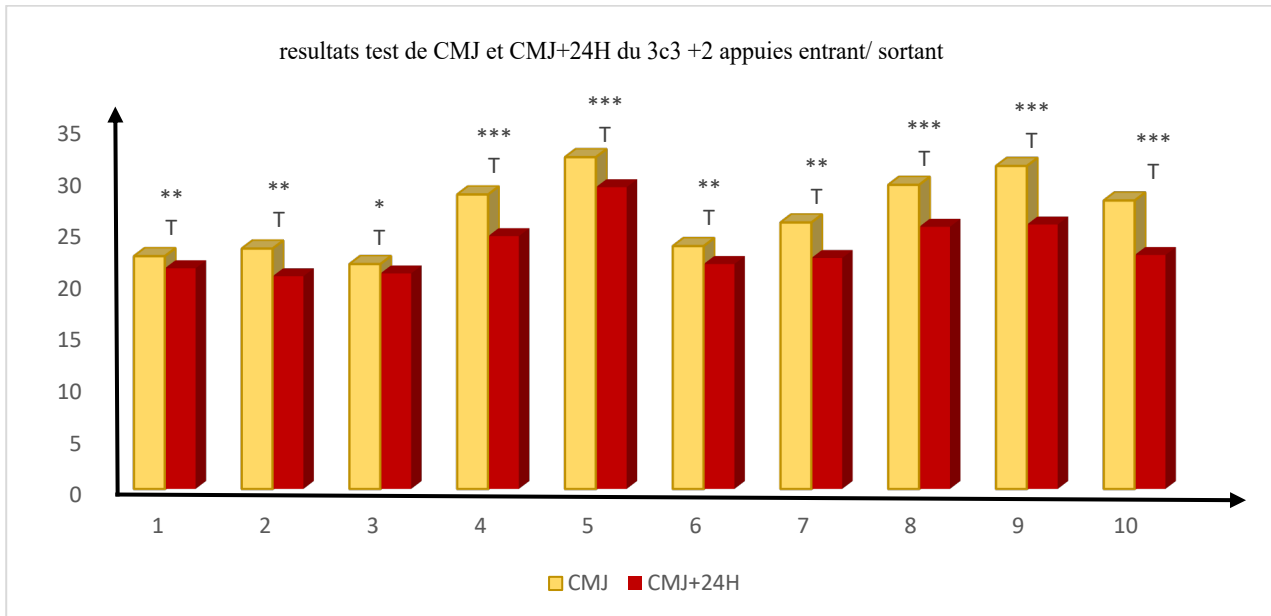


Figure 29 : résultats test de CMJ et CMJ+24H du 3c3 +2 appuies entrant/ sortant

Les résultats du test CMJ et CMJ+24h pour le jeux réduit 3c3+2 appuies entrant/sortant présentés dans la Figure 29 indique une dégradation et une difficulté de reproduire le même niveau de travail du CMJ avant 24h. Après calcul de l'indice d'amplitude qui est de -0,98, ce dernier indique une grande dégradation des performances après 24h, car l'indice d'amplitude est situé entre -0,6 et -1,2, résultat significatif confirmé par l'analyse statistique du test-T. Les résultats obtenus montre T-experimental supérieur au T-théorique indiquant de ce fait, des résultats avec des différences significatifs ($P < 0,5$).

5. Applications pratiques – coach

- ✓ En fonction du volume de travail total déterminé par l'entraîneur, la fatigue ressentie (différée) sur le plan musculaire pourrait être plus importante après le jeu réduit.
- ✓ La quantification de la CE avec la méthode RPE ne permet pas de différencier à court sur les efforts de plusieurs niveaux d'intensités.
- ✓ Ce constat amène le coach à devoir bien gérer l'intensité des exercices contextualisé lors de sa séance, afin de laisser suffisamment de temps aux joueurs pour bien récupérer sur le plan musculaire et maîtriser ainsi les risques potentiels de fatigue et de prévention contre la survenue des blessures.

6. Conclusion

Après vérification et paramétrage de chaque type d'exercice contextualisé (dimension de terrain, rapport d'opposition, règles, temps de travail et temps de récupération, nombre de séquences, conditions environnementales, qualité physique développée par chaque type de jeux réduit), l'objet de notre travail était l'optimisation de ces situations avec ballon. 12 joueurs de niveau ligue régional des hauts de France ont participé à l'ensemble des tests d'évaluation d'entrée-sortie randomisés ainsi qu'au protocole d'entraînement. Ils ont tous réalisé un CMJ avant le protocole et un second CMJ 24h après ce dernier. Nous avons proposé un jeu réduit 3c3 appuies fixe la première séance sur un espace de 35x 45 m (1575 m²) / 132 m² densité de jeu par joueur, avec 2'30 min de travail et 2'30 min de récupération sur 5 répétitions. Et, une seconde séance avec le même jeu contextualisé mais avec appuies entrant et sortant (*passee et va*), Les consignes étaient touche libre de balle, réduire les angles des passes, préserver et protéger le ballon et se rendre disponible pour la récupération de ce dernier. Ce jeu a été mis en place 48h après un match de championnat, précédé d'un échauffement standardisé de 25 min et un 10c10 pendant 10' à la fin de la séance avec deux gardiens de but sur tout le terrain.

Les résultats des tests CMJ montrent une différence significative en pré et post protocole. L'indice de performance montre une moyenne de dégradation pour le premier jeu par rapport à une grande dégradation de celui du second. La dominante force c'est l'équivalent d'une densité de terrain de 1575m² par joueur (modèle Nick BROAD), ceci confirme l'effet de notre type de jeux sur le plan neuromusculaire.

Donc on peut dire qu'un entraînement avec un jeu contextualisée 3c3 avec gardiens de but et une consigne de « passe et va » pour les deux appuies offensives, sur un terrain de 1575 m² et une densité de 132 m², peut être un travail intéressant pour remplacer un travail analytique à dominante force.

Partie 1 : Jeux réduits

Étude 3 : Impact de 2 modalités d'entraînements sur la capacité à répéter les sprints et les sauts chez les jeunes footballeurs

Résumé

Les jeux réduits (SSG) se sont révélés efficaces pour améliorer la VO₂ max, la capacité à répéter les sprints (RSA) et les changements de direction (RCOD). Cette efficacité s'explique par l'intensité élevée induite par des règles contraignantes (limitation des touches, pénalités, compétition interne). Les joueurs sont constamment sollicités par des déplacements, appels, duels, accélérations et décélérations. Cela génère un stress métabolique suffisant pour provoquer des adaptations aérobie et anaérobie. L'aspect ludique et compétitif favorise également l'engagement maximal. Toutefois, aucune amélioration significative n'a été observée sur la détente verticale. Ce résultat s'explique par un manque de sollicitations spécifiques de type saut ou travail pliométrique dans les SSG. En résumé, les SSG sont pertinents pour la condition physique générale, mais insuffisants pour développer la puissance verticale sans complément.

Mots clés : Jeux réduits, Capacité à répéter les sprints, Aptitude aérobie, Performance

Abstract

Small-sided games (SSG) have proven effective in improving VO₂ max, repeated sprint ability (RSA), and the ability to change direction (RCOD). This effectiveness is attributed to the high intensity induced by game constraints such as limited touches, imposed penalties, and internal competition. Players are continuously engaged in movements, runs, duels, accelerations, and decelerations, creating a sufficient metabolic stress to elicit both aerobic and anaerobic adaptations. The competitive and enjoyable nature of SSGs also promotes maximum player engagement. However, no significant improvement was observed in vertical jump performance. This result can be explained by the lack of specific stimuli such as jumps or plyometric work within SSG formats. In summary, SSGs are suitable for general physical conditioning but are insufficient for developing vertical power without additional targeted training.

Keys words: Small-sided games, repeated sprint ability, Aerobic Fitness, Performance

1. Introduction

Le football, implique une multitude de mouvements explosifs et potentiellement dangereux, caractérisés par leur nature intermittente et acyclique (*High-Intensity Training in Football - PubMed*, n.d.; Mohr et al., 2003). En tant que sport collectif, il exige une sollicitation significative des deux principales filières énergétiques, aérobie et anaérobies, pour soutenir l'intensité d'un match qui dure généralement 90 minutes. Les joueurs doivent exécuter des mouvements considérés comme intenses et explosifs tels que des tacles, des coups de tête, des passes, ainsi que des changements de vitesse, tout en maintenant une posture stable pour conserver la possession face à l'opposition (Bangsbo, 1994b; Stølen et al., 2005). De plus, les joueurs s'engagent dans des activités de faible intensité pendant plus de 70% du temps de jeu ce qui leur laisse la chance de pouvoir récupérer et refaire à nouveau les efforts et ce qui explique l'importance des deux filières (Bangsbo et al., 2006).

Les sprints plus spécifiquement, caractérisés par leur nature brève et intense, sont principalement soutenus par l'ATP provenant de la phosphocréatine (PCR) et du glucose pour répondre aux demandes énergétiques immédiates des footballeurs. Cependant, il est également essentiel de reconnaître le rôle fondamental du système aérobie, qui fournit plus de 90% de l'énergie totale nécessaire au cours d'un match (Bangsbo, 1994b; Krstrup et al., 2006; Mohr et al., 2003). Ce qui indique également que les processus de production d'énergie à travers l'utilisation de la créatine phosphate (CP) et de la glycolyse sont fréquemment sollicités. Le glycogène musculaire semble être la source d'énergie la plus importante, vue que la CP s'épuise rapidement et qu'il faudra maintenir une certaine haute intensité en répétant ses efforts. Ainsi la fatigue ressentie vers la fin du match pourrait être attribuée à l'épuisement du glycogène musculaire dans certaines fibres (Bangsbo et al., 2006).

En effet, en renforçant l'accélération, les sprints, les décélérations et les changements de direction, des éléments critiques de la détermination de la performance dans le football, le joueur pourra améliorer son niveau et aboutir à un meilleur résultat le jour du match. Donc, il existe plusieurs approches pour une préparation physique efficace visant à réduire le risque de blessures, à améliorer les performances sportives en sprints et en changements de direction ainsi qu'avoir la capacité de les répéter (Asadi et al., 2015; Wang & Zhang, 2016). Parmi celles-ci, la pliométrie et les jeux réduits sont largement reconnus et utilisés dans le monde du sport, et plus spécifiquement dans le football, parce que c'est des modes d'entraînements qu'on retrouve lors des matchs et qui peuvent être mis en place facilement lors de la séance.

2. Revue de littérature

La dynamique complexe du football requiert une compréhension approfondie des exigences physiques uniques imposées aux joueurs sur le terrain. Comme mentionné précédemment dans notre introduction, le football est caractérisé par un mélange de mouvements brusques et intenses, ainsi que des phases de faible intensité, permettant aux joueurs de récupérer efficacement pour répéter leurs efforts. Les mouvements explosifs et imprévisibles qui définissent ce sport exigent une combinaison précise de puissance, d'endurance et de coordination pour exceller (Bangsbo, 1994a). Des études telles que celles de Bangsbo et al. (2006), Mohr et al. (2003), ont démontré que les joueurs effectuent entre 150 et 250 mouvements à très haute intensité, avec une moyenne entre 1000 et 1500 actions distinctes toutes les 5 à 6 secondes. Ceci explique en partie la déplétion de plus de 70% de la créatine phosphate, d'autant plus que les joueurs disposent de peu de temps pour récupérer (Bangsbo, 1994a; Bangsbo et al., 2006; Krstrup et al., 2006; Mohr et al., 2003). De plus, il est suggéré que le glycogène soit la source d'énergie la plus importante surtout que des travaux montrent un taux de glycolyse élevé pendant de courtes périodes de temps pendant un match, vue la constatation de concentrations élevées de lactate sanguin et modérées de lactate musculaire pendant le jeu (Gaitanos et al., 1993 ; Nevill et al., 1989) (Gaitanos et al., 1993; Nevill et al., 1989). Ainsi, la fatigue ressentie vers la fin du match pourrait être attribuée à l'épuisement de ce dernier dans certaines fibres musculaires (Bangsbo et al., 2006).

Après avoir examiné les exigences physiques du football, on peut s'intéresser aux demandes physiques du football. Comme on l'a dit précédemment, un joueur de football réalise beaucoup de gestes techniques considérés comme explosifs ou de haute intensité comme le rapporte Bangsbo et al. Ainsi que Stølen et al. respectivement dans leurs études (Bangsbo, 1994a; Stølen et al., 2005). De plus, un joueur peut réaliser des efforts différents de ses coéquipiers selon le poste qu'il occupe ainsi que le rôle dont le coach lui attribue (Nedelec & Dupont, 2019; Slimani & Nikolaidis, 2019). Plusieurs études ont bien envisagé ce sujet intéressant pour ouvrir la possibilité aux entraîneurs de quantifier leur entraînement technique de façon que ça soit le plus proche de la réalité du match en termes de volume, d'intensité, de fréquence ainsi que la nature des mouvements à réaliser.

Dans les sports collectifs et en particulier le football, les sprints de courte durée, généralement inférieurs à 10 secondes, suivis de courtes périodes de récupération de moins de 60 secondes, sont fréquents (Girard et al., 2011). Ces moments d'efforts intenses et brefs sont cruciaux pour diverses actions sur le terrain, que ce soit pour la création d'opportunités de but, la rupture des lignes

adverses, ou encore pour assurer un repli défensif efficace (Girard et al., 2011). En raison de la nature intermittente du football, les joueurs doivent fréquemment effectuer des décélérations, des accélérations, des changements de direction et d'autres mouvements brusques (Bangsbo, 1994a; Girard et al., 2011; Krustup et al., 2006; Mohr et al., 2003). Ces actions rapides et variées sont essentielles pour s'adapter aux situations en évolution constante sur le terrain.

Les études d'analyse du temps de jeu dans les sports d'équipe ont révélé que les sprints correspondent généralement à un volume de 1 à 10 % de la distance totale parcourue (soit 1 à 3 % du temps de jeu effectif). Ainsi, la capacité à récupérer et à reproduire les performances lors de sprints ultérieurs est probablement une exigence importante pour les athlètes engagés dans ces disciplines (Girard et al., 2011), car des périodes intenses d'activité de sprint peuvent parfois déterminer le résultat final d'un match, en influençant la capacité à gagner la possession du ballon ou à concéder des buts (Paton et al., 2001). On note que, les tests de sprint répété réalisés avant et après les matchs de football de haut niveau ont démontré que la capacité de sprint répété se détériore considérablement avec le développement de la fatigue ; ce qui explique la raison de la diminution du nombre de sprints répétés en fin des matchs (Krustup et al., 2006).

Chez les jeunes, il est possible d'aborder ces paramètres, mais cela nécessite une adaptation de la planification, comme le suggère Ratel (2018). Cette adaptation doit prendre en compte l'âge chronologique (qui correspond à l'âge de la personne depuis sa naissance) ainsi que l'âge biologique, lié à la croissance et à la maturation du corps humain. Il est noté que les enfants atteignent leur VO₂max plus rapidement que les adolescents (Ratel, 2018), ce qui indique une consommation d'oxygène plus élevée pour une même puissance, et une coordination motrice moins développée par rapport aux adolescents, en raison d'une synchronisation moins efficace des unités motrices agonistes. Par conséquent, les adolescents ont un avantage dans les tâches nécessitant une énergie élastique, telles que le saut en longueur ou le sprint (travail pliométrique). De plus, les enfants ont une puissance, une force explosive et une masse musculaire inférieures à celles des adolescents (Ratel, 2018). Cependant, les enfants montrent une supériorité en termes de capacité aérobie, ce qui leur permet de se fatiguer rapidement mais de récupérer plus rapidement également (Chen et al., 2014; Ratel, 2018). Ainsi, bien que les enfants puissent ne pas sembler être des versions miniatures des adultes, les énormes différences physiologiques entre les enfants et les adolescents nécessitent des programmes d'entraînement spécifiques à chaque groupe d'âge.

En s'intéressant aux différences physiologiques entre les enfants, les adolescents et les adultes plusieurs méthodes de préparation physiques visant à améliorer les performances des sprints et leurs répétitions, ont tenu compte de ces différences dans leurs protocoles. Aussi, de nombreuses études ont été menées sur divers protocoles visant à améliorer les performances lors des matchs,

tout en tenant compte de la réduction des risques de blessures. Parmi les protocoles les plus utilisés, notamment dans le football, on remarque l'utilisation des jeux réduits et les exercices de type pliométrique.

Il est désormais reconnu que l'utilisation des jeux réduits permet de développer simultanément les compétences techniques, la capacité de prise de décision et l'endurance aérobie, comme en témoignent plusieurs travaux de recherches (Little & Williams, 2006 ; Hill-Haas et al., 2011) ; Köklü, 2012). Ce type d'entraînement contribue ainsi à un niveau d'effort physique optimal tout en garantissant une utilisation plus efficace du temps d'entraînement disponible. De même, des études comparant les effets des SSG par rapport à l'entraînement aérobie en intermittent IT sur la condition physique et les mesures objectives des performances en match de football ont été réalisées (Hill-Haas et al., 2011; Little & Williams, 2006). Les résultats de ces études ont indiqué que les SSG et l'entraînement aérobie IT ont des contributions similaires à l'endurance aérobie chez les jeunes joueurs de football. De plus, selon les travaux de Renoux et al. (Renoux et al., 2000), montrent qu'il existe une corrélation positive entre la VMA et la VO₂max, suggérant une amélioration potentielle des performances en termes de répétition des sprints et de changements de direction.

Concernant l'entraînement en pliométrie, il a été rapporté que cette modalité d'entraînement est efficace pour améliorer la souplesse (vélocité) et l'amplitude articulaire ainsi que l'équilibre et les propriétés neuromusculaires. L'entraînement pliométrique est très utilisé par les professionnels de la force et de la condition physique pendant la préparation physique annuelle des athlètes (Wang & Zhang, 2016). La pliométrie est une technique d'entraînement spécialisée et à haute intensité qui permet aux muscles d'un athlète de fournir autant de force que possible dans un laps de temps le plus court possible, permettant ainsi le développement de la puissance (Asadi et al., 2015; Wang & Zhang, 2016). La pliométrie fait appel au cycle étirement-raccourcissement, qui utilise l'énergie stockée lors de la phase de chargement excentrique et la stimulation des fuseaux musculaires pour faciliter la production maximale de puissance lors de la phase concentrique du mouvement. Cette méthode s'est également avérée efficace pour renforcer la force maximale, améliorer la vitesse de sprint et de changement de direction, ainsi que pour augmenter l'efficacité dans la répétition des mouvements (Asadi et al., 2015; Wang & Zhang, 2016).

3. But et Objectifs

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact de deux modalités d'entraînement en jeu réduit sur la capacité de jeunes footballeurs à répéter des sauts en pliométrie et à reproduire des sprints,

En comparant ces approches à l'entraînement traditionnel de « football technique normal », nous cherchons à déterminer quelle méthode d'entraînement est la plus efficace pour développer les compétences nécessaires à la répétition des sprints sur le terrain. En examinant les effets de ces deux modalités sur la force, la vitesse, la puissance et l'endurance aérobie des joueurs, nous espérons identifier les stratégies les plus bénéfiques pour améliorer la performance des jeunes footballeurs. En fournissant des données précises et pratiques, cette étude contribue à guider les décisions des entraîneurs et des professionnels de la performance sportive dans la conception de programmes d'entraînement spécifiques, visant à maximiser la capacité des joueurs à répéter les sprints et à optimiser leurs performances sur le terrain

L'hypothèse formulée est, les jeux réduits et la pliométrie seront efficace à impacter la capacité de répéter les sprints chez des jeunes footballeurs.

4. Matériels et méthodes

4.1 Sujets

Trente joueurs de football ($n=30$) du club AC Amiens ont participé à notre étude. Tous des jeunes de la catégorie U14, ayant pratiqué le football pendant une durée de 4 ans sans interruption, avec une moyenne d'âge de $13,7 \pm 0,33$, une taille moyenne de $163,73 \pm 6,72$ cm et une masse de $50,37 \pm 5,26$ kg. Tous les joueurs ont été informés du but et des objectifs de notre protocole et son déroulement. Les consignes en termes de compréhension et de réalisation des différents tests : RSA (Repeated sprint ability, *capacité à répéter les sprints*). RCOD (Repeated change of direction, *capacité à répéter les changements de direction*). Le VAM et VAL ainsi que le Sargent test, ont tous été largement expliqués afin d'avoir leur adhésion complète à l'étude.

Ils ont réalisé des essais durant une journée d'entraînement pour bien intégrer la réalisation ainsi que les consignes. Leur participation à notre étude a été rigoureuse, sans absence ou interruption avec leur pleine collaboration.

Notre population a été divisée en trois groupes : Un groupe contrôle (G-Cont, $n=10$) réalisant uniquement des séances d'entraînements habituelles entraînement classique (*Tableau 29*). Un second groupe qualifié de groupe jeux réduit ou G-SSG (G-SSG = Small Sided Games, $n=8$) (*Tableau 30*) et le troisième groupe réalisant un travail pliométrique qualifié de groupe pliométrique (G-Plio, $n=12$) (*Tableau 31*).

G-Cont	Age (an)	Taille (cm)	Poids (kg)
S1	14	159	58
S2	13	173	68
S3	14	152	52
S4	13	161	43
S5	13	160	46
S6	14	160	51
S7	13	148	41
S8	13	159	45
S9	13	149	41
S10	13	168	52
Moyenne	13	158,9	49,7
Écart-type	0,25	7,44	8,05

Tableau 29 : Données des mesures anthropométriques des sujets du groupe contrôle

G-SSG	Age (an)	Taille (cm)	Poids (kg)
S1	13	156	47
S2	13	161	54
S3	13	173	65
S4	13	171	53
S5	13	166	58
S6	13	163	53
S7	13	160	48
S8	13	171	54
Moyenne	13	165	54
Écart-type	0,21	5,73	5,29

Tableau 30 : Données des mesures anthropométriques des sujets du groupe jeux réduits

G-Plio	Age (an)	Taille (cm)	Poids (kg)
S1	13	167	50
S2	13	165	57
S3	13	162	52
S4	13	173	53
S5	13	173	56
S6	13	157	55
S7	13	172	54
S8	13	164	56
S9	14	164	57
S10	14	174	59
S11	13	165	52
S12	13	153	40
Moyenne	13	165	53
Écart-type	0,24	6,29	4,73

Tableau 31 : Données des mesures anthropométriques des sujets du groupe pliométrie

4.2 Outils et protocoles d'évaluation

Les joueurs du FCPPA catégorie U14, s'entraînaient 3 fois par semaine avec une durée moyenne par séance de 1h30/séance. J'ai réalisé les tests d'évaluation pré et post protocole durant de mon intervention ; avec le recueil des diverses mesures anthropométriques taille debout et poids corporels. Pour cela, j'ai commencé par prendre la taille, à partir du Leicester Height Measure (Marsden HM-250P, Marsden, Rotherham, Royaume-Uni), concernant la masse, j'ai utilisé la balance (SECA 213, SECA, Hambourg, Allemagne) pour prendre la masse en Kilogrammes. Entre les test pré et post protocole, les joueurs ont uniquement suivi le protocole d'entraînement mis en place durant les séances et qui concerne ma prise en charge du groupe.

✓ **Repeated Sprint Ability test**

L'épreuve de RSA consistait en des sprints en ligne droite (6×20 m avec une récupération active de 25 secondes). Pendant la récupération active, les sujets ont trottiné lentement jusqu'à la ligne de départ et attendu le prochain sprint. Le temps de sprint sur 20 mètres a été mesuré à l'aide des cellules photoélectriques (Witty, Microgate, Bolzano, Italie). Pour les paramètres utilisés dans les mesures, comme proposé dans l'étude de Wong et al.(Wong et al., 2015). La performance moyenne de RSA a été recordée comme dans les études précédentes. Le coefficient intra classe de corrélation (ICC) de ces paramètres est très élevé, variant entre 0,79 et 0,9.

✓ **Repeated Change of direction test**

Le test RCOD (6×20 m avec récupération active de 25 secondes) consistait en quatre changements de direction à 100 degrés tous les 4 mètres. Pendant la récupération active, les sujets couraient lentement jusqu'à la ligne de départ et attendaient le prochain sprint. Le temps de sprint sur 20 mètres a été mesuré à l'aide des cellules photoélectriques (Witty, Microgate, Bolzano, Italie). Pour les paramètres utilisés dans les mesures, comme proposé dans l'étude de Wong et al.(Wong et al., 2015). La performance moyenne du RCOD a été recordée comme dans les études précédentes. Le coefficient intra classe de corrélation (ICC) de ces paramètres est très élevé, variant entre 0,79 et 0,9.

✓ **Sargent test**

Pour le Sargent test, le sportif commence par enduire ses doigts de craie avant de se positionner debout, avec l'épaule à environ 15 cm du mur et les pieds bien à plat sur le sol. En utilisant le bras impliqué dans le test, il marque une première fois le mur avec la craie en élevant le bras le plus haut possible. Il effectue ensuite un saut vertical maximal et, au point culminant du saut, il touche à nouveau le mur avec la même main. La détente est exprimée en centimètres, elle représente la différence entre les deux marques laissées sur le mur.

✓ **VAM et VAL test**

Pour le test de VAM et VAL, le test débute à une vitesse de 8,5 km/h et chaque palier dure 1 minute. L'athlète doit maintenir cette vitesse tout en suivant le rythme imposé par la bande sonore. Il est crucial de ne pas être en avance ou en retard par rapport au tempo. Aucun dépassement n'est autorisé, et personne ne peut doubler ou être doublé car tous les participants courent à la même allure. En cas d'avance, l'athlète doit trotter sur place jusqu'au signal sonore pour reprendre la course. Il est recommandé de maintenir une cadence régulière pour éviter de s'arrêter à chaque plot. À chaque palier d'1 minute, la vitesse augmente de 0,5 km/h, et l'athlète doit légèrement accélérer sa course en conséquence. Le test se termine si l'athlète accumule plus de 2 mètres de retard sur 3 plots consécutifs, et son résultat final est le dernier palier réussi, déterminant ainsi sa VMA (Vitesse Maximale Aérobie) puis par extrapolation sa VO2 max.

4.3 Protocole d'entraînement

Durant les séances d'entraînements, les joueurs ont été divisé en 3 groupes. Un groupe contrôle (G-Cont, n=10) qui faisait les séances d'entraînements habituelles uniquement, un groupe jeux réduits (G-SSG = Small Sided Games) (n=8) et un groupe pliométrie (G-Plio, n=12). Les détails des protocoles sont représentés sous forme tableaux (*ci-dessous* Tableau 32, 33).

Group	Exercice	S1			S2			S3			S4			S5			S6			S7			S8		
		SE 1	SE 2	SE 3	SE 4	SE 5	SE 6	SE 7	SE 8	SE 9	SE 10	SE 11	SE 12	SE 13	SE 14	SE 15	SE 16	SE 17	SE 18	SE 19	SE 20	SE 21	SE 22	SE 23	SE 24
SSG	4vs4	3x4	3x4	3x4	4x4	4x4	4x4	5x4	5x4	5x4	5x4	3x4	3x4	4x6	4x6	4x6	5x6	5x6	5x6	6x6	6x6	6x6	5x8	5x8	4x6

Tableau 32 : Tableau montrant les entrainements du groupe SSG sur 8 semaine.

Légende : SSG = Small Sided Games, S= Semaine, SE= Séance.

Group	Exercice	S1			S2			S3			S4			S5			S6			S7			S8		
		SE 1	SE 2	SE 3	SE 4	SE 5	SE 6	SE 7	SE 8	SE 9	SE 10	SE 11	SE 12	SE 13	SE 14	SE 15	SE 16	SE 17	SE 18	SE 19	SE 20	SE 21	SE 22	SE 23	SE 24
Pliométrie	VJ	2x6	2x6	3x6	3x6	3x6	3x6	3x6	3x6	3x6	3x6	2x6	2x6	3x6	2x10	3x8	2x10	3x8	3x10	3x10	3x10	3x10	4x8	4x8	3x8
	LJ	2x6	2x6	3x6	3x6	3x6	3x6	3x6	3x6	3x6	3x6	2x6	2x6	3x6	2x10	3x8	2x10	3x8	3x10	3x10	3x10	3x10	4x8	4x8	3x8
	20 cm DJ	2x6	2x6	2x6	2x6	3x6	3x6	3x6	3x6	3x6	3x6	2x6	2x6	3x6	2x10	3x8	2x10	3x8	3x10	3x10	3x10	3x10	4x8	4x8	3x8
	45 cm DJ	2x6	2x6	2x6	2x6	2x6	2x6	3x6	3x6	3x6	3x6	2x6	2x6	3x6	2x10	3x8	2x10	3x8	3x8	3x8	3x10	3x10	4x8	4x8	3x8
	Jump over Hurdles	2x6	2x6	2x6	2x6	2x6	2x6	2x6	2x6	3x6	3x6	2x6	2x6	3x6	2x10	3x8	2x10	3x8	3x8	3x8	3x10	3x10	4x8	4x8	3x8

Tableau 33 : Tableau montrant les entrainements du groupe Pliométrie sur 8 semaines.

Légende : VJ = Vertical Jump, LJ = Long Jump, 20 cm DJ = 20 cm Drop Jump, 45 cm DJ= 45 cm Drop Jump, S= Semaine, SE= Séance.

4.4 Analyse statistique

Les données ont été présentées en utilisant des moyennes et des écarts-types et, avant d'appliquer les tests paramétriques, nous avons vérifié si les données suivaient une distribution normale en utilisant le test de Shapiro-Wilk. Pour l'analyse des paramètres, nous avons choisi d'utiliser l'ANOVA à mesures répétées. Après avoir observé une interaction significative entre les tests pré/post et les groupes, nous avons réalisé des tests post-hoc suivant toute la même correction

celle de Holm pour évaluer la significativité des différences. Le seuil de significativité a été fixé à $p < 0.05$ pour toutes les analyses.

5. Résultats

Les résultats sont exprimés en moyenne et écart-type avant et après les différents protocoles d'entraînements.

5.1 Résultats du test RSA

Pas de différence significative au niveau des différents paramètres du test RSA chez le groupe contrôle dans les mesures pré et post. Par contre les 2 groupes SSG et pliométrie ont respectivement montrés des résultats significatifs après avoir fait les 2 protocoles (avec $p < .001$). De plus, le groupe SSG a montré des meilleurs résultats au niveau de la performance moyenne RSA AT comparé au groupe contrôle (avec $p = 0.08$), ainsi que sur le Δ 1-6 Rep RSA (avec $p = 0.010$). De même, le groupe pliométrie a montré une différence significative au niveau de la performance moyenne RSA AT comparé au groupe contrôle (avec $p = 0.024$), ainsi que sur le Δ 1-6 Rep RSA (avec $p = 0.001$), comme le montre le tableau 34.

Test RSA	Avant	Après
AT grp cont	4.12 \pm 0.23 s	4.12 \pm 0.23 s
AT grp SSG	4.06 \pm 0.15 s	3.85 \pm 0.14 s *#
AT grp plio	4.04 \pm 0.13 s	3.84 \pm 0.12 s *#
Δ 1-6 Rep grp cont	0.36 \pm 0.09	0.35 \pm 0.08
Δ 1-6 Rep grp SSG	0.37 \pm 0.09	0.19 \pm 0.07*#
Δ 1-6 Rep grp plio	0.33 \pm 0.06	0.24 \pm 0.05*#

Tableau 34 : Tableau montrant les résultats des différents groupes du test RSA

Légende: AT = Average Time, Cont = contrôle, SSG = Small Sided Game, Plio = pliométrie

* $p < 0.05$ différence significative pré/post protocole.

$p < 0.05$ une différence significative entre les résultats post-test du groupe contrôle et ceux des autres groupes, que ce soit le groupe plio ou le groupe SSG.

5.2 Résultats du Test RCOD

(RCOD= Repeated change of direction, capacité à répéter les changements de direction)

Pas de différence significative au niveau des différents paramètres du test RCOD chez le groupe contrôle dans les mesures pré et post. Par contre les 2 groupes SSG et pliométrie ont respectivement montrés des résultats significatifs après avoir fait les 2 protocoles (avec $p < .001$). De plus, le groupe SSG a montré des meilleurs résultats au niveau la performance moyenne RCOD AT comparé au groupe contrôle (avec $p = 0.013$), ainsi que sur le Δ 1-6 Rep RCOD (avec $p <$

.001). De même, le groupe pliométrie a montrés une différence significative au niveau de la performance moyenne RCOD AT comparé au groupe contrôle (avec $p = 0.021$), ainsi que sur le Δ 1-6 Rep RSA (avec $p < .001$), comme le montre le tableau 35.

Test RCOD	Avant	Après
AT grp cont	6.04 \pm 0.19 s	6.05 \pm 0.19 s
AT grp SSG	5.94 \pm 0.13 s	5.82 \pm 0.12 s*#
AT grp plio	6.02 \pm 0.08 s	5.83 \pm 0.08 s*#
Δ 1-6 Rep grp cont	0.36 \pm 0.10	0.35 \pm 0.10
Δ 1-6 Rep grp SSG	0.35 \pm 0.06	0.18 \pm 0.05*#
Δ 1-6 Rep grp plio	0.32 \pm 0.06	0.18 \pm 0.10*#

Tableau 35 : Tableau montrant les résultats des différents groupes du test RCOD

Légende: AT = Average Time, Cont = contrôle, SSG = Small Sided Game, Plio = pliométrie

* $p < 0.05$ différence significative pré/post protocole.

$p < 0.05$ une différence significative entre les résultats post-test du groupe contrôle et ceux des autres groupes, que ce soit le groupe plio ou le groupe SSG.

5.3 Résultats du test VAM et VAL

Pas de différence significative au niveau de la VO2 max chez le groupe contrôle dans les mesures pré et post. En outre, les 2 groupes SSG et pliométrie ont respectivement montrés des résultats significatifs après avoir réalisés les 2 protocoles (avec $p < .001$). De plus, le groupe SSG a montré une amélioration au niveau de la VO2max comparée à celles du groupe contrôle (avec $p = 0.043$), il en est de même pour le groupe pliométrie (avec $p = 0.013$), comme le montre le tableau 36.

Test VAM et VAL	Avant	Après
VO2 max grp cont	43.97 \pm 5.46 ml/kg/min	44.59 \pm 5.34 ml/kg/min
VO2 max grp SSG	43.71 \pm 5.05 ml/kg/min	52.50 \pm 4.55 ml/kg/min*#
VO2 max grp plio	44.93 \pm 3.13 ml/kg/min	50.53 \pm 2.69 ml/kg/min*#

Tableau 36 : Tableau montrant les résultats des différents groupes du test VAM et VAL

Légende : Cont = contrôle, SSG = Small Sided Game, Plio = pliométrie

* $p < 0.05$ différence significative pré/post protocole

$p < 0.05$ une différence significative entre les résultats post-test du groupe contrôle et ceux des autres groupes, que ce soit le groupe plio ou le groupe SSG

5.4 Résultats du test Sargent

Pas de différence significative concernant la hauteur du saut chez le groupe contrôle dans les mesures pré et post. Par contre les 2 groupes SSG et pliométrie ont respectivement montrés des

résultats significatifs après avoir fait les 2 protocoles (avec $p < .001$). De plus, le groupe pliométrie a montré des meilleurs résultats comparés au groupe contrôle au niveau de la hauteur du saut (avec $p = 0.015$). Ce qui n'est pas le cas du groupe SSG quand comparé au groupe contrôle (avec $p = 0.393$) (Tableau 37).

Sargent Test	Avant	Après
hauteur grp cont	23.3 ± 4.69 cm	24.2 ± 4.61 cm
hauteur grp SSG	26.5 ± 5.81 cm	28.88 ± 5.73 cm*
hauteur grp plio	26.58 ± 2.88 cm	31.58 ± 2.9 cm*#

Tableau 37 : Tableau montrant les résultats des différents groupes du test Sargent

Légende : Cont = contrôle, SSG = Small Sided Game, Plio = pliométrie

** $p < 0.05$ différence significative pré/post protocole*

$p < 0.05$ une différence significative entre les résultats post-test du groupe contrôle et ceux des autres groupes, que ce soit le groupe plio ou le groupe SSG

6. Discussion

L'objectif de cette étude était d'observer l'impact des différents protocoles d'entraînement sur plusieurs facteurs de la performance dans le football, comparativement à un groupe témoin. Plusieurs études scientifiques ont cité l'efficacité des jeux réduits sur l'aptitude aérobie pour améliorer la VO₂ max (Köklü, 2012). De plus, ils sont efficaces pour améliorer la capacité de répéter des sprints (RSA) et la capacité à changer de direction de manière plus efficace tout en étant capable de les répéter (RCOD). De plus, selon plusieurs études faites sur les entraînements en pliométrie dans les sports collectifs ont montré l'efficacité de cet entraînement sur plusieurs paramètres retrouvés dans le football comme la répétition des sprints, l'explosivité dans les mouvements brusques tel que les sauts, les tirs, les accélérations, les décélérations et d'autres mouvements. (Asadi et al., 2015). Les résultats ont montré des différences significatives aux niveau des tests RSA, RCOD, VAM et VAL et Sargent test sur tous les paramètres chez les 2 groupes SSG et Pliométrie ce qui n'était pas le cas chez le groupe contrôle. De plus, les 2 groupes ont montrés des différences significatives comparés au groupe contrôle, sauf sur la détente verticale où le groupe pliométrie montre une amélioration significative comparé avec le groupe contrôle ce qui n'est pas le cas du groupe SSG. Tous ces faits peuvent être expliqués en partie à travers divers travaux de la littérature. Pour commencer, selon les travaux de Sàez de Villareal et al.2015, le groupe ayant suivi le protocole de travail technique combiné avec des accélérations du travail de pliométrie et des tirs a montré des améliorations sur plusieurs aspects physiques tel que les sprints sur 10 m et autres, alors que le groupe contrôle ayant fait que le travail footballistique technique n'as pas montré de différence significative. On peut s'appuyer sur ces résultats pour justifier que

le travail technique seul en football n'est pas suffisant pour améliorer la capacité à répéter les sprints ainsi que la détente verticale ou même la Vo2 max car, il y a plusieurs périodes de repos entre les mouvements, donc le stress métabolique imposé par une séance classique technique peut ne pas aboutir à un stress physiologique important pour amener une adaptation physiologique. De même, ces mouvements ne sont pas considérés comme des mouvements de haute intensité ou « explosifs » (Bangsbo et al., 2007), d'après les températures centrales relevées dans l'étude de Bangsbo et al. 2007, la charge aérobie moyenne pendant le match peut être estimée à environ 70 %. Cela correspond à la découverte d'une fréquence cardiaque moyenne de 85 % de la fréquence cardiaque maximale atteinte pendant le match, ce qui équivaut à 70 à 75 % de la puissance aérobie maximale (Bangsbo, 1994a; Bangsbo et al., 2006; Krusturp et al., 2006; Mohr et al., 2003).

Concernant les SSG, Köklü a montré en 2012 l'importance accordée aux jeux réduits dans la préparation physique en analysant dans ces travaux les différents types de jeux réduits et leurs effets sur divers facteurs physiologiques comme la production de lactate, le pourcentage % FC max et d'autres facteurs. Il a montré que n'importe quel type de jeux réduits intermittent ou continu, semblent intéressants de les utiliser dans la préparation physique intégrée pour viser ou cibler la Vo2 max du joueur (Köklü, 2012). Il semble que les résultats du test VAM et VAL aient révélé une différence significative entre le groupe contrôle et le groupe SSG en ce qui concerne la Vo2 max. De plus, des améliorations ont été détectées lors des tests de RSA et RCOD, indiquant une meilleure capacité à répéter les sprints et à effectuer des changements de direction. Le temps moyen des deux tests ainsi que l'écart entre la première et la dernière répétition ont également montré une amélioration significative, suggérant une adaptation au niveau de la capacité anaérobie. Toutes ces améliorations, peuvent être expliquées à partir du fait que, les joueurs n'ont pas le choix de faire beaucoup d'appels et de se déplacer pour se démarquer ou de reprendre le ballon. Ce qui peut faire la différence entre l'intensité mise entre une séance technique classique et l'intensité des gestes techniques utilisés, à part la course à faire dans les SSG peut être expliquée par le fait que dans les jeux réduits les joueurs avaient des points à compter ce qui mettait de la concurrence entre eux. De plus, il y avait à chaque bloc des nouvelles conditions comme la limitation du nombre de touches ou essayer d'imposer le ballon en mouvement et pas de temps statique avec le ballon de plus de 4s, pour garder une intensité dans les SSG. De même, la mentalité de gagner semblait être imposée aux joueurs vu qu'à la base ils préféraient les jeux qu'au travail technique classique, et avec les pénalités imposées pour l'équipe perdante ceci donnait l'envie aux joueurs de plus s'impliquer et se donner à fond. Ceci leur permettrait d'éviter les pénalités après les blocs comme faire des burpees, des pompes ou autres. (Clemente et al., 2023; Clemente, Ramirez-Campillo, Afonso, et al., 2021; Clemente, Ramirez-Campillo, Sarmiento, et al., 2021). Enfin, comme l'ont

montré plusieurs spécialistes des jeux réduits et des experts du monde des sciences du sport spécifiquement dans le football, les jeux réduits impliquent beaucoup de mouvements brefs et intenses comme des accélérations, décélérations, changements de direction, des interventions, des duels, des sauts et autres mouvements à un niveau d'intensité maximale (Bangsbo, 1994a; Bangsbo et al., 2006; Köklü, 2012). Par contre, vu que le test de la détente verticale n'as pas présenté de différence significative, quand on compare les autres résultats à ceux du groupe contrôle, ceci peut être expliqué par le fait que selon les résultats de l'étude de Köklü (Köklü, 2012), les joueurs ayant fait du 4 contre 4 en intermittent ont travaillé à une intensité supérieure à 90% de la FC max, de ce fait on observe une meilleure adaptation à la fois de la capacité anaérobie lactique et aérobie (Köklü, 2012), mais pas de la puissance anaérobie alactique vu qu'il y a pleins de petits mouvements intenses mais pendant une période plus ou moins longue. De même, dans les jeux réduits, il n'y a pas assez de sauts ou de travail dédié en pliométrie pour pouvoir trouver un meilleur résultat au niveau du Sargent test.

Plusieurs travaux de recherches ont souligné l'intérêt de l'entraînement en pliométrie dans la préparation physique, démontrant son efficacité pour améliorer des actions explosives cruciales dans le football (Asadi et al., 2015) telles que la capacité à répéter les sprints, à changer de direction, ainsi que pour exécuter des gestes techniques à haute intensité comme les sauts et les tirs.

Les résultats de notre étude confirment l'efficacité du travail en pliométrie sur des tests tels que le VAM et VAL, le test de Sargent, ainsi que le RSA et le RCOD. Cette efficacité peut s'expliquer par le travail sur le SSC, caractéristique de la pliométrie, qui favorise les mouvements de contraction rapide entre les phases concentriques et excentriques (muscles : Agoniste/antagonistes), permettant ainsi une augmentation de la force maximale et de la puissance musculaire. Une programmation claire, inspirée des travaux de Asadi et al. (Asadi et al., 2015) ainsi que des recommandations de Ratel (2028) dans la préparation physique chez les jeunes, permet d'optimiser les bénéfices de l'entraînement en pliométrie. En outre, cette méthode est de plus en plus utilisée dans les sports collectifs, notamment chez les jeunes, et est reconnue comme un facteur de prévention efficace pour réduire les risques de blessures, en particulier au niveau du ligament croisé antérieur du genou (Al Attar et al., 2022).

7. Conclusion

En résumé, cette étude visait à comparer l'efficacité de deux protocoles d'entraînement différents, la pliométrie et les jeux réduits, par rapport à une séance classique sans préparation physique supplémentaire, sur la capacité à répéter les sprints et les changements de direction, ainsi que sur les sauts et la VO2 max. Les résultats ont révélé des différences significatives entre les

mesures pré- et post-entraînement, ainsi qu'entre chaque protocole individuel et le groupe témoin. Cependant, seule la détente verticale n'a pas montré de différence significative par rapport au groupe témoin et au groupe SSG. Ainsi, pour les préparateurs physiques, il est essentiel de varier la charge de travail en adaptant également le type d'entraînement en fonction de la planification, des objectifs du bloc de la préparation physique et celui des entraînements de la saison.

CONTRIBUTION PERSONNELLE

Partie 2 : Prévention des blessures Charge d'Entrainement, Exploration isocinétique et Réathlétisation.

Étude 1 : Relation des indicateurs de la charge d'entraînement et de l'incidence des blessures avec une mise en place d'un protocole de prévention chez des joueurs de football en centre de formation

Étude 2 : Exploration isocinétique, prévention et incidence des blessures chez les jeunes footballeurs.

« Relation entre les tests de début de saison et l'incidence de blessure chez les jeunes footballeur »

Étude 3 : Évaluation isocinétique et analyse musculaire comparative des ratios Agonistes/Antagonistes chez des footballeurs/Sport Co

« Analyse musculaire de l'articulation du genou grâce au dynamomètre isocinétique et les différences observées entre des joueurs de handball et de football »



Partie 2 : Prévention des blessures

Charge d'Entrainement, Exploration isocinétique et Réathlétisation.

Étude 1 : Relation des indicateurs de la charge d'entraînement et de l'incidence des blessures avec une mise en place d'un protocole de prévention chez des joueurs de football en centre de formation

Résumé

L'objectif de cette étude est de diminuer l'incidence des blessures chez des jeunes joueurs de football en centre de formation en ayant une approche multifactorielle. Les antécédents de blessure ainsi que la fatigue sont les deux plus gros facteurs de risque de blessure dans le football.

Trente-cinq jeunes joueurs tous issus du même centre de formation, trois catégories étaient représentées, les U17 Nationaux, les U19 Nationaux et quelques joueurs de l'équipe réserve sénior. Les blessures étaient enregistrées selon la définition de la FIFA, le suivi de la fatigue des joueurs se faisait grâce aux suivis de la charge d'entraînement interne recueillis à l'aide de l'échelle de perception de l'effort (RPE). Des indicateurs de la charge d'entraînement tel que le ratio A/C et la variation hebdomadaire étaient calculés et analysés. Concernant les antécédents de blessure et les déficits moteurs, nous avons utilisé les tests FMS afin de pouvoir déterminer les joueurs qui ont un profil à risque élevé ou non de se blesser. Et ainsi mettre en place un protocole individuel de prévention avec ses faiblesses à réduire et les antécédents déjà rencontrés pour diminuer au maximum le risque de blessure.

Les résultats de cette étude nous indiquent une association significative du ratio A/C et l'incidence des blessures et qu'une variation hebdomadaire trop importante amène à un plus gros risque de blessure. Cela nous montre l'importance du suivi de la charge d'entraînement et l'efficacité de la méthode RPE. Enfin cette étude démontre que la mise en place de méthodes prophylactiques est bénéfique pour diminuer le risque de blessure sur les faiblesses de chacun mais qu'il faut également travailler la prévention dans sa globalité afin de diminuer l'ensemble des blessures à risque dans le football.

Mots Clés : *Football, indicateurs de risque de Blessure, Prophylaxie, Charge d'entraînement*

Abstract

The objectives of this study is to reduce the incidence of injuries among young football players in training centers by having a multifactor approach. History of injury and fatigue are the two biggest risk factors for injury in football.

Thirty- five young players from the same training center, three categories were represented, the U17 Nationals, the U19 Nationals and some players from the senior reserve team. The injuries were recorded according to the FIFA definition, the follow-up of the fatigue of the players was spanked thanks to the follow-up of the internal training load collected using the scale of perception of the effort (RPE). Load indicators such as A/C ratio and weekly change were calculated and analyzed. Regarding the history of injury and motor deficits, we used the FMS test to determine which players have a high-risk or not-risk profile for injury. And thus put in place an individual prevention protocol with its weaknesses to reduce and the history already met to minimize the risk of injury.

The results of this study indicate a significant association between the A/C ratio and the incidence of injuries, and that too much variation weekly leads to a greater risk of injury. This shows us the importance of tracking the training load and the effectiveness of the RPE method. Finally, this study shows that the implementation of prophylactic method is beneficial to reduce the risk of injury on the weaknesses of each individual but that it is also necessary to work on prevention as a whole in order to reduce all the injuries at risk in the football.

Keywords: *Football, indicators of injury risk, Prophylaxis, Training load*

1. Introduction

Dans le football professionnel la probabilité de se blesser est 1000 fois plus importante que dans des emplois industriels les plus risqués (*Drawer et Fuller, 2002*). Les blessures dans les équipes de football sont une préoccupation majeure car elles affectent la santé des joueurs, la performance et l'économie du club. Les blessures sans contact représentent 28 à 76 % des blessures en football (*Dupont et al., 2010*). Ce constat démontre l'importance de la réduction des blessures dans le football. Van Mechelen et Al (1992) ont proposé un modèle de prévention en 4 étapes :

- 1- Établir l'importance des blessures
- 2- Description des mécanismes et des causes des blessures
- 3- Mise en place de stratégies préventives
- 4- Évaluation de ces stratégies préventives.

Il y'a pour une équipe professionnelle de football de 25 joueurs environ 50 blessures par saison, c'est-à-dire deux blessures par joueur et par saison. La moitié de ces blessures sont mineures et entraînent une absence du joueur inférieure à une semaine, alors que huit à neuf blessures sérieuses engendrent une absence supérieure à quatre semaines. Les blessures identifiées comme les plus fréquentes chez les footballeurs professionnels sont les blessures aux ischio-jambiers (12.8%), les blessures aux muscles adducteurs (9%), les entorses de la cheville (7%), les blessures aux quadriceps (5%), les blessures aux mollets (4.5%) et les entorses du genou (4.3%) (*Ekstrand et al., 2013*).

Pour la deuxième étape qui consiste à déterminer les facteurs de risques associés à la blessure. Selon *McCall et al, (2015)*, les antécédents de blessure d'un joueur sont le plus gros risque de blessure suivi de la fatigue du joueur ainsi que les déséquilibres moteurs. C'est pourquoi le suivi de la charge d'entraînement mérite d'être étudié. En effet cette charge de travail qui englobe la charge subie pendant l'activité peut être quantifiée par l'échelle RPE et nous transmet selon différents indicateurs l'état de fatigue du joueur.

L'étape 3 du modèle concerne l'introduction de la mesure de prévention. Un programme de prévention des blessures a pour but de réduire l'incidence des blessures avec des exercices spécifiques de prévention qui sont caractérisés en ciblant les différents déficits de chaque joueur.

Enfin la dernière étape du modèle concerne l'évaluation de l'efficacité des stratégies préventives. En calculant l'incidence de blessure pour 1000 h de pratique et pouvoir comparer l'évolution ou pas.

L'utilisation de ce modèle (*Van Mechelen et al., 1992*) a contribué à la mise en œuvre de la présente étude. Avec comme objectif de diminuer le nombre de blessure avec la mise en place d'un

protocole de prévention individuelle en fonction des antécédents et des déficits moteurs de chaque joueur et de la fatigue des joueurs.

2. Revue Bibliographique

2.1 La blessure

✓ Définition de la blessure

Il est important de donner une définition de la blessure pour pouvoir la quantifier. Il est d'autant important d'uniformiser la définition afin d'être en capacité de la comparer à d'autre étude épidémiologique. Pour répondre à cette demande la FIFA propose que la blessure soit définie comme « toute plainte physique subie par un joueur, résultant d'un match ou d'un entraînement de football, indépendamment du besoin d'une attention médicale ou de l'impossibilité de prendre part à l'activité » (*Fuller et al,2006*). Dans cette même définition les auteurs proposent une classification de la blessure selon la localisation, son type et par sévérité de celle-ci. La sévérité correspond au nombre de jours d'absence provoqué par la blessure. La localisation est caractérisée par où est la blessure (tête, membres inférieurs ou supérieurs, tronc...) et enfin le type est de savoir si c'est une fracture, contusion, lacération ... si c'est musculaire ou osseux... De plus dans cette classification y est ajouté la cause de la blessure, si c'est sans contact ou non.

✓ Quantification des blessures

La quantification des blessures est nécessaire afin d'établir l'étendu des problèmes de la blessure. Cela consiste à attribuer un nombre ou une mesure au phénomène de la blessure pour permettre de comparer les résultats, d'identifier des facteurs de risque et évaluer l'effet d'une stratégie de prévention. Il est recommandé d'utiliser l'incidence plutôt que la quantité absolue de la blessure (*Fuller et al.2006*). L'incidence est définie comme « le nombre de nouveaux cas d'une pathologie observée sur une période donnée » (*INSEE*).

Par exemple une étude effectuée par le Ministère des Sports (2011), démontre que le football est à l'origine du plus grand nombre de blessures (environ 13 %), mais le football est également le sport le plus populaire. Ces chiffres absolus peuvent être faussés par le nombre très important de licenciés et ne reflètent pas un réel risque de blessure.

Selon *Brooks et Fuller, (2006)*, le nombre de blessure pour 1000 h de pratique est la méthode la plus précise car elle permet de normaliser la blessure selon le temps d'exposition de chacun. Cependant cette méthode demande de connaître le temps d'exposition de chaque athlète.

Car il existe une autre méthode qui est de comptabiliser le nombre de blessure pour 1000 athlètes. Celle-ci est plus simple mais ne permet pas de différencier un remplaçant d'un joueur titulaire qui n'ont pas le même temps de jeu et donc le même temps d'exposition aux risques de blessure.

✓ **Facteurs de risque**

Selon *Fuller et al, (2006)* « le risque est comme la probabilité qu'un danger ait un impact sur les personnes suivies ». Dans le football cela représente, la probabilité d'une blessure lors de la pratique. Pour mettre une stratégie de prévention en place il est nécessaire d'identifier les facteurs de risque de blessure. Un facteur de risque est défini comme « une caractéristique ou une exposition d'un sujet qui augmente la probabilité de développer une maladie ou un traumatisme » (OMS). Il existe plusieurs caractéristiques à ces facteurs de risque :

- Facteur de risque intrinsèque : c'est un facteur spécifique à la personne (son âge, sexe, sa puissance, ses critères physique et physiologiques...)
- Facteur de risque extrinsèque : c'est un facteur provenant de l'extérieur (la charge d'entraînement, la qualité du terrain, les contraintes extérieures ...)

Le facteur de risque peut également être modifiable ou non-modifiable. C'est-à-dire que l'on peut intervenir ou non sur le facteur. Par exemple on ne peut pas intervenir sur son âge ou son sexe mais sur sa puissance ou sa charge d'entraînement, on peut.

✓ **Les outils de mesure des facteurs de risque**

Les études épidémiologiques peuvent être réalisées afin de mettre en évidence une corrélation entre une maladie ou traumatisme et un facteur de risque supposé. Dans ce genre d'étude il est régulièrement utilisé un tableau de contingence. C'est la représentation des données issue du comptage de l'étude. Il permet de voir la répartition de la population selon l'exposition ou non du facteur de risque étudié. Il existe plusieurs types d'étude pour trouver une corrélation entre le facteur de risque et la blessure. Comme l'étude de cohorte, elle permet de mesurer l'association entre un facteur défini et l'incidence des blessures.

Deux groupes de joueurs sont constitués : le premier est composé des joueurs exposés au facteur de risque déterminé tandis que le second comporte des joueurs non-exposés à ce facteur. Les joueurs sont suivis afin de constater s'ils développent une blessure. Le ratio de cote ou le risque relatif (RR) peut être calculé pour établir une association facteur-blessure.

Le risque relatif reflète l'augmentation du risque selon la présence d'un facteur. Si RR est supérieur à 1, alors le facteur augmente le risque de blessure. Si RR est inférieur à 1, alors le facteur

diminue le risque de blessure. Un intervalle de confiance doit être calculé afin de vérifier si le risque relatif est significatif. Autrement dit si la probabilité d'être blessé pour un joueur exposé est plus grande que pour un joueur blessé non-exposé.

Il existe deux types d'approche dans les études épidémiologiques pour permettre d'identifier et quantifier le risque de blessure. L'isolement d'un seul facteur de risque pour évaluer son effet sur l'incidence de blessure permet d'identifier le facteur de risque. Ou bien l'étude de la blessure de façon multifactorielle. C'est-à-dire l'étude des interactions entre plusieurs facteurs de risque pour augmenter la capacité prédictive et optimiser les stratégies de préventions.

Approche méthodologique de la méthode épidémiologique :

- ✓ Établir l'étendue des blessures (définition FIFA, quantification blessure sur 1000h, classification)
- ✓ Identifier les facteurs de risque (étude cohorte ou cas témoin, approche isolée ou multifactorielle)
- ✓ Introduire des mesures préventives
- ✓ Évaluation des mesures mises en place

2.2 La charge d'entraînement

Approches et Paramétrage

Le suivi de la charge d'entraînement est très utilisé dans le monde sportif car il permet d'améliorer la performance du joueur, d'avoir une gestion de la charge d'entraînement dans le temps mais aussi de diminuer le risque de blessure.

- ✓ **Définition** : La charge est définie comme un stress physiologique, psychologique ou mécanique qui correspond à des stimuli appliqués à un organisme (*Soligard et al, 2016*). La charge d'entraînement est définie comme la combinaison des paramètres de volume, d'intensité et de fréquence (*Pollock, 1973*), elle est souvent confondue avec la charge de travail qui elle est relative à un seul paramètre (le volume seul ou l'intensité seule par exemple).
- ✓ **Le paramètre volume** : Il correspond à la notion de durée en unité de temps et/ou à la distance. Par exemple le temps de jeu ou de travail, ou bien la distance parcourue lors d'un match ou d'un entraînement. D'autres indicateurs de volume existent comme le nombre de sprints, de sauts ou d'accélération ont une importance pour décrire les efforts dans le football. Le volume est quantifiable grâce au GPS ou analyse vidéo.

- ✓ **Le paramètre intensité** : L'intensité correspond à la qualité de l'effort. L'intensité maximale peut être mesurée en Km/h lors d'une course, en Watt lors d'un test physiologique, en Kg lors d'un exercice de musculation où grâce à un pourcentage de la Fréquence Cardiaque (FC) lors d'un effort d'endurance. Il existe plusieurs marqueurs du paramètre intensité comme la FC, la Lactémie, la perception de l'effort ou encore la vitesse de course par exemple.
- ✓ **Le paramètre Fréquence** : La fréquence est le paramètre le moins cité dans les études. Elle correspond à la distribution des efforts, elle reflète le rapport entre le temps travail et le temps de récupération.

Il existe deux types de charge d'entraînement, la charge d'entraînement externe qui correspond aux mesures objectives du travail réalisé en entraînement ou compétition. Et la charge d'entraînement interne. Dans cette étude nous avons travaillé avec la charge d'entraînement interne.

La charge d'entraînement interne

La charge d'entraînement interne correspond au stress biologique relatif (physiologique et psychologique) imposé à un sportif lors d'un entraînement ou d'une compétition (*Bourdon et al, 2017*). Des facteurs comme la condition physique ou l'histoire du sportif intervient sur la réponse interne et donc le résultat de son entraînement. En effet le résultat d'un entraînement dépend de la charge d'entraînement externe mais également de la réaction de l'athlète, basée sur les caractéristiques personnelles de celui-ci. Il s'agit de la réponse individuelle de l'athlète à la charge externe qu'il subit. Cette réponse individuelle peut être mesurée de manière objective ou subjective à l'aide de différents outils comme la FC et le suivi par les échelles subjectives. Ici nous nous pencherons sur la méthode RPE.

L'échelle subjective : RPE

La méthode RPE Séance (sRPE) est une méthode simple et validée scientifiquement pour mesurer la charge interne et réalise un suivi physiologique et psychologique.

Cette technique demande à l'athlète d'auto-évaluer la difficulté globale de chaque séance sur une échelle de 0 à 10. Cette charge interne est ensuite obtenue en multipliant la difficulté de la séance par sa durée. On obtient des unités arbitraires (UA) qui correspondent à la charge de la séance (*Foster, 2001*). *Charge interne = sRPE x Durée séance (min)*.

L'échelle utilisée pour réaliser ce suivi de la charge est une échelle basée sur les travaux de *Borg et al, (1987)* puis adaptée par *Foster et al, (1998)* pour faciliter son utilisation. La cotation 0

correspond au repos, 1 à un ressenti très léger, 2 léger, 3 modérés, 4 légèrement dur, 5 dur, 7 correspond à une séance ressentie très dure, 9 très très dur puis la cotation 10 correspond à un ressenti similaire à la compétition.

Cette méthode de quantification de charge d'entraînement a pour avantage d'être utilisée pour tout type de séance, rapide, simple et peu coûteux. Mais la nature subjective des mesures peut être considérée comme une limite, il faut que les joueurs en aient une bonne connaissance et soient honnêtes. Grâce à cette méthode la charge de travail absolu peut être mesurée mais également la charge hebdomadaire ou mensuelle. En effet des indices dérivés de la méthode sRPE ont été proposés par différents auteurs comme indicateur de la charge d'entraînement interne.

✓ *Le ratio Charge Aiguë (CA) / Charge Chronique (CC) : Ratio charge CA/CC*

La charge aigue (CA) représente la charge d'entraînement absolu hebdomadaire et la charge chronique (CC) représente la moyenne mobile des 4 dernières semaines. Généralement plus la CA est élevée plus l'athlète est fatigué et plus la CC est élevée plus l'athlète est en forme. Le ratio CA/CC permet de mesurer la relation entre les deux qui consiste à diviser la charge aiguë (1 jour à 1 semaine) par la charge chronique (3 à 6 semaines) (Gabbett, 2016). Ce suivi permet de conserver la charge d'entraînement dans une zone de développement propre au joueur. Lorsque le ratio est inférieur à 0.8 ou supérieur à 1.5, le risque de blessure augmente et la charge doit être ajustée.

La Relation Charge – Performance - Blessure

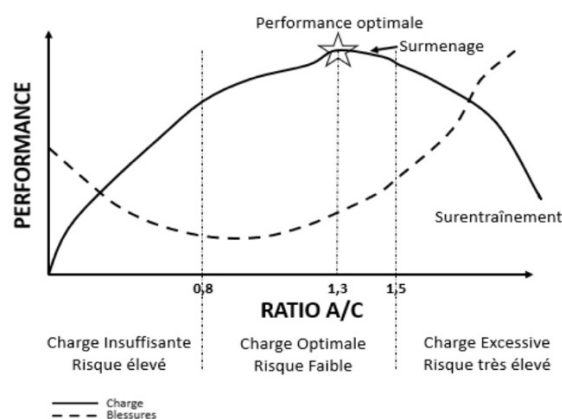


Figure 30 : Relation entre le ratio CA/CC et le risque de blessure (Adaptée de Blanch et Gabett) (figure changer)

✓ *Variation hebdomadaire de la charge d'entraînement*

Plusieurs études démontrent que de nombreuses blessures surviennent après une variation rapide de la charge d'entraînement. En effet le suivi de la charge d'entraînement absolue hebdomadaire est un indicateur de blessure majeur selon *Gabett, (2016)*. Il décrit qu'une augmentation de la variation hebdomadaire supérieure ou égale à 15, peut augmenter jusqu'à 20 % le risque de blessure. Ou encore une augmentation de 50 % de cette charge peut engendrer un risque de blessure de plus de 40 %.

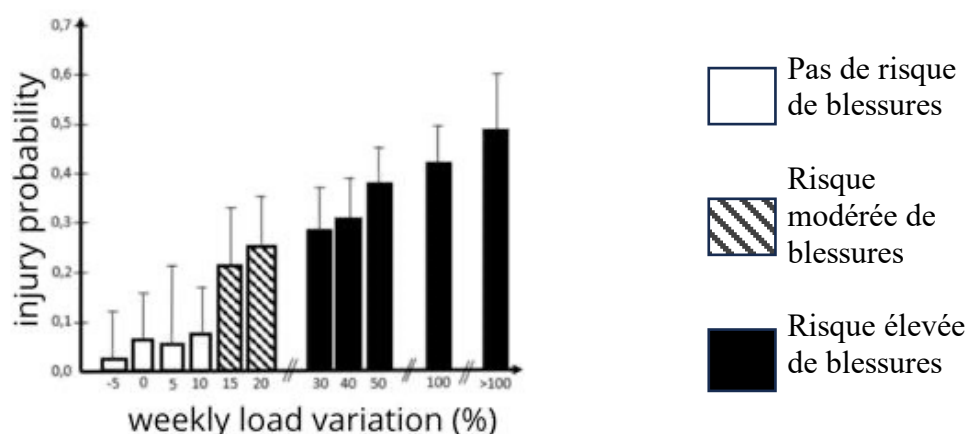


Figure 31 : Relation entre la variation hebdomadaire de la charge d'entraînement et le pourcentage de blessures (*Gabett,2016*).

2.3 Charge d'entraînement et blessure dans le football

De nombreuses études établissent une association entre la charge d'entraînement et l'incidence des blessures comme les études de *Foster et al (1998)*, ou *Gabett et al (2016)*. La fatigue est le deuxième plus gros facteur de risque de blessure. La mise en place d'un suivi de charge d'entraînement est primordiale afin de pouvoir prévenir des blessures et réduire au maximum ce risque. Dans cette partie sera décrit uniquement l'association entre la charge d'entraînement interne à l'aide d'échelles subjectives et l'incidence des blessures chez les jeunes footballeurs de haut-niveau en centre de formation.

Concernant l'incidence des blessures chez les jeunes joueurs de haut-niveau en centre de formation, *Pfirmann et al, (2016)* démontre dans son étude que l'incidence de blessure est entre 2 et 19.4 pour 1000 h de pratique. Entre 9.5 et 48.7 pour 1000 h de matchs et enfin entre 3.7 et 11.1 pour 1000 h d'entraînement. On aperçoit une grande différence entre les résultats qui peuvent

s'expliquer par l'absence d'harmonisation de la définition de la blessure comme on pouvait expliquer son importance dans la partie 1.1 précédemment.

Si on s'appuie sur l'étude de *Brink et al, (2010)* qui est vue comme étude référence. L'auteur utilise la définition de la FIFA (proposée par *Fuller et al, 2006*), sur une population de 53 joueurs, âgés de 16 ans (+/- 1 an) en élite allemand. On retrouve une incidence de blessure de 26.7 pour 1000h de match et 6.7 pour 1000 h d'entraînement. Enfin une incidence de blessure globale de 5.2 pour 1000 h de pratique avec 85 % des blessures au niveau des membres inférieurs.

2.4 Méthodes prophylactiques

La prophylaxie se définit comme un ensemble de moyens et méthodes grâce auxquels la préparation physique permet de diminuer les risques de blessures. Il s'agit donc de la méthodologie de la prévention dans la pratique. Cette approche de la préparation athlétique récente, est en vogue dans le domaine du football depuis seulement quelques années grâce à la parution de plusieurs travaux, notamment ceux de Finnoff et Klugel, sur la prévention des blessures. Cela témoigne alors de la prise de conscience générale des acteurs et professionnels du milieu comme le témoigne Frédéric Aubert : « En tant que préparateur physique, notre souci relatif à la prophylaxie est permanent et à l'interface du développement des qualités physiques. Notre objectif est donc de diminuer les blessures en comblant les carences physiologiques et/ou les déséquilibres structurels des individus. ».

Selon Benjamin Del Moral dans son ouvrage intitulé Préparation Physique, Prophylaxie et Performance des qualités athlétiques, « la prophylaxie consiste ainsi à identifier les facteurs favorisant les blessures, les profils à risque et les risques de récurrences, puis à construire des plans d'entraînement, spécifiques ou complémentaires, pour prévenir autant que possible la blessure. ». Il définit alors deux méthodes claires et complémentaires dans l'optique d'une approche prophylactique de l'entraînement du footballeur. Elle peut être intégrée à un entraînement en le complétant par des mouvements spécifiques ou bien faire l'objet d'un entraînement à part entière à l'aide des routines préventives et correctives.

Les tests FMS (Functional Movement Screen : examen du mouvement fonctionnel) mis au point par Gray Cook et Lee Burton sont une bonne méthode pour déterminer les profils à risque. En effet ils permettent l'analyse de mouvements fondés sur les schémas moteurs de base et permettent de détecter chez nos sportifs toute potentialité de blessure, d'usure ou de pathologie, à partir de sept mouvements fondamentaux simples et facilement reproductibles.

Ainsi, par l'analyse de l'exécution des différents exercices, nous pouvons mettre en lumière les contraintes biomécaniques, les limitations articulaires et musculaires, ou encore la synergie

droite/gauche qui sont à l'origine de mouvements compensatoires et qui sont donc susceptibles de causer des blessures. Le FMS nous indique également la marche à suivre pour corriger les déséquilibres et dysfonctionnements afin que le corps puisse fonctionner à plein régime. En outre, le FMS évalue l'équilibre musculaire, la stabilité articulaire, la mobilité articulaire, la maîtrise technique des mouvements fondamentaux, la coordination et le contrôle moteur au travers de sept tests.

Ce système d'évaluation propose un système de note de 0 à 3 selon l'exécution du mouvement. Un total de 21 points nous donne le profil de l'athlète et les axes de travail prioritaire. Benjamin Del Moral indique qu'un total entre 14 et 21 (sans note inférieure à 2) est synonyme d'absence de problème majeur. En dessous de 14 et pour les notes de 1, il est primordial de mettre en place un programme correctif. En effet différentes études aux Etats-Unis démontrent qu'en dessous de ce score, les risques de blessures sont accrus. Les mouvements sont :

- Le squat profond : mobilité hanche, genoux et épaules
- Franchissement de haie (schéma moteur de la course et de l'accélération) : stabilité hanche et genoux
- Fente en ligne (composante du mouvement de décélération et de changement de direction) stabilité et mobilité du torse, épaules, genoux, hanches et souplesse quadriceps.
- Mobilité épaule
- Souplesse ischio-jambier
- Stabilité Tronc
- Stabilité rotative en quadrupédie : stabilité tronc et coordination

Plusieurs études montrent les effets positifs de la mise en place de programme de prévention comme par exemple nous le démontre McCall et al (2014) une diminution de 37 % de blessures avec la mise en place d'un programme ciblant les blessures les plus courantes dans le football sur une équipe de haut niveau avec 2 matchs par semaine. Aujourd'hui aucune étude n'a montré une diminution de l'incidence de blessure avec une méthode prophylactique chez des jeunes joueurs en centre de formation.

3. Objectifs et Perspectives

La préparation athlétique demande à être constamment en train de chercher de nouvelles méthodes pour atteindre une performance optimale. Pour nous la blessure est un point clef du football car elle a un effet direct sur le physique mais aussi un effet indirect sur le mental. Notamment en centre de formation où les jeunes joueurs ont peu de temps pour faire leurs preuves

et une blessure peut venir contraindre leur ascension au haut-niveau. La diminution des risques de blessures est primordiale au niveau personnel et collectif. C'est pourquoi on s'est intéressé à la blessure et aux méthodes prophylactiques pour diminuer au maximum les risques de blessure comme la fatigue par exemple grâce au suivi de la charge d'entraînement et de ces indicateurs. Pour être capable personnellement, dans le futur de pouvoir prévenir le staff de potentiel risque de blessure et de voir si un entraînement préventif permettrait de diminuer l'incidence des blessures.

Le but de cette étude est de comparer sur deux parties de saison un même groupe de joueurs, l'incidence des blessures avec les mêmes indicateurs de la charge d'entraînement en incluant sur la deuxième partie de saison la mise en place de prévention.

L'objectif est donc de diminuer le nombre de blessure avec la mise en place de méthodes prophylactiques pour diminuer les facteurs de risque comme les antécédents de blessure et les déséquilibres moteur et/ou en contrôlant la charge d'entraînement pour avoir un suivi de la fatigue du joueur et de voir si une association existe.

Dans cette perspective, nous attendons de cette étude épidémiologique de cohorte, une diminution des risques de blessures et donc l'incidence des blessures sur la deuxième partie de saison. Avec la mise en place d'un protocole de prévention individuelle pour diminuer le risque des récurrences et un contrôle de la charge d'entraînement pour diminuer le risque de blessure lié à la fatigue.

Par exemple, en première partie de saison un joueur avec un déficit de stabilité au niveau du genou, c'est fait une entorse sous état de fatigue (ratio > 1,5). Le fait de lui mettre en place une prévention axée sur la proprioception du genou par exemple va-t-il diminuer son risque de blessure à ce même niveau malgré un état de fatigue en deuxième partie de saison ?

4. Matériel et Méthodes

4.1 Participants

38 jeunes joueurs de football de haut-niveau au départ puis 35 joueurs retenus (Taille : 178.6 ± 6 cm ; Masse corporelle : 68.8 ± 7 kg) issus des équipes en centre de formation des catégories U17 nationaux (n= 21 ; âge : 16.6 ± 0.5), des U19 nationaux (n= 10 ; âge : 18.2 ± 0.5) et enfin la catégorie sénior évoluant en national 3, seuls les moins de 21 ans étaient pris en compte (n= 4 ; âge : 20.4 ± 0.6). Ils ont été suivis durant 1 saison soit 10 mois (à prendre en compte la particularité de cette saison avec la crise sanitaire qui a frappé pays et la pratique). Si un joueur rejoignait ou quittait le club durant la saison celui-ci était exclu de l'étude (n=2). Si un joueur rejoignait le groupe professionnel durant la saison celui-ci était exclu de l'étude (n=1).

4.2 Méthodologie

Cette étude est une étude de cohorte. C'est-à-dire que deux groupes sont formés, le premier est composé des joueurs exposés à un facteur de risque et le second sont les joueurs non-exposés. Tous les joueurs sont suivis afin de constater une blessure ou non.

Dans cette étude la blessure est définie comme « une plainte physique d'un joueur, résultant d'un match ou d'un entraînement et à l'origine d'une incapacité pour le joueur de participer au match ou à l'entraînement suivant » (*Fuller et al, 2006*). Les blessures sont diagnostiquées par le médecin du club. De plus seules les blessures sans contact étaient comptabilisées. L'incidence des blessures globales de chaque joueur a été calculée selon le nombre de blessures subies pour le nombre d'heures que le joueur a pratiqué en première puis en deuxième partie de saison. Ce ratio est alors retranscrit sur 1000 h de pratique puis en pourcentage afin de pouvoir comparer les résultats avec d'autres études. La durée d'indisponibilité a été calculée ainsi qu'une classification des blessures par zone a été faite.

La charge d'entraînement est calculée à l'aide de la méthode de la sRPE qui est une méthode simple, efficace et validée. On demande aux joueurs de noter sur une échelle de 1 à 10 (Borg CR-10) l'intensité ressentie lors de l'entraînement ou d'un match. Après chaque séance ou match joué, le joueur avait 1 heure pour remplir un formulaire disponible sur google drive. Les données étaient ensuite systématiquement retranscrites sur un tableur Excel et la charge d'entraînement était calculée en unité arbitraire (UA) selon le produit de l'intensité perçue par la durée de l'effort.

Le ratio A/C était calculé quotidiennement et automatiquement sur le tableur. Ce ratio était déterminé en divisant la charge absolue de la dernière journée par la charge chronique qui est la moyenne des 3 dernières semaines. Les variations hebdomadaires étaient elles aussi calculées automatiquement sur le tableur en divisant la charge totale des 7 derniers jours par la charge totale des 7 derniers jours précédents.

Concernant la mise en place des protocoles de prévention individuelle. Chaque joueur a passé les tests FMS. Six des sept mouvements ont été effectués puis notés de 1 à 3 en plus du test souplesse des ischio-jambiers qui lui était noté de 0 à 2 selon le score obtenu sur ce test. Un total sur 20 points était calculé pour chaque joueur avec une dominante à travailler selon les déficits rencontrés. Pour la notation, chaque test était filmé sous deux angles différents (de face et de profil) puis était analysé selon des critères prédéfinis propres à chaque mouvement. Une fiche individuelle a été créée pour déterminer les profils à risque avec les contraintes biomécaniques rencontrées ou encore les limitations articulaires, les déséquilibres et/ou dysfonctionnements aperçus qui peuvent amener à des mouvements compensatoires puis à la blessure. Chaque joueur a été classé dans une

catégorie selon son profil à risque ou non selon la note obtenue aux tests (profil à risque très élevé note inférieur à 7, risque élevé note compris entre 7 et 10, risque modéré compris entre 10 et 13, risque faible entre 13 et 16 et enfin une note supérieure à 16 était considérée comme profil à risque très faible). Enfin une fiche de prévention individuelle a été créé avec de nombreux exercices à exécuter selon le déficit de chacun et/ou les potentiels blessures déjà recensées. Chaque joueur avait 2 séances de prévention en salle de 30 min chaque semaine. Chaque blessure était analysée selon les risques potentiels détectés sur chaque joueur afin de voir si le joueur a eu des blessures sur ses faiblesses.

4.3 Analyses statistiques

L'association entre les indicateurs de la charge d'entraînement et l'incidence des blessures était calculée pour voir si une corrélation significative entre la fatigue et la blessure existait avec ou sans méthode prophylactique. Pour cela un tableau de contingence était rempli selon les données de charge recueillies dans le tableur Excel.

Elles étaient sélectionnées selon les critères de nos facteurs de risque et des blessures subies. Par exemple un ratio A/C supérieur à 1.5 et ayant subi une blessure alors cette valeur valait 1 dans la case correspondante du tableau. Ensuite le risque relatif (RR) était calculé grâce au tableau de contingence. Si RR est supérieur à 1, alors RR témoigne que le facteur de risque augmente la fréquence de la blessure. Si RR est inférieur à 1, alors RR diminue l'incidence de blessure et enfin si RR est égal à 1, celui-ci n'a aucun effet sur la blessure.

Pour chaque RR calculé, un test X^2 est réalisé afin de vérifier si RR est significatif. C'est-à-dire si la probabilité d'être blessé en étant exposé au facteur de risque est significativement plus grand qu'un joueur blessé non-exposé au même facteur. Le X^2 est calculé avec un logiciel internet gratuit, puis la probabilité est trouvée en fonction de la Table X^2 avec ddl = 1. Dans cette étude, le niveau de significativité est fixé à $p \leq 0.05$ soit $X^2 \geq 3.84$.

Le risque relatif étant une estimation, il est nécessaire de déterminer un intervalle de confiance. Il permet de définir une marge d'erreur de la valeur réelle. Dans cette étude, l'intervalle de confiance sera calculé à l'aide d'un tableur Excel selon la méthode de Miettinen qui utilise la valeur du test X^2 . Cela permettra d'obtenir une limite inférieure (RRi) et une limite supérieure (RRs) sur un intervalle de confiance de 95 % (IC 95 %).

5. Analyse des Résultats

La saison a été décomposée en deux parties afin de pouvoir les comparer. La 1^{ère} partie s'est déroulée du 3 août au 16 décembre soit 111 séances et 20 matchs soit 193 heures de pratique. Durant cette période nous avons recensé 56 blessures dont 39 blessures sans contact soit 70 % des blessures. Nous avons donc une incidence de blessure de 1.11 pour 193 heures de pratique soit 0.58% (5.7 pour 1000 heures).

Sur la deuxième partie de saison qui s'est déroulée du 25 janvier au 28 mai avec cette fois la mise en place d'un protocole prophylactique. Nous avons effectué 67 séances et 11 matchs soit 111 heures de pratique. Sur cette partie 39 blessures ont été comptabilisées dont 31 blessures sans contact soit 80 %. Nous avons ici une incidence des blessures de 0.9 pour 111 heures de pratique soit 0.80% (7.97 pour 1000 heures).

Concernant le suivi de la charge d'entraînement, certains indicateurs du suivi de la fatigue du joueur montrent une relation avec l'incidence des blessures. Pour le ratio A/C en 1^{ère} partie de saison, 90 % des blessures sont parvenues après un ratio inférieur à 0.8 ou supérieur à 1.5. Une association significative a été identifiée entre ce ratio et l'incidence des blessures (RR : 1.55 ; $p \leq 0.001$). Sur la deuxième partie de saison 84% des blessures surviennent après un ratio inférieur à 0.8 ou supérieur à 1.5.

Là encore une association significative a été démontrée (RR : 1.34 ; $p \leq 0.02$). Les résultats comparatifs sont présentés dans le tableau 38 ci-dessous. Pour ce qui est de la variation hebdomadaire en 1^{ère} partie de saison, une variation comprise entre 25 et 50 % (RR : 1.18) ou encore une variation supérieure à 50 % (RR : 1.24) montre bien que ce facteur de risque augmente la fréquence de la blessure mais ces risques ne sont pas significatifs ($p > 0.05$). Tout comme en deuxième partie de saison pour une variation comprise entre 10 et 25 % (RR = 1.12), et entre 25 et 50 % (RR=1.30) avec encore cette fois aucune significativité ($p > 0.05$). En revanche sur cette seconde partie une variation supérieure à 50 % montre une association significative avec l'incidence des blessures (RR : 2.25 ; $p \leq 0.02$), résultats obtenus et regroupés dans le tableau 38 ci-dessous.

	Pourcentage de blessure (Nombre de blessure)		RR (IC 95 %)		X ²		P	
	1 ère partie de saison	2 - ème partie de saison	1 ère partie de saison	2 - ème partie de saison	1 ère partie de saison	2 - ème partie de saison	1 ère partie de saison	2 - ème partie de saison
Ratio A/C	90 % (35)	84% (26)	1.55 (56.3-59.9)	1.34 (60.5 – 65.2)	16.19	5.95	0.001	0.02
Variation Hebdomadaire ≤ 10 %	13% (5)	10% (3)	0.65 (15.6 – 22.4)	0.91 (8.5 – 15.0)	1.06	0.15	0.3	0.5
Variation Hebdomadaire >10 et ≤ 25%	18 % (7)	13% (4)	0.53 (32.5 – 41.5)	1.12 (9.5 – 16.2)	4.24	0.05	0.05	0.9
Variation Hebdomadaire >25 et ≤ 50%	41 % (16)	32 % (10)	1.18 (45.1 – 57.1)	1.3 (27.4 – 37.4)	0.8	0.98	0.5	0.5
Variation Hebdomadaire >50 %	28 % (11)	45 % (14)	1.24 (67.1 – 82.1)	2.25 (24.7-35.7)	1.68	7.85	0.2	0.02

Tableau 38 : Résultats comparatifs de la 1 ère partie de saison et la deuxième avec le ratio A/C et la variation hebdomadaire, ainsi que le risque relatif et la valeur p mettant en évidence ou non une association avec l'incidence des blessures.

Concernant les antécédents de blessure et les données sur les blessures. 29 de nos joueurs sur 35 ont eu au moins une blessure (70 blessures sur la saison). 20 de nos joueurs ont eu au moins 2 blessures soit 61 des 70 blessures. Parmi ces 20 joueurs, 9 ont eu sur la saison au moins une récurrence de blessure soit 12 des 70 blessures (17 %). 8 blessures récurrentes se sont passées en 1 ère partie de saison et 4 en deuxième partie.

Au niveau de la classification des blessures, nous avons recensé 13 % de blessure sur le haut du corps et 87 % sur le bas du corps. Plus en détails, 22 % sur les ischio-jambier, 22 % sur les chevilles, 14 % au niveau des adducteurs, 12 % sur les genoux, 12 % sur les quadriceps et enfin 5 % au mollet.

Résultat concernant la mise en place de méthodes prophylactiques. Six (6) de nos joueurs étaient considérés comme profil à risque élevé de se blesser, 4 d'entre eux se sont blessés sur la

saison et ont eu 15 blessures à eux 4, soit un ratio de 2.5. Ci-dessous le récapitulatif des données récoltées (*Tableau 39*).

	Profil à risque élevé	Profil à risque moyen	Profil à risque faible	Profil à risque très faible
Nombre de joueurs	6	14	13	2
Nombre de joueurs blessés	4	12	11	2
Nombre de blessures	15	29	15	2
Ratio	2.5	2.1	1.15	1

Tableau 39 : Ratio des blessures en fonction des joueurs blessés et de leur catégorie appropriée.

Enfin les résultats des joueurs blessés selon leurs « faiblesses » détectées par le test avant et après la mise en place de méthodes prophylactiques. Nous avons 19 joueurs qui se sont blessés sur une faiblesse détectée en 1 ère partie de saison. Et nous avons eu 9 joueurs qui se sont blessés sur une faiblesse détectée par les tests sur la deuxième partie de saison. Enfin 8 joueurs durant la saison entière se sont blessés sur un potentiel blessure non détectée par nos tests.

6. Discussion

L'objectif de cette étude était de diminuer le nombre de blessure en ayant une approche multifactorielle sur les facteurs de risque. En mettant en place un suivi de la charge d'entraînement pour contrôler la fatigue du joueur car la fatigue est le 2 -ème plus gros facteur de risque de la blessure après les antécédents de blessures et les déséquilibres moteurs (*McCall et al, 2015*), en mettant en place cette fois-ci une méthode prophylactique pour contrer ce facteur de risque de blessure. Dans cette étude l'incidence des blessures en pourcentage est de 0.58 % en 1 ère partie de saison et de 0.8 % en seconde partie. Ces incidences sont équivalentes aux études précédentes comme celle de *Brinks et al (2010)* qui indique une incidence de 5.2 blessures pour 1000 h de pratique soit 0.52 % avec 83 % des blessures sur le bas du corps, dans cette étude nous sommes à 87 % sur le bas du corps. Nous pouvons constater une augmentation de l'incidence des blessures entre la 1 ère et la 2 -ème partie de saison.

Une association entre le ratio A/C et l'incidence des blessures a été identifiée dans cette étude. En effet Gabett et al (2016), nous propose un ratio A/C qui représente la charge de la journée divisée par la charge supportée des trois dernières semaines. Il nous indique qu'un ratio inférieur à 0.8 ou un ratio supérieur à 1.5 amènerait à une augmentation du risque de blessure. Cette étude est en adéquation avec la méthode proposée par Gabett, puisque 90 % des blessures en 1 ère partie de saison et 84 % en 2 -ème sont apparues après un ratio inférieur à 0.8 ou supérieur à 1.5. Notre étude nous montre bien que la probabilité d'être blessé en étant exposé à un ratio inférieur à 0.8 ou supérieur à 1.5 est significativement plus grand que d'être blessé en étant dans la zone de développement c'est-à-dire entre 0.8 et 1.5, que ça soit en 1 ère et en 2 -ème partie de saison (1ère partie : RR : 1.55 ; $p \leq 0.001$ / 2ème partie : RR : 1.34 ; $p \leq 0.02$). Ces résultats significatifs sont en corrélation avec l'étude de *Malone et al (2017)* qui démontre une association entre un ratio compris entre 1 et 1.25 et la diminution de l'incidence des blessures mais cette étude a été faite auprès de joueurs professionnels séniors. Malheureusement peu d'étude aujourd'hui démontre cette association dans le milieu des jeunes joueurs en centre de formation mais nous pouvons affirmer que l'utilisation de cet outil est très utile pour le suivi de la fatigue de chacun des joueurs et nous permettre de prévenir des blessures. En effet ce ratio permet d'affiner le suivi de la charge individuelle et d'avoir un retour sur sa forme actuelle. Chaque joueur n'a pas la même réponse physiologique à l'effort et ce ratio va nous permettre d'alimenter un modèle qui nous indiquera la forme du joueur et éviter un surentrainement ou sous entrainement et de prévenir des blessures pour chacun.

Aucune association entre les variations hebdomadaires allant de 0 à 50 % et l'incidence des blessures chez les jeunes joueurs de centre de formation a été identifiée. Par contre en deuxième partie de saison, l'étude démontre une association entre une variation hebdomadaire supérieure de 50 % et l'incidence des blessures. *Gabett et al (2016)*, met en évidence que le risque de blessure est minimisé avec une variation inférieure ou égale à 10. En revanche une variation hebdomadaire allant de 20, 30 ou même 50%, le risque de blessure augmente considérablement. Malgré une association significative non identifiée, l'étude montre qu'une variation trop importante d'une semaine à l'autre (au moins 25 %) est à l'origine au moins de 30 % des blessures. Là encore il existe encore trop peu d'étude qui associe cet indicateur de la charge avec l'incidence des blessures chez des jeunes joueurs en centre de formation.

Concernant les antécédents de blessure on s'aperçoit que 17% des blessures recensées sont des récidives. On note une diminution de 50 % des récidives entre la 1 ère partie de saison et la 2^{ème}. On peut en conclure que la mise en place de protocole individuel de prévention construit selon les types de profil à risque et des blessures antécédentes a diminué le nombre de rechute sur

la même blessure. On peut également constater que nos profils à risque déterminés selon nos tests FMS ont été véridique puisque le ratio de blessure en fonction du nombre de joueurs dans chaque catégorie à risque est ascendant. Nous avons un ratio de 2.5 pour les joueurs à profils à risque élevé, puis un ratio de 2.1 pour les risques moyen, 1.15 pour les profils à risque faible et enfin un ratio de 1 pour les joueurs à faible risque. Cela nous prouve bien que le joueur à profil élevé à plus de risque de se blesser qu'un joueur à risque très faible. Il est donc important de prêter encore plus son attention sur ces joueurs-là.

Nous avons recensé 19 de nos joueurs ayant eu une blessure sur une « faiblesse » détectée à travers nos tests en 1 ère partie de saison contre 9 joueurs en seconde partie. Nous pouvons affirmer que le protocole mis en place à porter ses fruits sur les faiblesses de chaque joueur car on note une grosse diminution de ces blessures à risque. En revanche, comme vu précédemment, nous avons une incidence des blessures plus importantes sur la deuxième partie de saison. On peut donc en conclure qu'il est important de travailler avec une méthode prophylactique individuelle mais aussi dans sa globalité. Car on s'aperçoit que sur la deuxième partie de saison, les blessures obtenues sont des blessures sur lesquelles les joueurs n'étaient pas à risque. Il serait judicieux de garder deux séances de prévention dans la semaine, avec une plus globale qui regroupent tous les muscles, articulation, schéma moteur utilisé dans le football et une plus personnalisée sur la faiblesse détectée à l'aide de nos tests.

7. Conclusion

L'objectif de cette était de diminuer le nombre de blessure en ayant une approche multifactorielle. Les antécédents de blessure ainsi que la fatigue sont les deux plus gros facteurs de risque de la blessure dans le football. En intervenant dessus par la mise en place de méthodes prophylactiques ou encore d'un suivi de la charge d'entraînement, l'incidence des blessures devrait diminuer. Nous avons donc utilisé les tests FMS pour déterminer les profils de chaque joueur selon les « faiblesses » de chacun puis confectionner individuellement une fiche prévention à effectuer deux fois dans la semaine. Le suivi de la charge d'entraînement était lui suivi quotidiennement grâce à la méthode RPE et ses indicateurs de charge d'entraînement tel que le ratio A/C.

Pour cela après avoir défini et apporté des informations sur les termes du sujet abordés grâce à la revue de littérature nous avons mené une étude de cohorte chez les jeunes joueurs de football en centre de formation afin d'étudier la question et pouvoir comparer sur deux parties de saison.

Les résultats indiquent qu'une association significative existe entre le ratio A/C et l'incidence des blessures mais qu'également une variation hebdomadaire trop importante produit

un plus gros risque de blessure. Ceci nous permet de mettre en évidence l'utilité et l'efficacité de la méthode RPE pour le suivi de la fatigue mais aussi à des fins de prévention de blessure

Nous pouvons également dire que la mise en place de méthodes prophylactiques est plutôt efficace sur les faiblesses déterminées de chacun des joueurs mais qu'il faut penser à prévenir des blessures sur l'ensemble du corps pour avoir une prévention globale du footballeur car nous avons une plus grosse incidence des blessures sur la 2 -ème partie de saison alors qu'une diminution des blessures sur le risque détecté est nettement notée.

Cette étude a également ses limites. Évidemment, cette étude démontre une association entre facteur de risque de blessure et les blessures mais en aucun cas, elle peut prédire la blessure future. De plus l'échelle RPE reste un outil subjectif qui demande aux joueurs une bonne connaissance de l'outils et d'être honnête lors de la notation.

CONTRIBUTION PERSONNELLE

Partie 2 : Prévention des Blessures Charge d'entraînement, Exploration isocinétique et Réathlétisation.

Étude 2 : Exploration isocinétique, prévention et incidence des blessures chez les jeunes footballeurs.

« Relation entre les tests de début de saison et l'incidence de blessure chez les jeunes footballeur »

Étude 3 : Évaluation isocinétique et analyse musculaire comparative des ratios Agonistes/Antagonistes chez des footballeurs/Sport Co

« Analyse musculaire de l'articulation du genou grâce au dynamomètre isocinétique et les différences observées entre des joueurs de handball et de football ».



Étude 2 : Exploration isocinétique, prévention et incidence des blessures chez les jeunes footballeurs (*Relation entre les tests de début de saison et l'incidence de blessure chez les jeunes footballeurs*)

Résumé

L'étude vise à identifier les facteurs de risque de blessures chez les jeunes footballeurs à partir de tests de début de saison. Les performances en saut (CMJ) sont associées à un risque réduit de blessure, tandis qu'une masse grasse élevée augmente ce risque, notamment au niveau des chevilles et des genoux. Aucune corrélation significative n'est observée avec la taille ou la masse corporelle. Les déséquilibres musculaires, évalués par isocinétisme, sont des indicateurs fiables de risque, surtout pour les ischio-jambiers. L'équilibre entre jambes dominante et non dominante joue un rôle essentiel dans la prévention. La puissance aérobie, bien que cruciale pour la performance, n'a pas montré de lien significatif avec les blessures dans notre étude. La souplesse ne semble pas être un bon indicateur de risque, malgré des avis partagés dans la littérature. Les évaluations en début et fin de saison pourraient être utiles pour suivre l'évolution des facteurs de risque. Enfin, la prévention passe par une planification physique adaptée, des évaluations régulières et une attention particulière à la fatigue chronique et au surentraînement.

Mots Clés : *Blessures, Isocinétisme, Football, Indicateurs de risque.*

Abstract

The study aims to identify risk factors for injuries in young football players based on pre-season testing. Jump performance (CMJ) is associated with a reduced risk of injury, while a high body fat percentage increases this risk, particularly in the ankles and knees. No significant correlation is observed with height or body mass. Muscular imbalances, assessed through isokinetic testing, are reliable indicators of injury risk, especially for the hamstrings. Balance between the dominant and non-dominant leg plays a crucial role in injury prevention. Aerobic power, although essential for performance, did not show a significant link to injuries in this study. Flexibility does not appear to be a strong risk indicator, despite differing opinions in the literature. Pre- and post-season evaluations could be useful to track the evolution of risk factors. Finally, injury prevention requires appropriate physical planning, regular assessments, and close attention to chronic fatigue and overtraining.

Key Words: *Injuries, Isocinétisme, Soccer, Risk Indicator*

1. Introduction

Dans le milieu du football, il arrive fréquemment que les joueurs professionnels soient confrontés à deux matchs lors d'une même semaine (avec une période de récupération inférieure à 5 jours. Ispirlidis et al., (2008) ont démontré qu'il fallait de 96 à 120 heures de repos pour revenir à des valeurs de référence. En effet, dans une méta-analyse, (Silva et al., 2017) ont montré que certains paramètres de la performance ne revenaient pas à la valeur de référence 72h à 96h après un match. Par conséquent, lorsque la période de récupération entre les deux matches est inférieure à 96h, le joueur n'a pas totalement récupéré.

Dans ce contexte, Dupont et al., (2010) ont montré que l'incidence des blessures des footballeurs qui jouaient deux matchs par semaine était 6 fois plus importante que chez les joueurs n'ayant joué qu'un match par semaine.

De plus, pour des équipes participant aux compétitions européennes comme la Ligue des Champions ou l'Europa league, l'incidence des blessures est élevée. (Hagglund et al., 2013). L'incidence des blessures est de 8 blessures pour 1000heures de pratique pour les 24 équipes évaluées et réparties dans 9 pays sur 11 saisons (Hagglund et al., 2013). De plus, dans une équipe professionnelle constituée d'environ 25 joueurs, un taux de 50 blessures par saison a été évalué. Cela correspond à une moyenne de deux blessures par joueur et par saison (Ekstrand et al., 2011 ; Ekstrand et al., 2013).

Lorsque l'on compare aux emplois industriels, l'incidence des blessures en football correspond à 710 blessures déclarables pour 100 000 heures de pratique alors que seulement 0,3 à 1,3 blessures sont déclarées dans les secteurs de mines ou carrières pour 100 000 heures de travail au Royaume-Uni (Hawkins RD et al., 1999, Drawer et Fuller, 2002).

Concernant les facteurs de risques responsables de ces blessures, il a été émis comme hypothèse que les déséquilibres musculaires (Fousekis et al., 2011 ; Croisier et al., 2008), la fatigue (Small et al., 2010), la charge d'entraînement (Foster et al., 2001) et les antécédents de blessures (Hagglund et al., 2013 ; Hagglund et al., 2006 ; Arnason et al., 2004) constituaient des facteurs de risque de blessure.

Afin de vérifier si la définition de ces facteurs de risques était fondée sur un niveau d'évidence scientifique élevé, McCall et al., (2015) ont analysé les perceptions et les pratiques de 44 équipes de football vis à vis des facteurs de risque et de la prévention des blessures. Ils ont analysé le niveau d'évidence scientifique des facteurs de risque et des exercices de préventions en utilisant une grille d'analyse méthodologique, puis ils ont défini un grade de recommandation pratique. Leurs résultats ont montré que les paramètres considérés par les clubs comme les 3 principaux facteurs de risque de blessures sont : une blessure antérieure, la fatigue et les déséquilibres

musculaires. Les 3 tests les plus utilisés pour détecter un facteur de risque de blessure sont : le Fonctionnal Movement Screen (FMS), les questionnaires et les tests isocinétiques.

Lorsque l'on analyse les résultats entre les déséquilibres de force musculaire, les tests musculaires isocinétiques et le risque de blessure chez les footballeurs professionnels, les conclusions divergent en fonction des chercheurs. Dauty et al., (2003) ont montré que le rapport concentrique ischio-jambier/quadriceps inférieur à 0,6 et la symétrie au niveau de la force des ischio-jambiers de plus de 10% ne permettent pas d'identifier une blessure aux ischio-jambiers. En revanche, le rapport mixte quadriceps excentrique-ischio-jambier inférieur à 0,6 représente le meilleur indicateur (probabilité : 77,5%). Ce rapport et les autres paramètres isocinétiques étudiés ne permettent pas de prédire une récurrence ou une nouvelle lésion musculaire des ischio-jambiers, le niveau d'évidence de l'article était de 2++ sur l'échelle d'Harbour et Miller., (2001), ce qui correspond à une revue systématique de qualité (McCall et al., 2015).

Croisier et al., (2008) ont mis en évidence que le risque de lésion musculaire avait significativement augmenté dans les cas d'un déséquilibre de force non traité par rapport aux joueurs ne présentant pas de déséquilibre durant la présaison (risque relatif (RR) = 4,66 ; Intervalle de confiance (IC) à 95% = 2,01 à 10,8). Le risque de blessure reste significativement plus élevé chez les joueurs présentant des déséquilibres de force (RR 2,89 ; 95%IC = 1,00 à 8,32). Inversement, la normalisation des paramètres isocinétiques réduit le facteur de risque de lésion de celui observé chez les joueurs sans déséquilibre (RR = 1,43 avec 95%IC = 0,44 à 4,71). Le niveau d'évidence de l'article était de 2++ sur l'échelle de Harbour et Miller., (2001).

Fousekis et al., (2011) et Fousekis et al., (2012) ont obtenu des résultats similaires à ceux de Croisier et al., (2008). Leurs résultats montrent que les joueurs de football professionnels avec des asymétries fonctionnelles de jambe (ratio (OR) = 3,80 ; 95%IC = 1,08 à 13,33) et des asymétries de force ischio-jambiers excentriques (OR = 3,88 ; 95%IC = 1,13 à 13,23) ont un plus grand risque d'avoir une blessure au niveau des ischio-jambiers. Le niveau d'évidence de l'article était de 2++ sur l'échelle d'Harbour R, Miller., (2001).

Bakken et al., (2018) ont analysé la corrélation entre le risque de lésion des membres inférieurs et la force au niveau de la flexion et l'extension isocinétique maximale du genou et celle lors de l'adduction et l'abduction de hanche chez des footballeurs professionnels. Les résultats montrent que parmi les 20 mesures de force examinées, à l'aide d'un dynamomètre isocinétique, le couple maximal concentrique du quadriceps à 300°/s (Hazard Ratio (HR) = 1,005 [95%IC = 1,00 à 1,01], P = 0,037) était la seule mesure de résistance identifiée comme significativement associée à un risque de baisse de lésions des extrémités en analyse multivariée. Le couple maximal concentrique du quadriceps à 60°/s (HR, 1,004 [95%IC = 1,00 à 1,01]; P =,026) ainsi que la force au niveau des

muscles adducteurs bilatéraux (HR, 0,75 [95%IC = 0,57 à 0,97; P = 0,032] n'avaient pas un niveau de preuve suffisant pour identifier un joueur « à risque ».

Concernant l'évaluation du risque de blessures par l'utilisation de questionnaires (Devantier et al., 2012) ou du test FMS (Frost et al, 2013), Shultz et al, 2013) et les résultats de la revue de McCall et al., (2015) montrent que le niveau d'évidence scientifique est faible, il n'est donc pas recommandé d'utiliser ces tests pour tout type d'évaluation du risque de blessure mais plutôt les associer à d'autres tests.

On observe donc que beaucoup de facteurs de risques sont considérés comme élevés pour les blessures chez les sportifs, mais que tous n'ont pas été validés par la littérature scientifique. Le risque de récurrence de blessure suite à des antécédents reste le facteur le plus reconnu chez les footballeurs professionnels (Ekstrand 2013 ; Arnason et al., 2004). De plus, d'autres évaluations sont réalisées en début de saison chez les footballeurs : La souplesse des membres inférieurs (Bradley et al., 2007), le poids, la taille et la masse grasse (Reilly et al., 2000), la capacité aérobie, la détente verticale et la vitesse (Brocherie et al., 2014) et ces mêmes tests sont aussi effectués chez les jeunes joueurs (Reilly et al., 2000).

A notre connaissance, très peu d'études se sont intéressées au lien qui pouvait exister entre les résultats obtenus à ces tests et l'incidence des blessures. De ce fait, il nous a semblé pertinent d'évaluer les facteurs de risque de blessure.

En effet, on constate que dans le monde professionnel, les blessures ont un impact négatif sur la performance, l'économie et la santé.

D'un point de vue financier, le coût moyen d'un joueur blessé a été estimé à 500 000 euros pour une équipe professionnelle européenne de football, (Ekstrand, 2013). Cela englobe les salaires, les frais médicaux, les soins et l'assurance, (Woods C et al., 2002).

Plusieurs études ont montré que la performance pouvait être affectée par l'incidence des blessures (Eirale C et al., (2012), Hägglund M., et al (2013)). En effet, lorsque l'incidence des blessures est plus faible ($r = 0,93$, $p < 0,01$), elle influence le classement final de l'équipe à la fin de la saison mais aussi lors des parties gagnées ($r = 0,88$), du nombre de buts marqués ($r = 0,89$) ou même du nombre total de points dans le classement ($r = 0,92$). En outre, plus l'incidence des blessures est élevée moins bonne est la performance (Eirale C et al., 2012). Un risque de blessure plus faible ($p = 0,043$) permet une plus grande disponibilité des joueurs pour les rencontres ($p = 0,048$) en UEFA Champions League ou en Europa League concernant les clubs de haut niveau de pratique (Hägglund et al., 2013).

Enfin, il peut y avoir de graves répercussions sur la santé à long terme des joueurs. Il a été rapporté que 47% des joueurs de football professionnels ont été forcés de prendre leur retraite en raison d'une blessure et 32% ont été diagnostiqués comme souffrant d'arthrose (Drawer S et al., 2001).

Le but de notre étude sera de déterminer, si les résultats des différentes évaluations lors des tests peuvent nous informer sur les éventuels facteurs de risque et la survenue des blessures chez les jeunes footballeurs. Il a été émis comme hypothèse que le risque de blessure diminuait lorsque les résultats des tests étaient plus ou moins reproductibles sans déviation significative et sans une tendance à leur majoration négative.

2. Revue de littérature

La blessure sportive survient à la suite d'un match ou un d'entraînement. Elle correspond à une réduction de l'activité ainsi qu'une nécessité d'un traitement ou d'un protocole de réathlétisation suite à un avis du staff médical (Schmidt-Olsen et al., en 1991). La blessure est souvent fonction de sa localisation, de sa gravité et de son impact sur la pratique du joueur. Elle est aussi en lien direct avec la discipline et la sollicitation articulaire ; de ce fait en football ce sont les articulations des membres inférieurs qui le plus souvent touchés et lésés.

Ekstrand et al., (2011) ont localisé les différentes blessures sur plusieurs muscles de 2001 à 2009 pour un total de 2299 joueurs réparties dans 24 clubs sélectionnés par l'UEFA comme appartenant aux meilleures équipes européennes, 15 équipes de la première ligue suédoise et 15 autres équipes européennes qui ont été suivies prospectivement. En moyenne, un joueur subi 0,6 blessure musculaire par saison. Les incidences totales de blessures étaient de 0.92 (95%IC = 0.87 à 0.98) pour les ischios jambiers, 0.41 (95%IC = 0.38 à 0.45) pour les quadriceps, 0.57 (95%IC = 0.53 à 0.62) pour les adducteurs et 0.31 (95%IC = 0.28 à 0.35) au niveau des mollets pour 1000 heures de pratique.

Souvent mal évaluée ou considérée comme plus faible, l'incidence de blessure aurait tendance à augmenter avec l'âge ; les joueurs les plus âgés toujours en pratique de leur discipline en football se rapprocheraient souvent du taux d'incidence des seniors actifs. En effet, Ekstrand et al., (2011) ont analysé l'incidence de blessure en match et à l'entraînement de 2001 à 2009 et ils ont observé que les joueurs les plus jeunes ont tendance à moins se blesser (*Figure 31*).

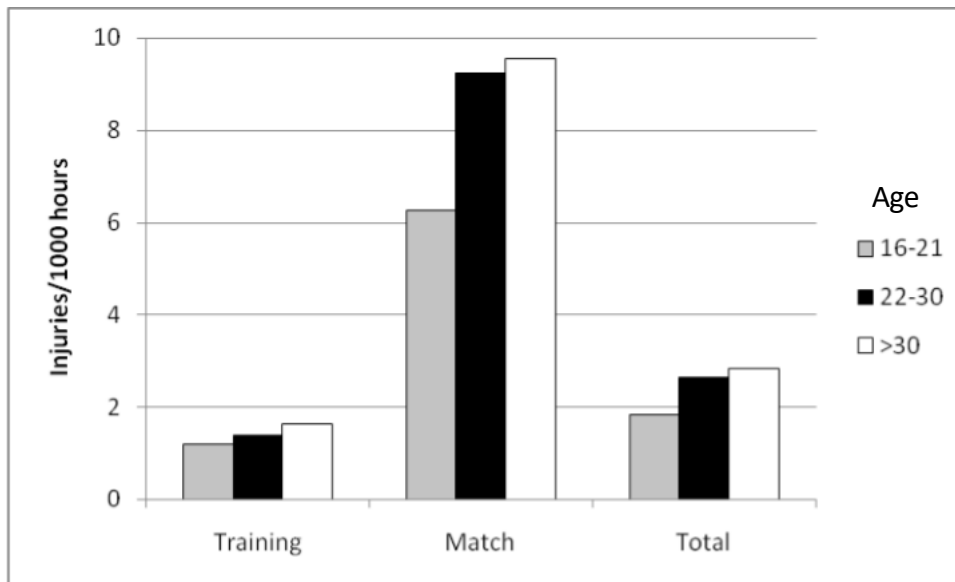


Figure 32 : Incidence de blessure musculaire à l'entraînement et en match pour les groupes de 16-21 ans, 22-30 ans et >30 ans
(Training = Entraînement, Match = Match; Total = Total Injuries/1000 hours = Incidence de blessure /1000h)

Une étude danoise a montré que sur 496 jeunes joueurs de football âgés de 12 à 18 ans, l'incidence de blessure était de 3,7 blessures pour 1000 heures de jeu sur une année (Soligard et al., 2010). Ce qui nous amène au questionnement sur la corrélation de l'âge avec la pratique footballistique, éléments qui semblent évident que les jeunes se blesseraient moins que les plus âgés. Confirmé par plusieurs études, qui ont montré qu'un âge avancé n'avait pas une influence sur un risque accru concernant l'ensemble des blessures (M Häggglund et al., (2006), J Chomiak et al., (2000)). Alors que J Chomiak et al., (2000) ont pu observer un risque de blessure musculaire plus important pour les groupes plus âgées (environ 26 % pour les joueurs de 18 à 41 ans) alors que pour les joueurs entre 14 à 18 ans, ils ont observé que 9 % de blessure musculaire sur une saison. Schmidt-Olsen et al., (1991) constatent que l'incidence des blessures chez les jeunes joueurs de football était différente selon les âges. En effet, plus on avance dans l'adolescence plus l'incidence augmente : pour les 12-13 ans 3,4 blessures pour 1000h de pratique, pour les 14-15 ans 3,8 pour 1000h de pratique et pour les 16-18 ans 4 blessures pour 1000h de pratique.

2.1 Les lésions musculaires

Une lésion musculaire est définie comme une atteinte anatomique du muscle lésé qui provoque une rupture des fibres lors de la pratique du football entraînant un arrêt d'entraînement et de match. (J.Dvorak et al 2000). L'UEFA a réalisé un rapport durant la saison 2016-2017 sur l'incidence moyenne des blessures musculaires de 21 clubs de l'UEFA Champions League. Dans ce rapport,

les clubs ont fourni des données complètes sur les blessures pour toute la saison. L'incidence globale était de 2,1 blessures pour 1 000 heures de pratique, avec des taux individuels allant de 0,5 à 5,2 (Figure 32).

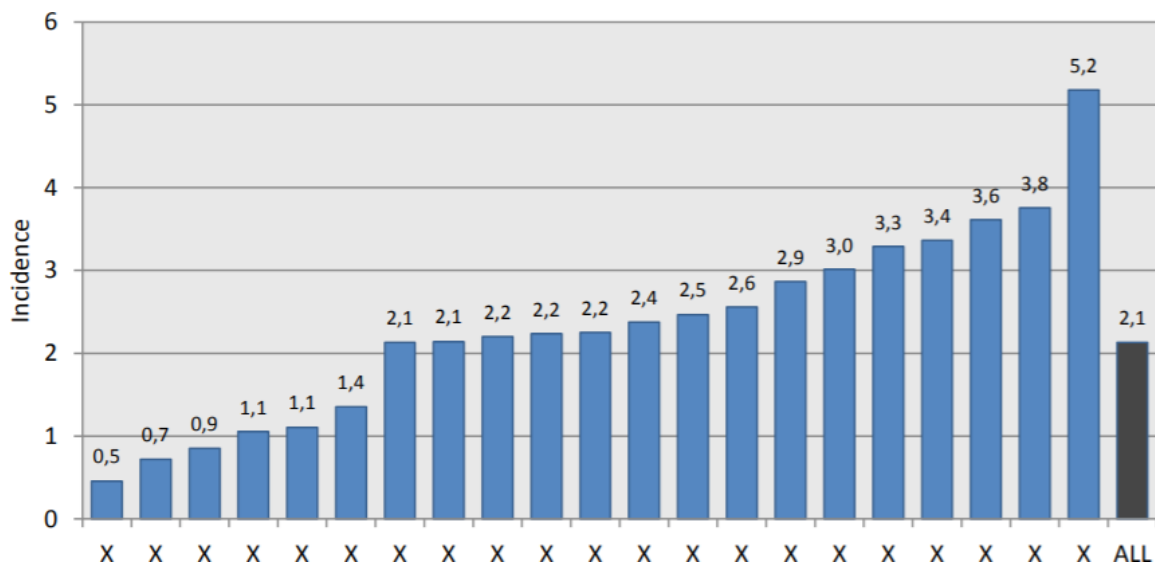


Figure 33 : Incidence des blessures musculaires exprimée par 1000h de pratique. (Ekstrand et al., (2017); « UEFA Elite Club Injury Study Report 2016/17 ».)
X = Club, All = Tous les clubs

Il existe plusieurs classifications des lésions musculaires (Jarvinen et al., (2000), Durey et Rodineau (2005)). Durey et Rodineau (2005) ont élaboré une classification histologique des lésions musculaires en 5 stades :

- *Stade 0* : atteinte réversible de la fibre musculaire sans atteinte du tissu de soutien.

Récupération totale en quelques heures.

- *Stade 1* : atteinte irréversible de quelques fibres musculaires aboutissant à leur nécrose sans atteinte du tissu conjonctif de soutien. Récupération totale en quelques jours.

- *Stade 2* : atteinte irréversible d'un nombre réduit de fibre musculaires et atteinte minime du tissu conjonctif de soutien. Récupération possible entre 10 et 15 jours.

- *Stade 3* : atteinte irréversible de nombreuses fibres musculaires, atteinte marquée du tissu de soutien et formation d'un hématome intramusculaire localisé. Récupération de 4 à 12 semaines.

- *Stade 4* : rupture ou désinsertion musculaire complète. Récupération longue (12 à 18 semaines) mais variable selon le muscle touché.

L'intérêt de cette classification porte surtout sur sa notion de durée de récupération après la lésion. De plus, on constate que cette classification est la plus utilisée en France.

Plusieurs types de lésions musculaires pouvant concerner directement les joueurs de football.

Les Ischio-jambiers

Les blessures aux ischio-jambiers sont les blessures les plus fréquentes chez les joueurs de football (Arnason et al., (1996), Woods et al., (2004), Ekstrand et al., (2011)).

En effet, si l'on considère une équipe de 25 joueurs, on peut s'attendre à une quinzaine de blessures musculaires par saison (ce qui correspond à 31 % des blessures totales). Quarante-vingt-douze pour cent (92%) de toutes les lésions musculaires affectent les quatre principaux groupes musculaires des membres inférieurs avec principalement une plus importante incidence pour la blessure des ischio-jambiers (37%) (Ekstrand et al., (2011)).

Woods et al., (2002) ont constaté une moyenne de cinq déchirures ou élongations par an et par club dont 53 % sont situés au niveau du biceps fémoral.

Ekstrand et al., (2016) ont évalué les blessures aux ischio-jambiers entre 2007 et 2014 sur 46 équipes élités de football européen. Au total, 1614 blessures aux ischio-jambiers ont été enregistrées, le ratio était de 1,20 blessure pour 1000h de pratique. Selon la gravité des blessures, la blessure de grade 2 demande un retour au jeu plus long que celle de grade 1 (24 ± 13 , 95% IC ; 21-26 jours vs 18 ± 15 , 95 % IC ; 16-20 jours, différence moyenne : 6, 95 % IC : 2 à 9 jours, $p = 0,004$). Quarante-vingt-quatre pour cent (94%) des blessures affectent le muscle biceps fémoral (BF), alors que 12% et 4% affectent respectivement le semi membraneux (SM) et le semi-tendineux (ST). Le taux de récurrence était plus élevé pour les blessures au niveau du (BF) que pour les blessures aux (SM) et (ST) combinées (18% vs 2%, $p = 0,009$).

Concernant l'incidence des blessures au niveau des ischio jambiers chez les footballeurs âgés de 15 à 19 ans sur deux saisons sportives, l'incidence de blessure est de 0,27 blessure pour 1000h de pratique (95%IC) (Selven et al., 2015). De nombreuses études se sont intéressées aux facteurs de risques lors de la lésion musculaire. En effet le manque de souplesse musculaire (Witvrouw et al., 2003), la faiblesse musculaire (Orchard et al., 1997) et le déséquilibre de force au niveau des ischio-jambiers et les quadriceps (Croisier et al., 2002) (Équilibre Agoniste /Antagoniste) peuvent être des facteurs de risque de blessure pour les ischio-jambiers.

De plus, en période de match, la blessure des ischio jambiers survient généralement dans les 15 dernières minutes de chaque mi-temps. (Woods et al., 2004).

Les blessures musculaires au niveau de la hanche et de l'aine

Les adducteurs sont les deuxièmes groupes musculaires les plus touchés après les ischio-jambiers (IJ) (respectivement (IJ) (37%) et adducteurs (23%)) (Ekstrand et al., 2011). La majorité des blessures musculaires surviennent dans des situations sans contact (92% d'adducteurs et (IJ)

95%). Les lésions au niveau des adducteurs surviennent lors d'un match de football et apparaissent durant les deux secondes moitiés de chaque mi-temps (première mi-temps $p < 0,001$ et deuxième mi-temps $p = 0,012$).

Werner et al., (2009) ont recensé au total de près de 628 blessures à la hanche ou au niveau de l'aine, des saisons de 2001/2002 à 2007/2008, entre 9 et 17 clubs étaient concernés. Les lésions au niveau des adducteurs ($n = 399$) et au niveau de l'iliopsoas ($n = 52$), étaient les blessures les plus fréquentes. Cela représente 12 à 16% de toutes les blessures par saison et l'incidence totale des blessures était de 1,1 / 1000 h (3,5 / 1000 heures pour les matchs contre 0,6 / 1000 heures pour les entraînements $p < 0,001$).

Ekstrand et al., (2013) ont étudié l'incidence des blessures sur 11 saisons avec un total de 1743 joueurs de football. 742 blessures au niveau des adducteurs ont été identifiées avec un ratio de 0.7 pour 1000h de pratique. Hägglund et al., (2012) ont aussi évalué le nombre de blessures au niveau des adducteurs ainsi que leurs récurrences. En effet de 2001 à 2010, 1401 joueurs ont participé à l'étude et 2123 blessures musculaires ont été recensées.

Le nombre de blessures au niveau des adducteurs ($n = 523$) restent toujours inférieur par rapport à celui des ischio jambiers ($n = 900$). Ces blessures étaient plus fréquentes sur la jambe qui effectuait le coup de pied (56%, $p = 0,015$). Enfin, une analyse multiple a indiqué que la présence d'une lésion antérieure durant la saison précédente augmentait significativement les taux de blessures pour les adducteurs (Hazard ratio (HR) = 1,40 ; 95% IC = 1,00 à 1,96).

Concernant l'incidence de blessures au niveau des adducteurs chez les footballeurs âgés de 15 à 19 ans sur deux saisons sportives, elle est de 0,43 blessure pour 1000h de pratique (95% CI). Cela représente 141 blessures pour un total de 425 joueurs (Selven et al., 2015).

Les Quadriceps

Les blessures au niveau du quadriceps sont les 3èmes blessures musculaires les plus importantes (19%) (Ekstrand et al., 2011) (Figure 34 et tableau 40). Le rectus femoris est le muscle du quadriceps le plus touché (Orchard et al., 2002) avec une fréquence élevée en pré saison (29%) au niveau de la première ligue anglaise (Woods et al., 2003). Hägglund et al., (2012) ont recensé 394 blessures avec une incidence de 0,49/1000h de pratique durant la période de 2001 à 2010 pour 1401 joueurs de football.

Les taux de récurrences lors d'une reprise de l'entraînement sont relativement élevées (17%) (Ekstrand et al., 2011). La dominance de la jambe peut être un facteur de risque de blessure, car la majorité des blessures du quadriceps impliquent la jambe dominante (60%) et seulement (33%) touchent la jambe non dominante Les 7% de blessures restantes concerneraient une blessure des

deux jambes (Ekstrand et al., 2011).

Les muscles du mollet

Ils représentent le groupe musculaire le moins touché lorsque l'on les compare aux trois autres cités ci-dessus : ischio jambiers (37%), adducteurs (23%), quadriceps (19%) et les muscles du mollet (13%) (Ekstrand et al., 2011) (*Tableau 40, Figure 33*). Hagglund et al., (2012) ont recensé 306 blessures avec une incidence de 0,37/1000h de pratique durant la période de 2001 à 2010 pour 1401 joueurs de football.

2.2 Les tendinopathies

Les lésions musculaires ne constituent pas l'unique type de blessures sans contact des articulations du genou et celle de la cheville. Certaines pathologies telles que les tendinopathies, les phlébites, l'arthrose et autres constituent l'autre contingent des blessures sans contact pouvant affecter ces articulations du membre inférieur.

Les tendinopathies représentent 6,9 % des blessures dans le football. Pour une équipe de haut niveau, elles représentent 4 blessures par équipe (Ekstrand, (2017) UEFA Elite Club Injury Study Report 2016/17). Sur deux saisons consécutives avec un total de 91 clubs professionnels anglais, on note un total de 1011 blessures au niveau de la cheville, 65 étaient des tendinites et 31 des synovites ce qui correspond respectivement à 8 % et 6 % des blessures totales selon Woods et al., 2003.

Elles sont clairement identifiées chez les jeunes footballeurs, elles se situent au niveau de la cheville (tendon d'Achille : incidence de 0,06/1000h de pratique), des genoux (os good Schlatte : 0,17/1000h de pratique) et au niveau du tibia (les périostites :0,08/1000h de pratique) (Selven et al., 2015). Pour les jeunes de 15 ans, on recense au total une incidence de 0,72/1000h de pratique. Pour les 17 ans, 0,78 et pour les 19 ans, 0,71 (Selven et al., 2015).

2.3 Blessures Articulaires des genoux et des chevilles

Les blessures au niveau des genoux et chevilles représentent respectivement 16 % et 13 % dans le football professionnel (Figure 33, Tableau 40). Les blessures affectant les ligaments et les ménisques représentent 16 % et 3 % des blessures sur une saison de football (Ekstrand, (2017), UEFA Elite Club Injury Study Report 2016/17). Waldén et al., (2013) ont recensé 1080 blessures au niveau des chevilles pour 1743 joueurs durant les saisons de 2001-2012 avec une incidence de 1/1000h de pratique.

Chez les jeunes joueurs âgés de 17 à 19 ans, les statistiques sont légèrement différentes. En effet les blessures les plus fréquentes étaient les chevilles (23,4%) avec une incidence de 0,55/1000h de pratique, puis les genoux (18,7%) avec une incidence de 0,30/1000h de pratique (Selven et al., 2015).

Auteurs	Sujets	Période (années)	Nombre de blessures	Incidence
Ischios Jambiers				
(Woods et al., 2004)	2376	1997-1999	749	X
(Ekstrand et al., 2011)	1743	2001-2012	1025	1,0/1000h
(Hagglund et al., 2012)	1401	2001-2010	900	1,12/1000h
(Selven et al., 2015)	425 (15-19 ans)	2007-2012	88	0,27/1000h
(Ekstrand et al., 2016)	36 clubs	2001-2014	1614	1,20/1000h
Hanche et aine				
(Werner et al., 2009)	17 clubs par saison	2001-2008	628	1,1/1000h
(Hagglund et al., 2012)	1401	2001-2010	523	0,65/1000h
(Ekstrand et al., 2011)	1743	2001-2012	742	0,7/1000h
(Selven et al., 2015)	425 (15-19ans)	2007-2012	141	0,43/1000h
Quadriceps				
(Ekstrand et al., 2011)	1743	2001-2012	404	0,4/1000h
(Hagglund et al., 2012)	1401	2001-2010	394	0,49/1000h

Tableau 40a : Les différents types de blessures dans le football et leurs localisations selon les études scientifiques

Mollet				
(Ekstrand et al., 2011)	1743	2001-2012	362	0,3/1000h
(Hagglund et al., 2012)	1401	2001-2010	306	0,37/1000h
(Ekstrand, UEFA, 2017)	21 clubs de football	2016-2017	80	2,1/1000h au total pour toutes les blessures musculaires
Genoux				
(Selven et al., 2015)	425 (15-19ans)	2007-2012	98	0,3/1000h
(Ekstrand, UEFA, 2017)	21 clubs de football	2016-2017	120	0,8/1000h au total pour toutes les blessures ligamentaires
Chevilles				
(Ekstrand et al., 2011)	1743	2001-2012	552	0,5/1000h
(Waldén et al., 2013)	1743	2001-2012	1080	1/1000h
(Selven et al., 2015)	425 (15-19ans)	2007-2012	180	0,55/1000h
(Ekstrand, UEFA, 2017)	21 clubs de football	2016-2017	99	0,8/1000h au total pour toutes les blessures ligamentaires
Tendinopathies				
(Woods et al., 2003)	2376	1997-1999	96	X
(Selven et al., 2015)	425 (15-19ans)	2007-2012	180	0,74/1000h
Membres inférieurs non conventionnés				
(Woods et al., 2002)	91 clubs	1997-1999	Lésions musculaires = 362	X
Cuisses non conventionnées				
(Ekstrand, UEFA, 2017)	21 clubs de football	2016-2017	212	2,1/1000h au total pour toutes les blessures musculaires

Tableau 40b : Les différents types de blessures dans le football et leurs localisations selon les études scientifiques

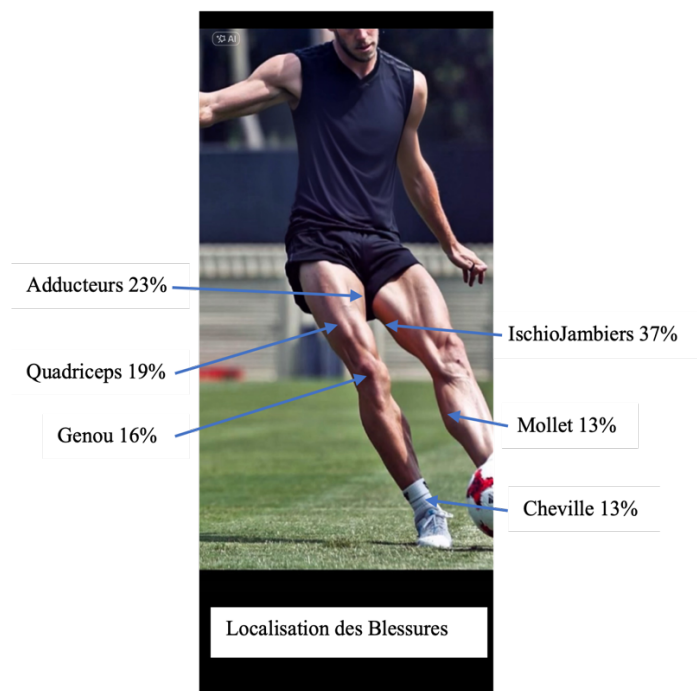


Figure 34 : Localisation des blessures selon (Eskstrand et al., (2011), (2017)).

2.4 Les facteurs de risques & les tests.

La question de la pertinence entre les paramètres évalués par ces tests et la mise en évidence des risques de blessure semble constitué un bon challenge de notre travail.

La mise en place de ces tests a pour principal objectif, la mise en évidence ou non de la corrélation de la survenue et de la récurrence des blessures en phase avec les résultats des tests. Cette approche nous permettra une meilleure orientation de l'entraînement, celui de la prise en charge et surtout une meilleure prévention.

Les tests anthropométriques

Plusieurs études se sont intéressées à cette corrélation entre le risque de blessure et les données anthropométriques des joueurs. Deux études ont analysé la relation entre les données des tests anthropométriques et les lésions au niveau du droit antérieur (Orchard et al., 2001 ; Fousekis et al., 2011). Fousekis et al., 2011 ont suivi 100 footballeurs professionnels au cours d'une saison. Leurs résultats montrent qu'une augmentation de la masse corporelle (odds ratio (OR) = 5,72 ; 95%IC = 1,37 à 23,95 ; P = 0,017) constituait un risque plus élevé d'apparition d'une entorse de la cheville sans contact.

Orchard et al., (2001) ont rapporté que les joueurs de football australiens d'une taille inférieure à 1,82 m avaient une augmentation significative de risque de lésion musculaire au quadriceps (RR

= de 1,48 ;95%IC = 1,09 à 2,02 pour 183 blessures musculaires du quadriceps).

Les tests d'évaluation de la Force

Asymétrie de force entre la jambe gauche et la jambe droite

Knapik et al., (1991) ont évalué la fréquence d'apparition des blessures chez les footballeurs. Ils ont constaté une fréquence plus élevée de blessures aux membres inférieurs lorsque les ischio-jambiers droits étaient 15% plus forts que les ischio-jambiers gauches à 180°/s et lorsque les extenseurs de la hanche droite étaient 15% plus souple que ceux de la hanche gauche. Ces résultats ont révélé que les asymétries de force et de souplesse étaient négativement associées aux blessures du bas du corps chez les athlètes féminines.

Rahnama et al., (2005) ont signalé une force du muscle fléchisseur du genou dans la jambe non dominante supérieure à celle de la jambe dominante chez 68% des joueurs de football amateur anglais. Fousekis et al. (2011) ont pu observer que les joueurs ayant des asymétries de force au niveau des ischio-jambiers en excentrique ((OR) = 3,88 ; 95%(IC) = 1,13 à 13,23), des asymétries fonctionnelles de jambe ((OR) = 3,80 ; 95%(IC) = 1,08 à 13,33) et aucunes blessures précédentes au niveau des ischio-jambiers ((OR) = 0.15; 95%(IC) = 0.029 à 0.79) étaient plus à risque de provoquer une lésion musculaire des ischio-jambiers durant la saison. De plus, on observe la même conclusion pour les joueurs avec une force excentrique ((OR) = 5.01, 95%(IC) = 0,92 à 27,14) présentant des asymétries de flexibilité ((OR) = 4,98 ; 95%(IC) = 0,78 à 31,80) pour les joueurs de petites tailles ((OR) = 0,08, 95%(IC) = 0,00 à 1,35), ces derniers étaient plus à risque de provoquer une blessure au niveau des quadriceps.

Déséquilibre de la force entre les ratios de la même jambe

Plusieurs études s'accordent sur le fait du déséquilibre du couple de force au sein de la même articulation du même segment articulaire. L'approche biomécanique a travers des tests de terrain en pliométrie ou bien au laboratoire par l'utilisation d'ergomètres confirme le plus souvent ce déséquilibre. Certains auteurs, s'appuient sur la dominante volume d'un muscle par rapport à l'autre muscle de la même articulation lors de la réalisation du mouvement articulaire (Kim et Hong, 2011).

L'approche de ce déséquilibre agoniste /antagoniste dans le domaine de la physiologie de l'exercice, de la biomécanique et celui de la médecine du sport est basé sur l'exploration de l'appareil locomoteur et principalement sur les mouvements articulaires et le travail musculaire des groupes agonistes/antagonistes. A travers l'évaluation isocinétique, ces études s'accordent sur la valeur de 0,6 du ratio IJ/Q en mode concentrique pour une vitesse angulaire de 60°/s pour évaluer et confirmer l'équilibre de ce rapport agoniste/Antagoniste sur un ergomètre isocinétique

Cette valeur du ration IJ/Q peut augmenter jusqu'à 0,8 avec un choix de vitesse angulaire constante supérieure à 60°/s c'est-à-dire des vitesses de 180°/s ou bien 240°/s en évaluation isocinétique (Hewett et al., 2008, Grygorowicz et al., 2010). Lorsque le ratio du couple de force IJ/Q est inférieur à 0,6 cela indique un déséquilibre du travail musculaire Agoniste/antagoniste pouvant prédisposer à la blessure dont la plus récurrente est la rupture du ligament croisé Antérieur (LCA) (Tourny- Chollet et al., (2000), Delvaux et al., 2023).

La souplesse (*Vélocité*)

La souplesse est multifactorielle, dépend de la structure des éléments constitutifs de l'articulation, c'est-à-dire les muscles, les ligaments et les tissus conjonctifs. Il est défini qu'une structure disposant d'une grande résistance mécanique à la contraction et d'une élasticité à la déformation et aux contraintes mécaniques avec une raideur adaptée au mouvement constitue un compartiment pouvant être qualifié de souple ou ayant une vélocité significative (Oberg et al., 1984), cette structure musculo-articulaire dite souple est peu prédisposée à des lésions et des blessures lors d'un effort court et explosif comme le sprint ou le saut au football.

La raideur musculo-articulaire peut être augmentée par les adaptations des mouvements leur optimisation disciplinaire lors des entraînements et la préparation physique chez les plus performants en pratique sportive. Suite à l'observation de l'augmentation des raideurs et la diminution de la souplesse chez les footballeurs, il est conseillé de suivre ces raideurs à l'aide de l'imagerie et de les cantonner à leur faible niveau ; chose qui est pratiquée chez les joueurs de très haut niveau de pratique. En effet, il a été constaté que l'entraînement au football réduisait la souplesse chez les joueurs immédiatement et jusqu'à 24 heures après l'entraînement, et progressivement au fil du temps (Moller et al., 1985).

Knapik et al. (2001) ont constaté que les recrues militaires masculines ayant une faible flexibilité des ischio-jambiers étaient deux fois plus susceptibles de se blesser que celles qui avaient une flexibilité moyenne.

Les facteurs de risques liés au test physique chez les jeunes footballeurs

Très peu d'études se sont intéressées à l'analyse des facteurs de risques liés aux tests physiques chez les jeunes footballeurs. Williams et al., (2011) rapportent que la performance à une tendance de plus grandes améliorations au début de la période d'adolescence. En effet, Haugen et al., (2013) ont suggéré que la performance maximale de vitesse en sprint est atteinte entre 20 et 28 ans. De plus, selon (Ozmun et al., (1994) et (Guy et al., (2001)), le gain de force chez les enfants sont principalement attribuables aux maturations nerveuses, hormonales et enzymatiques par rapport à

l'hypertrophie musculaire chez les adultes ; ce qui donne une optimisation de la force, de la coordination et autres critères physiques et physiologiques pendant l'adolescence ; des résultats différents et très contrastés par rapport à ceux des adultes.

Les capacités physiologiques étant différentes chez les jeunes joueurs, il semble pertinent d'évaluer les facteurs de risques mentionnés sur chaque point pour les jeunes footballeurs.

L'intérêt de cette étude sera alors d'étudier les données des tests de début de saison et celles des saisons précédentes, ainsi que le nombre de blessures sans contact avec leurs localisations pour chaque joueur.

3. Matériel et Méthode

3.1 Population

Quarante-quatre joueurs (n=46) de l'ASC Amiens Métropole football, ont participé à cette étude. Parmi ces joueurs, 23 étaient issus de l'équipe réserve (âge : $21\pm 2,8$ ans ; taille : 179 ± 4 cm ; masse : $70\pm 5,2$ kg) et 23 de l'équipe U19 (âge : $18\pm 0,76$ ans ; taille : $176\pm 5,2$ cm ; masse : $65\pm 5,7$ kg). Pour l'équipe réserve, les données ont été récoltées en continu 2 saisons allant de septembre 2021/ Juin 2024 pour un total de 131110 observations.

Concernant les U19, les données ont été récoltées durant 2 saisons en continu allant de septembre 2021/ Juin 2024 pour un total de 8380 observations

Les joueurs réalisaient en moyenne 1 à 2 séances quotidiennes d'entraînements de 1 heure à 1 heure 30 minutes. Les sujets ont participé au protocole validé par le comité d'éthique dans le cadre d'évaluations réalisées au sein du club de football ASC Amiens Métropole football.

Critères d'inclusion

Les joueurs ne devaient être de sexe masculin et capables et prédisposés de jouer en compétition. Seuls les joueurs ayant effectué les tests de début de saison ont été intégrés et leurs résultats analysés. Par ailleurs, uniquement les blessures sans contact des membres inférieurs ont été traitées.

Critères d'indications et données des blessures de la population

Les données des blessures sans contact des membres inférieurs ont été récupérés à partir des registres médicaux du club de football ASC Amiens Métropole football sur la période de 2020/2021 à 2023/2024 pour l'équipe réserve et pour les U19 Nationaux. Tous les tests ont été réalisés en début de saison et toutes ces blessures ont fait l'objet d'un diagnostic clinique par le médecin du club avec précision de la localisation de la blessure.

3.2 Test et Méthodes

Les tests de début de saison

Les tests anthropométriques

Les données anthropométriques concernant le poids, la taille et la masse grasse ont été effectués en début de saison. Pour pouvoir corréliser les données anthropométriques avec les facteurs de risques de blessures, nous nous sommes orientés vers un choix de matériels professionnels en termes de précision et d'objectivité.

✓ La masse

La prise de la masse a été réalisée à l'aide d'une balance médicale de type KERN MPE 250K1000PM avec Colonne. Elle dispose d'un double affichage pratique à l'arrière, offrant une lecture facile et possible par les patients et l'évaluateur. Un niveau à bulles pour réglage exacte à niveau de la balance, avec une stabilité maximale, aussi antidérapante. Elle permet directement le calcul de l'IMC avec sa fonction IMC pour le calcul du poids insuffisant/normal/surpoids. Un transfert des données vers un PC à l'aide d'une interface (RS-232 de série) est aussi possible. Facile à transporter et ambulatoire en utilisation (Classe d'homologation 3, Approbation médicale). Consignes : Position debout du joueur, pieds joints, regard droit, pas de chaussures et avec t-shirt et short d'entraînement uniquement (Figure 35).



Figure 35 : Prise de la masse Pondérale et de l'IMC des joueurs. (Balance KERN MPE 250K1000PM)

✓ La taille

En plus de l'utilisation et l'estimation de la taille à l'aide de la balance KERN MPE, nous avons aussi utilisé au cabinet médical du club, une toise ruban modèle microtoise. Cette dernière est un mètre déroulant pratique, possédant un dispositif ingénieux d'enroulement. Dotée d'une fenêtre pour une lecture facile de la taille du patient. En termes de caractéristiques la toise permet une plage de mesure jusqu'à 220 cm. Le montage mural est requis pour ce dispositif afin de bien mesurer la taille des joueurs. Consignes : Le joueur était placé debout, dos au mur, pieds joints et sans

chaussures (Figure 36).



Figure 36 : Prise et mesure de la taille du joueur (Microtoise)

✓ Masse Grasse et Plis cutanés

Effectuée à l'aide d'une pince à plis cutanés Harpenden (*Harpenden, Skinfold Caliper, England*). L'adipomètre professionnel est un outil de haute précision conçu pour mesurer avec exactitude l'épaisseur des plis cutanés, offrant ainsi aux utilisateurs des informations importantes pour estimer la composition des tissus sous-cutanés des patients.

Consignes : le joueur est assis sur une table d'examen à hauteur fixe. Il doit être relâché pour que l'examineur puisse prendre correctement les plis cutanés. La pince va exercer une pression standardisée (10g/mm²) quelle que soit l'épaisseur de la peau pincée. Quatre plis cutanés ont été mesurés : le pli cutané tricipital (à mi-hauteur du bras au niveau de la voussure du triceps), pli cutané bicipital (à mi-hauteur du bras au niveau de la voussure du biceps), pli cutané sous-scapulaire (1 cm sous l'angle inférieur de l'omoplate) et pli cutané supra-iliaque (1 cm au-dessus de la crête iliaque). La masse grasse a été déterminée à partir de la somme de ces quatre plis cutanés et à l'aide de la formule de Durnin et Womersley (4.95/densité corporelle - 4.50) x 100). Lawrence et al., (1985) ont démontré la reproductibilité des valeurs obtenues à l'aide de la pince Harpenden (*Harpenden, Skinfold Caliper, England*) (Figure 37).

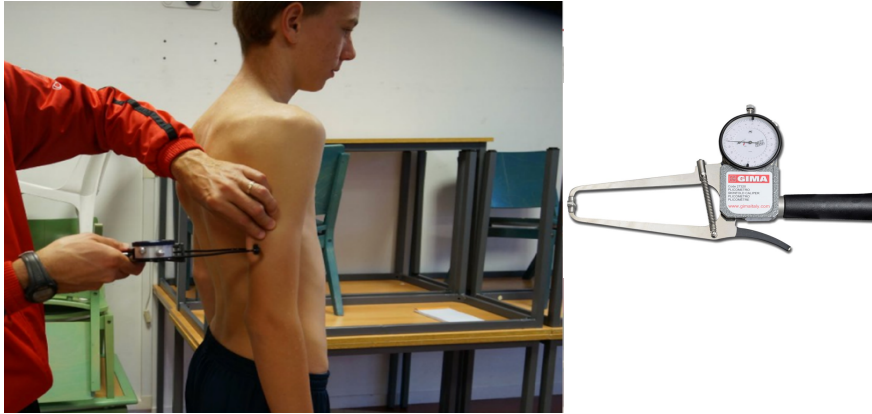


Figure 37 : Prise des 3 Plis Cutanés avec l'adipomètre mètre.

Les tests isocinétiques

L'évaluation isocinétique s'est faite à l'aide d'un dynamomètre isocinétique CybexNorm durant le début de saison (juillet, août) (*Figure 38*). Les sujets étaient assis confortablement sur le siège du dynamomètre avec un angle de hanche fixé à 85° . Un angle de 0° était considérée comme une extension complète de la jambe lors des tests dynamiques (l'amplitude du mouvement allant de 0 à 90°). Le dynamomètre possédait un adaptateur distal attaché environ à 4 cm au-dessus de la malléole latérale par une sangle.

Durant la période de contraction de la cuisse, et afin de réduire les mouvements compensatoires du corps, des sangles ont été mis en place sur la poitrine, le bassin et la cuisse. L'alignement entre l'axe de rotation du dynamomètre et l'axe de rotation du genou (condyle fémoral latéral) était vérifié au début de chaque session. Les joueurs ont effectué une série de contractions concentriques et excentriques au niveau des deux jambes, ce qui a permis d'évaluer les deux jambes séparément et en continu. Plusieurs études ont confirmé la reproductibilité de l'évaluation sur l'ergomètre isocinétique (Maffiuletti et al., (2007).

Pour les groupes muscles extenseurs du genou et muscles fléchisseurs, toutes les données de force à l'exception de l'angle de pic de couple, ont démontré une fiabilité modérée à élevée, avec des coefficients de corrélation intra-classe (ICC) supérieurs à 0,086. La fiabilité a été observée pour le couple maximal concentrique des muscles extenseurs du genou ((ICC) = 0,99).



Figure 38 : Ergomètre Isocinétique CybexNorm - Exploration Articulaires du genou : Extension (*Quadriceps*)/Flexion (*IschioJambiers*) lors du protocole d'évaluation isocinétique concentrique et excentrique du travail musculaire (*Agoniste/Antagoniste*).

Les IschioJambiers et les quadriceps de l'articulation du genou ont été évalués unilatéralement sur l'ergomètre Cybex Norm (mouvement Flexion/Extension), en mode concentrique à des vitesses angulaires constantes de $180^\circ/s$, $60^\circ/s$, et $30^\circ/s$; alors qu'en mode excentrique seule la vitesse de $60^\circ/s$ était retenue.

Les ratios calculés concernent le rapport des ischio-jambiers droite/gauche en flexion sur les trois vitesses retenues, ainsi que le rapport des quadriceps droit/gauche en concentrique à $60^\circ/s$, $30^\circ/s$ et $180^\circ/s$. Alors que les ratios conventionnels d'équilibre agoniste/antagoniste de l'articulation du genou c'est-à-dire le rapport ischio-jambiers/quadriceps a été calculé aux vitesses angulaires de $60^\circ/s$ et $180^\circ/s$ en mode concentrique. Et à $30^\circ/s$ en mode excentrique.

✓ Test d'évaluation de l'aptitude Aérobie

Le test permettant de déterminer la Vitesse Maximale Aérobie (VMA) a été réalisé sur une piste tartan de 400 mètres balisée par des plots tous les 25 mètres.

La vitesse initiale est de 12 km/h avec une incrémentation de 1 km/h toutes les 2 minutes. Un sifflet et une bande sonore sur un mp3 permettaient de rythmer la course. Le joueur doit rester à proximité du prochain plot lorsqu'un nouveau coup de sifflet est donné. Pour valider un palier, l'athlète doit avoir été sur chaque plots suivants à chaque coup de sifflet durant le laps de temps de 2 minutes ; lorsque le nouveau palier est annoncé alors le joueur peut considérer qu'il a validé celui d'avant. Si un joueur est en retard de 3 mètres sur un plot sur plus de 3 coups de sifflet, alors

le joueur s'arrête et sa VMA est réajustée au palier précédent.

✓ **Test de vitesse**

Le test de vitesse sur 10 mètres a été effectué sur une piste tartan couverte. Un décamètre au sol a permis de mesurer de manière précise la distance sur 10 mètres. Le système chronométrique composé des cellules photoélectriques (MicroGate Witty), ont été utilisées pour mesurer les temps de passage. La position de départ est à l'arrêt, un pied sur la ligne de départ, le buste et les bras sont légèrement inclinés vers l'arrière pour éviter de déclencher le chronomètre cellulaire. Chaque joueur devait effectuer 3 essais et le meilleur des 3 essais était conservé. Les plots ont été positionnés en ligne droite 5 mètres plus loin derrière le deuxième capteur de sortie. Cette disposition des plots offre des repères pour que le joueur ne ralentisse pas entre les deux portes entrée/Sortie des cellules photoélectriques, une indication importante pour réaliser une vitesse optimale de course. (Gonzalo-Skok et al., 2015) ont démontré la reproductibilité de ce test de 10 mètres chez des basketteurs, avec des mesures fiables (Coefficient de corrélation Intra-classe (ICC), 0,73, coefficient de variation (CV), 2,8 %).

✓ **Tests de Détente**

Trois sauts différents ont été réalisés et mesurés à l'aide d'une plateforme de force (Kistler AG, Winterthur, Suisse) (*Figure 39*). Les deux premiers ont été les mouvements de contre mouvement Jump avec les mains libres et sans (CMJ, CMJB), alors que le troisième était un Squat Jump (SJ).

✓ **Le Contre Mouvement Jump (CMJ)**

La position de départ pour le saut en contre mouvement (CMJ) est debout sur la plateforme, les jambes au niveau de la largeur de bassin, les mains sont positionnées sur les hanches afin d'éviter tout mouvement de balancier avec les bras, ce qui permettrait de sauter plus haut. Le sujet effectue un contre mouvement vers le bas (une flexion des membres inférieurs) immédiatement suivi d'une extension complète des membres inférieurs. La consigne pour le sujet est de sauter le plus haut possible.

✓ **Le Contre Mouvement Jump avec les bras (CMJ B)**

Le mouvement reste le même, à ceci près que les mains ne sont plus sur les hanches mais peuvent être utilisés pour que le joueur saute plus haut.

✓ **Le Squat Jump (SJ)**

La position de départ est en « Squat », c'est à dire les genoux fléchis et l'angle formé par les cuisses et les jambes est environ égal à 90°. Les mains sont positionnées sur les hanches afin d'éviter tout mouvement de balancier avec les bras qui permettrait de sauter plus haut. Lors de ce

saut, le sujet a pour consigne de ne pas effectuer de contre mouvement vers le bas (*en fléchissant encore plus genoux pour prendre plus d'élan*). La consigne pour le sujet est de sauter le plus haut possible. Pour chaque saut, le signal de force a été échantillonné à 1 000 Hz via la plateforme de force (Kistler AG, Winterhur, Suisse) (Figure 38). L'acquisition des données a été réalisée par le logiciel BioWare® Mars Kistler.

Nedelec et al., (2014) ont démontré la reproductibilité du Saut en Contremouvement (CMJ) chez une même population lors de ce test en donnant une mesure fiable (erreur typique (TE), 1,5 cm, coefficient de corrélation intra-classe (ICC), 0,95, coefficient de variation (CV), 3,9%).



Figure 39 : Posture initiale avant d'effectuer un CMJ sur la plateforme de Force Kistler.

✓ Tests de souplesse

Huit tests de souplesse ont été effectués en début de saison : Les tests de flexibilités assis et debout, les tests de souplesse des ischios jambiers, des adducteurs et des quadriceps (pour les deux jambes à chaque fois). Un goniomètre (Lafayette Instrument Company, Lafayette, Indiana, États-Unis) a été utilisé pour définir les angles et l'amplitude articulaire.

✓ Les blessures

Les données ont été récoltées à l'aide de la base de données des secteurs médicaux et de la préparation physique de l'Amiens AS. Elles comprennent les tests de 2 saisons sportives pour le groupe réserve et 2 saisons pour le groupe U19 Nationaux. Seules les blessures sans contact du membre inférieur ont été analysées. La localisation a été spécifiée ainsi que le total des blessures. Les zones de blessures ont été localisées puis recensées, elles dépendaient de la fréquence d'apparition des blessures. Ainsi, on peut retrouver les zones musculaires comme les ischios jambiers, les adducteurs, les quadriceps (Ekstrand et al., 2011), mais aussi des zones articulaires

telles que les blessures au niveau de la cheville, du pied et du genou (Ekstrand, UEFA, 2017).

Analyse Statistique

Le risque ratio a été calculé avec un modèle linéaire généralisé et une distribution de Poisson. Ces effets mixtes ont été sélectionnés pour leur capacité à prendre en compte les mesures répétées et à explorer les différences individuelles dans le risque de blessure. Des risques ratios (RR) avec un intervalle de confiance à 95%, ont été calculés. Le seuil de significativité a été fixé à $p < 0,05$.

4. Analyse des Résultats

Les groupes musculaires de l'articulation du genou associés aux adducteurs montrent que le groupe réserve plus U19 nationaux présentent plus de traumatismes musculaires que les deux autres groupes ; avec des valeurs très élevées pour les trois groupes musculaires. Les adducteurs présentent un total de 115 blessures avec une incidence de 8,02/1000h, alors que les ischioJambiers sont considérés comme le groupe musculaire et articulaire du genou comme le compartiment le plus souvent atteint (*Tableau 41*).

Catégories	Période	Ischio Jambiers	Adducteurs	Quadriceps	Total	Incidence des blessures (totales)
Reserve	2022-2024	79	88	26	193	5,98/1000h
U19 Nationaux		18	27	21	66	3,02/1000h
Réserve + U19 Nationaux		97	115	47	259	8,02/1000h

Tableau 41 : Nombre total de blessures pour les équipes U19 et Réserve.

Le tableau 42 présente les résultats obtenus, une fois l'analyse statistique appliquée sur les deux catégories

Tableau 42 : Risque Relatif (RR) (95 %IC) et Valeur statistiques (P) des blessures totales en fonction des différents tests de début de saison

Paramètres mesurés	RR (95% IC)	Valeur P
Taille	1,00 (0,94 à 1,07)	0,85
Masse	1,02 (0,96 - 1,09)	0,46
Masse Grasse	0,97 (0,81 - 1,16)	0,04*
Quad D Conc 60°/s	1,01 (0,99 - 1,02)	0,17
Quad G Conc 60°/s	0,99 (0,97 - 1,01)	0,12
Ischios D Conc 60°/s	0,99 (0,97 - 1,02)	0,03*
Ischios G Conc 60°/s	1,00 (0,97 - 1,02)	0,02*
Quad D Conc180°/s	0,99 (0,96 - 1,02)	0,60
Quad G Conc180°/s	1,00 (0,98 - 1,04)	0,55
Ischios D Conc 180°/s	1,01 (0,98 - 1,04)	0,04*
Ischios G Conc 180°/s	0,99 (0,96 - 1,03)	0,01*
Ischios D Exc 30°/s	1,00 (0,98 - 1,01)	0,03*
Ischios G Exc 30°/s	1,00 (0,98 - 1,01)	0,01*
VMA	1,16 (0,80 - 1,70)	0,43
Vitesse10m	1,00 (0,95 - 1,06)	0,88
Squat Jump	0,87 (0,75 - 1,01)	0,07
CMJ	1,21 (1,03 - 1,42)	0,02*
CMJ (bras)	0,93 (0,84 - 1,03)	0,04*
Souplesse TFD	0,94 (0,82 - 1,08)	0,37
Souplesse TFA	1,05 (0,91 - 1,21)	0,50
Souplesse Quadri D	1,02 (0,89 - 1,18)	0,73
Souplesse Quadri G	1,05 (0,92 - 1,20)	0,50
Souplesse Ischios D	1,01 (0,95 - 1,08)	0,68
Souplesse Ischios G	0,99 (0,93 - 1,06)	0,87
Souplesse Adducteurs D	1,01 (0,95 - 1,08)	0,72
Souplesse Adducteurs G	0,99 (0,93 - 1,06)	0,81

G = Gauche

D= Droite-Gauche Quad = Quadriceps Conc = Concentrique Exc = Excentrique

TFD = Test de flexibilité debout TFA = Test de flexibilité assis

Tableau 43 : Risque Relatif (RR) (95 %IC) et Valeur de P des blessures au niveau des ischios jambiers en fonction des différents tests de début de saison

Paramètres mesurés	RR (95% IC)	Valeur P
Taille	1,03 (0,94 à 1,13)	0,55
Masse	1,01 (0,93 - 1,10)	0,76
Masse Grasse	1,06 (0,85 - 1,33)	0,03*
Quad D Conc 60°/s	1,02 (1,00 - 1,05)	0,07
Quad G Conc 60°/s	0,98 (0,96 - 1,01)	0,20
Ischios D Conc 60°/s	0,98 (0,94 - 1,02)	0,02*
Ischios G Conc 60°/s	0,98 (0,95 - 1,02)	0,02*
Quad D Conc 180°/s	0,98 (0,94 - 1,02)	0,32
Quad G Conc 180°/s	1,01 (0,98 - 1,05)	0,45
Ischios D Conc 180°/s	1,02 (0,97 - 1,06)	0,03*
Ischios G Con 180°/s	1,02 (0,97 - 1,07)	0,02*
Ischios D Exc 30°/s	1,01 (0,98 - 1,03)	0,02*
Ischios G Exc 30°/s	1,00 (0,98 - 1,02)	0,01*
VMA	1,23 (0,71 - 2,14)	0,46
Vitesse 10m	1,03 (0,96 - 1,10)	0,44
Squat Jump	0,89 (0,73 - 1,09)	0,30
CMJ	1,20 (0,96 - 1,50)	0,03*
CMJ (bras)	0,90 (0,78 - 1,03)	0,04*
Souplesse TFD	0,94 (0,79 - 1,13)	0,52
Souplesse TFA	1,03 (0,85 - 1,25)	0,77
Souplesse Quadri D	1,17 (0,97 - 1,42)	0,10
Souplesse Quadri G	0,96 (0,80 - 1,14)	0,62
Souplesse Ischios D	0,96 (0,88 - 1,05)	0,38
Souplesse Ischios G	1,04 (0,95 - 1,15)	0,36
Souplesse Adducteurs D	1,01 (0,94 - 1,10)	0,71
Souplesse Adducteurs G	0,99 (0,91 - 1,07)	0,82

G = Gauche

D= Droite-Gauche Quad = Quadriceps Conc = Concentrique Exc = Excentrique

TFD = Test de flexibilité debout TFA = Test de flexibilité assis

Tableau 44 : Risque Relatif (RR) (95 %IC) et Valeur de P des blessures au niveau des adducteurs en fonction des différents tests de début de saison

Paramètres mesurés	RR (95% IC)	Valeur P
Taille	0,99 (0,90 à 1,08)	0,84
Masse	1,02 (0,93 - 1,12)	0,62
Masse Grasse	0,86 (0,66 - 1,14)	0,03*
Quad D Conc 60°/s	1,00 (0,98 - 1,03)	0,80
Quad G Conc 60°/s	0,99 (0,97 - 1,02)	0,55
Ischios D Conc 60°/s	1,01 (0,98 - 1,05)	0,03*
Ischios G Conc 60°/s	1,02 (0,98 - 1,06)	0,02*
Quad D Conc 180°/s	0,99 (0,94 - 1,04)	0,69
Quad G Conc 180°/s	1,01 (0,97 - 1,06)	0,59
Ischios D Conc 180°/s	0,99 (0,95 - 1,03)	0,04*
Ischios G Conc 180°/s	0,98 (0,93 - 1,02)	0,03*
Ischios D Exc 30°/s	1,00 (0,97 - 1,02)	0,02*
Ischios G Exc 30°/s	0,99 (0,97 - 1,02)	0,01*
VMA	1,01 (0,60 - 1,72)	0,96
Vitesse10m	1,04 (0,97 - 1,12)	0,33
Squat Jump	0,91 (0,75 - 1,11)	0,36
CMJ	1,25 (0,99 - 1,57)	0,04*
CMJ (bras)	0,93 (0,80 - 1,07)	0,03*
Souplesse TFD	0,97 (0,80 - 1,17)	0,74
Souplesse TFA	1,05 (0,86 - 1,29)	0,62
Souplesse Quadri D	0,82 (0,64 - 1,06)	0,13
Souplesse Quadri G	1,18 (0,97 - 1,44)	0,10
Souplesse Ischios D	1,03 (0,94 - 1,11)	0,55
Souplesse Ischios G	0,98 (0,90 - 1,06)	0,64
Souplesse Adducteurs D	0,98 (0,89 - 1,08)	0,72
Souplesse Adducteurs G	1,02 (0,92 - 1,12)	0,73

G = Gauche

D= Droite-Gauche Quad = Quadriceps Con = Concentrique Exc = Excentrique

TFD = Test de flexibilité debout TFA = Test de flexibilité assis

Tableau 45 : Risque Relatif (RR) (95 % IC) et Valeur de P des blessures au niveau des quadriceps en fonction des différents tests de début de saison

Paramètres mesurés	RR (95% IC)	Valeur P
Taille	1,01 (0,81 à 1,25)	0,96
Masse	0,99 (0,80 - 1,23)	0,95
Masse Grasse	1,39 (0,86 - 2,23)	0,03*
Quad D Conc 60°/s	1,04 (0,98 - 1,10)	0,16
Quad G Conc 60°/s	0,95 (0,90 - 1,01)	0,08
Ischios D Conc 60°/s	1,00 (0,92 - 1,08)	0,04*
Ischios G Conc 60°/s	1,04 (0,93 - 1,16)	0,03*
Quad D Conc 180°/s	0,97 (0,86 - 1,08)	0,53
Quad G Conc 180°/s	1,03 (0,93 - 1,15)	0,51
Ischios D Conc 180°/s	1,04 (0,96 - 1,14)	0,03*
Ischios G Conc 180°/s	0,99 (0,88 - 1,11)	0,01*
Ischios D Exc 30°/s	0,99 (0,94 - 1,04)	0,02*
Ischios G Exc 30°/s	0,97 (0,92 - 1,02)	0,01*
VMA	1,63 (0,62 - 4,32)	0,32
Vitesse 10m	1,12 (0,96 - 1,30)	0,14
Squat Jump	1,01 (0,69 - 1,49)	0,95
CMJ	1,25 (0,78 - 2,01)	0,35
CMJ (bras)	0,86 (0,65 - 1,14)	0,04*
Souplesse TFD	1,32 (0,89 - 1,97)	0,02*
Souplesse TFA	0,79 (0,50 - 1,21)	0,30
Souplesse Quadri D	0,91 (0,56 - 1,47)	0,69
Souplesse Quadri G	0,96 (0,62 - 1,49)	0,87
Souplesse Ischios D	1,02 (0,85 - 1,22)	0,81
Souplesse Ischios G	1,02 (0,84 - 1,24)	0,82
Souplesse Adducteurs D	0,91 (0,73 - 1,14)	0,42
Souplesse Adducteurs G	1,10 (0,86 - 1,39)	0,45

G = Gauche

D = Droite-Gauche Quad = Quadriceps Con = Concentrique Exc = Excentrique

TFD = Test de flexibilité debout TFA = Test de flexibilité assis

Sachant que le calcul de RR et de l'IC a été appliqué sur l'ensemble des valeurs rapportées à l'incidence des blessures puis relativiser par rapport à la valeur médiane du compartiment musculaire indiqué comme référence de calcul. Ceci peut modérer et limiter l'application statistique en termes d'espace de confiance.

✓ *Les données anthropométriques :*

Les résultats n'indiquent pas de relation entre la taille et la masse avec les risques de blessures totales, aussi au niveau des ischio-jambiers, des adducteurs et des quadriceps ; alors que la masse grasse montre une valeur significative indiquant que celle-ci peut être un indicateur d'un risque de blessure éventuel (*Tableau ci-dessus 42,43,44,45*).

✓ *L'évaluation isocinétique : Ratios sur machine isocinétique et blessures*

L'ensemble des résultats isocinétiques traités par l'approche de la détermination du RR avec 95%IC indique une relation significative entre les ratios avec les risques de blessures et ceci pour les trois vitesses angulaires 30°/s, 60°/s et 180°/s en mode concentrique ainsi que pour la vitesse de 30°/s en mode excentrique pour les IschioJambiers. Donc, l'évaluation isocinétique des IschioJambiers est une bonne indication de risque de blessure. Concernant les quadriceps, les résultats restent tendancieux vers une possible indication de risque de blessure mais on n'observe pas de significativité pour toutes les valeurs normalisées et rapportés au volume du quadriceps, exception faite pour les groupe agonistes (IschioJambiers), ainsi que les CMJ.

Comme précisé plus haut, ces traitements par approche du RR et de l'IC a été réalisée sur l'ensemble des valeurs moyennes des données. Par contre, le traitement individuel des résultats isocinétiques montre une autre approche et une autre valorisation du risque de blessure. Le traitement individuel des valeurs de l'évaluation isocinétique en début de saison montre que 21% des joueurs U19 et 35% des joueurs réserve présentent un ratio IJ/Q inférieur à 0,6 pour la vitesse de 60°/s ; à la vitesse angulaire de 180°/s les U19 passent à 23% et les joueurs de la réserve passent à 38% pour un ratio IJ/Q inférieur à 0,8, donc un risque élevé de blessure des IschioJambiers pour les joueurs concernés. Donc, l'utilisations des ratios isocinétiques reste un moyen fiable d'identification d'un risque de blessure.

✓ *Capacité aérobie (VMA), vitesse sur 10mètres, détente et blessures :*

Les valeurs individuelles de certains joueurs sont basses par rapport à celles du groupe ; malgré cela les traitements sur les valeurs des groupes et non sur les données individuelles par l'estimation du RR avec un IC de 95% montre que les résultats concernant la VMA et ceux de la vitesse sur 10m ne montrent pas de relation avec les risques de blessures totales ainsi qu'avec les risques de blessures normalisés et rapportés aux compartiments musculaires de l'articulation du genou.

Pareillement, pour les résultats de la détente à travers le squat Jump (SJ), pas d'indication

de relation de ces résultats comme facteur de risque avec les blessures totales, ainsi qu'avec les risques de blessures normalisés et rapportés aux compartiments musculaires de l'articulation du genou (ischio-jambiers, adducteurs, quadriceps). Alors que les résultats du CMJ avec bras (CMJ B) et le CMJ sans sollicitations des bras, montrent que le mouvement de détente en CMJ peut être un indicateur comme facteur de risque de blessure au vu de toutes les valeurs de $P < 0,05$ obtenues aussi bien pour les blessures totales que celles concernant les risques de blessures normalisés et rapportés aux compartiments musculaires de l'articulation du genou (ischio-jambiers, adducteurs et des quadriceps) (Figure 40 et les tableaux 42-45).

Par ailleurs, les résultats individuels des ratios IJ/Q obtenus par l'évaluation isocinétique confirment ce résultat de la faiblesse des IschioJambiers ; d'où la confirmation de traiter en parallèle de l'estimation du RR avec un IC de 95% les valeurs individuelles.

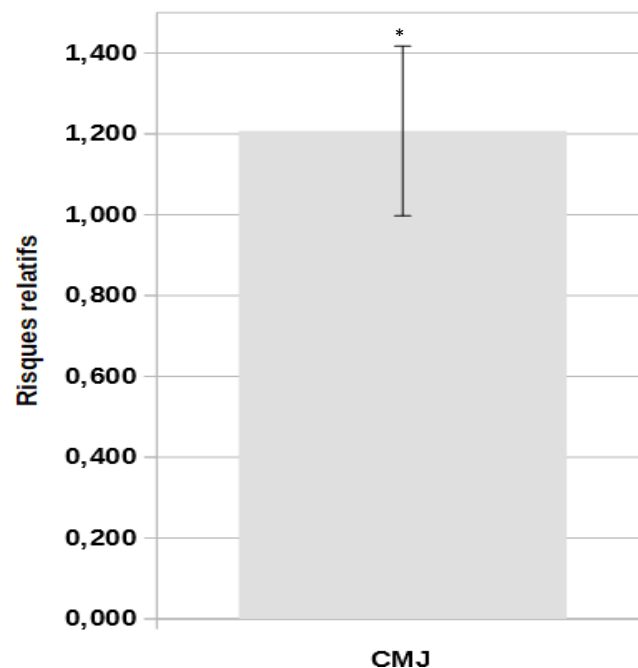


Figure 40 : Relation entre le saut en contre mouvement (CMJ) et les blessures totales

Souplesse et blessures Les résultats des tests de souplesse (TFD, TFA) ainsi que les valeurs de souplesses rapportées aux compartiments musculaires de la jambe droite et la gauche, ne s'orientent pas vers une indication de relation de ces valeurs comme indicateur potentiel des blessures totales ; ainsi qu'avec les risques de blessures normalisées et rapportées aux compartiments musculaires de l'articulation du genou (ischio-jambiers, adducteurs, quadriceps) (Tableau 42,43,44,45).

5. Discussion

Le but de cette étude était de déterminer, si les résultats des différents tests de début de saison pouvaient être des indicateurs potentiels de risques de blessures. Nous avons choisi de calculer le risque relatif (RR) avec un IC de 95% ; sachant que ce paramètre de calcul sera appliqué sur l'ensemble des valeurs de groupes rapportées à l'incidence des blessures totales puis relativisé et normalisé par rapport à la valeur médiane du compartiment musculaire indiqué comme référence de calcul. Ceci peut modérer et limiter l'application statistique en termes de différences entre le traitement des valeurs individuelles par rapport à celles moyennes du groupe.

Les résultats obtenus montrent que le risque de blessure est diminué lorsque la performance en saut est améliorée, confirmé dans notre étude par les valeurs significatives des CMJ ($P < 0,5$).

Concernant la taille et la masse, les résultats ne montrent pas une relation significative, alors que les résultats de la masse grasse indiquent une significativité de ce paramètre comme indicateur de risque de blessure musculaires aussi bien avec les blessures totales que celle rapportées aux compartiments musculaires de l'articulation du genou. Nos résultats concernant la masse grasse rejoignent les résultats obtenus par Fousekis et al., (2011) qui confirment qu'un joueur plus lourd (*masse grasse importante*) présentait un plus haut risque de blessure sans contact au niveau des chevilles ((OR) = 5,72 ; 95%IC = 1,37 à 23,95 ; $P = 0,017$). En effet, un changement des caractéristiques anthropométriques peut endommager le mécanisme articulaire provoquant l'apparition d'un traumatisme sur la cheville ou toute autre articulation de la jambe chez les footballeurs (Fousekis et al., 2011).

Nos résultats concernant la taille indiquent qu'il n'y a pas de relation entre ces variables et le risque de blessure ; ils confirment ceux obtenus par l'étude d'Arnason et al. (2004) qui ont montré qu'il n'y avait pas de relation entre la taille et le risque de blessure. Nos résultats concernant la taille divergent avec ceux de l'étude d'Orchard et al. (2001), qui ont obtenu une augmentation du risque de blessure du quadriceps pour les joueurs mesurant moins d'1,82 m. Au vu des différentes conclusions et contradictions des travaux, très rare sont les études qui amendent dans le sens, que la taille peut être un facteur de risque potentiel. Il est vrai que dans le passé, les petites tailles des joueurs était un facteur discriminant dans les sélections, les choix des joueurs et dans leur intégration dans les équipes professionnelles.

Les résultats de l'étude concernant le couple de force sont en adéquation avec l'étude de Bakken et al., (2018). En effet, l'association entre la force musculaire et le risque de blessure semble évident quand il est évalué par isocinétisme, par contre évalué à l'aide d'accéléromètre (Jauge de contraintes) le résultat ne présente pas une orientation statistique significative du fait du

taux d'erreur de la quantification même de la force.

L'accent est pleinement mis sur la détection des déséquilibres musculo-articulaires, sur les faiblesses musculaires suites à des fatigues intenses et des fois chroniques, sur le surentraînement et ses conséquences, sur la récurrence et sur la prévention des blessures. En jeu intermittent, certaines études confirment la corrélation entre la survenue de blessures et la réalisation des vitesses à haute intensités, les variations d'accélération et les distances courtes moins de 10 mètres (Watson et al., 2000). Aspect qui nous a intéressé dans le cadre de notre étude.

L'approche de l'évaluation de la posture et de l'équilibre a permis à travers certaines études de confirmer la synergie de travail entre les deux jambes lors de la réalisation de mouvement complexe et technique d'une discipline telle que le football. Exemple du travail synergique entre la jambe dominante et non dominante lors de la frappe de balle. Il ressort que lorsqu'un joueur de football frappe la balle avec sa jambe dominante, l'autre jambe développe un travail d'équilibre et de posture qui permet d'optimiser la frappe de balle et l'adresse du geste. De ce fait, l'évaluation de l'équilibre entre la jambe droite et la jambe gauche doit faire partie de l'arsenal des méthodes d'évaluation du joueur.

Aussi, il est intéressant de poser la question suivante ; du fait que la jambe qui ne réalise pas la frappe de balle considérée comme non dominante, supporte tout le poids du corps pendant que l'autre jambe dominante réalise la frappe de balle, alors la jambe non dominante n'est-elle pas plus forte et plus puissante que l'autre jambe au de son rôle. Certaines études ont émis cette hypothèse (Oshita et Yano, 2010), alors que d'autres ont montré qu'un déséquilibre et une asymétrie entre les deux jambes induit aussi bien un mauvais contrôle de balle, une faible frappe de balle et un manque d'adresse dans la réalisation du geste (Grygorowicz et al., 2010).

Notre étude a montré que les ratio agoniste/antagoniste (IJ/Q) sont des bons indicateurs de risque de blessures avec des valeurs significatives, observations similaires à plusieurs études utilisant l'évaluation isocinétique. Croisier et al. (2008), ont montré que l'évaluation isocinétique chez des footballeurs donne lieu à la détection des déséquilibres de couple de force lorsqu'elle est réalisée en période de pré-saison, en indiquant d'éventuelles détérioration de l'équilibre agoniste/antagoniste du genou avec une éventuelle augmentation du risque de blessures des IschioJambiers. Leur étude de 2008, s'est intéressé à la récupération et que cette dernière avait un impact important sur le développement du couple de force et sur la diminution significative de l'incidence des blessures musculaires (Croisier et al., 2008 ; Delvaux al 2023). En effet, ils constatent que l'évaluation isocinétique des membres inférieurs au cours de la période de pré-saison peut fournir aux thérapeutes et aux entraîneurs des données majeures qui pourraient potentiellement aider à prédire des lésions sans contact au niveau des ischio-jambiers chez les

joueurs de football professionnels. Fousekis et al. (2011) confirment ces observations et ces indications montrés par l'équipe de Croisier, chez des joueurs de football professionnels ayant des asymétries fonctionnelles. Donc, un risque potentiel de blessure au niveau des IschioJambiers.

Nos résultats concernant la détente verticale réalisée à travers les tests du CMJ avec et sans l'assistance des bras, présentent des valeurs significatives aussi bien pour les blessures totales que celles rapportées aux compartiments musculaire (IJ, Q, Adducteurs), ils confirment le parallèle avec les résultats isocinétiques. La réalisation d'une détente verticale considérée comme un mouvement explosif, sollicite un travail important des IschioJambiers et leur énergie potentielle pendant le saut, d'où la survenue possible et éventuelle de blessure, avec des saut très hauts et très intensifs. Nos résultats sont conformes a ceux obtenus par l'étude d'Henderson et al., (2010). Cette dernière, s'est intéressé aussi aux mécanismes articulaires mettant en rapport l'amplitude articulaire avec la puissance explosive développée lors d'un mouvement explosif réalisé sur tapis de force. La réduction de l'amplitude du mouvement impact le développement de la force pendant le saut, ce qui peut nous renseigner sur le risque de blessure accru.

Une puissance aérobie diminuée chez un joueur de football peut impacter significativement sa performance et surtout la répétition des mouvements explosifs et les changements de direction essentiels dans la pratique footballistique. Le plus souvent cet état de fait est mis en relation avec une fatigue périphérique (Murphy et al., 2003). La chronicité de cette fatigue périphérique est facteur de risque de blessure, de ce fait l'évaluation de l'aptitude aérobie du joueur doit être fréquente et régulière. Notre étude concernant l'évaluation de l'aspect aérobie à travers le test VMA n'a pas indiqué que cette dernière pouvait être considérée comme un indicateur de blessures éventuelles. Ceci, peut s'expliquer par le fait que ces résultats de début de saison coïncident avec le retour d'une période de repos estivale. Ce qui suppose une bonne condition physique des joueurs à leur retour avec une bonne récupération. Nos résultats concernant la non significativité est confirmée les études de Ostenberg et Roos (2000) et Migrom et al., (1991) montrant aucune différence significative entre les données des conditions physique chez des sujets de retour de blessures et des sujets sains concernant l'aptitude aérobie. Cependant, nous restons convaincus au des nombreuses autres études de la littérature qui démontrent l'inverse, c'est-à-dire la corrélation entre la diminution significative de la puissance aérobie avec le risque de blessures lors de la pratique sportive intensive et continue.

Les résultats de souplesse ne semblent pas être un indicateur des risques de blessures au vu de nos résultats qui ne montrent pas de significativité aussi bien par rapport aux blessures totales que par rapport aux valeurs normalisée du RR des compartiments musculaires. Ces résultats sont similaires à ceux rapportés par l'étude de Watson (2001). Alors que d'autres études observent le

contraire, c'est-à-dire l'existence d'une relation possible entre le manque de souplesse ou sa diminution avec le risque de blessure (Knapik et al., 1992). L'étude prospective confirmant que qu'une faible souplesse peut représenter un facteur prédisposant aux blessures dans la pratique sportive sur des revêtements de terrain spécifique ou des espaces réduits est celle d'Ekstrand et Gillquist (1982). Très rare sont les études récentes qui se sont intéressées à cette corrélation souplesse/blessure. D'autres études ont emprunté l'approche par les étirements passif et actif à des niveaux de flexibilité très élevés pouvant impacter l'amplitude articulaire afin de démontrer cette possibilité que la souplesse peut être un indicateur de risque de blessure, c'est le cas des travaux de Henessy et al., (1993) chez les footballeurs gaéliques et chez les rugbymans ; l'étude de Shambaugh et al., (1991) chez les basketteurs et enfin l'étude de Mechelen (1994) chez des coureurs amateurs.

En physiologie de l'exercice la souplesse est un processus qui n'est pas réellement identifié ni bien défini, il reste un processus complexe et multifacteurs-dépendant, tout le monde peut voir et observer la réalisation d'un mouvement avec une certaine souplesse dont la définition n'est pas simple. De ce fait, à la notion de souplesse, il lui est préféré la notion de vélocité en physiologie.

6. Conclusion

L'identification et la détermination de certains facteurs discriminants comme indicateurs potentiels de risque de blessure étaient le but de notre approche et de notre étude chez des jeunes footballeurs. Un questionnaire et plusieurs observations ont été abordés afin d'asseoir et de faire un choix réfléchi, méthodique et judicieux dans la sélection des tests et facteurs. L'idée majeure qui s'est dégagée de notre réflexion est que le joueur de football se blesse le plus souvent au niveau du membre inférieur et qu'il doit disposer d'une certaine performance physique et aptitude aérobie pour pallier ces blessures et pouvoir performer dans sa discipline. De ce fait, les paramètres en phase avec les résultats souhaités ont concerné l'anthropométrie des joueurs, les muscles de l'articulation du genou (ratios), les sauts en pliométrie (CMJ, SJ) avec la souplesse et l'aptitude aérobie (VMA).

La taille et la masse ne sont pas indiqués comme pouvant être un indicateur de risque de blessure dans notre population, alors que plusieurs études rapportent le fait contraire, ceci s'explique par le fait que notre population est bien homogène concernant ces deux paramètres, qu'elle est considérée comme groupe d'élite de pratique de haut niveau et de ce fait les valeurs traitées par le RR ($P < 0,5$) pour les discriminer comme facteur de risque est aplatie à chaque traitement médiant du groupe musculaire ; car les traitements individuels montrent que notre population est saine, bien portante et sans excès de poids d'où la convergence des résultats. Cependant nos résultats concernant la masse grasse sont bien

identifiés comme facteur et indicateur potentiel de risque de blessure comme rapporté par plusieurs études. Au vu des résultats des autres paramètres (VMA, Souplesse, SJ) ne montrent pas qu'ils peuvent être des indicateurs de risque de blessure alors que certaines études relativisent leur importance dans la prévention des blessures ; alors que les résultats isocinétiques confirment l'inverse, d'où notre questionnement.

Est-il envisageable et souhaitable de réaliser des évaluations en début et fin de saison comme standard des pré et post test afin de pouvoir mettre en évidence les facteurs de risques périodiques. L'idée de réaliser des approches de mise en évidence de facteurs de risque de blessures de ce type au sein des clubs professionnels pour palier la survenue de blessures, à travers des tests en pré et post saison ne seront pas plus concluantes au vu de la durée en jours et en mois de la saison et des événements annuels éventuels, de même pour le fractionnement de l'année en période d'évaluation.

Par ailleurs, Les variations de poids et de masse en cours de saison peuvent aussi changer la donne des risques de blessures. L'installation d'une fatigue chronique avec un surentrainement post évaluation de début de saison sont aussi des événements pouvant induire des blessures alors que leur évaluation en début de saison semble caduque et difficile à évaluer ; seule la préparation physique bien fractionnée autour de périodes de repos significatives suivie de séances d'évaluations objectives peut palier ces risques de blessures suite à l'installation d'une fatigue chronique ou d'un surentrainement.

Ces incidences de blessures totales par groupes musculaires chez nos deux groupes peuvent être confirmés par le rapprochement et la mise en phase du risque relatif calculé pour chaque groupe musculaire et rapporté aux autres données des tests réalisés.

Il est important de noter que chaque estimation du risque pour un groupe musculaire qu'il soit indiqué comme pouvant être un facteur indicateur de risque éventuel, suppose que toutes les données des résultats doivent être relativisées et normalisées par rapport aux valeurs du compartiment musculaire en question. De ce fait, il est tout à fait normal que les valeurs des données recueillies concernant tous les paramètres varient du fait de leur différence de traitement par rapport à une référence variable qui est celle du muscle en question. D'autres part, il est à observer que les valeurs traitées sont souvent des valeurs statistiques de corrélation et d'inclusion pour avoir ces données du RR avec un IC de 95%. Ce qui fait une différence entre les valeurs individuelles de risque de blessures lors de la pratique et celles prédictives des blessures. Le traitement individuel des valeurs de l'évaluation isocinétique en début de saison montre que 21% des joueurs U19 et 35% des joueurs réserve présentent un ratio IJ/Q inférieur à 0,6 pour la vitesse de 60°/S ; à la vitesse angulaire de 180° /s les U19 passent à 23% et les joueurs de la réserve passent à 38% pour un ratio IJ/Q inférieur à 0,8, donc un risque élevé de blessure des IschioJambiers pour les joueurs concernés. Ces chiffres sont confirmés par le taux de

significativité de la valeur RR des test CMJ des blessures totales et en rapport avec les compartiments musculaires.

Le déséquilibre de force au niveau de l'articulation du genou entre les fléchisseurs (IschioJambiers) et les extenseurs (Quadriceps) en mode concentrique et en mode excentrique représente un facteur potentiel d'apparition de blessure car ce travail entre Agoniste/Antagoniste est souvent dominé par le volume important des quadriceps sur celui des IschioJambiers lors du mouvement d'extension durant lequel le quadriceps est en mouvement concentrique alors que les IschioJambiers sont en mode excentrique c'est-à-dire en résistance.

Au final, les résultats des ratios de l'exploration et des évaluations isocinétiques restent un facteur et un moyen efficace et fiable comme indicateur de risque éventuel de blessure. L'apport de l'isocinétisme dans le domaine du suivi du footballeur à complètement révolutionné l'évaluation intra-articulaire agoniste /antagoniste et par la même a optimisé la prévention de ce déséquilibre articulaire ; offrant aussi la possibilité de réaliser des protocoles de réathlétisation, de renforcement musculaire et d'entraînement sur l'ergomètre isocinétique.

Donc, seul le suivi permanent et continu des joueurs peut relever et recenser les facteurs de risques en cours, ce qui permet leur traitement directement en termes de temps et d'efficacité.

Partie 2 : Prévention des blessures

Charge d'Entraînement, Exploration isocinétique et Réathlétisation.

Étude 3 : Évaluation isocinétique et analyse musculaire comparative des ratios Agonistes/Antagonistes chez des footballeurs/Sport Co

« Analyse musculaire de l'articulation du genou grâce au dynamomètre isocinétique et les différences observées entre des joueurs de handball et de football »

Résumé

L'évaluation isocinétique du genou est essentielle pour mesurer la force musculaire et prévenir les blessures chez les athlètes, notamment en football et en handball. Le dynamomètre Cybex Norm permet une analyse précise des quadriceps et ischio-jambiers, identifiant les déséquilibres musculaires. Les différences de sollicitation énergétique et biomécanique entre ces deux sports influencent les résultats musculaires. Le football implique des efforts aérobie et anaérobie intenses liés aux sprints et tirs, tandis que le handball mise sur la puissance explosive des sauts et lancers. L'entraînement isocinétique permet d'améliorer la force maximale et la stabilité articulaire, bénéfique en réhabilitation. Les ratios bilatéraux (droite/gauche) et agoniste/antagoniste (quadriceps/ischio-jambiers) sont utilisés pour détecter les asymétries et guider les protocoles d'entraînement. Une asymétrie supérieure à 15 % augmente le risque de blessures. Les tests à 60°/s sont les plus fiables pour évaluer la force maximale. L'étude menée sur 24 athlètes vise à comparer les profils musculaires entre footballeurs et handballeurs. Ces données aideront à adapter les programmes d'entraînement et de prévention.

Mots clés : *blessures, Isocinétisme, Football et Handball, Jeux réduits.*

Abstract

The Cybex dynamometer enables precise analysis of the quadriceps and hamstrings, identifying muscle imbalances. The differences in energy demands and biomechanics between these two sports influence muscle performance outcomes. Football involves intense aerobic and anaerobic efforts due to sprints and shooting, while handball emphasizes explosive power in jumping and throwing. Isokinetic training helps improve maximal strength and joint stability, making it beneficial in rehabilitation. Bilateral (right/left) and agonist/antagonist (quadriceps/hamstrings) ratios are used to detect asymmetries and guide training protocols. An asymmetry greater than 15%

increases the risk of injury. Tests at 60°/s are the most reliable for assessing maximal strength. The study conducted on 24 athletes aims to compare the muscle profiles of football and handball players. These data will help tailor training and prevention programs

Key Words: Injuries, Isocinetisme, Soccer and Handball, Small Sided Games

1. Introduction

L'évaluation de l'articulation du genou joue un rôle essentiel dans la compréhension des performances sportives, notamment pour des athlètes engagés dans des sports exigeants, tels que le handball et le football. Le dynamomètre isocinétique, tel que le Cybex, constitue un outil de référence pour mesurer la force et la puissance musculaire des membres inférieurs, permettant ainsi de mieux appréhender les capacités physiques et les déséquilibres potentiels des athlètes.

Selon les recherches en biomécanique, l'évaluation isocinétique est cruciale pour optimiser la performance sportive et prévenir les blessures. En effet, des études antérieures ont démontré que l'analyse de la force musculaire du genou peut offrir des indications précieuses sur la stabilité et la fonctionnalité articulaire, éléments clés pour des sports à forte intensité comme le handball et le football (Andrade et al., 2012).

Dans notre étude, nous avons sélectionné un échantillon de vingt-quatre athlètes masculins ($n=24$) âgés de 19 à 25 ans, répartis également entre douze ($n=12$) joueurs de handball et douze ($n=12$) de football. L'objectif principal est d'analyser les différences de force et de puissance musculaire du genou entre ces deux groupes sportifs en utilisant le dynamomètre isocinétique Cybex et d'y desseller ou non une tendance due aux exigences de ces deux sports collectifs par rapport aux dimensions de l'espace du jeu (dimensions du terrain). Les joueurs de handball et de football, malgré des similitudes dans les sollicitations musculaires, présentent des exigences physiques spécifiques à leurs disciplines respectives, influençant potentiellement les résultats isocinétiques. Cette investigation vise à approfondir notre compréhension des profils musculaires distincts chez les handballeurs et les footballeurs, afin de fournir des recommandations adaptées pour l'entraînement et la réhabilitation. Les conclusions de cette étude pourraient ainsi contribuer à l'amélioration des performances sportives et à la réduction des risques de blessures, offrant des perspectives nouvelles pour l'encadrement et la préparation physique des athlètes.

2. État de l'art

Les sports de handball et de football, bien qu'ils partagent certaines similitudes, ils se distinguent par leurs exigences physiques, techniques et tactiques. Une étude comparative entre le football et le handball serait donc pertinente pour comprendre les spécificités physiologiques et biomécaniques de ces deux sports. Les différences dans les filières énergétiques dominantes de chaque activité, la manière dont les membres inférieurs sont sollicités, la biomécanique des mouvements et la physiologie sont autant d'aspects à considérer.

2.1 Les filières Énergétiques sollicitées

Les filières énergétiques utilisées varient entre les deux sports en fonction de la nature des efforts demandés.

Le football est caractérisé par des efforts intermittents à haute intensité, avec des périodes de course rapide, de sprints, de changements de direction, et de récupération active ou passive. Ce profil d'effort fait appel principalement aux filières énergétiques anaérobies alactiques et lactiques pour les sprints courts et explosifs, ainsi qu'à la filière aérobie pour les périodes de jeu prolongées et de récupération (Bangsbo et al., 2006).

Le handball, bien que partageant des caractéristiques similaires d'efforts intermittents à haute intensité, implique des phases de jeu souvent plus courtes mais extrêmement intenses, telles que les contre-attaques et les duels physiques. En conséquence, la filière anaérobie lactique est particulièrement sollicitée pour les efforts explosifs répétés, tandis que la filière aérobie soutient l'endurance nécessaire pour maintenir l'intensité tout au long du match (Michalsik et al., 2015).

2.2 Biomécanique et Physiologie des Membres Inférieurs

En ce qui concerne la biomécanique des mouvements, les footballeurs peuvent subir des contraintes importantes au niveau des articulations du genou et de la cheville lors des contacts et des changements de direction, tandis que les handballeurs sont davantage exposés aux contraintes du membre supérieur lors des actions de lancer et de réception de balle (Gorostiaga et al., 2006).

La physiologie des membres inférieurs diffère considérablement entre les deux sports. En football, les mouvements clés incluent la course, le tir et le changement de direction. Ces actions sollicitent fortement les muscles quadriceps, ischio-jambiers, mollets et les fléchisseurs de la hanche. Le tir au football, par exemple, implique une chaîne cinétique complexe où la puissance est transférée des muscles du tronc vers les membres inférieurs, requérant une coordination et une force musculaire significatives (Lees et al., 2010).

En handball, les mouvements spécifiques incluent les sauts, les lancers et les déplacements latéraux. Les muscles des membres inférieurs, en particulier les quadriceps et les mollets, sont

fortement sollicités lors des sauts et des réceptions, tandis que les muscles des hanches et les ischio-jambiers sont cruciaux pour les mouvements de rotation et les lancers (Hermassi et al., 2014). Les actions de lancer sollicitent également une grande puissance musculaire et une coordination intermusculaire pour générer la vitesse et la force nécessaires à la performance.

2.3 Sollicitation Musculaire

La sollicitation musculaire des membres inférieurs est également distincte entre le football et le handball. Les sollicitations musculaires varient en fonction des types d'efforts et des mouvements spécifiques à chaque sport. En football, les quadriceps et les ischio-jambiers sont particulièrement sollicités lors des sprints et des tirs, tandis que les muscles abducteurs et adducteurs de la hanche jouent un rôle clé dans les changements de direction rapides (Ekstrand et al., 2011). La sollicitation musculaire est souvent asymétrique, avec une prévalence de blessures liées aux déséquilibres musculaires.

En handball, les muscles des membres inférieurs sont sollicités de manière intense lors des sauts et des lancers. Les quadriceps sont fortement activés pour les phases d'extension du genou, et les muscles du mollet sont sollicités pour les impulsions de saut. Les ischio-jambiers jouent un rôle crucial dans les mouvements de décélération et de stabilisation lors des réceptions de saut, et les fléchisseurs de la hanche sont impliqués dans les mouvements explosifs de course et de saut (Gorostiaga et al., 2006).

2.4 Qualités physiques des membres inférieurs

En ce qui concerne les qualités physiques des membres inférieurs, des études ont montré que les footballeurs développent souvent une force explosive et une puissance musculaire supérieures aux handballeurs, en raison des exigences spécifiques de leur sport, telles que les sauts, les tirs et les changements de direction rapides (Gorostiaga et al., 2006). En revanche, les handballeurs ont tendance à présenter une meilleure endurance musculaire et une force excentrique plus développée, nécessaire pour les phases de défense et les contacts physiques répétés (Michalsik et al., 2015).

2.5 L'isocinétisme

Le dynamomètre isocinétique est une technologie qui n'est pas forcément récente. Développé dans les années 1960 par le Dr. Hislop et le Dr. Perrine, leur objectif était de créer un appareil capable de mesurer la force musculaire à une vitesse constante, indépendamment de la force appliquée par le sujet. Cette innovation visait à surmonter les limitations des méthodes de mesure de la force musculaire qui ne pouvaient pas garantir une vitesse constante, telles que les dynamomètres traditionnels.

Depuis son invention, cette technologie a rapidement gagné en popularité grâce à sa capacité à fournir des mesures précises et reproductibles de la force musculaire, ouvrant ainsi de nouvelles perspectives en rééducation et en recherche biomécanique. Le dynamomètre isocinétique Cybex a connu plusieurs améliorations technologiques (*Figure 40*). Les premiers modèles, comme le Cybex 1, utilisaient des systèmes hydrauliques pour maintenir une vitesse constante. Avec l'avancée de la technologie, des systèmes électromécaniques ont été introduits, offrant une plus grande précision et une meilleure fiabilité. Ces systèmes permettent de contrôler la vitesse de mouvement de manière plus fine et de mesurer des paramètres supplémentaires tels que la puissance et l'endurance musculaire. Le modèle le plus avancé à ce jour est le Cybex Norm, qui intègre des logiciels sophistiqués pour l'analyse des données. Les progrès dans le traitement des données et l'interface utilisateur ont également facilité l'utilisation du dynamomètre, rendant les analyses plus complètes.

L'isocinétisme a trouvé une place importante dans le monde du sport grâce à ses applications variées et ses bénéfices. Le dynamomètre Cybex peut être utilisé pour des séances d'entraînement spécifiques. Les protocoles isocinétiques permettent de travailler la force musculaire de manière contrôlée et sécurisée, en évitant les risques de surcharge et de blessure. Les athlètes peuvent ainsi améliorer leur force maximale, leur endurance musculaire et leur puissance, tout en réduisant le risque de blessures (Perrin, 1993). L'entraînement isocinétique avec le dynamomètre Cybex offre plusieurs avantages, notamment la possibilité de travailler les muscles à une vitesse constante et de manière spécifique. Ce type d'entraînement est particulièrement bénéfique pour les athlètes qui nécessitent une force et une puissance musculaire élevées, telles que les joueurs de handball et de football.

L'amélioration de la force maximale est l'un des principaux avantages de l'entraînement isocinétique. En permettant de travailler à une vitesse constante, cet entraînement optimise le recrutement musculaire et améliore la force maximale, ce qui est particulièrement utile pour les athlètes nécessitant des performances élevées et des mouvements explosifs (Abernethy et al., 1995). En outre, l'entraînement isocinétique joue un rôle crucial dans la prévention des blessures. En identifiant les déséquilibres musculaires et en les corrigeant par des protocoles spécifiques, il réduit le risque de blessures. Les programmes de réhabilitation utilisant le dynamomètre Cybex sont efficaces pour renforcer les muscles et améliorer la stabilité articulaire (Croisier et al., 2002). L'optimisation de la performance est également un avantage clé de l'entraînement isocinétique. Il permet de travailler de manière ciblée les muscles sollicités dans des mouvements spécifiques au sport. Par exemple, les joueurs de handball peuvent améliorer leur puissance de saut et de lancer, tandis que les footballeurs peuvent optimiser leur force de tir et leur endurance (Kramer et al.,

1991). En somme, l'entraînement isocinétique avec le dynamomètre Cybex offre des bénéfices significatifs pour l'amélioration de la force musculaire, la prévention des blessures et l'optimisation des performances sportives, rendant cette technologie indispensable pour les athlètes de haut niveau.

Cette utilisation polyvalence en fait un outil précieux pour les cliniciens et les chercheurs. Par exemple, il peut être utilisé pour tester la force des muscles fléchisseurs et extenseurs du coude, ainsi que les muscles abducteurs et adducteurs de la hanche ou encore les muscles extenseurs et fléchisseurs du genou (Multiarticulaires).

Centrons-nous maintenant sur l'évaluation de l'articulation du genou, qui est une application courante et particulièrement importante du dynamomètre isocinétique. Les tests isocinétiques du genou permettent de mesurer la force des quadriceps et des ischio-jambiers, fournissant des données précises sur les performances musculaires et les déséquilibres potentiels. Par exemple, les travaux de Croisier et al. (2002) ont montré que les déséquilibres entre les quadriceps et les ischio-jambiers peuvent être des prédicteurs de blessures musculaires.

Les tests isocinétiques des muscles fléchisseurs et extenseurs du genou sont couramment utilisés pour évaluer les performances musculaires et détecter les déséquilibres qui pourraient prédisposer les athlètes à des blessures. Les quadriceps et les ischio-jambiers, étant des groupes musculaires connus pour la stabilité et le mouvement du genou, sont fréquemment évalués chez les athlètes de sports nécessitant des mouvements explosifs et des changements de direction rapides.

Cette méthode d'évaluation permet d'analyser plusieurs aspects de la fonction musculaire, notamment la fonction statique (isométrique) et dynamique (excentrique et concentrique) des muscles extenseurs et fléchisseurs du genou.

Parmi les paramètres mesurés, on retrouve la force maximale isocinétique, qui correspond au pic de couple généré par les muscles du genou lors des mouvements de flexion et d'extension. Cette mesure est essentielle pour évaluer la capacité maximale des muscles à produire de la force et peut être utilisée pour comparer les performances musculaires entre différents groupes de sujets (Worrell et al., 2001). De même, le travail moyen, la puissance et la fatigue musculaire (endurance) sont également des paramètres importants évalués à l'aide du dynamomètre isocinétique. Des études telles que celles de Rozzi et al. (1999) ont démontré l'utilité de ces mesures pour évaluer la capacité fonctionnelle des muscles du genou et détecter les déséquilibres musculaires qui pourraient augmenter le risque de blessures.

L'évaluation de l'articulation du genou à l'aide d'un dynamomètre isocinétique est cruciale non seulement pour les athlètes, mais aussi pour les patients en rééducation post-blessure. Par exemple, après une blessure du ligament croisé antérieur (LCA), le dynamomètre isocinétique est utilisé

pour suivre la récupération de la force musculaire et assurer une réhabilitation efficace. Une étude de Petschnig et al. (1998) a démontré que l'évaluation isocinétique permet de détecter les déficits de force résiduels après la reconstruction du LCA, fournissant des données essentielles pour ajuster les protocoles de rééducation.

L'évaluation isocinétique du genou est cruciale pour plusieurs raisons. Premièrement, elle permet de détecter les déséquilibres musculaires entre les quadriceps et les ischio-jambiers, qui sont des indicateurs clés du risque de blessures. Deuxièmement, elle fournit des données objectives pour suivre les progrès des athlètes en rééducation et ajuster les protocoles de réhabilitation en conséquence. Troisièmement, elle permet d'optimiser les programmes d'entraînement en identifiant les points faibles spécifiques des athlètes et en élaborant des exercices ciblés pour améliorer la performance.

2.6 Les ratios

Avec toutes ces informations, nous pouvons aussi calculés des ratios utiles à l'analyse des données. On retrouve par exemple les ratios bilatéraux. Comparant la force entre les membres dominant (D) et non-dominant (ND), ils jouent un rôle crucial dans divers aspects de l'évaluation musculaire. Pour les handballeurs et les footballeurs, un bon équilibre bilatéral est essentiel pour des mouvements équilibrés et pour prévenir les blessures liées aux déséquilibres. Pour analyser les ratios bilatéraux et déterminer les valeurs équilibrées, il est crucial de considérer les asymétries musculaires entre les membres droits et gauches. Selon la littérature scientifique, une asymétrie excessive peut être un facteur de risque de blessures et peut affecter la performance sportive. Une référence couramment citée pour définir des asymétries musculaires significatives est l'étude de Croisier et al. (2008), qui a étudié les déséquilibres musculaires et la prévention des blessures chez les joueurs de football professionnels. Dans cette étude, ils ont constaté que les joueurs présentant une asymétrie musculaire excessive (définie comme une différence de force musculaire de plus de 15% entre les membres droits et gauches) étaient plus sujets aux blessures musculaires. Par conséquent, les valeurs de références pour analyser les ratios bilatéraux et déterminer les valeurs équilibrées serait de maintenir une asymétrie musculaire inférieure à 1,15 entre les membres droits et gauches. Au-delà de cette valeur, des mesures correctives pourraient être nécessaires pour réduire les risques de blessures et optimiser la performance sportive. Ces ratios sont également utiles pour suivre la progression de la récupération post-blessure et s'assurer que la force est symétrique entre les deux jambes. L'analyse des ratios bilatéraux à différentes vitesses angulaires offre des informations spécifiques sur les capacités musculaires. Une vitesse de 60°/ est couramment utilisée pour évaluer la force maximale dans des conditions de basse vitesse. Elle

permet de détecter des déséquilibres de force qui peuvent être présents lors de mouvements plus contrôlés et lents. L'évaluation du ratio bilatéral à une vitesse de 60°/s est généralement préférée à celle de 30°/s pour plusieurs raisons, liées à la pertinence clinique et sportive, ainsi qu'à la fiabilité des mesures. Une étude de Croisier et al. (2008) a montré que des vitesses de test comme 60°/s sont plus représentatives des mouvements sportifs typiques et permettent une évaluation plus pertinente des déséquilibres musculaires chez les athlètes. De plus, d'après les recherches de Drouin et al. (2004) indiquent que les tests isocinétiques réalisés à des vitesses intermédiaires, comme 60°/s, sont généralement plus fiables que ceux réalisés à des vitesses très lentes, comme 30°/s. Les mesures à 60°/s montrent une variabilité moindre et une reproductibilité accrue, ce qui est crucial pour des évaluations précises. Croisier et al. (2008) ont également souligné que les déséquilibres musculaires détectés à 60°/s sont cliniquement significatifs pour la prévention des blessures, notamment dans les sports exigeants en termes de force et d'explosivité. Ces déséquilibres sont plus facilement identifiables à 60°/s comparé à 30°/s, car les tests à 60°/s reflètent mieux les contraintes mécaniques subies par les muscles lors de la pratique sportive. Et enfin, la recherche de Baltzopoulos et Brodie (1989) indique que les tests à 60°/s sont mieux tolérés par les sujets et permettent une évaluation plus rapide et moins fatigante que les tests à des vitesses très lentes comme 30°/s. Cela améliore la qualité des données recueillies et la coopération des sujets durant les tests

Le ratio conventionnel, également connu sous le nom de ratio agoniste/antagoniste compare les forces générées par deux groupes musculaires opposés autour d'une articulation. Tel que la force des quadriceps (Q) et des ischio-jambiers (IJ) au sein du même membre. Ce ratio est utilisé pour évaluer l'équilibre musculaire et peut aider à identifier des déséquilibres qui pourraient prédisposer à des blessures ou à des dysfonctionnements. Un ratio équilibré indique que les muscles antagonistes et agonistes autour de l'articulation travaillent de manière harmonieuse, ce qui est crucial pour la stabilité et la fonctionnalité de l'articulation. Un déséquilibre musculaire (par exemple, un ratio trop faible ou trop élevé) peut augmenter le risque de blessures, comme les entorses ou les déchirures musculaires. Les analyses à différentes vitesses, comme 30°/s, 60°/s et 180°/s, fournissent des informations spécifiques sur la force maximale, la capacité à maintenir une force modérée et la production de puissance, respectivement. Cependant le plus pertinent serait d'analyser à 180°/s pour simuler des mouvements rapides et dynamiques comme les sprints et les frappes de ballon. Et 60°/s car cela suit la logique des mouvements qui nécessitent un bon contrôle musculaire et une résistance aux forces de décélération et d'impact, comme les réceptions de saut, les phases de décélération lors des courses rapides et les contacts physiques pendant le jeu. Les vitesses sélectionnées sont alignées avec les exigences spécifiques du handball et du football, qui

nécessitent à la fois des capacités explosives (à 180°/s) et un bon contrôle musculaire et une résistance (à 60°/s) pour éviter les blessures et optimiser les performances. En général, un ratio conventionnel inférieur à 0,5 peut indiquer un déséquilibre musculaire avec une prédominance des muscles fléchisseurs par rapport aux extenseurs ou inversement. À l'inverse, un ratio supérieur à 0,8 peut suggérer un déséquilibre dans l'autre sens, avec une prédominance des muscles extenseurs. (Dvir 2004)

Enfin, les ratios mixtes ou ratios fonctionnels comparent la force d'un groupe musculaire en contraction excentrique avec la force du groupe musculaire opposée en contraction concentrique. Il compare la force des fléchisseurs du genou en contraction excentrique avec la force des extenseurs du genou en contraction concentrique. Il est utilisé pour évaluer l'équilibre fonctionnel dynamique et la capacité des muscles à stabiliser l'articulation pendant des mouvements complexes. Pour évaluer le genou des handballeurs et des footballeurs en utilisant des ratios mixtes, il est important de choisir des vitesses qui reflètent à la fois la force et la capacité fonctionnelle des muscles lors des mouvements typiques de ces sports. Les vitesses couramment utilisées pour ces évaluations sont 60°/s pour les vitesses lentes, 180°/s. Les valeurs de références généralement acceptées pour un ratio fonctionnel se situent entre 1,0 et 1,4. Un ratio inférieur à 1 peut indiquer un déséquilibre musculaire, augmentant le risque de blessures, particulièrement au genou. Un ratio supérieur à 1,4, bien que généralement rare, peut parfois indiquer une dominance excessive des ischio-jambiers par rapport aux quadriceps, ce qui pourrait aussi nécessiter une attention particulière. (Croisier, 2008)

Dans le contexte spécifique des handballeurs, le ratio mixte évalué à une vitesse rapide se révèle être le plus pertinent. Le handball, sport caractérisé par des mouvements rapides et des exigences dynamiques, requiert une capacité musculaire spécifique pour répondre à ces contraintes selon des études comme celle de Croisier et al. (2008).

Pour analyser le genou des handballeurs avec le ratio mixte, il est important de choisir des vitesses qui reflètent les exigences spécifiques de leur sport, qui implique entre autres des mouvements rapides, des changements de direction soudains et des actions explosives. Pour les quadriceps, qui sont activement impliqués dans la propulsion, le saut et la stabilisation du genou, évaluer la force à une vitesse rapide est plus pertinent. Ainsi, une vitesse de 180°/s serait appropriée pour évaluer la force concentrique des quadriceps, car elle correspond mieux aux mouvements explosifs et aux exigences dynamiques du handball. Pour les ischio-jambiers, qui sont impliqués dans la flexion du genou et la stabilisation lors des atterrissages et des mouvements de défense, une évaluation de la force à une vitesse plus lente est souvent privilégiée pour capturer leur capacité à soutenir le genou

dans des conditions de charge excentrique. Par conséquent, une vitesse de 60°/s serait plus pertinente pour évaluer la force excentrique des ischio-jambiers. En utilisant ces vitesses pour évaluer les quadriceps et les ischio-jambiers, le ratio mixte fournira une analyse plus holistique de la fonction musculaire autour du genou chez les handballeurs, en tenant compte à la fois de la capacité à générer de la force explosive et de la stabilité dynamique nécessaire pour prévenir les blessures lors de mouvements rapides et dynamiques.

De même, dans le cas des footballeurs, le choix des vitesses pour évaluer les quadriceps et les ischio-jambiers en ratios mixte est crucial. Pour les quadriceps, une vitesse plus élevée est souvent plus pertinente car ces muscles sont largement impliqués dans la production de force explosive nécessaire pour les mouvements rapides et les sauts caractéristiques du football. Ainsi, une vitesse de 180°/s est généralement privilégiée pour évaluer la force des quadriceps chez les footballeurs. Les ischio-jambiers, en revanche, sont cruciaux pour la stabilisation du genou et la prévention des blessures, notamment des tensions et des déchirures. Par conséquent, une évaluation à une vitesse plus modérée peut être plus appropriée pour détecter d'éventuelles faiblesses ou déséquilibres. Une vitesse de 60°/s est souvent utilisée pour évaluer les ischio-jambiers, car elle permet une analyse plus détaillée de la force et de la résistance de ces muscles dans des conditions de vitesse plus proches des mouvements typiques du football. En résumé, l'utilisation du dynamomètre isocinétique pour l'évaluation des différents ratios musculaires chez les handballeurs et les footballeurs offre une approche exhaustive pour comprendre leur équilibre musculaire et leur performance. En analysant ces ratios mixtes, conventionnels et bilatéraux à diverses vitesses de contraction, il est possible d'obtenir une évaluation précise et détaillée, permettant ainsi d'identifier les faiblesses potentielles, de prévenir les blessures et d'optimiser la performance athlétique dans ces sports exigeants.

De manière générale, les ratios isocinétiques offrent une fenêtre précieuse sur la santé musculaire et la performance athlétique. Le ratio conventionnel, en comparant les forces des muscles agonistes et antagonistes autour d'une articulation, révèle des déséquilibres musculaires pouvant prédisposer à des blessures. Le ratio mixte, en évaluant la force excentrique et concentrique, offre un regard approfondi sur la stabilité articulaire lors de mouvements fonctionnels. Le ratio bilatéral, en scrutant les différences entre les membres, est indispensable pour diagnostiquer et corriger les asymétries potentiellement problématiques. Quant au ratio conventionnel est indicateur des performances individuelles des membres, fournissant une évaluation exhaustive de la force et de la résistance musculaire. Ensemble, ces ratios constituent des outils essentiels pour les professionnels de la santé et du sport, leur permettant d'optimiser la performance, de prévenir les blessures et de guider efficacement la réhabilitation.

3. Matériels et Méthodes

3.1 Participants

Dans cette étude ont participé vingt-quatre (n=24) sujets masculins, répartis équitablement en douze (n=12) sujets pratiquant le football et douze (n=12) autres pratiquants le handball. Les footballeurs en moyenne mesurent 177,4cm (+/- 7,23), pèsent 71,2kg (+/-6,9) et sont âgés de 22 ans (+/-0,7). Les handballeurs quant à eux mesurent 185,2cm (+/- 2,05), pèsent 67,8kg (+/-7,50) et sont âgés de 21 ans (+/- 2). Les footballeurs ayant participé à cette étude ont effectué les tests sur le dynamomètre de l'UFR STAPS, sous la forme de volontariat lors des cours d'initiation à l'isocinétisme présent dans le parcours entraînement sportifs de la troisième année de licence STAPS. Les handballeurs quant à eux ont été testés sur l'ergomètre présent au cabinet Médical et kinésithérapie.

L'ensemble des données anthropométriques (Taille, poids, âge) ont été intégrés dans la routine informatique du Cybex. Cette application réalise l'estimation de l'IMC, de la masse maigre et la masse grasse du sujet, ceci permet la normalisation des valeurs anthropométriques lors de l'appréciation de la gravité musculaire.

✓ *Critère d'inclusion :*

- ✓ Sujets pratiquant les sports concernés, Football et handball.
- ✓ Sportifs évoluant à un niveau amateur, ne dépassant pas le niveau régional.
- ✓ Deux entraînements par semaine + un match.

Critère d'exclusion :

- ✓ Sujets étant encore en phase de rééducation, n'ayant pas repris les entraînements ou les matchs avec son club.
- ✓ Sujets ayant déjà eu plusieurs séances d'isocinétisme.

3.2 Matériels utilisés

Les tests ont été réalisés sur deux dynamomètres isocinétique Cybex Norm le premier se situant au sein du bâtiment de l'UFR STAPS et le second au sein du service médicale. La validité et la fiabilité des tests réalisés avec le dynamomètre Cybex sont bien établies. Des études ont montré que les mesures obtenues sont cohérentes et peuvent être reproduites sur différentes machines de la même marque. Drouin et al. (2004) ont démontré que les dynamomètres Cybex offrent une excellente fiabilité inter-appareils, permettant une comparaison directe des résultats obtenus sur différentes machines (*Figure 40*).

3.3 Méthodologie

L'installation sur le dynamomètre isocinétique s'est déroulée de la façon suivante. Chaque sujet a été sanglé sur le siège, le condyle fémoral a été utilisé comme référence anatomique pour l'axe de rotation et le coussin servant à émettre la force de pousser ou de résistance a été placé à un doigt d'épaisseur au-dessus de la malléole médiale. Ensuite il est nécessaire de régler les amplitudes maximales du sujet allant de 0 à 90°, le sujet effectuera donc une extension maximale (considérant le 0° comme amplitude maximale) et une flexion du genou allant jusqu'à 90° (limité à cette amplitude si supérieur). En dernier réglage s'effectue la correction de gravité à 45° de flexion. Chaque sujet a donc eu une installation personnalisée pour chaque jambe dominante et non dominante (Figure 41).

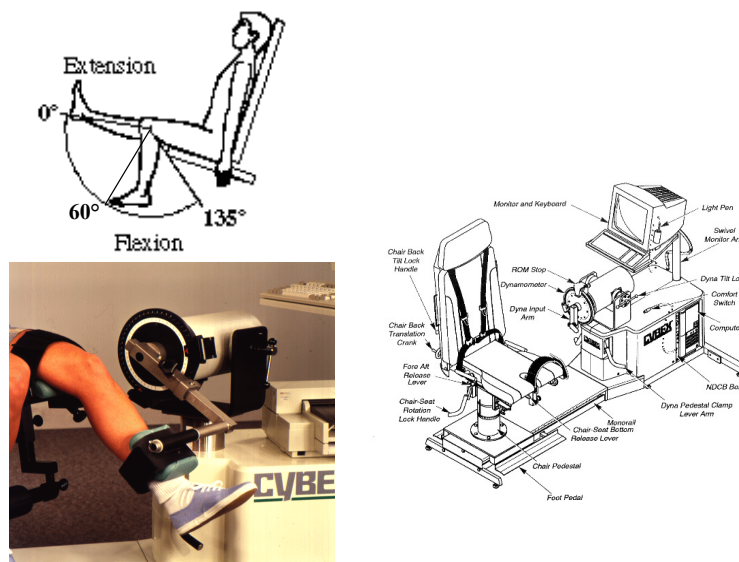


Figure 41 : Le Cybex Norm, avec son servomoteur, et positionnement pour évaluer l'articulation du genou en Flexion-Extension selon les différents modes contractiles (*IschioJambiers/Guadriceps*).

3.4 Protocole d'évaluation

Le protocole débute par un échauffement standardisé de dix minutes sur un vélo d'intérieur. Ensuite, le sujet s'installe sur la machine en veillant à bien sangler le tronc pour éviter les compensations de la hanche vis-à-vis du travail du genou. Bien « scratcher » la cuisse de la jambe en évaluation et placer la butée en symétrie pour bloquer la jambe controlatérale. L'installation du sujet sur l'ergomètre isocinétique est essentielle pour réaliser une évaluation objective et un bon traitement des données recueillies. Une bonne installation du sujet permet d'éviter les biais méthodologiques ainsi que les erreurs éventuelles. Donc, une bonne installation du sujet sur

l'ergomètre isocinétique conditionne la qualité de résultats. Une fois le sujet installé, le protocole peut démarrer.

C'est un protocole dynamique comprenant une série de contractions musculaires concentriques et excentriques à différentes vitesses angulaires (*Tableau 46*). La réalisation de notre protocole débute avec une série de contractions sous maximales d'extension/flexion dites d'initiation ; permettant au sujet une meilleure compréhension des consignes et une meilleure imprégnation au travail et les mouvements à réaliser. Cette phase d'imprégnation est suivie par la réalisation du protocole même, c'est-à-dire une série de contractions Extension/Flexion en mode concentrique puis en mode excentrique de l'articulation du genou espacées par des temps de repos court permettant une continuité du travail d'évaluation. (*Tableau 46*).

Articulation Genou	Mode de travail	Vitesse °/sec	Nombre Répétitions	TR (sec)
Flexion/Extension IschioJambiers/Quadriceps	Conc	180	5	20
		60	5	20
		30	5	20
<i>Con= Concentrique. Exc= Excentrique. TR= Temps repos Inter/ Répétition</i>	Exc	30	3	20
		60	3	20

Tableau 46 : Protocole Isocinétique d'évaluation de l'articulation du genou

A la fin de la réalisation du travail de la première jambe, un temps court nous permet de replacer par rotation mécanique en phase du servomoteur la jambe suivante. Ainsi, le sujet peut enchaîner avec sa seconde jambe. Aucun ordre d'évaluation n'a été prédéfinis pour le choix de la première et de la seconde jambe, en termes de jambe dominante ou non. L'évaluation de la première puis de la seconde jambe s'est déroulé d'une façon aléatoire afin d'éviter le comparatif de force entre les deux segments articulaires par le sujet lui-même, pouvant fausser le travail et évitant toute forme d'émulation par les tiers présents. Il est important de préciser que suite à l'intégrations des données anthropométriques au sein de l'application de l'ergomètre ; cette permet plusieurs calculs et corrélations entre les différents paramètres enregistrés par l'ergomètre. Ceci permet d'obtenir un ensemble d'informations mécaniques, cinématiques et physiologiques concernant

l'articulation. Une batterie de données concernant le couple de force, la puissance, le travail et les ratios pour chaque vitesse angulaire et aussi pour chaque muscle ainsi que les valeurs comparatives entre les deux jambes. Les données de l'évaluation type isocinétique du genou en plus des ratios sont illustrés dans les Tableau 47 et Tableau 48.

3.5 Statistiques

Pour vérifier la significativité des données recueillies, nous avons tout d'abord vérifié que ces données respectent la loi normale ; de ce fait nous avons appliqué le test de normalité de Shapiro-Wilk pour déterminer si les données suivent ou non une distribution normale.

Nos données étant indépendantes et non appariées, nous avons effectué grâce au logiciel JASP un test-T lorsque les données respectent la loi normale ou un test U de Mann Whitney lorsque qu'elle ne la respecte pas. Les résultats sont qualifiés de significatif à $p < 0,05$.

4. Résultats et Analyses

4.1 Résultats Isocinétique (Eval-Type)

L'ergomètre isocinétique permet d'avoir un ensemble conséquent de données cinématiques tels que le couple de force, l'amplitude de réalisation de cette force, la vitesse d'accès au couple maximum puis des valeurs de travail rapportées au poids du sujet. On dispose aussi d'indications chiffrées concernant la fatigue (*Tableaux 47 A-B-C-D-E-F : Résultats de l'évaluation Type (Eval-Type) avec l'ensemble des données isocinétiques comparatives du travail des IschioJambiers et des quadriceps en mode concentrique et excentriques.*)

Pic de couple (Nm)	Droite	100	130	132	
	Gauche	97	130	132	
	Observation	D > G	D > G	D > G	
Pic de couple % poids	Droite	127,70%	184,30%	186,70%	
	Gauche	116,90%	156,60%	159,00%	
	Observation	D > G	D > G	D > G	
Angle de pic de couple	Droite	29°	15°	18°	
	Gauche	28°	18°	12°	
	Observation	D > G	D < G	D > G	
Temps deceleration	Droite	0,166	0,073	0,074	
	Gauche	0,089	0,063	0,019	
	Observation	D > G	D > G	D > G	
Travail total (BWR) (Joules)	Droite	99	151	134	
	Gauche	91	125	113	
	Observation	D > G	D > G	D > G	
Travail total (BWR) % poids	Droite	119,90%	181,90%	162,60%	
	Gauche	109,70%	150,70%	137,20%	
	Observation	D > G	D > G	D > G	
Puissance Moyenne (BWR) (Watts)	Droite	174,7	108,2	49,9	
	Gauche	137,9	37,3	29,3	
	Observation	D > G	D > G	D > G	
Puissance Moyenne (BWR) % Poids	Droite	210,40%	130,40%	60,10%	
	Gauche	166,20%	105,00%	47,30%	
	Observation	D > G	D > G	D > G	
Deviation Standard	Droite	33	11	40	
	Gauche	29	8	29	
	Observation	D > G	D > G	D > G	
Covariance	Droite	83	19	86	
	Gauche	84	20	76	
	Observation	D < G	D < G	D > G	
Travail total de la série	Droite	295	681	475	
	Gauche	271	594	390	
	Observation	D > G	D > G	D > G	
50% de fatigue/travail	Droite	293	////	////	////
	Gauche	270	////	////	////
	Observation	D > G	////	////	
50% de fatigue en temps (sec)	Droite	4	////	////	////
	Gauche	3,5	////	////	////
	Observation	D > G	////	////	
50% de fatigue/répétitions	Droite	5	////	////	////
	Gauche	5	////	////	////
	Observation	D = G	////	////	

Tableau 47 A : Données isocinétiques comparatives du travail des *IschioJambiers* en mode Concentrique (Jambes Droite et Gauche).

CONCENTRIQUE : Concentrique Extenseurs					
Vitesse (°/sec)		180	60	30	Observation
Pic de couple (Nm)	Droite	202	303	324	↔ ↔
	Gauche	181	302	314	↔ ↔
	Observation	D > G	D > G	D > G	
Pic de couple % Poids	Droite	243,40%	365,10%	390,40%	↔ ↔
	Gauche	218,10%	363,90%	378,30%	↔ ↔
	Observation	D > G	D > G	D > G	
Angle de pic de couple	Droite	56°	54°	55°	↔ ↔
	Gauche	50°	55°	59°	↔ ↔
	Observation	D > G	D < G	D > G	
Temps décélération	Droite	0,061	0,035	0,017	↔ ↔
	Gauche	0,084	0,017	0,036	↔ ↔
	Observation	D < G	D > G	D < G	
Travail total (BWR) (Joules)	Droite	191	273	263	↔ ↔
	Gauche	184	302	291	↔ ↔
	Observation	D > G	D < G	D < G	
Travail total (BWR) % poids	Droite	230,90%	329,60%	316,90%	↔ ↔
	Gauche	222,70%	364,70%	351,30%	↔ ↔
	Observation	D > G	D < G	D < G	
Puissance Moyenne (BWR) (Watts)	Droite	297,1	207,2	109,8	↔ ↔
	Gauche	267,8	192,2	104,7	↔ ↔
	Observation	D > G	D > G	D > G	
Puissance Moyenne (BWR) % Poids	Droite	357,90%	249,70%	132,30%	↔ ↔
	Gauche	322,70%	231,50%	126,10%	↔ ↔
	Observation	D > G	D > G	D > G	
Déviation Standard	Droite	64	23	80	↔ ↔
	Gauche	60	14	80	↔ ↔
	Observation	D > G	D > G	D = G	
Covariance	Droite	92	22	73	↔ ↔
	Gauche	87	15	57	↔ ↔
	Observation	D > G	D > G	D > G	
Travail total de la série	Droite	538	1292	973	↔ ↔
	Gauche	542	1419	1084	↔ ↔
	Observation	D < G	D < G	D < G	
50% de fatigue/travail	Droite	536	////	////	////
	Gauche	541	////	////	////
	Observation	D < G			
50% de fatigue en temps (sec)	Droite	15	////	////	////
	Gauche	4	////	////	////
	Observation	D > G			
50% de fatigue/répétitions	Droite	5	////	////	////
	Gauche	5	////	////	////
	Observation	D = G	////	////	////

Tableau 47 B : Données isocinétiques comparatives du travail des **Quadriceps** en mode Concentrique (Jambes Droite et Gauche)

EXCENTRIQUE : Excentrique Fléchisseurs				
Vitesse (°/sec)		60	30	Observation
Pic de couple (Nm)	Droite	-155	-191	↗
	Gauche	-148	-122	↗
	Observation	D > G	D > G	
Pic de couple % poids	Droite	-186,70%	-230,10%	↗
	Gauche	-178,30%	-147,00%	↗
	Observation	D > G	D > G	
Angle de pic de couple	Droite	20°	13°	↘
	Gauche	20°	26°	↗
	Observation	D = G	D < G	
Temps deceleration	Droite	0,162	0,155	↘
	Gauche	0,247	0,228	↗
	Observation	D < G	D < G	
Travail total (BWR) (Joules)	Droite	-162	-145	↘
	Gauche	-158	-131	↘
	Observation	D > G	D > G	
Travail total (BWR) % poids	Droite	-195,70%	-175,70%	↘
	Gauche	-190,80%	-158,40%	↘
	Observation	D > G	D > G	
Puissance Moyenne (BWR) (Watts)	Droite	-83,9	-29,7	↘
	Gauche	-64	39,7	↘
	Observation	D > G	D < G	
Puissance Moyenne (BWR) % Poids	Droite	-101,10%	-35,80%	↘
	Gauche	-77,10%	-47,90%	↘
	Observation	D > G	D < G	
Deviation Standard	Droite	17	12	↘
	Gauche	12	12	→
	Observation	D > G	D = G	
Covariance	Droite	0	0	→
	Gauche	0	0	→
	Observation	D = G	D = G	
Travail total de la série	Droite	-441	-411	↘
	Gauche	-443	-339	↘
	Observation	D < G	D > G	

Tableau 47 C : Données isocinétiques comparatives du travail des **IschioJambiers** en mode Excentrique (Jambes Droite et Gauche).

EXCENTRIQUE : Excentrique Extenseurs				
Vitesse (°/sec)		60	30	Observation
Pic de couple (Nm)	Droite	-312	-379	↔
	Gauche	-347	-329	↕
	Observation	D < G	D > G	
Pic de couple % poids	Droite	-375,90%	-456,60%	↔
	Gauche	-418,10%	-396,40%	↕
	Observation	D < G	D > G	
Angle de pic de couple	Droite	52°	58°	↔
	Gauche	58°	68°	↔
	Observation	D < G	D < G	
Temps deceleration	Droite	0,338	0,187	↕
	Gauche	0,214	0,19	↕
	Observation	D < G	D < G	
Travail total (BWR) (Joules)	Droite	-283	-303	↔
	Gauche	-359	-259	↕
	Observation	D < G	D > G	
Travail total (BWR) % poids	Droite	-342,20%	-365,90%	↔
	Gauche	-432,90%	-312,10%	↕
	Observation	D < G	D > G	
Puissance Moyenne (BWR) (Watts)	Droite	-132,4	-34	↕
	Gauche	-126,5	-52,6	↕
	Observation	D < G	D < G	
Puissance Moyenne (BWR) % Poids	Droite	-159,50%	-101,20%	↕
	Gauche	-152,40%	-75,40%	↕
	Observation	D > G	D > G	
Deviation Standard	Droite	18	28	↔
	Gauche	46	22	↕
	Observation	D < G	D > G	
Covariance	Droite	0	0	→
	Gauche	0	0	→
	Observation	D = G	D = G	

Tableau 47 D : Données isocinétiques comparatives du travail des **Quadriceps** en mode Excentrique (Jambes Droite et Gauche).

Ratio CONC Fléchisseurs/ CONC Extenseurs					
Pic de couple	Droite	52,50%	50,50%	47,80%	
	Gauche	53,60%	43,00%	42,00%	
	Observation	D > G	D < G	D > G	
Travail total (BWR)	Droite	52,00%	55,10%	51,30%	
	Gauche	49,30%	41,30%	39,00%	
	Observation	D > G	D > G	D > G	
Puissance Moyenne (BWR)	Droite	58,80%	52,20%	45,40%	
	Gauche	51,50%	45,40%	37,50%	
	Observation	D > G	D > G	D > G	
Travail total de la série	Droite	54,80%	52,70%	48,90%	
	Gauche	50,10%	41,90%	36,00%	
	Observation	D > G	D > G	D > G	
Amplitude Moyenne (85°)	Droite	54°	77°	57°	
	Gauche	56°	83°	65°	
	Observation	D < G	D < G	D < G	
Ratio EXC Fléchisseurs/ EXC Extenseurs					
Pic de couple	Droite	49,70%	50,50%		
	Gauche	42,70%	37,10%		
	Observation	D > G	D > G		
Travail total (BWR)	Droite	57,20%	48,00%		
	Gauche	44,10%	50,80%		
	Observation	D > G	D < G		
Puissance Moyenne (BWR)	Droite	63,40%	35,30%		
	Gauche	50,60%	63,50%		
	Observation	D > G	D < G		
Travail total de la série	Droite	54,30%	50,80%		
	Gauche	48,50%	47,10%		
	Observation	D > G	D > G		
Amplitude Moyenne (85°)	Droite	85°	79°		
	Gauche	87°	86°		
	Observation	D < G	D < G		

Tableau 47 E : Données isocinétiques comparatives sur le rapport *Fléchisseurs/Extenseurs* en mode Concentrique et en mode excentrique (Jambes Droite et Gauche).

Au vu des résultats et leurs comparaisons par groupes musculaires, par mode de travail, par jambe gauche/droite et enfin par ratio IJ/Q ; on peut aisément identifier la jambe dominante et indiquer si le sujet est plus ou moins droitier ou gaucher au vu des variations des couples de force en fonction des vitesses angulaires de travail. Plus la vitesse angulaire est grande ($180^\circ/s$) plus la force est moins importante que celles développées à des vitesses faibles ($30^\circ/s$) ou intermédiaire ($60^\circ/s$). Ceci respecte la proportionnalité de la relation entre le couple de force et la vitesse de travail ; car à des vitesses basses et intermédiaire le déplacement de la jambe devient plus difficile ceci est contrôlé par le servomoteur de l'ergomètre afin de maintenir une vitesse constante de travail et de déplacement tout le long de l'amplitude articulaire du travail de l'articulation du genou, entre l'extension maximale et la flexion maximale définie lors de l'étalonnage et la configuration individuelle de l'ergomètre.

C'est le principe même de l'autoresistance développée par l'ergomètre qui est appliquée dans ce cas ; à $180^\circ/s$ on déplace son segment articulaire plus aisément qu'à $60^\circ/s$ ou $30^\circ/s$ car l'autoresistance appliquée par l'ergomètre est proportionnelle à la vitesse angulaire. En mode excentrique sachant que ce mode indique que le travail se réalise par résistance, de ce fait le couple de force développé apparaît encore plus marqué et plus important.

On note par ailleurs les données de tendances de variation gauche/droite en fonction des modes de travail et des vitesses angulaires.

En fonction de cette batterie de données on peut initier un protocole de réathlétisation au vu des déficits et risques de blessures éventuels. Comme il a été précisé dans l'étude 2 de la partie 2 c'est-à-dire l'évaluation isocinétique et prévention des blessures.

4.2 Résultats comparatifs des couples de force

Dans la première partie de nos résultats concernant l'approche comparative, sont exposés les résultats comparatifs des couples de force entre extenseurs et fléchisseurs pour les deux jambes, la dominante et la non dominante, obtenus pour toutes les vitesses angulaires selon les deux modes $180^\circ/s$, $60^\circ/s$, et $30^\circ/s$ en mode concentriques, puis $60^\circ/s$ et $30^\circ/s$ en mode excentrique.

Cette comparaison a été orientée sur les données cinématiques musculaires contenant les moyennes des pics de couple de chaque série du protocole d'évaluation. Les résultats ont été séparés par jambes (dominante et non dominante) et par sport pratiqué (le football et le handball) Pour les footballeurs, Jambe dominante voir Figure 41 et jambe non dominante voir la Figure 42 Pour les handballeurs, jambe dominante voir Figure 43 et jambe non dominante voir la Figure 44.

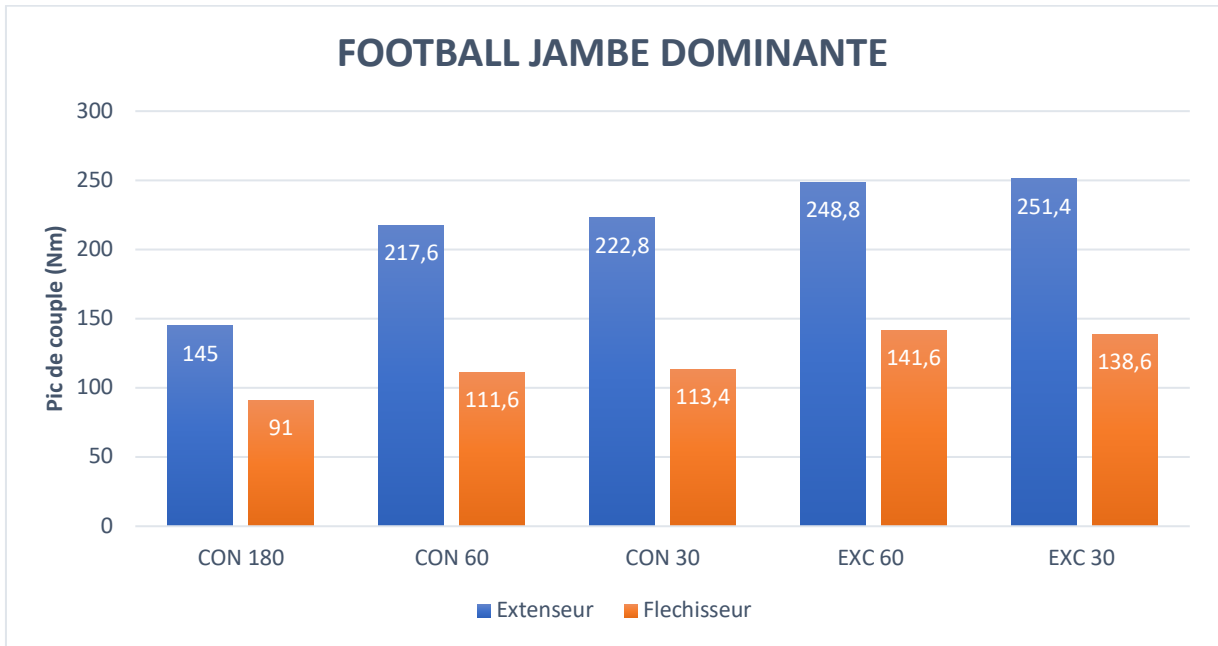


Figure 42: Graphique représentant les moyennes de chaque pic de couple des footballeurs avec leurs jambes dominantes.

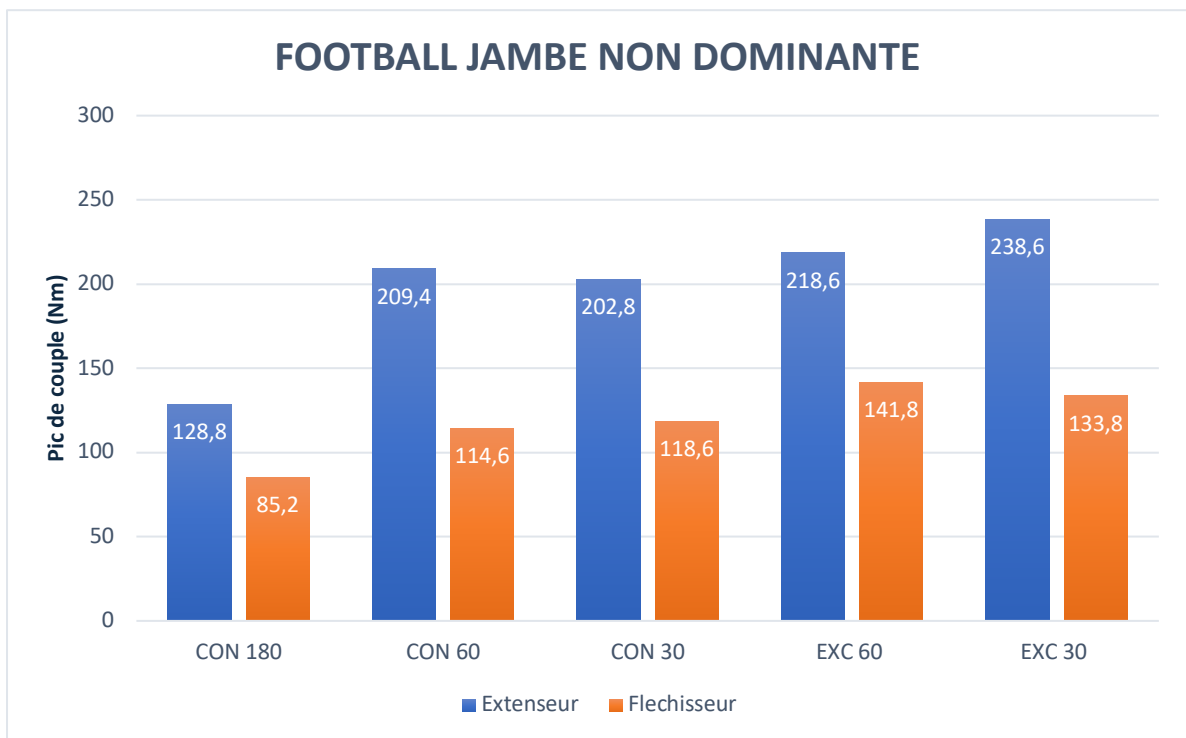


Figure 43 : Graphique représentant les moyennes de chaque pic de couple des footballeurs avec leurs jambes non dominantes.

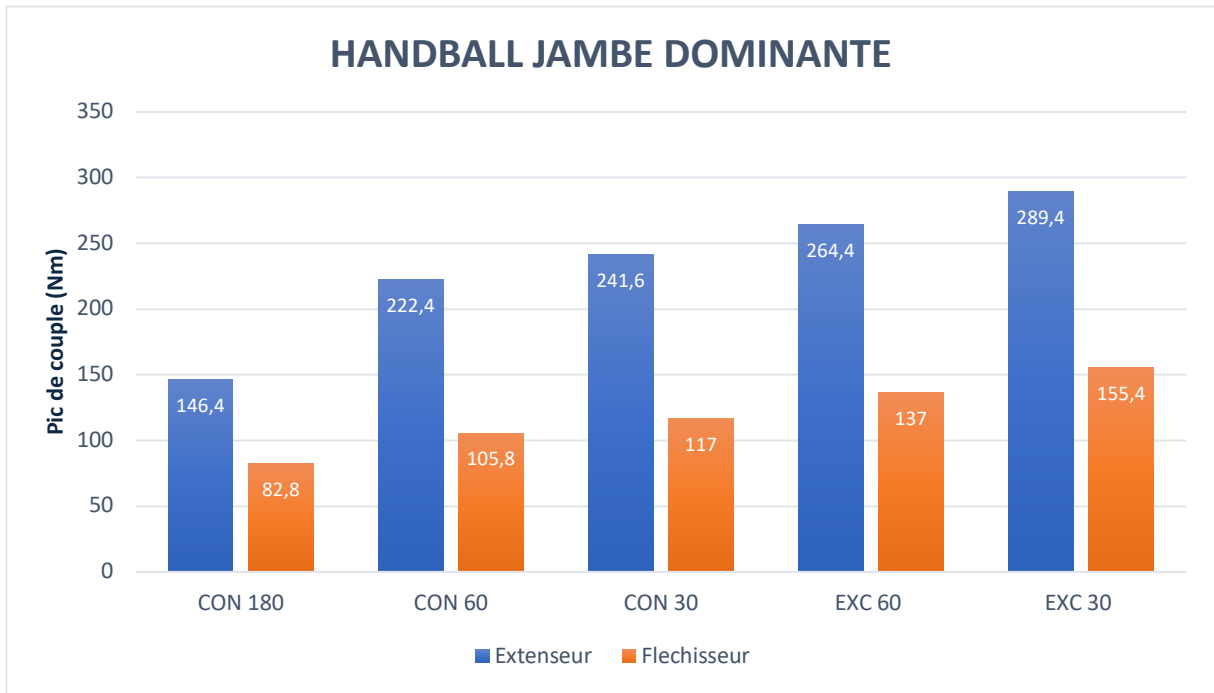


Figure 44 : Graphique représentant les moyennes de chaque pic de couple des handballeurs avec leurs jambes dominantes.

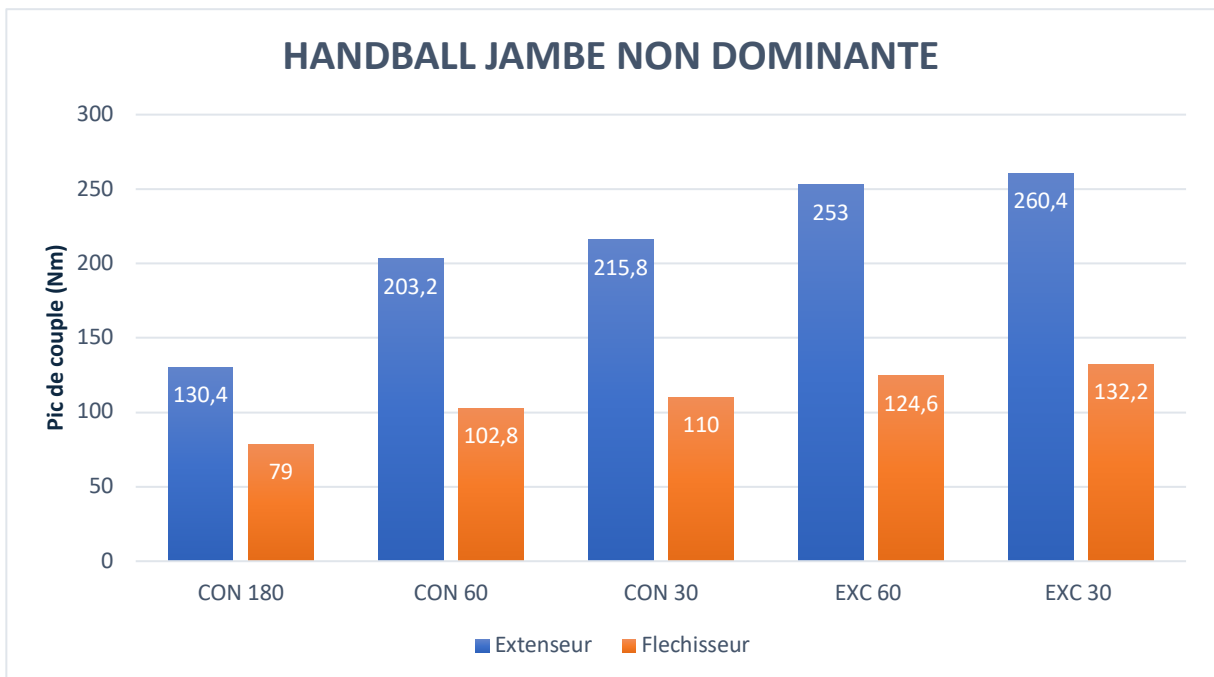


Figure 45 : Graphique représentant les moyennes de chaque pic de couple des handballeurs avec leurs jambes non dominantes.

4.3 Résultats comparatifs des Ratios Isocinétiques

Les résultats concernant le travail comparatif des ratios entre Footballeurs et handballeurs ont concerné les valeurs moyennes des groupes de travail pour toutes les vitesses angulaires selon les deux modes 180°/s, 60°/s, et 30°/s en mode concentriques, puis 60°/s et 30°/s en mode excentrique. Notre choix s'est orienté vers trois ratios ; le ratio conventionnel, le ratio mixte et le ratio bilatérale. Nous avons calculé et utiliser ces ratios car ils sont les plus considérés et les plus exploités dans les explorations isocinétiques (*cités en bibliographie*). Les résultats ont été fractionnés par jambes (dominante ou non dominante) et par sport pratiqué (le football et le handball) (Tableau 48).

Ratio	Handballeurs		Footballeurs		Norme
	Dominant	Non dominant	Dominant	Non dominant	
Ratio Conventionnel					
180°/s CON	0,56	0,50	0,62	0,67*	0,5 < x < 0,8
60°/s EXC	0,53	0,50	0,57	0,65*	0,5 < x < 0,8
Ratio Mixte					
IJ EXC 60 / Q CON 180	0,93	1,00	1,00	1,10	1,0 < x < 1,4
Ratio Bilatérale					
180°/s CON	1,14	1,09	1,15	1,12	< 1,15
60°/s CON	1,09	1,06	1,05	1,10	< 1,15
60°/s EXC	1,14	1,10	1,16	1,05	< 1,15

Tableau 48 : Les différents ratios IJ/Q des jambes dominantes et non dominantes obtenus aux vitesses isocinétiques de travail ; comparés et analysés chez notre population d'étude.
(CON=Concentrique, Exc=Excentrique) (* significatif à p<0,05)

5. Discussion

On note que les résultats concernant les pics de couple (Nm) sur l'ensemble des données obtenues ; les quadriceps développent une force toujours supérieure à celles développées par les IschioJambiers [(FB-JD: Con30°/s Ext=222,8Nm, Flex=113,4Nm. HB-JD: Con30°/s Ext=241,6Nm, Flex117Nm) (FB-JD: Exc30°/s Ext=251,4Nm, Flex=138,6Nm. HB-JD: Exc30°/s Ext=289,4Nm, Flex=155,4Nm). Aussi bien au niveau de la jambe dominante qu'au niveau de la jambe non dominante (FB-JND: Con30°/s Ext=202,8Nm, Flex=118,6Nm. HB-JND: Con30°/s Ext=215,8Nm, Flex=110Nm) (FB-JND: Exc30°/s Ext=238,6Nm, Flex=133,8Nm. HB-JND: Exc30°/s Ext=289,4Nm, Flex=155,4Nm)], cette observation de la supériorité de force des quadriceps par rapport aux IschioJambiers se vérifie chez tous nos sujets handballeurs et footballeurs. Ceci s'explique par les différences structurelles et l'aspect anatomique et fonctionnelles des deux groupes musculaires de l'articulation du genou. Cette différence de force

entre les fléchisseurs (IschioJambiers) et les extenseurs (Quadriceps) en mode concentrique et en mode excentrique repose sur les différences structurelles et fonctionnelles des deux groupes musculaires de l'articulation du genou. Aussi, le travail entre agoniste/antagoniste est souvent dominé par le volume important des quadriceps sur celui des IschioJambiers lors du mouvement d'extension durant lequel le quadriceps est en mouvement concentrique alors que les IschioJambiers sont en mode excentrique c'est-à-dire en résistance. Vu cette différence de volume et cette capacité de travail des quadriceps, ces derniers développent une résistance largement suffisante pour freiner le travail des IschioJambiers lors de la flexion.

Par ailleurs, les couples de force les plus importants sont obtenus par le travail en mode excentrique plus que ceux obtenus par le travail en mode concentrique pour les deux jambes dominante et non dominante, aussi bien chez les footballeurs que chez les handballeurs. Ceci s'explique par la cohérence des principes physiologiques et biomécaniques du compartiment musculaire concernant le travail et le développement de la force ; le travail de résistance oblige le sarcomère à développer plus de force pour maintenir son intégrité structurelle et anatomique alors que le travail en mode concentrique représente le mode structurel et fonctionnel normal du sarcomère (unité fonctionnelle du muscle).

On note aussi une graduation dans le sens de l'augmentation du couple de force pour les deux groupes musculaires extenseurs et fléchisseurs, en fonction de la vitesse angulaire. Ceci confirme la relation de proportionnalité entre le couple de force et la vitesse angulaire de travail dans le sens croissant de la force et décroissant de la vitesse de travail ; plus la vitesse angulaire appliquée est décroissante (180°/s haute, puis 60°/s Intermédiaire, enfin 30°/s basse) plus la force développée est importante [jambe dominante concentrique (FB-JD: Ext - Con180°/s=145Nm-Con30°/s=222,8Nm. Flex- Con180°/s=91Nm-Con30°/s=117,4Nm) (HB-JD: Ext - Con180°/s=146,4Nm-Con30°/s=246,6Nm. Flex- 180°/s=82,8Nm-30°/s=117Nm) concernant l'excentrique (FB-JD: Ext - Exc60°/s=248,8Nm - Exc30°/s=251,4Nm. Flex - Exc60°/s=141Nm-30°/s=138,6Nm) (HB-JD: Ext - Exc60°/s=264,4Nm-30°/s=289,4Nm. Flex - Exc60°/s=137Nm - 30°/s=155,4Nm). jambe non dominante concentrique (FB-JND: Ext- Con180°/s=128,8Nm-Con30°/s=202,8Nm. Flex 180°/s=85,2Nm-30°/s=118,6Nm.) (HB-JND: Ext- Con180°/s=130,4Nm-30°/s=215,8Nm. Flex- 180°/s=79Nm-30°/s=110Nm) Concernant l'excentrique (FB-JND: Ext - Exc60°/s=218,6Nm - Exc30°/s=238,6Nm. Flex - Exc60°/s=141,8Nm-30°/s=133,8Nm) (HB-JND: Ext - Exc60°/s=253,6Nm-30°/s=260,4Nm. Flex - Exc60°/s=124,6Nm - 30°/s=132,2Nm)]. Cet ensemble d'observations sur les résultats obtenus par notre population d'étude, est similaire aux résultats obtenus lors de l'évaluation type (Eval-type) de nos sujets. Nous avons le même constat et les mêmes observations et remarques. Par

contre, les ratios IJ/Q obtenus au niveau de l'Eval-type font apparaitre des distorsions et des déséquilibres entre le travail des fléchisseurs et celui des extenseurs ; indiquant par la même des risques de blessure éventuels. Dans ce cas de figure, nous avons pris l'initiative de proposer des protocoles de renforcement et de réentraînement du compartiment fléchisseur qui est le plus souvent concerné par ce risque de blessure. Pour les cas de blessures avec conséquences graves telle que l'atteinte du ligament croisé antérieur (LCA) de l'articulation du genou, notre prise en charge est complémentaire et associée à celle du staff médical. Elle consiste en une intervention post chirurgicale par la proposition de protocoles de réadaptation et de réathlétisation complétant le protocole de rééducation (kinésithérapie) et encadrant le retour à la pratique du joueur après blessure (*Voir Annexe 1*).

Concernant la comparaison Handballeur/Footballeur à travers les résultats concernant les trois ratios IJ/Q retenus, on peut constater que les handballeurs sont dans la plupart des séries (surtout au niveau des quadriceps) supérieur aux footballeurs mais sans différence significativité démontrée. Mais on n'y remarque tout de même une faiblesse récurrente aux ischio-jambiers (surtout dans la série en concentrique à 60°/s) chez les handballeurs. On remarque également une grande différence de pic de force lors des efforts en excentrique (deux dernières séries) ce qui pourrait être expliqué par les contraintes dû à leur pratique. En effet les handballeurs sont plus souvent amenés à réaliser des efforts excentriques, surtout lors de leur effort défensif.

Le calcul et l'application des différent ratios, nous a permis de constater très peu de résultats significatifs ; les seuls obtenus ont été constatés sur les jambes non dominantes des footballeurs concernant les ratios conventionnels ($RC = IJ/Q$ agoniste/antagoniste) (RC Jambe ND : $Con = 0,67$ et $Exc = 0,65$). Ceci indique que les jambes non dominantes des footballeurs restent équilibrées et présentent moins de risque de blessures que celles non dominantes des handballeurs (RC : $Con = 0,56$, $Exc = 0,5$). Cette observation est confirmée par le ratio mixte ($RM = IJ Exc 60/Q Con 180$), plus équilibrés pour les footballeurs ($D=1$, $ND=1,10$) que ceux obtenus par les handballeurs ($RM : ND=1$) alors que le ratio pour la jambe dominante des HB est de 0,93 hors de la marge de $1,0 < RM < 1,4$ et donc un déséquilibre au niveau de la jambe dominante des handballeurs.

Les ratios bilatérales (*Norme RB < 1,15*) obtenus pour les vitesses angulaires de 180°/s, 60°/s en concentrique et 60°/s en excentrique aussi bien pour les extenseurs que les fléchisseurs montrent un équilibre fragile chez les handballeurs par rapport aux footballeurs, sans indication statistique d'une différence significativité. Ces indications portées par les ratios sont conformes à ceux rapportées par plusieurs études. Les ratios Mixtes n'ont pas montré de tendance significative malgré des résultats légèrement supérieur chez les footballeurs.

Il faut tout de même préciser que majoritairement, nos ratios restent dans « les normes de sécurité pour la pratique », similaires à ceux des travaux de Croisier et auteurs spécialistes de l'exploration isocinétique. On peut considérer que nos footballeurs et nos handballeurs sont en moyenne sans risque potentiels de blessures, hormis un sous-groupe de handballeurs dont leur jambe dominante reste concernée par un risque.

6. Conclusion

Dans notre étude comparative entre footballeurs et handballeurs relative à la pratique intermittente et intensive sur deux espaces de jeux différents, l'un plus réduit que le second ; avait pour premier objectif la quantification et l'observation des blessures éventuelles en lien avec la pratique sur ces deux espaces de jeux différents en termes de dimensions ; le premier allant de 40-44 m de longueur à 22-25m de largeur pour le Handball (Terrain dépendant de l'espace de jeu, d'évolution et de compétition et du type de salle) alors que le terrain de Football oscille entre 120m de longueur pour 90m de largeur pour le grand terrain, et le terrain semi-olympique est plus réduit (L=90m/l=45m). Notre second objectif de l'étude, concernait la mise en évidence de l'optimisation de certains facteurs et déterminants physiques et physiologiques de la performance chez les joueurs pratiquant sur des espaces et des jeux réduits.

Aussi, notre démarche était de vérifier la corrélation possible entre la pratique sur terrain réduit (HB) et l'optimisation de la performance relative, par rapport aux caractéristiques de la pratique footballistique. Pour cela, nous avons sélectionné un échantillon de vingt-quatre jeunes joueurs masculins ($n=24$), constitué de douze ($n=12$) joueurs de handball et douze ($n=12$) joueurs de football.

Les handballeurs s'entraînent et pratique sur un espace plus réduit alors que les footballeurs pratiquent sur un plus grand espace et s'entraînent et se préparent sur des petits terrains en jeux réduits. Plusieurs études constatent que le taux de blessures est plus important en entraînement que durant les matchs. Notons, que la pratique des jeux réduit est plus exploitée en préparation physique et en entraînement avec des intensités hautes et même très haute le plus souvent et des changements de directions explosifs, ce qui nous laisse supposer que cette pratique peut engendrer plus de blessures chez les handballeurs et moins chez les footballeurs. Sachant par ailleurs, que l'articulation la plus impactée en termes de blessures sont le genou et la cheville. De ce fait, notre choix s'est orienté vers l'étude de l'articulation du genou.

Par une analyse comparative d'un ensemble de données physiologiques, biomécaniques et cinématiques de l'articulation du genou (couple de force, puissance articulaire, ratio isocinétiques, travail musculaire...) entre ces deux groupes sportifs ; par l'utilisation d'un dynamomètre isocinétique de type Cybex Norm. Notre choix de l'articulation du genou comme zone articulaire

d'évaluation et d'exploration a été un choix judicieux, confirmé par nos résultats obtenus et la méthodologie utilisée. Le déséquilibre de force au niveau de l'articulation du genou entre les fléchisseurs (IschioJambiers) et les extenseurs (Quadriceps) en mode concentrique et en mode excentrique représente un facteur potentiel d'apparition de blessure car ce travail entre Agoniste/Antagoniste est souvent dominé par le volume important des quadriceps sur celui des IschioJambiers lors du mouvement d'extension durant lequel le quadriceps est en mouvement concentrique alors que les IschioJambiers sont en mode excentrique c'est-à-dire en résistance. Ce constat biomécanique du mode de travail et des mouvements respectifs de l'articulation du genou constituent une approche d'évaluation des risques de blessures et aussi une méthode objective de prévention.

Ce constat de risque de blessures a été estimé par certaines de nos données biomécaniques articulaires et musculaires, et confirmé par certains ratios isocinétiques convergent dans le sens de plus de risques pour les handballeurs. Dans l'ensemble, nos résultats montrent un bon équilibre articulaire du genou chez les deux populations d'étude avec très peu de variantes cinématiques entre-elles et plus de similitudes dans les sollicitations musculaires. Ceci indique que les deux groupes d'étude (HB et FB) ont développés des bonnes adaptations musculaires dans l'ensemble et en phase avec leurs pratiques respectives et répondant aux exigences de ces deux sports collectifs.

En conclusion, notre investigation dans le cadre de cette étude comparative orientée vers l'exploration isocinétiques de l'appareil locomoteur, a permis d'approfondir notre compréhension des profils musculaires distincts chez les handballeurs et les footballeurs, en dégagant des recommandations adaptées pour l'entraînement, la préparation physique, la réhabilitation et la réathlétisation.

V. Discussion Générale

L'analyse du jeu réduit 2c2 en football, en tant que méthode d'entraînement contextualisée, confirme son intérêt pour solliciter simultanément les dimensions techniques, tactiques et physiques du joueur. Ce format permet une intensité de jeu élevée, notamment en raison de la limitation d'espace et de temps d'intervention, ce qui entraîne une stimulation accrue des capacités motrices, perceptives et décisionnelles (Hill-Haas et al., 2011 ; Ford et al., 2010). Les études analysées mettent en évidence que ce type d'exercice favorise la précision technique sous pression, améliore les interactions collectives (jeu en triangle, transitions), tout en sollicitant la filière anaérobie par les répétitions d'actions intenses (Dellal et al., 2011). L'intérêt physiologique du 2c2 réside donc dans sa capacité à combiner performance motrice et transfert direct vers la situation de match, notamment en contextes de haute intensité (Clemente et al., 2014).

Ce constat constitue une base de réflexion pertinente pour envisager l'intégration des jeux réduits comme outil complémentaire, voire substitutif, au travail physique analytique, notamment pour des objectifs liés à la force et à la puissance.

En continuité directe avec les constats issus du format 2c2, l'étude 2 s'intéresse aux effets du jeu réduit 3c3 sur des paramètres de fatigue musculaire et de gestion de la charge. L'un des apports majeurs de cette étude est de montrer que l'intensité de l'effort perçue peut varier fortement en fonction des contraintes de l'exercice, notamment en termes de mobilité des appuis ou de structure du jeu. L'utilisation de l'échelle RPE pour la quantification de la charge externe (CE) permet une évaluation intéressante, mais reste limitée dans sa capacité à discriminer précisément les différentes intensités internes. Cela souligne l'importance, pour l'entraîneur, de moduler les paramètres de l'exercice (temps de jeu, densité, récupération) afin d'éviter une accumulation de fatigue non contrôlée susceptible de générer des blessures ou une baisse de performance.

Cette étude vient ainsi nuancer les effets bénéfiques précédemment évoqués des jeux réduits en soulignant que leur efficacité repose sur une planification rigoureuse et un suivi individualisé.

L'intégration d'un troisième protocole comparatif incluant la pliométrie, les jeux réduits (SSG) et une méthode traditionnelle permet de prolonger les réflexions précédentes sur la préparation physique intégrée. Les résultats démontrent une amélioration significative de plusieurs capacités physiques clés (RSA, RCOD, VAM, VAL), en particulier pour les groupes SSG et pliométrie, comparativement au groupe témoin.

Cette convergence des effets positifs des SSG et de la pliométrie s'explique par des sollicitations spécifiques : les SSG favorisent les efforts répétés à intensité élevée et les prises de

décision rapides, tandis que la pliométrie agit directement sur le cycle étirement-raccourcissement (SSC), développant ainsi la puissance explosive (Asadi et al., 2015).

L'élément central à retenir est que les jeux réduits induisent une intensité de travail accrue, notamment en raison de facteurs de motivation compétitive (limitation de touches, pénalités), ce qui explique leur efficacité sur la VO₂max, la capacité anaérobie, ainsi que la répétition des sprints (Köklü, 2012 ; Clemente et al., 2023). En revanche, leur efficacité reste moindre sur des qualités spécifiques comme la détente verticale, en raison d'un volume insuffisant de sauts ou de travail pliométrique pur.

En somme, cette trilogie d'études renforce l'idée qu'une planification intégrée, alternant jeux réduits et entraînements ciblés (comme la pliométrie), permet de maximiser les adaptations neuromusculaires, métaboliques et techniques, à condition de maîtriser la charge externe et de prendre en compte les facteurs de fatigue musculaire différée.

Dans la continuité des préoccupations évoquées dans la première partie, mais avec une focalisation sur la prévention des blessures par l'approche multifactorielle, un enjeu crucial dans la performance et la longévité des jeunes footballeurs. En intégrant des outils de suivi de la charge d'entraînement (RPE, ratio A/C) et des protocoles prophylactiques individualisés selon les profils FMS, elle s'aligne sur les recommandations de McCall et al. (2015), qui identifient la fatigue et les antécédents de blessure comme les deux principaux facteurs de risque.

Les résultats révèlent que la majorité des blessures survenues sont apparues lorsque le ratio A/C était en dehors de la zone de développement ($0.8 < A/C < 1.5$), ce qui rejoint les conclusions de Gabett (2016) et Malone et al. (2017) sur l'intérêt du ratio A/C comme outil de prévention. L'étude montre également que les pics de variation de charge hebdomadaire supérieurs à 50 % en deuxième partie de saison sont associés à une augmentation des blessures, en accord avec les recommandations de gestion progressive de la charge (Gabett, 2016).

En lien direct avec les observations sur la fatigue induite par les jeux réduits (Partie 1), cette étude rappelle que la gestion de la charge, bien que subjective via la RPE, reste un levier important pour moduler le stress physiologique global et limiter la surcharge cumulative.

Les résultats relatifs aux antécédents et profils à risque (FMS) renforcent cette logique : les joueurs identifiés comme à risque élevé sont plus fréquemment blessés, ce qui valide l'outil comme indicateur préventif. L'efficacité des protocoles prophylactiques individualisés est confirmée par une nette diminution des blessures sur les zones identifiées comme faibles, notamment entre la première et la seconde moitié de saison.

Cependant, l'augmentation globale des blessures en seconde partie de saison, notamment sur des zones non ciblées, invite à repenser une prévention globale complémentaire, non seulement

individualisée mais aussi généralisée. Ce constat souligne l'importance de maintenir deux séances préventives hebdomadaires, l'une ciblée, l'autre complète, afin de couvrir l'ensemble des sollicitations propres au football.

Ainsi, cette partie complète les observations des parties précédentes en montrant que si les jeux réduits et les charges physiques favorisent la performance, leur encadrement par des outils de surveillance et de prévention est indispensable pour garantir une progression sans majoration. Dans le prolongement des résultats de la partie 2 sur les indicateurs de risque, cette étude 2 de la 2ème partie s'attache à identifier les tests de terrain les plus pertinents pour anticiper les blessures, en se concentrant sur des variables physiques mesurées en début de saison. Les résultats obtenus confirment que certaines qualités comme la détente verticale (CMJ) sont associées à une réduction du risque de blessure, ce qui souligne l'intérêt d'intégrer des tests explosifs dans les bilans pré-saison (Henderson et al., 2010). L'absence de relation significative avec la taille ou la masse confirme les travaux d'Arnason et al. (2004), tandis que la masse grasse apparaît comme un facteur aggravant, notamment pour les blessures sans contact aux membres inférieurs (Fousekis et al., 2011). Ce lien entre surcharge pondérale et contraintes articulaires anormales renforce l'idée qu'un suivi anthropométrique rigoureux s'impose dans les plans de prévention.

Le lien entre déséquilibres musculaires et blessures, notamment à travers les ratios agonistes/antagonistes (IJ/Q), valide l'usage de l'évaluation isocinétique en pré-saison, tel que le proposent Croisier et al. (2008). Les asymétries détectées dans les ratios, en particulier chez les joueurs présentant des récurrences, justifient la mise en place de protocoles de correction individualisés, en lien direct avec les données de la partie 2 sur la prévention ciblée.

En outre, l'évaluation de l'équilibre fonctionnel entre jambe dominante et non-dominante met en lumière des aspects peu explorés, notamment l'impact de la jambe de support sur la posture et la stabilité lors des gestes techniques (Oshita & Yano, 2010 ; Grygorowicz et al., 2010). Ces considérations doivent enrichir les tests fonctionnels et les suivis biomécaniques.

Enfin, l'absence de corrélation entre la VMA et le risque de blessure dans cette étude s'explique probablement par le moment du test (début de saison, après repos), mais ne remet pas en cause l'intérêt de cette variable comme indicateur de fatigue chronique (Murphy et al., 2003). Il en va de même pour la souplesse, dont la valeur prédictive reste controversée, comme l'ont montré les travaux divergents de Watson (2001) et Ekstrand & Gillquist (1982). Ce débat illustre la complexité des variables « molles » en physiologie du sport, souvent dépendantes du contexte, de la méthode de mesure et du profil de l'athlète, du risque de blessure.

La dernière étude vient clore notre réflexion en comparant les profils isocinétiques entre footballeurs et handballeurs, et en analysant les risques potentiels à travers les ratios de force et les

pics de couple. Les résultats révèlent une supériorité constante des quadriceps sur les ischio-jambiers, quel que soit le mode de contraction, ce qui s'explique par la morphologie fonctionnelle des groupes musculaires concernés.

Les données montrent également que le travail excentrique développe des forces supérieures au mode concentrique, conformément aux bases physiologiques du muscle, et renforcent la nécessité de travailler les fléchisseurs en excentrique pour équilibrer les contraintes sur l'articulation du genou. La relation entre vitesse angulaire et production de force, observée ici, illustre une loi bien connue en biomécanique : à faible vitesse, la force maximale est plus élevée. Ces données renforcent l'idée que l'évaluation doit être multi-vitesses pour avoir une image fidèle du potentiel musculaire.

Concernant les ratios IJ/Q, l'étude met en évidence une relative supériorité des footballeurs sur les handballeurs, surtout pour les jambes non dominantes. Les déséquilibres identifiés chez certains joueurs de handball, notamment au niveau de la jambe dominante, peuvent s'expliquer par des contraintes spécifiques liées au sport, comme les efforts défensifs excentriques intenses.

Enfin, les ratios bilatéraux et mixtes confirment la valeur prédictive de l'isocinétisme, sans toutefois toujours aboutir à des différences significatives. Ces résultats complètent ceux de la première étude de cette partie, en apportant un éclairage croisé entre disciplines. Ils renforcent la conclusion que l'évaluation musculaire individualisée, incluant les ratios fonctionnels, devrait être une étape-clé dans le suivi des sportifs, aussi bien pour prévenir les blessures que pour guider la réathlétisation.

VI. Conclusion Générale

Ce travail de recherche a permis d'explorer plusieurs axes fondamentaux liés à la performance physique et à la prévention des blessures dans le contexte du football, en s'appuyant sur des protocoles expérimentaux rigoureux et une approche multifactorielle. À travers les différentes études menées, plusieurs enseignements majeurs peuvent être tirés.

Après vérification et paramétrage de chaque type d'exercice contextualisé (dimension de terrain, rapport d'opposition, règles, temps de travail et temps de récupération, nombre de séquences, conditions environnementales, qualité physique développée par chaque type de jeux réduit), l'objet de notre travail était l'optimisation de ces situations avec ballon. 24 joueurs de niveau district ont participé à l'ensemble des tests d'évaluation d'entrée-sortie randomisés ainsi qu'au protocole d'entraînement. Répartis en 2 groupes U17 (n=12) et U16 (n=12) d'âge respectif de $16,08 \pm 0,5$ ans et de $15,33 \pm 0,49$ ans, les deux groupes se sont révélés homogènes en termes de taille ($D=1.92 \pm 0,48$ cm), de poids ($D=0,23 \pm 0,8$ Kg) et d'IMC ($D= 0,73 \pm 0,97$).

Ils ont tous réalisé un CMJ avant le protocole et un second CMJ 24h après ce dernier. Le protocole testé reposait sur un jeu réduit 2c2 sur un espace de 19 x 19 m (361 m²), soit 90,25 m² par joueur, avec 1 min de travail et 2 min de récupération sur une période de 24 min. Les consignes techniques et tactiques visaient à réduire les angles de passe, conserver le ballon et favoriser la disponibilité. Ce jeu, mis en place 72h après un match et précédé d'un échauffement standardisé, a permis d'induire une réponse neuromusculaire notable.

L'application et le calcul de l'indice d'amplitude montre une très grande évolution pour le nombre de sprint suivi par une grande évolution de la distance réalisée en très haute intensité. Le nombre d'accélération et de décélération restent significatifs. On note par ailleurs, une dégradation dans la réalisation du CMJ et du CMJ+24h ainsi qu'une dégradation du VAM. Ces résultats montrent clairement le développement des hautes intensités, des distances parcourues importantes et de l'installation de la fatigue lors du travail sur des terrains réduits selon des protocoles de jeux réduits. Éléments, confirmés par l'analyse du lactate dans le sens de la fatigue et des efforts intenses fournies, rapportés par notre étude.

Les résultats des tests CMJ montrent une différence significative en pré et post protocole. L'indice de performance présente une faible dégradation pour les U16 et une moyenne dégradation pour les U17. Selon le modèle de Nick BROAD, la densité de 101 ± 13 m² par joueur traduit une dominante force, confirmant l'intérêt de cette forme de travail contextualisé dans une logique de substitution à un entraînement analytique à dominante force.

Dans la continuité de la première étude, nous avons affiné l'analyse des jeux contextualisés, cette fois avec des joueurs de niveau régional (n=12). Après évaluation CMJ avant et après, deux protocoles ont été comparés : un jeu 3c3 avec appuis fixes, puis un second jeu identique mais avec appuis mobiles (passe et va). Le terrain de 35 x 45 m (1575 m²) offrait une densité de 132 m² par joueur, avec 2'30 min de travail et de récupération sur 5 répétitions. Comme précédemment, les règles de jeu visaient à optimiser la conservation et la récupération du ballon.

Les deux jeux ont été mis en œuvre à 48h d'un match, encadrés par un échauffement standardisé et suivis d'un jeu 10c10 sur terrain complet avec gardiens. Les résultats montrent une différence significative entre pré et post-tests CMJ. L'indice de performance se dégrade modérément dans le premier jeu, mais plus fortement dans le second. Cette différence suggère que l'ajout de contraintes dynamiques comme le mouvement des appuis accentue la sollicitation neuromusculaire. À l'instar de la première étude, le modèle de Nick BROAD appuie la prédominance du travail de force dans ce type de format.

Ces deux premières études confirment scientifiquement que les jeux réduits bien paramétrés peuvent efficacement remplacer un travail analytique ciblé sur la force, tout en intégrant des composantes techniques et tactiques propres au jeu réel.

En prolongement logique des analyses précédentes, l'étude 3 de la première partie compare l'efficacité de deux protocoles spécifiques — pliométrie et jeux réduits — à un entraînement standard. L'objectif était de mesurer leur impact sur les capacités de sprint répété, les changements de direction, la détente et la VO₂ max.

Les résultats montrent des différences significatives entre les mesures pré- et post-entraînement, en faveur des protocoles spécifiques, sauf pour la détente verticale, qui ne présente pas de différence notable entre les groupes. Ces observations soulignent l'importance de diversifier les stimuli d'entraînement en fonction des objectifs de la période et du profil des joueurs.

Les trois études de cette première partie permettent ainsi de confirmer que les jeux réduits contextualisés peuvent être utilisés à des fins de développement physique, notamment neuromusculaire, dans une logique intégrée et complémentaire aux méthodes traditionnelles comme la pliométrie.

Poursuivant l'objectif de performance globale, l'étude 1 de la 2ème partie se concentre sur la prévention des blessures. Le travail mené visait à réduire l'incidence des blessures à travers une approche multifactorielle, combinant identification des faiblesses via le FMS, mise en place de programmes prophylactiques individualisés, et suivi de la charge via l'échelle RPE et le ratio A/C. Une étude de cohorte menée dans un centre de formation a révélé une association significative entre des fluctuations hebdomadaires trop importantes du ratio A/C et le risque de blessure.

L'analyse démontre également une efficacité relative des exercices prophylactiques sur les zones ciblées. Toutefois, une incidence globale plus élevée des blessures en seconde partie de saison souligne l'importance de généraliser la prévention à l'ensemble du corps.

Ces résultats confirment scientifiquement que la gestion de la charge et l'individualisation des plans de prévention sont des leviers efficaces, tout en rappelant les limites méthodologiques liées aux outils subjectifs, à la taille de l'échantillon.

La dernière partie de ce mémoire complète l'analyse en explorant les liens entre les performances physiques et les blessures. L'étude révèle une relation significative : celle entre les résultats au test CMJ et le total des blessures ($p = 0,02$). Les autres tests ne montrent pas de relation à tendance majorée, probablement en raison du manque de puissance statistique lié au faible nombre de sujets.

Ces résultats incitent à poursuivre les études longitudinales avec des effectifs plus importants, tout en tenant compte des dernières avancées scientifiques pour consolider les données et améliorer les modèles de prédiction.

Enfin, la comparaison interdisciplinaire entre footballeurs et handballeurs sur les capacités excentriques n'a pas mis en évidence de différences significatives, malgré une légère supériorité chez les handballeurs. Ces observations, bien que limitées par la taille de l'échantillon, ouvrent la voie à des analyses plus fines par poste et exigences spécifiques.

Le recours au dynamomètre isocinétique se confirme comme un outil fiable et prometteur dans la prévention des blessures, à condition d'individualiser les protocoles et d'élargir leur usage à plus grande échelle, notamment dans les structures sportives et universitaires.

Au vu de la densité de nos résultats, de leurs orientations objectives ; de leurs observations commentées et leurs constats basés sur des analyses scientifiques rigoureuses ainsi que de leurs applications scientifiques et de terrain ; nous estimons avoir répondu et vérifié nos hypothèses émises avant la réalisation de nos études et nos travaux ; citées au registre de notre problématique.

Néanmoins, La performance sportive et l'entraînement restent des phénomènes multifactoriels complexes, impliquant de nombreux aspects interdépendants. De ce fait, les modèles proposés dans la littérature scientifique reflètent souvent les domaines d'expertises spécifiques de leurs auteurs. Alors, qu'il est possible de définir une approche générique de la performance et des principes fondamentaux de l'entraînement sportif, tout en reconnaissant que chaque discipline a ses propres caractéristiques

Enfin, faire le point sur les connaissances concernant la performance et l'entraînement dans le domaine de la pratique du football en particulier et la pratique physique et sportive en générale, revient à considérer les travaux récents indiquant les principaux processus et paramètres

responsables des caractéristiques physiologiques et mécaniques du compartiment musculaire d'une part et les adaptations physiologiques fibrillaires et métaboliques en termes d'hypertrophie et d'hyperplasie d'autre part. Tout en rappelant les bases de la genèse de la contraction musculaire source complexe de la force, de la vitesse et du travail musculaire.

Les conclusions de notre approche et de nos études pourraient ainsi contribuer à l'amélioration des performances sportives et à la réduction des risques de blessures, offrant des perspectives nouvelles pour l'encadrement et la préparation physique des joueurs.

Perspectives

Au vu de l'importance des jeux réduits en football rapportée par plusieurs études, mais aussi explorée et vérifiée par nos études, il serait intéressant en perspective de nous intéresser et de nous orienter vers l'exploration des formes d'adaptations physiologiques et physiques spécifiques à ce type de pratique en espace réduit et intensif.

D'une part par la continuité de travaux terrain par l'application des avancées en sciences et techniques des activités physiques et sportives en termes de protocoles et d'applications terrain ; conjugués aux avancées des travaux d'explorations et d'évaluations réalisées au sein de laboratoires spécifiques ainsi que dans des structures sportives normées d'autre part. Ceci, nous permettra une meilleure convergence vers la caractérisation des profils physiques et physiologiques de la performance vis-à-vis de la préparation physique spécifique en jeux réduits en football.

VII. Références bibliographiques

A

- Aalkjaer, Camilla (2018). *Physical Characteristics and Physical Fitness in Norwegian Junior Elite Team Handball Players*.
- Aaron J. Coutts; Aron J. Murphy; Ben J. Dascombe (2004). *Effect of direct supervision of a strength coach on measures of muscular strength and power in young rugby league players*.
- Abernethy, P. J., Jurimae, J., Logan, P. A., Taylor, A. W., & Thayer, R. E. (1995). Acute and chronic response of skeletal muscle to resistance exercise. *Sports Medicine*.
- Andrade, M. dos S., De Lira, C. A. B., Koffes, F. de C., Mascarin, N. C., Benedito-Silva, A. A., Da Silva, A. C. (2012). Isokinetic hamstrings-to-quadriceps strength ratio in soccer players: a comparison of players at different levels. *Journal of Sports Science & Medicine*.
- A Merzouk, JD Lalau, PL Doutrelot, H Mehdioui; 2013; Muscular and cardiorespiratory characterization of the physical effort concerning the young insulin dependent Diabetic;European Journal of Sports Medicine (EUJSM).. Vol1. S1-118-121.
- A.Merzouk , M.Ikiouane , A.Dumont ,M. Chlif , S.Ahmaidi , Doutrelot PL. 2009; Profil isocinétique et cardiorespiratoire des footballeuses universitaires; Edit. PUV. In Science&Football. PUV,. 260-272.
- A. Merzouk, P. Portero, B. Boudailliez, J. D. Lalau and D. Gamet; 2001; Diabetic child during exercise: a multiparametric study; Sc Sports., Vol16, Issue 2, 104-106.
- Arnason, A.; Gudmundsson, A.; Dahl, H.A.; Johannsson, E. (1996). *Soccer injuries in Iceland. Scand J Med Sci Sports, 6: 40-45*.
- Arnason, A.; Sigurdsson, S.; Gudmundsson, A.; Holme, I.; Engebretsen, L.; Bahr, R. (2004). *Risk Factors for Injuries in Football. American Journal of Sports Medicine, 32; 5*.

B

- Bakken, A.; Targett, S.; Bere, T.; Eirale, C.; Farooq, A.; Mosler, A.; Tol, J.; Whiteley, R.; Khan, K.; Bahr, R. (2018). *Muscle Strength Is a Poor Screening Test for Predicting Lower Extremity Injuries in Professional Male Soccer Players. The American Journal of Sports Medicine, 46(6): 1481–1491*.
- Baltzopoulos, V., Brodie, D. A. (1989). Isokinetic dynamometry. Applications and limitations. *Sports Medicine*.
- Bangsbo J. (1994). *The physiology of soccer: with special reference to intense intermittent exercise. Acta Physiologica Scandinavia, 15, 619, 1-15*.
- Bangsbo J., Norregaard L., Thorsoe F. (1991). *Activity profile of competition soccer. Canadian Journal of Sports Sciences, 16, 2, 110-116*.
- 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*.
- Bangsbo, J., Iaia, F. M., & Krstrup, P. (2008). The Yo-Yo intermittent recovery test: A useful tool for evaluation of physical performance in intermittent sports. *Sports Medicine, 38(1), 37–51*.
- Banyard, Harry G.; Nosaka, Kazunori; Haff, G. Gregory (2017). *Reliability and Validity of the Load-Velocity Relationship to Predict the 1RM Back Squat*.
- Barbero, Jose Carlos; Granda-Vera, Juan; Calleja-González, Julio; Del Coso, Juan (2014). *Physical and physiological demands of elite team handball players*.

- Billat, Véronique. (2004). *Physiologie et méthodologie de l'entraînement: De la théorie à la pratique*. Paris : De Boeck Supérieur.
- Bitscharo Michel. *Exigence de football de haut niveau, FIFA instruction, Suisse 2014*.
- Bloom, David A.; Kaplan, Daniel J.; Mojica, Edward; Strauss, Eric J.; Gonzalez-Lomas, Guillem; Campbell, Kirk A.; Alaia, Michael J.; Jazrawi, Laith M. (2021). *The Minimal Clinically Important Difference: A Review of Clinical Significance*.
- Bompa, T. O., & Haff, G. G. (2009). *Periodization: Theory and Methodology of Training. Human Kinetics*.
- Borresen, Jill; Lambert, Michael Ian (2009). *The Quantification of Training Load, the Training Response and the Effect on Performance*.
- Bouchard, C., Rankinen, T., & Timmons, J. A. (2011). *Genomics and genetics in the biology of adaptation to exercise. Comprehensive Physiology, 1(3), 1603-1648*.
- Bouguezzi, Raja; Negra, Yassine; Chaabene, Helmi; Sammoud, Senda (2021). *The Reliability and Sensitivity of Change of Direction Deficit and Its Association with Linear Sprint Speed in Prepubertal Male Soccer Players*.
- Boullosa, Daniel; Casado, Arturo; Claudino, João Gustavo; Jiménez-Reyes, Pedro; Ravé, Guillaume; Castaño-Zambudio, Adrián; Lima-Alves, Adriano; de Oliveira Jr., Silvio Assis; Dupont, Gregory; Granacher, Urs; Zouhal, Hassane (2020). *Do you Play or Do you Train? Insights From Individual Sports for Training Load and Injury Risk Management in Team Sports Based on Individualization*.
- Bradley, P.; Portas, D. (2007). *The relationship between preseason range of motion and muscle strain injury in elite soccer players. Journal of Strength and Conditioning Research, 21(4), 1155–1159*.
- Branco, Braulio; Fragoso, Isabel; Massuca, Luis; Miarka, Bianca (2015). *Physical Fitness Attributes of Team-Handball Players are Related to Playing Position and Performance Level*.
- Brocherie, F.; Girard, O.; Forchino, F.; Al Haddad, H.; Dos Santos, Milleta, G. (2014). *Relationships between anthropometric measures and athletic performance, with special reference to repeated-sprint ability, in the Qatar national soccer team. Journal of Sports Sciences. DOI: 10.1080/02640414.2013.862840*.
- Burke, L., & Deakin, V. (2015). *Clinical Sports Nutrition. McGraw-Hill Education*.
- Buchheit, M., & Laursen, P. B. (2013). *High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: Cardiopulmonary emphasis. Sports Medicine, 43(5), 313–338*.
- Buchheit, M. (2008). *La performance en sports intermittents: vers une meilleure individualisation de l'entraînement ? Staps, 80(2), 15–28*.

C

- Castaño-Zambudio, Adrián; Claudino, João Gustavo; Dupont, Gregory; Jiménez-Reyes, Pedro; Lima-Alves, Adriano; Oliveira Jr., Silvio Assis de; Ravé, Guillaume; Zouhal, Hassane; Boullosa, Daniel; Casado, Arturo (2020). *Do you Play or Do you Train? Insights From Individual Sports for Training Load and Injury Risk Management in Team Sports Based on Individualization*.
- Castellano, J.; Casamichana, D. (2015). *What Are the Differences between First and Second Divisions of Spanish Football Teams? Int. J. Perform. Anal. Sport, 15, 135–146*.

- Cazorla G., Léger Luc. *Comment évaluer et développer votre capacité aérobie, Association Recherche et Evaluation en Activité Physique et en Sport.*
- Champely, Stéphane (2004). *Statistique vraiment appliquée au sport : cours et exercices. De Boeck.*
- Chomiak, J.; Junge, A.; Peterson, L.; Dvorak, J. (2000). *Severe Injuries in Football Players: Influencing Factors. Am. J. Sports Med, 28; 58.*
- Cometti G. (2012). *La pliométrie, méthode de restitution d'énergie au service de la performance sportive. Dijon : Editions Chiron. L'effet de l'entraînement intermittent supra-max sur le développement de la VAM et la Puissance Musculaire chez les footballeurs.*
- Cometti G. *Étude des effets de différentes séquences du travail type intermittent, document dirigé par.*
- Coutts, Aaron J.; Murphy, Aron J.; Dascombe, Ben J. (2004). *Effect of direct supervision of a strength coach on measures of muscular strength and power in young rugby league players.*
- Coyle, E. F., Martin, W. H., Sinacore, D. R., Joyner, M. J., Hagberg, J. M., & Holloszy, J. O. (1984). *Time course of loss of adaptations after stopping prolonged intense endurance training. Journal of Applied Physiology, 57(6), 1857-1864.*
- Croisier, J. L., Forthomme, B., Namurois, M. H., Vanderthommen, M., & Crielaard, J. M. (2002). *Hamstring muscle strain recurrence and strength performance disorders. The American Journal of Sports Medicine.*
- Croisier, J. L., Forthomme, B., Namurois, M. H., Vanderthommen, M., & Crielaard, J. M. (2008). *Hamstring Muscle Strain Recurrence and Strength Performance Disorders. The American Journal of Sports Medicine.*
- Croisier, J.L.; Ganteaume, S.; Binet, J.; Genty, M.; Ferret, J.M. (2008). *Strength Imbalances and Prevention of Hamstring Injury in Professional Soccer Players. The American Journal of Sports Medicine, Vol. 36, No. 8.*

D

- Dauty, M., Potiron-Josse, M., Rochcongar, P. (2003). *Identification of previous hamstring muscle injury by isokinetic concentric and eccentric torque measurement in elite soccer players. Isokinetics and Exercise Science.*
- Dauty, M.; Potiron-Josse, M.; Rochcongar, P. (2012). *Consequences and prediction of hamstring muscle injury with concentric and eccentric isokinetic parameters in elite soccer players. Ann Readapt Med Phys, 46: 601-6.*
- David A. Bloom; Daniel J. Kaplan; Edward Mojica; Eric J. Strauss; Guillem Gonzalez-Lomas; Kirk A. Campbell; Michael J. Alaia; Laith M. Jazrawi (2021). *The Minimal Clinically Important Difference: A Review of Clinical Significance.*
- Dellal A. (2008). *De l'entraînement à la performance en football. De Boeck.*
- Dellal A. (2011). *Comparison of physical and technical performance in European professional soccer match-play: the FA Premier League and La LIGA. Our J Sport Sci AA(2): 51-59.*
- Dellal A. (2016). *Une saison de préparation physique en football. De Boeck supérieur, 1-15.*

- Dellal Alexandre. *Analyse de l'activité physique du footballeur et de ses conséquences dans l'orientation de l'entraînement, application spécifique aux exercices intermittents, courses à hautes intensités et aux jeux réduits, décembre 2008, Université de Strasbourg.*
- Devantier, C. (2012). *Psychological predictors of injury among professional soccer players. Sport Sci, 2012; 20: 5–36.*
- Drawer S, Fuller C (2001). *Propensity for osteoarthritis and lower limb joint pain in retired professional soccer players. Br J Sports Med, 35:402–408.*
- Drawer S, Fuller C (2002). *Evaluating the level of injury in English professional football using a risk-based assessment process. Br J Sports Med, 36:446–45.*
- Drouin, J. M., Valovich-McLeod, T. C., Shultz, S. J., Gansneder, B. M., Perrin, D. H. (2004). *Reliability and validity of the Biodex System 3 Pro isokinetic dynamometer velocity, torque and position measurements. European Journal of Applied Physiology.*
- Dupont G, Nedelec M, McCall A, McCormack D, Berthoin S, Wisløff U (2010). *Effect of 2 Soccer Matches in a Week on Physical Performance and Injury Rate. The American Journal of Sports Medicine. DOI: 10.1177/0363546510361236.*
- Dupont, G., Millet, G. P., & Berthoin, S. (2004). *The effects of intermittent exercise training on aerobic and anaerobic performance. International Journal of Sports Medicine, 25(8), 627–632.*
- Dvir, Z. (2004). *Isokinetics: Muscle Testing, Interpretation and Clinical Applications. Elsevier Health Sciences.*
- Dvorak J, Junge A (2000). *Football injuries and physical symptoms. A review of the literature. Am J Sports Med, 28(5 Suppl):S3-9.*

E

- Eirale C, Tol JL, Farooq A, Smiley F, Chalabi H (2012). *Low injury rate strongly correlates with team success in Qatari professional football. Br J Sports Med, 47:807–808.*
- Ekstrand J, Gillquist G (1982). *The frequency of muscle tightness and injuries in soccer players. Am. J. Sports Med. 10:75–78.*
- Ekstrand J, Hägglund M, Kristenson K, Magnusson H, Waldén M (2013). *Fewer ligament injuries but no preventive effect on muscle injuries and severe injuries: an 11-year follow-up of the UEFA Champions League injury study. British Journal of Sports Medicine, 47:732–737.*
- Ekstrand J, Hägglund M, Waldén M (2011). *Epidemiology of Muscle Injuries in Professional Football (Soccer). American Journal of Sports Medicine, DOI :10.1177/0363546510395879.*
- Ekstrand J, Waldén M, Hägglund M (2016). *Hamstring injuries have increased by 4% annually in men's professional football, since 2001: a 13-year longitudinal analysis of the UEFA Elite Club injury study. British Journal of Sports Medicine, 0:1–8. DOI:10.1136/bjsports-2015-095359.*
- Ekstrand, J., Hägglund, M., Waldén, M. (2011). *Injury incidence and injury patterns in professional football: the UEFA injury study. British Journal of Sports Medicine.*

F

- Fernández-Navarro, J.; Fradua, L.; Zubillaga, A.; Ford, P.R.; McRobert, A.P. (2016). *Attacking and Defensive Styles of Play in Soccer: Analysis of Spanish and English Elite Teams. J. Sports Sci., 34, 2195–2204.g*
- Fleck, S. J., & Kraemer, W. J. (2004). *Designing resistance training programs. Human Kinetics.*
- Foster C, Heimann K, Esten P, Brice G, Porcari J (2001). *Differences in perceptions of training by coaches and athletes. South African Journal of Sports Medicine, Volume 8, Issue 2.*
- Foster, Carl; Lehmann, Manfred Chairs (1998). *Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome.*
- Fousekis K, Tsepis E, Poulmedis P, Athanasopoulos S, Vagenas G (2011). *Intrinsic risk factors of non-contact quadriceps and hamstring strains in soccer: a prospective study of 100 professional players. Br J Sports Med; 45:709-714.*
- Fousekis K, Tsepis E, Vagenas G (2012). *Intrinsic Risk Factors of Noncontact Ankle Sprains in Soccer: a prospective study of 100 professional players. The American Journal of Sports Medicine, Vol. 40, No. 8.*
- Frost DM, Beach TA, Callaghan JP, et al., (2013). *FMS™ scores change with performers' knowledge of the grading criteria – Are general whole-body movement screens capturing “dysfunction”?* *J Strength Cond Res. 29(11): 3037–3044.*

G

- Gacon, Georges. (2000). *L'entraînement en course à pied par intervalles (méthode Gacon).* Paris : Amphora.
- Grant Jarvie, *Sport Culture And Society: An Introduction, Routledge, 2006*
- Gibala, M. J., & McGee, S. L. (2008). *Metabolic adaptations to short-term high-intensity interval training: a little pain for a lot of gain?* *Exercise and Sport Sciences Reviews, 36(2), 58–63.*
- Gonzalo-Skok O, Serna J, Rhea M, Marin P (2015). *Relationships between functional movement tests and performance tests in young elite male basketball players. International Journal Of Sports Physical Therapy, 10(5): 628–638.*
- Gorostiaga, E. M., Granados, C., Ibanez, J., Izquierdo, M. (2006). *Differences in physical fitness and throwing velocity among elite and amateur male handball players. International Journal of Sports Medicine.*
- Gorostiaga, E.M.; Granados, C.; Ibanez, J.; Izquierdo, M. (2005). *Differences in physical fitness and throwing velocity among elite and amateur male handball players.*
- Gorostiaga, E.M.; Granados, C.; Ibanez, J.; Izquierdo, M. (2006). *“Differences in Physical Fitness and Throwing Velocity Among Elite and Amateur Female Handball Players”.*
- Granados, C.; Izquierdo, M.; Ibañez, J.; Bonnabau, H.; Gorostiaga, E.M. (2006). *Differences in Physical Fitness and Throwing Velocity Among Elite and Amateur Female Handball Players.*
- Grygorowicz M, Kubacki J, Pilis W, Gieremek K, Rzepka R (2010). *Selected isokinetic tests in knee injury prevention. Biol.Sport, 27:47-51.*
- Guy, Jeffrey A, Micheli, Lyle J (2001). *Strength Training for Children and Adolescents. Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons, Volume 9 – issue 1 – p29-36.*

H

- Hagglund M, Waldén M, Ekstrand J (2006). *Previous injury as a risk factor for injury in elite football: a prospective study over two consecutive seasons. British journal of Sports Medicine, 026609.*
- Hagglund M, Waldén M, Ekstrand J (2012). *Risk Factors for Lower Extremity Muscle Injury in Professional Soccer. The American Journal of Sports Medicine, DOI: 10.1177/0363546512470634.*
- Hagglund M, Waldén M, Magnusson H, Kristenson K, Bengtsson H, Ekstrand J (2013). *Injuries affect team performance negatively in professional football: an 11-year follow-up of the UEFA Champions League injury study. Br J Sports Med, DOI:10.1136.*
- Halson, S. L. (2014). *Monitoring training load to understand fatigue in athletes. Sports Medicine, 44(2), 139-147.*
- Halson, Shona; Mujika, Inigo; Burke, Louise M.; Balagué, Gloria; Farrow, Damian (2018). *An Integrated, Multifactorial Approach to Periodization for Optimal Performance in Individual and Team Sports.*
- Harbour R, Miller J (2001). *A new system for grading recommendations in evidence-based guidelines. British Medical Journal, 323:334–6.*
- Hasan, Mohamed; Vaeyens, Roel; Matthys, Stijn; Multael, Marc; Lefevre, Johan; Lenoir, Matthieu; Philippaerts, Renaat (2009). *Anthropometric and performance measures for the development of a talent detection and identification model in youth handball.*
- Haugen T, Tønnessen E, Seiler S (2013). *Anaerobic Performance Testing of Professional Soccer Players 1995–2010. International Journal of Sports Physiology and Performance, 2013, 8, 148-156.*
- Haugen, Thomas A.; Tønnessen, Espen; Seiler, Stephen (2016). *Physical and physiological characteristics of male handball players: influence of playing position and competitive level.*
- Hawkins R, Fuller C (1999). *A prospective epidemiological study of injuries in four English professional football clubs. Br J Sports Med, 33:196–203.*
- Hecksteden, Anne; Kraushaar, Jochen; Scharhag-Rosenberger, Friederike; Theisen, Daniel; Senn, Stephen; Meyer, Tim (2015). *Individual response to exercise training - a statistical perspective.*
- Heinz Risse, Sociologie du sport, préface Henning Eichberg. Rennes : Presses de l'Université Rennes, 1991. Risse examine les aspects sociologiques de l'entraînement sportif et son impact sur les athlètes et la société.
- Henderson G, Barnes C, Portas M (2009). *Factors associated with increased propensity for hamstring injury in English Premier League soccer players. Science and Medicine in Sport, Volume 13, Issues 4, p 397-402.*
- Hennessy L, Watson A (1993). *Flexibility and posture assessment in relation to hamstring injury. Br J Sp Med, 27(4).*
- Hermassi, S., Chelly, M. S., Tabka, Z., Shephard, R. J., Chamari, K. (2014). *Effects of 8-week in-season plyometric training on upper and lower limb performance of elite adolescent handball players. Journal of Strength and Conditioning Research.*
- Hewett T, Myer G, Zazulak B (2008). *Hamstrings to quadriceps peak torque ratios diverge between sexes with increasing isokinetic angular velocity. J.Sci Med Sport, 11(5): 452–459.*

- Holm, I., Ingemann-Hansen, T., Skjerven, J. (1995). Isokinetic hamstring/quadriceps ratios: influence of sport and gender. *Acta Orthopaedica Scandinavica*.
- Hourcade J.C., ACPASPORT. Ebook les 5 piliers de la préparation physique, Bordeaux 2019.
- Hubal, M. J., Gordish-Dressman, H., Thompson, P. D., Price, T. B., Hoffman, E. P., Angelopoulos, T. J., ... & Clarkson, P. M. (2005). Variability in muscle size and strength gain after unilateral resistance training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37(6), 964-972.
- Hugo, Sarmiento; Anguera, M.Teresa; Pereira, Antonino; Araujo, Duarte (2018). Talent Identification and Development in Male Football: A Systematic Review.

I

- Ibañez, J.; Granados, C.; Izquierdo, M.; Gorostiaga, E.M. (2005) – “Differences in physical fitness and throwing velocity among elite and amateur male handball players.”
- Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M., Rampinini, E. (2005). Reliability of isokinetic strength imbalance ratios measured using the Cybex NORM dynamometer. *Clinical Journal of Sport Medicine*.
- Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., Maffiuletti, N., Marcora, S. M. (2008). A vertical jump force test for assessing bilateral strength asymmetry in athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*.
- Impellizzeri, Franco M.; Marcora, Samuele M.; Coutts, Aaron J. (2019). Internal and External Training Load: 15 Years On.
- Ingebrigtsen, Jørgen; Jeffreys, Ian; Rodahl, Stein (2013). Physical Characteristics and Abilities of Junior Elite Male and Female Handball Players.
- Ispiridis, I., Fatouros, I. G. & Jamurtas, A. Z. (2008). Time-course of changes in inflammatory and performance responses following a soccer game. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 18(5), 423-431.
- Issurin, V. B. (2008). Block Periodization: Breakthrough in Sports Training. *Ultimate Athlete Concepts*.
- Izquierdo, M.; Granados, C.; Ibañez, J.; Gorostiaga, E.M. (2005) – “Differences in physical fitness and throwing velocity among elite and amateur male handball players.”

J

- James L. Nuzzo; Jonathan H. Anning; Jessica M. Scharfenberg (2011) – “The Reliability of Three Devices Used for Measuring Vertical Jump Height.”
- Jarvie, G. (2006). *Sport Culture And Society: An Introduction*. Routledge.
- Jarvinen TA, Kaarianen M, Jarvinen M, Kalimo H (2000). Muscle strain injuries. *Curr Opin Rheumatol*, 2000; 12: 155-161.
- Jean-Marie Brohm, *La tyrannie sportive. Théorie critique d'un opium du peuple*, Paris, Beauchesne, 2006.
- Jean-Pierre Augustin (2007), *Géographie du sport, Spatialités contemporaines et mondialisation*, A. Colin, Paris.

K

- Karcher, Claude; Buchheit, Martin (2014) – “On-Court Demands of Elite Handball, with Special Reference to Playing Positions.”
- Kelly, Adam; Williams, Craig (2020) – “Physical Characteristics and the Talent Identification and Development Processes in Male Youth Soccer: A Narrative Review.”
- Kellmann, M. (2010). *Enhancing Recovery: Preventing Underperformance in Athletes*. Human Kinetics.
- Kraemer, W. J., & Fleck, S. J. (2007). *Optimizing Strength Training: Designing Nonlinear Periodization Workouts*. Human Kinetics.
- Kraemer, W. J., & Ratamess, N. A. (2004). Fundamentals of resistance training: Progression and exercise prescription. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(4), 674-688
- Kiely, J. (2012). Periodization paradigms in the 21st century: evidence-led or tradition-driven?. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 7(3), 242-250.
- Kim D, Hong J (2011). Hamstring to quadriceps strength ratio and noncontact leg injuries: A prospective study during one season. *Isokinetics and Exercise Science*, vol. 19, no. 1, pp. 1-6.
- Knapik J, Bauman C, Jones B, Harris J, Vaughan L (1991). Preseason strength and flexibility imbalances associated with athletic injuries in female collegiate athletes. *The American Journal of Sports Medicine*, Vol 19, No.1.
- Knapik J, Jones B, Bauman J, Harris J (1992). Strength, Flexibility and Athletic Injuries. *Sports Medicine*, 277-288, 1992.
- Knapik J, Sharp M, Canham-Chervak M, Hauret K, Patton J, Jones B (2001). Risk factors for training-related injuries among men and women in basic combat training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(6):946-954.
- Kraemer, W. J., & Fleck, S. J. (2007). *Optimizing Strength Training: Designing Nonlinear Periodization Workouts*. Human Kinetics.
- Kraemer, W. J., & Ratamess, N. A. (2004). Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(4), 674-688.
- Kramer, J. F., Varelas, E. S., Doan, R. M. (1991). Effect of isokinetic strength training on functional exercise capacity and walking performance in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Physical Therapy*.
- Krüger, Karsten; Pilat, Christian; Ückert, Katrin; Frech, Torsten; Mooren, Frank C. (2014). Physical Performance Profile of Handball Players Is Related to Playing Position and Playing Class.

L

- Laurent Turcot, *Sports et Loisirs. Une histoire des origines à nos jours*, Paris, Gallimard, 2016.
- Laursen, P. B., & Jenkins, D. G. (2002). The scientific basis for high-intensity interval training: Optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports Medicine*, 32(1), 53–73.

- Lawrence C, Shuster S (1985). Comparison of ultrasound and caliper measurements of normal and inflamed skin thickness. *British Journal of Dermatology*, Volume 112, issue 2, p195-200.
- Lees A, Bambaecichi E (2005). A comparison of muscle strength and flexibility between the preferred and non-preferred leg in English soccer players. *Ergonomics*, Vol. 48, Nos. 11 – 14.
- Lees, A., Asai, T., Andersen, T. B., Nunome, H., Sterzing, T. (2010). The biomechanics of kicking in soccer: A review. *Journal of Sports Sciences*.

M

- M.Teresa, Anguera; Hugo Sarmiento; Antonino Pereira; Duarte Araujo (2018) – “Talent Identification and Development in Male Football: A Systematic Review.”
- Maffiuletti N, Bizzini M, Desbrosses K, Babault N, Munzinger U (2007). Reliability of knee extension and flexion measurements using the Con-Trex isokinetic dynamometer. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, Volume 27, issue 6, p 346-353.
- Magalhães, J., Oliveira, J., Ascensão, A., Soares, J. (2004). Concentric quadriceps and hamstrings isokinetic strength in volleyball and soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*.
- Marc Perelman, *Le sport barbare : Critique d'un fléau mondial*, Paris, Michalon, 2008.
- Marinau, Marius (2017). Issues concerning the use of strength and power practice during the preparatory period for U19 youth football players.
- Massuca, Luis; Branco, Braulio; Miarka, Bianca; Fragoso, Isabel (2015). Physical Fitness Attributes of Team-Handball Players are Related to Playing Position and Performance Level.
- Mathew, Varghese; Ruparell, Sonia; LaBella, Cynthia (2021). Youth Athlete Development Models: A Narrative Review.
- Matveev L.P. (1984). *Les bases de l'entraînement*, Vigot Paris. *L'entraînement Sportif : théorie et Méthodologie*.
- McCall A, Carling C, Davison M, Nedelec M, Legall F, Berthoin S, Dupont G (2015). Injury risk factors, screening tests and preventative strategies: a systematic review of the evidence that underpins the perceptions and practices of 44 football (soccer) teams from various premier leagues. *British Journal of Sports Medicine*, 49:583–589.
- Michalsik, L. B., Madsen, K., Aagaard, P. (2015). Physiological capacity and physical testing in male elite team handball. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*.
- Michel Caillat, *Le Sport*, Éditions du Cavalier Bleu, Collection Idées reçues, Nouvelle édition, 2002 (rééd. 2008).
- Midgley, A. W., McNaughton, L. R., & Jones, A. M. (2007). Training to enhance the physiological determinants of long-distance running performance. *Sports Medicine*, 37(10), 857-880.
- Mihalik, Jeff; Green, David; Noyes, Frank (2007) – “Injury rates and characteristics in elite male and female soccer players: the role of the playing surface and match intensity.”
- Moller M, Oberg B, Gillquist J (1985). Stretching Exercise and Soccer: Effect of Stretching on Range of Motion in the Lower Extremity in Connection with Soccer Training. *Int J Sports Med*, 06(1): 50-52.

- Mujika, I., & Padilla, S. (2000). Detraining: loss of training-induced physiological and performance adaptations. Part I: short term insufficient training stimulus. *Sports Medicine*, 30(2), 79-87.
- Mujika, I., & Padilla, S. (2001). Muscular characteristics of detraining in humans. *Medicine & Science in Sports* Mujika, I., & Padilla, S. (2000). Detraining: loss of training-induced physiological and performance adaptations. Part I: short term insufficient training stimulus. *Sports Medicine*, 30(2), 79-87.& *Exercise*, 33(8), 1297-1303.
- Mujika, I.; Santisteban, J.; Impellizzeri, F.M.; Castagna, C. (2009). Fitness determinants of success in men's and women's football. *J Sports Sci.*, 27(2):107–114.
- Murphy D, Connolly D, Beynnon B. (2003). Risk factors for lower extremity injury: a review of the literature. *Br J Sports Med*, 37:13–29.

N

- Nedelec M, McCall A, Carling C, Legall F, Berthoin S, Dupont G (2014). The influence of soccer playing actions on the recovery kinetics after a soccer match. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 28(6)/1517–1523.
- Nuzzo, James L.; Anning, Jonathan H.; Scharfenberg, Jessica M. (2011). The Reliability of Three Devices Used for Measuring Vertical Jump Height.

O

- Oberg B, Ekstrand J, Möller M, Giliquist J (1984). Muscle Strength and Flexibility in Different Positions of Soccer Players. *International Journal of Sports Medicine*, 213-216.
- Orchard J (2001). Intrinsic and Extrinsic Risk Factors for Muscle Strains in Australian Football, *The American Journal of Sports Medicine*, Vol. 29, No. 3.
- Orchard J (2002). *Science and Football IV*, Edited by: W Spinks. Londres: Editions Routledge.
- Orchard J, Marsden J, Lord S, Garlick D (1997). Preseason Hamstring Muscle Weakness Associated with Hamstring Muscle Injury in Australian Footballers. *The American Journal of Sports Medicine*, Vol 25, No.1.
- Oshita K, Yano S (2010). Asymmetry of Force Fluctuation During Low Intensity Isometric Contraction in Leg Muscle. *Int J Exerc Sci*, 3(2): 68–77.
- Ostenberg A, Roos H (2008). Injury risk factors in female European football. A prospective study of 123 players during one season. *Medicine and Science in Sports*, Volume 10, Issue 5, pages 279-285.
- Ozmun J, Mikesky E, Surburg P (1994). Neuromuscular adaptations following prepubescent strength training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26(4):510-514.

P

- Perrin, D. H. (1993). *Isokinetic Exercise and Assessment*. Human Kinetics.
- Petschnig, R., Baron, R., Albrecht, M. (1998). The relationship between isokinetic quadriceps strength test and hop tests for distance and one-legged vertical jump test following anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*.

- Pettitt, Robert W. (2010). The Standard Difference Score: A New Statistic For Evaluating Strength And Conditioning Programs.
- Platonov V.N., E.D. Revue EPS Paris 1988, Les bases de l'entraînement sportif.

R

- Raya, Michele A.; Gailey, Robert S.; Gaunard, Ignacio A.; Jayne, Daniel M.; Campbell, Stuart M.; Gagné, Erica; Manrique, Patrick G.; Muller, Daniel G.; Tucker, Christen (2013). Comparison of three agility tests with male servicemembers: Edgren Side Step Test, T-Test, and Illinois Agility Test.
- 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.
- Rico-González, M.; Los Arcos, A.; Rojas-Valverde, D.; Clemente, F.M.; Pino-Ortega, J. (2020). A Survey to Assess the Quality of the Data Obtained by Radio-Frequency Technologies and Microelectromechanical Systems to Measure External Workload and Collective Behavior Variables in Team Sports. *Sensors*, 20, 2271.
- Risse, H. (1991). *Sociologie du sport*, préface Henning Eichberg. Rennes : Presses de l'Université Rennes.
- Rodahl, Stein; Ingebrigtsen, Jørgen; Jeffreys, Ian (2013) – “Physical Characteristics and Abilities of Junior Elite Male and Female Handball Players”
- Rodineau J.(2005). *Classification clinique des lésions récentes Muscle traumatique et mécanique*. Paris: Editions Masson, p. 21-7.
- Rodríguez González, L.; Melguizo-Ibáñez, E.; Martín-Moya, R.; González-Valero, G. (2022). Study of strength training on swimming performance: A systematic review.
- Ross, A., & Leveritt, M. (2001). Long-term metabolic and skeletal muscle adaptations to short-sprint training: implications for sprint training and tapering. *Sports Medicine*, 31(15), 1063-1082.
- Rozzi, S. L., Lephart, S. M., Sterner, R., Kuligowski, L., Lephart, S. P., Fu, F. H. (1999). Balance training for persons with functionally unstable ankles. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*.

S

- Sammoud, Senda; Bouguezzi, Raja; Negra, Yassine; Chaabene, Helmi (2021). The Reliability and Sensitivity of Change of Direction Deficit and Its Association with Linear Sprint Speed in Prepubertal Male Soccer Players.
- Sarmiento, Hugo; Anguera, M. Teresa; Pereira, Antonino; Araujo, Duarte (2018) – “Talent Identification and Development in Male Football: A Systematic Review”
- Schmidt-Olsen S, Jorgensen U, Kaalund S, Sorensen J (1991). Injuries among young soccer players. *The American Journal of Sports Medicine*, 0363-5465/91/1903-0273\$02.00/0.

- Selven T, Tjønnå A, Nauman J, Østerås H (2015). Incidence of Soccer Injuries among 15- to 19-Year-Old Boys in Norwegian National Teams. *Journal of Athletic Enhancement*, DOI: 10.4172/2324-9080.1000210
- Shambaugh J, Klein A, Herbert J (1993). Structural measures as predictors of injury in basketball players. *Med Sci Sports Exercise*; 23: 522±527
- Shultz R, Anderson SC, Matheson GO, Marcello B, Besier T (2013). Test-retest and interrater reliability of the functional movement screen. *Journal of Athletic Training*, 48(3):331-6.
- Silva J. R., Rumpf C, Hertzog M, Castagna C, Farooq A, Girard O, Hader K (2017). Acute and Residual Soccer Match-Related Fatigue: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Med*, DOI 10.1007/s40279-017-0798-8.
- Skinner, J.S.; Wilmore, K.M.; Krasnoff, J.B.; Jaskolski, A.; Jaskolska, A.; Gagnon, J.; Province, M.A.; Leon, A.S.; Rao, D.C.; Wilmore, J.H.; Bouchard, C. (2009). Adaptation to a standardized training program and changes in fitness in a large, heterogeneous population: the HERITAGE Family Study.
- Small K, McNaughton L, Greig M, et al. (2010). The effects of multidirectional soccer-specific fatigue on markers of hamstring injury risk. *J Sci Med Sport*, 13:120–5.
- Soligard T, Bahr R, Andersen TE (2010). Injury risk on artificial turf and grass in youth tournament football. *Scand J Med Sci Sports*, 22(3):356-61.
- Stolen T. (2005). Physiology of soccer: an update. *Sports Med* 35.
- Stone, M. H., Stone, M., & Sands, W. A. (2007). Principles and Practice of Resistance Training. *Human Kinetics*.

T

- Tesch, P. A., Ekberg, A., Lindquist, D. M., Trieschmann, J. T. (2004). Muscle hypertrophy following 5-week resistance training using a non-gravity-dependent exercise system. *Acta Physiologica Scandinavica*.
- Tourny-Chollet C, Leroy D, Beuret-Blanquart F (2000). Isokinetic knee muscle strength of soccer players according to their position. *Isokinetics and Exercise Science*, vol. 8, no. 4, pp. 187-193.
- **Teixeira, J. E., Branquinho, L., Leal, M., Morgans, R., Sortwell, A., Barbosa, T. M., Monteiro, A. M., Afonso, P., Machado, G., Encarnação, S., Ferraz, R., & Forte, P. (2024). Match-to-Match Variation on High-Intensity Demands in a Portuguese Professional Football Team. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 9(3), 120.**

V

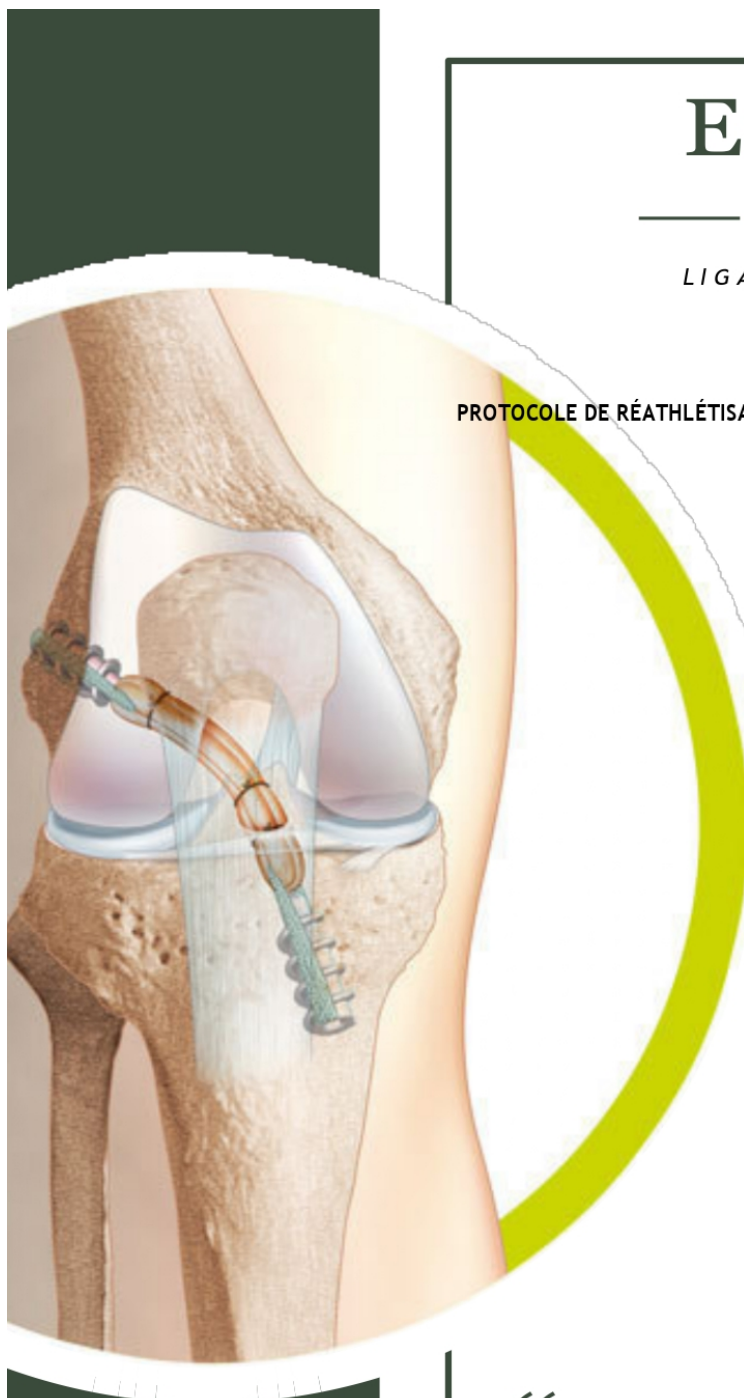
- Vaucelle S. Les qualités physiques du sportif, Faculté des Sciences du Sport et du Mouvement Humain, Toulouse.
- Verheijen Raymond. Manuel de condition physique du footballeur, DRS, 2008.

W

- Waldén M, Hagglund M, Ekstrand J (2013). Time-trends and circumstances surrounding ankle injuries in men's professional football: an 11-year follow-up of the UEFA Champions League injury study. *Br J Sports Med*, 47: 748–753.
- Watson (2000). Sports Injuries Related to Flexibility, Posture, Acceleration, Clinical Defects, and Previous Injury, in High-Level Players of Body Contact Sports. *Int J Sports Med*, 22: 222-225.
- Werner J, Hagglund M, Walden M, Ekstrand J (2009). UEFA injury study: a prospective study of hip and groin injuries in professional football over seven consecutive seasons. *British Journal of Sports Medicine*, 43:1036–1040.
- Willem Van Mechelen et al., (1994). Running injuries and hamstring and quadriceps weakness and balance: a case-control study in male runners. *Sports Med., Training and Rehab*, Vol. 5, pp. 83-93.
- Williams C, Oliver J, Faulkner J (2011). Seasonal Monitoring of Sprint and Jump Performance in a Soccer Youth Academy. *Human Kinetics Journals*, Volume: 6 Issue: 2 Pages: 264-275.
- Witvrouw E, Danneels L, Asselman P, D'Have T, Cambier D (2003). Muscle Flexibility as a Risk Factor for Developing Muscle Injuries in Male Professional Soccer Players. *The American Journal Of Sports Medicine*, volume: 31 issue: 1, page(s): 41-46.
- Wojciech Liponski (s.d.), *L'encyclopédie des sports*, Poznan, Atena, 2003 (éd. française, Paris, Grund et UNESCO, 2005).
- Wolfgang Decker et Jean-Paul Thuillier, *Le sport dans l'Antiquité*, Paris, AJ Picard, 2004.
- Woods C, Hawkins R D, Maltby S, Hulse M, Thomas A, Hodson A (2004). The Football Association Medical Research Programme: an audit of injuries in professional football—analysis of hamstring injuries. *British Journal of Sports Medicine*, 38:36–41.
- Woods C, Hawkins R, Hulse M, Hodson A (2002). The Football Association Medical Research Programme: an audit of injuries in professional football—analysis of preseason injuries. *Br J Sports Med*, 36:436–44.
- Woods C, Hawkins R, Hulse M, Hodson A (2003). The Football Association Medical Research Programme: an audit of injuries in professional football.
- Worrell, T. W., Crisp, E. (2001). Electromyographic reliability and validity of two isometric knee extension tests. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*.

Z

- Zakas, A., Mandroukas, A., Vamvakoudis, E., Christoulas, K., Aggelopoulou, N. (1995). Peak torque of quadriceps and hamstring muscles in basketball and soccer players of different divisions. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*.
- Zapartidis, Ilias; Vareltzis, Ioannis; Gouvali, Marina; Kororos, Panagiotis (2009). Physical Fitness and Anthropometric Characteristics in Different Levels of Young Team Handball Players.
- Ziv, Gal; Lidor, Ronnie (2009). Physical characteristics, physiological attributes, and on-court performances of handball players: A review.



A.RAHOU

Entorse — — LCA

LIGAMENT CROISÉ ANTÉRIEUR

PROTOCOLE DE RÉATHLÉTISATION SUITE A L'ATEINTE DU LCA DÉFINITION

Le **ligament croisé antérieur** (LCA) a pour fonction principales de **stabiliser l'articulation** lors des mouvements de torsion et de limiter la translation vers l'avant du tibia. L'entorse du ligament croisé correspond à une **déchirure** (lésion) ou une **rupture** partielle ou totale de ce ligament (Rupture du LCA).

• PUBLIC CONCERNÉ

• Sport avec changement de direction (football, tennis, ski, sport de combat ...) ou le genou se retrouve en torsion
• Les femmes plus que les hommes

• LES CAUSES

- Echauffement négligé
- Surcharge pondérale
- Répétition de microtraumatisme
- Hyper extension du genou (tir dans le vide)
Torsion non contrôlé (réception d'un saut, déséquilibre, choc)

“

Quand opérer LCA ?

Une opération du LCA est-elle obligatoire ? La nécessité d'opérer après une rupture du LCA n'est absolument pas une généralité : elle est individuelle et se fait au cas par cas : Le sujet jeune, qui a des motivations sportives importantes, représente la meilleure indication pour l'opération du LCA.

”



Conséquences LCA

LIGAMENT CROISÉ ANTÉRIEUR

CONSÉQUENCES À COURT TERME



- Douleur vive au genou
- Gonflement (accumulation de sang au sein de l'articulation)
- Difficulté à plier et tendre le genou
- Impossibilité de poursuivre l'effort en cours

CONSÉQUENCES À LONG TERME



- Appréhension
- Instabilité du genou (sensation de déboitement)
- Sensation de craquement
- Arthrose



PRISE EN CHARGE



Une Radiographies du genou (recherchent une fracture associée) ou IRM (confirment le diagnostic de rupture du ligament croisé et permettent de faire le bilan sur les éventuelles lésions associées) sont conseillé.

A partir de ces résultats, ils existent deux possibilités :

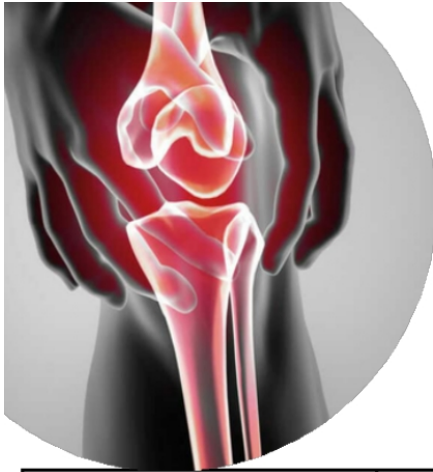
• Atteinte légère □ Traitement fonctionnels

Le traitement se veut plus préventif. Le port d'une attelle au genou ainsi qu'un glaçage quotidien est conseillé afin de reprendre progressivement les activités. Un suivi en kinésithérapie est aussi être recommandé afin d'éviter une récurrence et un enraidissement articulaire ou amyotrophie. Si l'atteinte est modérée, le suivi kinésithérapie est fortement conseillé pour diminuer les douleurs, retrouver une bonne stabilité au genou et renforcer la musculature du genou afin d'éviter, encore une fois, la récurrence.

• Atteinte grave □ Traitement chirurgicale

L'atteinte est grave, il sera recommandé d'avoir recours à l'intervention chirurgicale. Cette dernière a pour but de « remplacer » le ligament croisé antérieur par un plus solide, soit à l'aide du tendon rotulien soit du tendon semi-tendineux (ischio-jambiers). Suite à cette intervention, il sera prescrit de suivre des traitements de kinésithérapie (durée variable selon le patient, la forme physique, etc) afin d'assurer le bon rétablissement du genou.

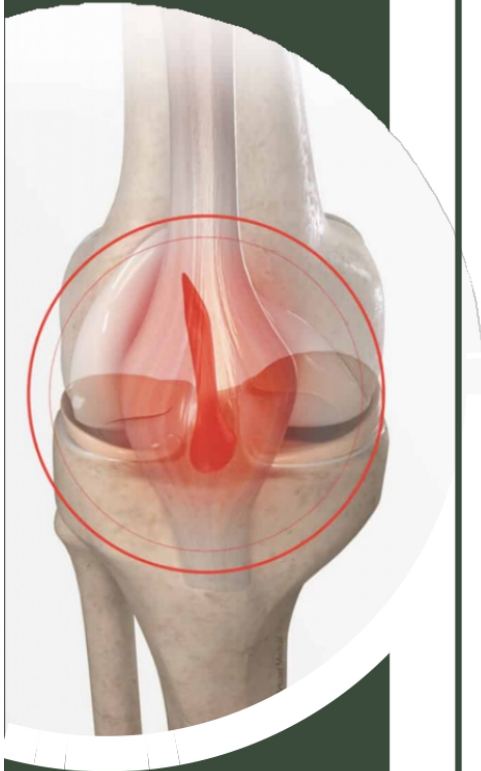
A. RAHOU



Protocole Réathlétisation

LIGAMENT CROISÉ ANTÉRIEUR

<p>Phase 1 : Poste opératoire - Cicatrisation</p> <p>J1-J21</p>	<p>Membre inférieur en extension protégée par une attelle simple. Déambulation possible avec reprise d'appui progressif avec béquilles Travail musculaire quatre faces en extension en position couchée. Mobilisation douce manuelle et sur arthromoteur : 0° à 60 / 70° Massage et réveil musculaire, glaçage et physiothérapie. Électro stimulation pour prévenir l'amyotrophie. Proprioception en chaîne fermée vers ouverte. Drainage</p>
<p>Phase 2 : Post opératoire - Autonomie - Mobilité - Réveil musculaire</p> <p>J21 - J 45</p>	<p>Massages et soins péri cicatriciels. Renforcement musculaire modéré, progressif en co-contraction. Rééducation de la marche. Travail neuromoteur, équilibre et proprioception en statique bipodal puis unipodal. Sevrage des cannes et sevrage de l'orthèse de zimmer. Vélo sans résistance si amplitudes satisfaisantes (100 à 120°).</p>
<p>Phase 3 : Intensification</p> <p>Jusqu'au 4e mois</p>	<p>Travail en co-contraction dans différentes angulations du genou. Travail des ischios-jambier en développant puissance et vitesse de contraction Tests isocinétiques Travail du quadriceps en chaînes cinétiques fermée et en isométrique en extension Développement du contrôle neuro-musculaire et de la proprioception sur plateau instable, trampoline... Réentraînement cardio vasculaire à l'effort sur vélo, ... Début de footing sur terrain plat et souple en fin de période</p>
<p>Phase 4 : Rééducation à réathlétisation sans pivot</p> <p>Jusqu'au 6e mois</p>	<p>Athlétisation des différents groupes musculaires, renforcement / musculation Travail isocinétique Travail dynamique avec sauts et changement de direction Poursuite du footing avec accélération, natation type crawl avec palmes, vélos Activités de réinsertion physique progressive</p>
<p>Phase 5 : Intensification de la réathlétisation</p> <p>Au-delà du 6e mois</p>	<p>Test isocinétiques comparatifs de niveaux d'orientation Travail musculaire intense Travail énergétique Réapprentissage des gestes sportifs préférentiels En fonction des tests, du sport et du niveau de pratique : reprise de l'entraînement spécifique Bilan sportif spécifique</p>



A. RAHOU

Prévention Blessures

LIGAMENT CROISÉ ANTÉRIEUR

RENFORCEMENT MUSCULAIRE :

- RENFORCEMENT DU QUADRICEPS
- RENFORCEMENT DES ISCHIOS-JAMBIERS
- RENFORCEMENT DES MOLLETS

ÉTIREMENTS / MOBILITÉ

UNE BONNE SOUPLESSE AIDE À ÉVITER LES COMPENSATIONS MUSCULAIRES QUI POURRAIENT AUGMENTER LES RISQUES DE BLESSURE. LES EXERCICES D'ÉTIREMENT RÉGULIERS ET LE TRAVAIL DE MOBILITÉ AU NIVEAU DES HAICHES, DES GENOUX ET DES CHEVILLES FAVORISENT UNE MEILLEURE AMPLITUDE DE MOUVEMENT.

ENTRAÎNEMENT NEUROMUSCULAIRE ET PROPRIOCEPTION

LES EXERCICES NEUROMUSCULAIRES ET DE PROPRIOCEPTION AIDENT À AMÉLIORER L'ÉQUILIBRE, LA COORDINATION ET LE CONTRÔLE DES MOUVEMENTS. ILS PERMETTENT AU CERVEAU DE MIEUX ANTICIPER LES MOUVEMENTS DU GENOU ET DE STABILISER LES ARTICULATIONS.

ÉCHAUFFEMENT ET RÉCUPÉRATION

UN ÉCHAUFFEMENT COMPLET EST ESSENTIEL POUR PRÉPARER LES MUSCLES ET ARTICULATIONS AVANT UNE SÉANCE D'ENTRAÎNEMENT OU UN MATCH. LA RÉCUPÉRATION, QU'AIT À ELLE, AIDE À ÉVITER LES TENSIONS ET LA FATIGUE MUSCULAIRE QUI AUGMENTENT LE RISQUE DE BLESSURE.



Fiche des resultats U16



Nom et Prénom	Age	Taille (cm)	Poids(kg)	IMC	CMJ (cm)	RPE	CMJ+24H(cm)
MERAOUZIA Ismail	15	170	60,3	21,11	21,28	6	21,42
AKDEMI Bilel	15	170	64	22,15	20,51	6	20,1
ESSOUSSI Yones	15	174	62	20,48	20,78	6	20,43
ADELEYE Emmanuel	15	180	67	20,45	24,38	5	24,08
BEN SALEM Wassim	15	181	65,6	19,71	29,1	5	28,27
BELCLI Mael	15	169	66	19,71	21,69	5	21,1
MIDAGOV Sala	15	166	62,3	22,06	22,27	5	21,76
NAHMOUDI Ahmed	16	180	60	21,41	25,28	4	24,41
MEJRI Rayan	16	176	63	16,44	25,5	6	22,78
SASSOU Ilario	15	160	71,2	28,13	22,56	6	20,17
Tahraoui Yassine	16	175	66,8	26,17	22,87	5	21,46
SAMEDO Noem	16	183	64,5	18,79	26,45	4	25
Moyenne	15,3333333	173,6666667	64,3916667	21,3841667	23,5558333	5,25	22,58166667
Ecart type	0,49236596	6,893123495	3,17989661	3,13339624	2,61645652	0,75377836	2,447915006

Indice d'amplitude : -0,38 / indice entre -0,2 et -0,6 donc ya une petite dégradation



Fiche des resultats U17



Nom et Prénom	Age	Taille (cm)	Poids(kg)	IMC	CMJ (cm)	RPE	CMJ+24H(cm)
DADIANI Luka	16	180	66	20,37	22,89	6	22,76
GAMET Florian	16	184	67	16,84	21,6	6	20,56
DIABI A.Lassana	15	180	60,8	18,84	23,1	5	23,78
OUIGNION Ronnie	16	160	57	23,83	22,8	6	22,5
FOURVOY Benjamin	17	173	64	18,04	22,27	6	21,52
KELMENDI Eran	16	175	62,6	20,57	24,16	6	23,07
EL-HAMDI Mohamed	16	183	71	21,2	22,89	6	22,43
OUSMANE Bah	16	170	68	23,53	23,97	4	21,65
DIALLO Soulaymanne	16	177	61	19,47	23,52	5	23,71
BOUBOU Kebe	17	180	67	20,68	23,1	4	22,43
MATTOUG Dhia-Eddene	16	180	68,4	21,3	23,1	6	22,56
KOUJIL Jamil	16	165	62,7	23,14	22,38	5	22,41
Moyenne	16,0833333	175,5833333	64,625	20,6508333	22,9816667	5,41666667	22,44833333
Ecart type	0,51492865	7,378818991	3,97220456	2,1619497	0,7086714	0,79296146	0,9010583

Indice d'amplitude : -0,67 / indice entre -0,6 et -1,2 donc une dégradation moyenne

1- CMJ ap.fixe - CMJ ap.fixe.24h.spv [Document1] - IBM SPSS Statistics Viewer

Fichier Edition Affichage Données Transformer Insérer Format Analyse Graphiques Utilitaires Extensions Fenêtre Aide

Sortie Log Test T Titre Remarques Jeu de données a Statistiques des e Corrélations des e Test des échantill

Statistiques des échantillons appariés

		Moyenne	N	Ecart type	Moyenne erreur standard
Paire 1	CMJ - Jeux 3c3 + 2 appuies fixe (5x 2'30/2'30)	22,9790	10	,78187	,24725
	CMJ - 24 heures - Jeux 3c3 + 2 appuies fixe (5x 2'30/2'30)	22,3940	10	,98682	,31206

Corrélations des échantillons appariés

		N	Corrélation	Sig.
Paire 1	CMJ - Jeux 3c3 + 2 appuies fixe (5x 2'30/2'30) & CMJ - 24 heures - Jeux 3c3 + 2 appuies fixe (5x 2'30/2'30)	10	,968	,000

Test des échantillons appariés

Différences appariées

		Moyenne	Ecart type	Moyenne erreur standard	Intervalle de confiance de la différence à 95 %		t	ddl	Sig. (bilatéral)
					Inférieur	Supérieur			
Paire 1	CMJ - Jeux 3c3 + 2 appuies fixe (5x 2'30/2'30) - CMJ - 24 heures - Jeux 3c3 + 2 appuies fixe (5x 2'30/2'30)	,58500	,30208	,09552	,36891	,80109	6,124	9	,000

Le processeur IBM SPSS Statistics est prêt Unicode ON

2- CMJ ap.es - CMJ ap.es.24h.spv [Document1] - IBM SPSS Statistics Viewer

Fichier Edition Affichage Données Transformer Insérer Format Analyse Graphiques Utilitaires Extensions Fenêtre Aide

Sortie Log Test T Titre Remarques Statistiques des e Corrélations des e Test des échantill

Statistiques des échantillons appariés

		Moyenne	N	Ecart type	Moyenne erreur standard
Paire 1	CMJ - Jeux 3c3 + 2 appuies entrants sortant (5x 2'30/2'30)	23,3350	10	2,70740	,85615
	CMJ - 24 heures - Jeux 3c3 + 2 appuies entrants sortant (5x 2'30/2'30)	26,5140	10	3,74046	1,18284

Corrélations des échantillons appariés

		N	Corrélation	Sig.
Paire 1	CMJ - Jeux 3c3 + 2 appuies entrants sortant (5x 2'30/2'30) & CMJ - 24 heures - Jeux 3c3 + 2 appuies entrants sortant (5x 2'30/2'30)	10	,923	,000

Test des échantillons appariés

Différences appariées

		Moyenne	Ecart type	Moyenne erreur standard	Intervalle de confiance de la différence à 95 %		t	ddl	Sig. (bilatéral)
					Inférieur	Supérieur			
Paire 1	CMJ - Jeux 3c3 + 2 appuies entrants sortant (5x 2'30/2'30) - CMJ - 24 heures - Jeux 3c3 + 2 appuies entrants sortant (5x 2'30/2'30)	-3,17900	1,61886	,51193	-4,33706	-2,02094	-6,210	9	,000

Le processeur IBM SPSS Statistics est prêt Unicode ON

3- CMJ.ap.fixe - CMJ.ap.e.s.spv [Document1] - IBM SPSS Statistics Viewer

Fichier Edition Affichage Données Transformer Insérer Format Analyse Graphiques Utilitaires Extensions Fenêtre Aide

Sortie Log Test T Titre Remarques Statistiques des é Corrélations des é Test des échantill

Statistiques des échantillons appariés

		Moyenne	N	Ecart type	Moyenne erreur standard
Paire 1	CMJ - Jeux 3c3 + 2 appuies fixe (5x 2'30/2'30)	22,9790	10	,78187	,24725
	CMJ - Jeux 3c3 + 2 appuies entrants sortant (5x 2'30/2'30)	23,3350	10	2,70740	,85615

Corrélations des échantillons appariés

	N	Corrélation	Sig.
Paire 1	10	-,091	,804

Test des échantillons appariés

Différences appariées

	Moyenne	Ecart type	Moyenne erreur standard	Intervalle de confiance de la différence à 95 %		t	ddl	Sig. (bilatéral)
				Inférieur	Supérieur			
Paire 1	-,35600	2,88524	,91239	-2,41998	1,70798	-,390	9	,705

4- CMJ.ap.fixe.24h - CMJ.ap.e.s.24h.spv [Document1] - IBM SPSS Statistics Viewer

Fichier Edition Affichage Données Transformer Insérer Format Analyse Graphiques Utilitaires Extensions Fenêtre Aide

Sortie Log Test T Titre Remarques Statistiques des é Corrélations des é Test des échantill

Statistiques des échantillons appariés

		Moyenne	N	Ecart type	Moyenne erreur standard
Paire 1	CMJ - 24 heures - Jeux 3c3 + 2 appuies fixe (5x 2'30/2'30)	22,3940	10	,98682	,31206
	CMJ - 24 heures - Jeux 3c3 + 2 appuies entrants sortant (5x 2'30/2'30)	26,5140	10	3,74046	1,18284

Corrélations des échantillons appariés

	N	Corrélation	Sig.
Paire 1	10	-,192	,596

Test des échantillons appariés

Différences appariées

	Moyenne	Ecart type	Moyenne erreur standard	Intervalle de confiance de la différence à 95 %		t	ddl	Sig. (bilatéral)
				Inférieur	Supérieur			
Paire 1	-4,12000	4,04723	1,27985	-7,01521	-1,22479	-3,219	9	,011

og

Log - Log - mars 5, 2023

**T-TEST PAIRS=CMJ.ap.f WITH CMJ.ap.f.24h (PAIRED)
/CRITERIA=CI (.9500) /MISSING=ANALYSIS.**

Test T

Test T - Jeu de données actif - mars 5, 2023

[Jeu_de_données0] C:\Users\mesrs\Documents\000000001- Rahou\Traitement statistique - CMJ.sav

Test T

Test T - Statistiques des échantillons appariés - mars 5, 2023

Statistiques des échantillons appariés

Statistiques des échantillons appariés, tableau, 1 niveaux d'en-têtes de colonnes et 2 niveaux d'en-têtes de lignes, tableau avec 6 colonnes et 4 lignes

		Moyenne	N	Ecart type	Moyenne erreur standard
Paire 1	CMJ - Jeux 3c3 + 2 appuies fixe (5x 2'30/2'30)	22,9790	10	,78187	,24725
	CMJ - 24 heures - Jeux 3c3 + 2 appuies fixe (5x 2'30/2'30)	22,3940	10	,98682	,31206

Test T

Test T - Corrélations des échantillons appariés - mars 5, 2023

Corrélations des échantillons appariés

Corrélations des échantillons appariés, tableau, 1 niveaux d'en-têtes de colonnes et 2 niveaux d'en-têtes de lignes, tableau avec 5 colonnes et 3 lignes

		N	Corrélation	Sig.
Paire 1	CMJ - Jeux 3c3 + 2 appuies fixe (5x 2'30/2'30) & CMJ - 24 heures - Jeux 3c3 + 2 appuies fixe (5x 2'30/2'30)	10	,968	,000

Test T

Test T - Test des échantillons appariés - mars 5, 2023

Test des échantillons appariés

		Différences appariées				
		Moyenne	Ecart type	Moyenne erreur standard	Intervalle de confiance différence à 95%	
Inférieur	Supérieur					
Paire 1	CMJ - Jeux 3c3 + 2 appuies fixe (5x 2'30/2'30) - CMJ - 24 heures - Jeux 3c3 + 2 appuies fixe (5x 2'30/2'30)	,58500	,30208	,09552	,36891	

IX. Liste des tableaux

Numéro du tableau	Titre du tableau	Page
Tableau 1	Distance totale parcourue aux différentes allures, selon le poste occupé et le niveau, (Verheijen, 1998).	23
Tableau 2	Distance totale parcourue aux différentes allures et selon le niveau de jeu	23
Tableau 3	Distances parcourues durant un match selon les postes et l'intensité de course, (Rampinini et al, 2007).	23
Tableau 4	Performances athlétiques en match de football en fonction du poste de jeu	26
Tableau 5	Données ligue 1- 2023/2024 : Moyenne à partir de données de 20 équipes (10 matchs) sur une journée de ligue 1 française.	27
Tableau 6	Synthèse et Caractéristiques des principales études relatives à l'analyse des déplacements du footballeur (1976 à 2016)	31
Tableau 7	Appellations et zones de vitesse proposées par les systèmes Amisco Pro et Prozone Sports Ltd	40
Tableau 8	Tableau récapitulatif des différentes formes d'exercices (Cazorla, 2006).	60
Tableau 9	Normalisation en Pourcentage des mouvements réalisés en fonction des distances totales parcourues et réalisées par match selon les postes.	61
Tableau 10	Exemples de jeux réduits, leurs niveaux d'intensités ainsi que leurs charges d'entraînement	63
Tableau 11	Caractéristiques : Corrélations entre les types d'exercices, les surfaces, les intensités et les temps de jeu/récupération d'exemples jeux réduits réalisées.	63
Tableau 12	Répartition du nombre d'accélération sprint/ courses intenses et temps de réalisation sur des distances moyennes, par match et selon le poste de jeu.	65
Tableau 13	Données Anthropométriques du groupe U16	68
Tableau 14	Données anthropométriques du groupe U17.	68
Tableau 15	Échelle RPE proposée par Foster (2001)	70
Tableau 16	Table de calcul de l'Indice d'Amplitude	74
Tableau 17	Résultats individuels et moyennes du groupe du CMJ, de la RPE et de l'Indice d'amplitude du groupe U16.	75
Tableau 18	Analyse statistique des résultats du CMJ, RPE et CE du groupe U16.	75
Tableau 19	Résultats individuels et moyennes du CMJ, de la RPE et de l'Indice d'amplitude du groupe U17.	76
Tableau 20	Analyse statistique des résultats du CMJ, RPE et CE du groupe U17.	77
Tableau 21	Résultats des analyses et quantifications des lactates post-test pour les groupes d'étude U17	78
Tableau 22	Résultats des analyses et quantifications des lactates post-test pour les groupes d'étude U16	78

Tableau 23	Différentes catégories de vitesses pour l'analyse de l'activité physique du joueur de football.	85
Tableau 24	Performances athlétiques réalisées en match en fonction des différentes catégorisations de vitesse	86
Tableau 25	Performances athlétiques en match de football en fonction du poste de jeu	87
Tableau 26	Table de calcul de l'Indice d'Amplitude	90
Tableau 27	Résultats de la CE (Distances, Intensités et mouvements) en jeu réduit.	91
Tableau 28	Indices de l'amplitude des différents paramètres du mouvement réalisés lors des deux types de jeux réduit.	91
Tableau 29	Données des mesures anthropométriques des sujets du groupe contrôle	103
Tableau 30	Données des mesures anthropométriques des sujets du groupe jeux réduits	103
Tableau 31	Données des mesures anthropométriques des sujets du groupe pliométrie	103
Tableau 32	Tableau montrant les entrainements du groupe SSG sur 8 semaine.	105
Tableau 33	Tableau montrant les entrainements du groupe Pliométrie sur 8 semaines.	105
Tableau 34	Tableau montrant les résultats des différents groupes du test RSA	106
Tableau 35	Tableau montrant les résultats des différents groupes du test RCOD	107
Tableau 36	Tableau montrant les résultats des différents groupes du test VAM et VAL	107
Tableau 37	Tableau montrant les résultats des différents groupes du test Sargent	108
Tableau 38	Résultats comparatifs de la 1 ère partie de saison et la deuxième avec le ratio A/C et la variation hebdomadaire, ainsi que le risque relatif et la valeur p mettant en évidence ou non une association avec l'incidence des blessures.	128
Tableau 39	Ratio des blessures en fonction des joueurs blessés et de leur catégorie appropriée.	129
Tableau 40a	Les différents types de blessures dans le football et leurs localisations selon les études scientifiques	144
Tableau 40b	Les différents types de blessures dans le football et leurs localisations selon les études scientifiques	145
Tableau 41	Nombre total de blessures pour les équipes U19 et Réserve.	156
Tableau 42	Risque Relatif (RR) (95 %IC) et Valeur statistiques (<i>P</i>) des blessures totales en fonction des différents tests de début de saison	157
Tableau 43	Risque Relatif (RR) (95 %IC) et Valeur de P des blessures au niveau des ischios jambiers en fonction des différents tests de début de saison	158

Tableau 44	Risque Relatif (RR) (95 %IC) et Valeur de P des blessures au niveau des adducteurs en fonction des différents tests de début de saison	159
Tableau 45	Risque Relatif (RR) (95 % IC) et Valeur de P des blessures au niveau des quadriceps en fonction des différents tests de début de saison	160
Tableau 46	Protocole Isocinétique d'évaluation de l'articulation du genou	181
Tableau 47 a	Données isocinétiques comparatives du travail des IschioJambiers en mode Concentrique (Jambes Droite et Gauche).	183
Tableau 47 b	Données isocinétiques comparatives du travail des Quadriceps en mode Concentrique (Jambes Droite et Gauche).	184
Tableau 47 c	Données isocinétiques comparatives du travail des Quadriceps en mode Excentrique (Jambes Droite et Gauche).	185
Tableau 47 d	Données isocinétiques comparatives du travail des IschioJambiers en mode Excentrique (Jambes Droite et Gauche).	186
Tableau 47 e	Données isocinétiques comparatives sur le rapport Fléchisseurs/Extenseurs en mode Concentrique et en mode excentrique (Jambes Droite et Gauche).	187
Tableau 48	Les différents ratios IJ/Q des jambes dominantes et non dominantes obtenus aux vitesses isocinétiques de travail ; comparés et analysés chez notre population d'étude. (<i>CON=Concentrique, Exc=Excentrique</i>) (* significatif à $p<0,05$)	191

X. Liste des figures

Nom de la figure	Titre de la figure	Page
Figure 1	Les facteurs de la performance sportive en football	5
Figure 2	Les différentes qualités physiques requises pour la pratique footballistique (Triangulation selon Weineck 1990, Adaptée par A Merzouk 2003)	11
Figure 3	Organigramme : Planification, Programmation et Périodisation de l'entraînement.	16
Figure 4	Influence des postes de jeu sur le nombre total de sprints et le nombre de sprints complétés sur différentes distances (selon Di Salvo et al., 2009).	27
Figure 5	Principales études répertoriant les distances moyennes parcourues en match par des équipes professionnelles européennes masculines depuis 1974 (NR=Écart-type Non Renseigné) (*) = ne tient pas compte de l'étude de Reilly et al. 1976).	34
Figure 6	Comparatifs des distances parcourues en fonctions des postes depuis 1974 (barre bleue=défenseurs centraux, barre verte=défenseurs latéraux, barre orange=milieux axiaux, barre jaune=milieux excentrés, barre rouge=attaquants)	35
Figure 7	Principales études répertoriant les distances moyennes parcourues en match par les défenseurs depuis 1974 (barre bleue=défenseurs centraux, barre verte=défenseurs latéraux) (*) CV identiques pour les deux postes.	36
Figure 8	Comparaison des distances parcourues en compétition entre la première et la deuxième mi-temps depuis 1978 (barre bleue pour la première mi-temps, barre rouge pour la deuxième mi-temps). (*) CV pour les premières et deuxièmes mi-temps respectivement)	37
Figure 9	Principe du fonctionnement du GPS (<i>A. Rahou and Insiders, 2020</i>)	44
Figure 10	Schéma descriptif et arborescences de l'entraînement sportif (J. Weineck, 1996)	55
Figure 11	Interdépendance de certains principes de l'entraînement Sportif (Voir chapitre 1 : principes de l'entraînement : Revue littérature)	56
Figure 12	Programmation de l'entraînement sportif	57
Figure 13	Organisation d'une préparation physique de début de saison	58
Figure 14	Principales études et les distances moyennes parcourues en match par des équipes professionnelles européennes masculines depuis 1974 (NR=Écart-type Non Renseigné) (*) =ne tient pas compte de l'étude de Reilly et al.1976.	61
Figure 15	Model de classification des jeux réduits selon Nick Broad (remodéliser par JC Hourcad)	64
Figure 16	Quantification de la charge d'entraînement	65

Figure 17	Différentes tâches réalisées au sein du club (Structure d'accueil).	67
Figure 18	Réalisation des Test-Terrain du CMJ (Counter Mouvement Jump) avec le dispositif et l'application « My jump 2 »	69
Figure 19	Test de prise du lactate à l'aide du Lactate-Pro, pour évaluer l'intensité de l'effort et l'installation de la fatigue musculaire en post-test du jeu réduit.	70
Figure 20	Mise en place du GPS avant réalisation du protocole de travail. GPS Fieldwiz	71
Figure 21	Dimensions et superficie du terrain du jeu réduit 2c2	72
Figure 22	Mise en place du GPS et type de rapport détaillé obtenu par l'utilisation GPS Fieldwiz A : Mise en place du GPS. B : Étalonnage et paramétrage du GPS et premiers résultats. C : Type de données et de résultats obtenus par Joueur.	73
Figure 23	Résultats du test CMJ U16	76
Figure 24	Résultats du test CMJ U17	77
Figure 25	Comparaison des résultats des paramètres de volume des deux jeux réduit (DT, DTH, DTHI)	92
Figure 26	Comparaison des résultats des paramètres de fréquence des deux jeux réduit (NB Sprint, NB Acc, NB Decc).	92
Figure 27	Comparaison des paramètres intensité des deux jeux réduit (VAM) (<i>VAM G1 = Pré test et VAM G2 = Post Test</i>)	93
Figure 28	Résultats test de CMJ et CMJ+24H du 3c3 +2 appuies fixe	94
Figure 29	Résultats test de CMJ et CMJ+24H du 3c3 +2 appuies entrant/ sortant	95
Figure 30	Relation entre le ratio CA/CC et le risque de blessure (Adaptée de Blanch et Gabett) (figure changer)	120
Figure 31	Relation entre la variation hebdomadaire de la charge d'entraînement et le pourcentage de blessures (Gabett,2016).	121
Figure 32	Incidence de blessure musculaire à l'entraînement et en match pour les groupes de 16-21 ans, 22-30 ans et >30 ans <i>(Training = Entrainment, Match = Match; Total = Total Injuries/1000 hours = Incidence de blessure /1000h)</i>	139

Figure 33	Incidence des blessures musculaires exprimée par 1000h de pratique. (Ekstrand et al., (2017); « UEFA Elite Club Injury Study Report 2016/17 ».) <i>X = Club, All = Tous les clubs</i>	140
Figure 34	Localisation des blessures selon (Eskstrand et al., (2011), (2017).	146
Figure 35	Prise de la masse Pondérale et de l'IMC des joueurs. (Balance KERN MPE 250K1000PM)	150
Figure 36	Prise et mesure de la taille du joueur (Microtoise)	151
Figure 37	Prise des 3 Plis Cutanés avec l'adipomètre mètre.	152
Figure 38	Ergomètre Isocinétique CybexNorm - Exploration Articulaires du genou : Extension '(Quadriceps)/Flexion (IschioJambiers) lors du protocole d'évaluation isocinétique concentrique et excentrique du travail musculaire (Agoniste/Antagoniste).	153
Figure 39	Posture initiale avant d'effectuer un CMJ sur la plateforme de Force Kistler.	155
Figure 40	Relation entre le saut en contre mouvement (CMJ) et les blessures totales	162
Figure 41	Le Cybex Norm, avec son servomoteur, et positionnement pour évaluer l'articulation du genou en Flexion-Extension selon les différents modes contractiles (IschioJambiers/Quadriceps).	180
Figure 42	Graphique représentant les moyennes de chaque pic de couple des footballeurs avec leurs jambes dominantes.	189
Figure 43	Graphique représentant les moyennes de chaque pic de couple des footballeurs avec leurs jambes non dominantes.	189
Figure 44	Graphique représentant les moyennes de chaque pic de couple des handballeurs avec leurs jambes dominantes.	190
Figure 45	Graphique représentant les moyennes de chaque pic de couple des handballeurs avec leurs jambes non dominantes.	190

XI. Résumé général/Abstract

Résumé

Cette thèse s'intéresse à l'intégration des jeux réduits (small-sided games) dans la préparation physique du footballeur, en mettant en lumière leur contribution à la performance athlétique, à la prévention des blessures et à la planification de l'entraînement. À travers une approche expérimentale, plusieurs configurations de jeux (notamment les formats 2c2 et 3c3) ont été testées afin d'évaluer leur impact sur les sollicitations neuromusculaires et les exigences physiologiques. L'utilisation d'outils de mesure comme le RPE, les tests isocinétiques, le FMS (Functional Movement Screen), le CMJ (Counter Movement Jump), et surtout les GPS a permis une quantification fine des charges internes et externes. Les GPS se sont révélés essentiels dans notre protocole, en permettant d'analyser avec précision les distances parcourues à différentes intensités, les accélérations/décélérations, les zones de vitesse, et les mouvements spécifiques au poste. Ces données ont joué un rôle crucial pour adapter les contenus d'entraînement à l'individualité des joueurs et à leurs besoins réels.

Nos résultats démontrent que les jeux réduits, correctement planifiés et monitorés par GPS, constituent un outil polyvalent permettant de développer à la fois les qualités physiques (endurance, force, puissance), techniques et tactiques. Ils s'intègrent efficacement dans des stratégies de prévention des blessures en réduisant les déséquilibres fonctionnels, en évitant les pics de charge mal maîtrisés (grâce notamment au suivi du ratio A/C), et en favorisant une récupération plus qualitative.

Abstract

This thesis focuses on the integration of small-sided games (SSGs) into the physical preparation of football players, highlighting their contribution to athletic performance, injury prevention, and training planning. Through an experimental approach, several game configurations—particularly 2v2 and 3v3 formats—were tested to evaluate their impact on neuromuscular load and physiological demands.

Measurement tools such as RPE, isokinetic testing, FMS (Functional Movement Screen), CMJ (Counter Movement Jump), and especially GPS tracking were used to accurately quantify internal and external loads. GPS devices proved essential in our protocol, providing precise analysis of distances covered at various intensities, accelerations/decelerations, speed zones, and position-specific movement patterns. These data were crucial for tailoring training sessions to the individual needs and profiles of players.

Our results demonstrate that well-structured and GPS-monitored small-sided games are versatile tools that simultaneously develop physical (endurance, strength, power), technical, and tactical abilities. When integrated into training programs, they also serve as effective strategies for injury prevention by reducing functional imbalances, avoiding poorly managed training load spikes (notably via acute/chronic workload ratio monitoring), and promoting better recovery.

In conclusion, this study confirms the value of an integrated and individualized approach to physical preparation, in which small-sided games and tracking technologies such as GPS play a central role in optimizing performance while minimizing injury risk.