

UNIVERSITE DE LILLE

Faculté des Sciences du Sports et de l'Education Physique

ECOLE DOCTORALE BIOLOGIE SANTE (ED n°446)

EA 7369 – URePSS

Thèse présentée en vue de l'obtention du grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE LILLE

Discipline : Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives.

DELECROIX Barthélémy

Charge de travail et blessures dans le football de haut niveau

Dirigée par :

Pr. Serge Berthoin, HDR, Université de Lille

Pr. Grégory Dupont, HDR, Université John Moores de Liverpool

Présentée et soutenue publiquement le 21 Juin 2019

Devant le jury composé de :

Professeur Serge BERTHOIN, Université de Lille, Co-directeur

Professeur Laurent BOSQUET, Université de Poitiers, Rapporteur

Docteur Anne DELEXTRAT, Oxford Brookes University, Rapporteur

Professeur Grégory DUPONT, Université John Moores de Liverpool, Co-directeur

Docteur Vincent GOUTTEBARGE, University of Amsterdam, examinateur

Docteur Philippe NOIREZ, Université de Paris Descartes, examinateur

Professeur Claire TOURNY, Université de Rouen, Présidente de Jury

*'Un pessimiste voit la difficulté dans chaque opportunité, un optimiste voit l'opportunité dans
chaque difficulté'*

Attribué à Winston Churchill

Remerciements

Grégory, il n'est pas facile de trouver les mots pour vous exprimer ma gratitude. Je vous remercie pour la grande confiance que vous m'avez accordée depuis toutes ces années. Votre accompagnement et votre soutien ont été parmi les choses les plus précieuses qui m'ont été données durant les cinq dernières années. En m'aidant à grandir et à me développer professionnellement et personnellement, vous avez changé ma vie. Vous avez été, et êtes toujours, pour moi, un modèle de tolérance, de bienveillance, et d'humilité. Je n'oublierai jamais nos heures de discussions, de réflexions, sur les terrains ou dans les bureaux, qui allaient bien au-delà du football et de la science. Ce travail n'aurait pas été possible sans vous et j'espère sincèrement que beaucoup d'autres suivront. Je vous souhaite l'épanouissement le plus total. C'est un honneur et un plaisir de travailler avec vous chaque jour.

Serge, je te remercie d'avoir accepté de co-encadrer ce projet. Je te remercie pour la grande confiance accordée tout au long de la réalisation de cette thèse et ton soutien.

Merci à Mesdames **Delextrat** et **Tourny** et Messieurs **Bosquet**, **Gouttebauge**, **Noirez** d'avoir accepté de faire partie du jury et d'avoir pris du temps pour analyser ce travail. Vos précieux retours me seront, à coup sûr, d'une grande aide pour le futur.

Merci à Messieurs **Hassane Zouhal** et **Said Ahmaïdi** pour votre accompagnement et vos conseils lors des différents comités de suivi de thèse.

Merci à M. **Brian Dawson** d'avoir accepté de nous apporter toute votre expertise lors de la réalisation et de la rédaction des différentes études de cette thèse.

Merci à M. **Alan McCall** pour ta bonne humeur, et ton aide précieuse lors de la récolte des données et de la rédaction des différents articles de cette thèse.

Merci à M. **Franck Legall** pour nos échanges et ton aide dans la récolte des données épidémiologiques.

Je tiens également à remercier Messieurs **Abd Elbasset Abaïdia**, et **Benoît Delaval** qui ont été des collègues et des partenaires de thèse lors de cette période et qui m'ont encouragé et épaulé dans ce projet.

Merci à M. **Joris Vincent**, qui m'a accompagné et m'a beaucoup aidé lors de mes premières années universitaires. Vous avez su me faire confiance et vous m'avez encouragé à poursuivre mes études vers la thèse. Sans votre aide et une certaine réunion dans votre bureau, rien de tout ça ne serait arrivé.

Merci au **club du LOSC** pour l'opportunité qui m'a été accordée d'évoluer au sein du club lors des premières années de cette thèse. A ce titre, je tiens à remercier **l'ensemble des salariés** du club, et en particulier mes amis **Benoît Bernard**, **Marco Cuvelier**, et **Cyril Semezak** pour tous nos moments de partage et de rire. Merci également à **Julien Lamblin** pour nos échanges lors des deux années de Master et lors de cette thèse.

Aux entraîneurs aux côtés de qui j'ai eu la chance de travailler parallèlement à cette thèse, Messieurs **Frédéric Antonetti**, **Patrick Collot**, **Christophe Galthier**, **René Girard**, **Franck Passi**, **Hervé Renard**, et à l'ensemble des **membres des différents staffs** au sein desquels j'ai eu la chance d'évoluer, je vous remercie grandement pour votre confiance et nos différents échanges qui m'ont permis, et ont permis à ce travail, d'évoluer et de mûrir.

Merci également à **l'ensemble des joueurs** dont j'ai croisé la route et avec qui j'ai pris un immense plaisir à travailler.

Merci à la **Fédération Française de Football** de m'avoir donné l'opportunité d'évoluer au sein de cette grande institution. Je tiens, à ce titre, à remercier le Directeur Technique National, M. **Hubert Fournier**. Merci également à mes collègues **Pauline Gamberre** et **David Boiteau** pour votre soutien et votre compréhension lors de ces derniers mois.

Merci à **mes amis** et **mes proches**, tout particulièrement **Thibault Dekeukelare**, qui a su m'encourager et m'aider à décompresser lors de la réalisation de cette thèse. Merci **Alice** pour ta patience, ton soutien et tes encouragements inconditionnels. Cela n'aurait pas été pareil sans vous.

Merci, à **ma famille, mes sœurs, mon frère et leurs clans**, pour leur amour et la source de motivation qu'ils ont été tout au long de ce travail.

Merci à **ma mère**, pour toutes ces heures de relecture, dans cette situation si particulière.

A mes parents, je n'ai pas assez de ces quelques lignes pour vous exprimer tout ce que je vous dois et à quel point je vous suis reconnaissant pour tout ce que vous m'avez apporté, depuis toujours. Vous êtes exceptionnels. Votre amour, vos mots, et vos gestes, ont été si précieux qu'il est impossible de l'expliquer ici. Vous avez été des exemples, des soutiens et des guides inestimables. Vous avez su me faire confiance en toutes circonstances. Je ne pourrai jamais vous rendre ce que vous m'avez apporté, je ferai en sorte d'en être digne, soyez tranquilles. Ce travail m'aurait été impossible sans vous, il vous est dédié.

Liste des publications et communications

Publications en relation avec l'objet de la thèse

1. **Delecroix B**, McCall A, Dawson B, Berthoin S, Dupont G (2018) Workload and non-contact injury incidence in elite football players competing in European leagues. *European Journal of Sports Sciences*, 18, 1280-1287.
2. **Delecroix B**, McCall A, Dawson B, Berthoin S, Dupont G (2018) Workload monotony, strain and non-contact injury incidence in professional football players, *Science and Medicine in Football*, publié en ligne avant impression : 13/08/2018. **Publiée en ligne avant impression.**
3. **Delecroix B**, Delaval B, Dawson B, Berthoin S, Dupont G (2019) Workload and injury incidence in elite football academy players. *Journal of Sports Sciences*, publié en ligne avant impression : 01 / 03 / 2019 **Publiée en ligne avant impression.**

Communications en relation avec l'objet de la thèse

1. **Delecroix B**, McCall A, Dawson B, Berthoin S, Dupont G. Workload and non-contact injury incidence in elite football players competing in European leagues. Congrès Mondial des Sciences du Football (World Conference on Science and Soccer), Rennes, 31 Mai – 2 Juin 2017. **(Communication affichée)**
2. **Delecroix B**, McCall A, Dawson B, Berthoin S, Dupont G. Acute:Chronic workload ratio and injury incidence in professional football players. Journée André Verbert, 14 Septembre 2017. **(Communication affichée)**
3. **Delecroix B**, McCall A, Dawson B, Berthoin S, Dupont G. Workload and non-contact injury incidence in elite football players competing in European leagues. Confédération Africaine de Football : Atelier francophone sur les appareils de contrôle des performances physiques, Johannesburg, 27-28 Février 2019. **(Communication orale)**

Lexique

CCI : Coefficient de corrélation intraclasse

CMJ : Saut en contre mouvement

CV : Coefficient de variation

ET : Ecart-type

FC : Fréquence cardiaque

GPS : Système de localisation par satellite (Global Positioning System)

Ratio A:C : Ratio de la charge de travail aigüe sur la charge de travail chronique

RR : Risque relatif

sRPE : Evaluation subjective de la difficulté de la séance basée sur une échelle de perception de l'effort

UA : Unités arbitraires

VO₂ : Consommation d'oxygène

VO_{2max} : Consommation maximale d'oxygène

Liste des tableaux

Tableau 1 : *Description des critères d'évaluation de la fiabilité d'un outil (ET : Ecart type).*

Tableau 2 : *Résumé des niveaux de validité et de reproductibilité des unités GPS, réalisés à partir des résultats de la revue de littérature de Scott et al., 2016.*

Tableau 3 : *Exemples de tests de laboratoire et de terrain pouvant être mis en place dans le cadre d'une évaluation de la condition physique.*

Tableau 4 : *Etudes sur les associations entre charge de travail interne et niveau de performance dans le football de haut niveau et analyse méthodologique des études.*

Tableau 5 : *Etudes sur les associations entre charge de travail externe et niveau de performance dans le football de haut niveau et analyse méthodologique des études.*

Tableau 6 : *Effets de la méthode de normalisation des incidences sur les résultats de suivi des blessures.*

Tableau 7 : *Description des études ayant évalué l'incidence des blessures chez les joueurs de football issus de centres de formations, selon la définition de Fuller et al. (2006).*

Tableau 8 : *Description des études épidémiologiques réalisées chez les joueurs de football professionnel selon la définition de Fuller et al. (2006).*

Tableau 9 : *Description des principaux types de régression et recommandations d'utilisation selon l'objectif de l'étude, le type de variable et les résultats souhaités.*

Tableau 10 : *Description et qualité méthodologique des études ayant évalué l'association entre charge de travail et incidence des blessures chez les jeunes joueurs de football de haut niveau.*

Tableau 11 : *Description et qualité méthodologique des études ayant évalué l'association entre la charge de travail et l'incidence des blessures chez les footballeurs professionnels.*

Tableau 12 : *Risque relatif (RR), intervalle de confiance à 95%, valeur de p, sensibilité (IC 95%), spécificité (IC 95%), ratio de probabilité positive (IC 95%), ratio de probabilité négative (IC 95%) entre les différentes charges absolues et les valeurs de référence entre 3745 and 10629 UA pour la charge sur 4 semaines, entre 2822 et 8319 UA pour la charge sur 3 semaines, entre 1441 et 4033 UA pour la charge sur 2 semaines et entre 833 et 2994 UA pour la charge sur une semaine.*

Tableau 13 : *Risque relatif (RR), intervalle de confiance à 95% (IC 95%), valeur de p, sensibilité (IC 95%), spécificité (IC 95%), ratio de probabilité positive (IC 95%), ratio de probabilité négative (IC 95%) entre les différents seuils pour le ratios A:C avec une charge chronique de 4 semaines.*

Tableau 14 : *Risque relatif (RR), intervalle de confiance à 95% (IC 95%), valeur de p, sensibilité (IC 95%), spécificité (IC 95%), ratio de probabilité positive (IC 95%), ratio de*

probabilité négative (IC 95%) entre les différents ratios A:C avec une charge chronique de 4 semaines et la condition référence, qui correspond à un ratio compris entre 0,85 et 1,25.

Tableau 15 : *Risque relatif (RR), intervalle de confiance à 95% (IC 95%), valeur de p, sensibilité (IC 95%), spécificité (IC 95%), ratio de probabilité positive (IC 95%), ratio de probabilité négative (IC 95%) pour toutes les conditions ayant montré une association significative avec l'incidence des blessures pour les ratios A :C avec une charge chronique de 2 semaines et 3 semaines, et pour les variations hebdomadaires de la charge de travail.*

Tableau 16 : *Nombre de joueurs suivis par saison dans les catégories U19 et U21.*

Tableau 17 : *Risque relatif (RR) (IC à 95%) et valeur de p pour une augmentation de la charge absolue lors des 7 derniers jours (1 semaine), 14 derniers jours (2 semaines), 21 derniers jours (3 semaines) et 28 derniers jours (4 semaines) dans la catégorie U19.*

Tableau 18 : *Risque relatif (RR) (IC à 95%) et valeur de p pour une augmentation du ratio de charge A:C calculé avec une charge chronique de 28 joueurs (4 semaines), 21 jours (3 semaines), 14 jours (2 semaines) et les variations hebdomadaires dans la catégorie U19.*

Tableau 19 : *Risque relatif (RR) (intervalle de confiance à 95%) et valeur de p pour une augmentation de la charge absolue lors des 7 derniers jours (1 semaine), 14 derniers jours (2 semaines), 21 derniers jours (3 semaines) et 28 derniers jours (4 semaines) dans la catégorie U21.*

Tableau 20 : *Risque relatif (RR) (IC à 95%) et valeur de p pour une augmentation du ratio de charge A:C calculé avec une charge chronique de 28 jours (4 semaines), 21 jours (3 semaines), 14 jours (2 semaines) et les variations hebdomadaires dans la catégorie U21.*

Liste des figures

Figure 1 : Deux athlètes avec la même durée de pratique, représentée par le volume total, mais avec des intensités de travail différentes, représentées par les 3 zones.

Figure 2a : Le nombre d'actions effectuées comme indicateur du volume de travail.

Figure 2b : Le nombre d'actions effectuées comme indicateur de l'intensité de travail pour un même volume (durée). Cinq actions ont été comptabilisées pour l'athlète 1, 16 actions ont été comptabilisées pour l'athlète 2.

Figure 3 : Résumé des différents outils de mesure de la charge externe. + : bon ; O : Ni bon, ni mauvais, dépend des variables ; - : mauvais. Adapté de Bourdon et al. (2017).

Figure 4 : Place de la charge interne dans le processus d'entraînement et dans les résultats de l'entraînement, adapté de Impellizzeri et al. (2005).

Figure 5 : Description des différentes ondes d'un ECG. L'intervalle RR représente le temps entre les ondes R de deux battements cardiaques.

Figure 6 : Evolution des outils d'enregistrement de la fréquence cardiaque.

Figure 7 : Historique et description des différentes échelles de perception de l'effort. L'échelle (1) est l'échelle RPE créée en 1972 par Borg ; les échelles (2) et (3) sont les échelles CR-20 et CR-10 créées entre 1982 et 1987 par Borg ; l'échelle (4) correspond à l'échelle de Borg CR-10 modifiée par Foster (1998) pour mesurer la charge d'entraînement à l'aide de la méthode de la sRPE.

Figure 8 : Description de l'utilisation de la sRPE dans le processus d'entraînement selon les recommandations de Foster et al. (2001) (Impellizzeri et al., 2005).

Figure 9 : Méthodologie de la détermination du niveau d'évidence scientifique, selon Harbour et Miller (2001).

Figure 10 : Fiche d'enregistrement créée par consensus d'experts pour la FIFA, adaptée de Fuller et al. (2006).

Figure 11 : Recommandations méthodologiques pour réaliser une étude épidémiologique (Brooks et Fuller, 2006 ; Fuller et al., 2006).

Figure 12 : Localisation des blessures chez des jeunes joueurs de haut niveau (U19, d'après Nilsson et al. (2016).

Figure 13 : Localisation et proportion des 5 blessures les plus fréquentes dans le football de haut niveau, d'après Ekstrand et al. (2013).

Figure 14 : Le nombre de jours d'absence pour 1000h de pratique pour les 5 blessures provoquant le plus grand nombre de jours d'absence pour 1000h de pratique dans le football de haut niveau, d'après Ekstrand et al. (2013).

Figure 15 : *Tableau de contingence utilisé pour illustrer la répartition de la population face à l'exposition à un facteur et à la survenue d'une blessure (+ = positif ; - = négatif) (Pearson, 1904).*

Figure 16 : *Modèle multifactoriel de la blessure, d'après Meeuwisse et al. (1994).*

Figure 17 : *Modèle multifactoriel et dynamique de la blessure, d'après Meeuwisse et al. (2007).*

Figure 18 : *Modèle complexe et dynamique de la blessure, d'après Bittencourt et al. (2016).*

Figure 19 : *Les séquences de prévention de la blessure de van Mechelen (1992) et les recommandations concernant chaque étape de ce modèle.*

Figure 20 : *Figure d'aide à la prise de décision pour le staff, établissant le rapport entre les bénéfices potentiels, l'énergie à déployer et le niveau de risque de la stratégie mise en place.*

Figure 21 : *Adaptations du modèle dynamique de la prévention des blessures de Bittencourt et al. (2016) au football et à la place de la charge de travail dans la prévention des blessures dans le football.*

Sommaire

Remerciements	3
Liste des publications et communications	6
Lexique	7
Liste des tableaux	8
Liste des figures	10
Sommaire	12
Résumé	14
Introduction	16
Revue de littérature	19
1. La mesure de la charge de travail	20
1.1 Définition de la charge de travail.....	20
1.2 Charge de travail externe.....	21
1.2.1 Le temps de pratique, la fréquence de pratique.....	21
1.2.2 Le nombre d'actions	22
1.2.3 Les mouvements sur le terrain.....	24
1.2.3.1 L'utilisation des GPS.....	24
1.2.3.2 Les outils de suivi du mouvement en match	29
1.2.4 Bilan sur la charge de travail externe	30
1.3 Charge de travail interne.....	31
1.3.1 Charge de travail interne : Définition et importance.....	31
1.3.2 Les outils de suivi de la charge de travail interne.....	33
1.3.2.1 La fréquence cardiaque.....	33
1.3.2.2 Echelle subjective : la sRPE	37
1.3.3 Bilan sur la charge de travail interne.....	41
1.4 Résumé de la partie	43
2. Charge de travail et amélioration de la condition physique	44
2.1 Condition physique et performance : Définitions, méthodologie et applications pratiques.....	44
2.2 Les indicateurs de performance physique dans le football	47
2.2.1 Les tests de la fonction neuromusculaire	47
2.2.2 Les tests aérobies.....	49
2.2.2.1 Les tests maximaux	50
2.2.2.2 Les tests sous-maximaux.....	51
2.2.3 Relations entre indicateur de performance physique et performance en football.....	52
2.3 Relations entre charge de travail et condition physique.....	53
2.3.1. Méthodologie.....	55
2.3.2 Niveau d'évidence scientifique des relations entre charge de travail interne, condition physique et niveau de performance dans le football de haut niveau.....	57
2.3.3 Niveau d'évidence scientifique des relations entre charge de travail externe, condition physique et niveau de performance dans le football de haut niveau.....	63
2.4 Résumé de la partie	68
3. Epidémiologie, niveau de risque, et football de haut niveau	69
3.1 Les blessures dans le football de haut niveau	70

3.1.1 Définition de la blessure	70
3.1.2 Quantification des blessures dans le football	74
3.1.3 Epidémiologie de la survenue de blessures chez les joueurs de football de haut niveau évoluant en centre de formation.	77
3.1.4 Epidémiologie chez les joueurs de football professionnel	82
3.2 Le risque	95
3.2.1 Définition du risque et du niveau de risque	95
3.2.2 Mesure du risque et des facteurs de risque	97
3.2.2.1 Les études cas-témoin	97
3.2.2.2 Les études de cohorte prospective	100
3.2.2.3 Les études randomisées contrôlées	104
3.2.2.4 Association et prédiction	105
3.3 Les modèles de risque de blessure dans le football	108
3.3.1 L'identification d'un facteur de risque : l'approche isolée	108
3.3.2 La blessure est multifactorielle : l'approche holistique	109
3.3.2.1 Etudier les interactions entre les facteurs de risques et les évènements déclencheurs : les modèles de Meeuwisse.	109
3.3.2.2 Les systèmes complexes dynamiques	112
3.4 Résumé de la partie	115
4. Charge de travail et blessures dans le football de haut niveau	117
4.1 Niveau d'évidence scientifique de l'association entre charge de travail et incidence des blessures dans le football de haut niveau.	117
4.1.1 Méthodologie	119
4.1.2 Niveau d'évidence scientifique de l'association entre la charge de travail et l'incidence des blessures chez les jeunes joueurs de football de haut niveau en centre de formation.	120
4.1.3 Niveau d'évidence scientifique de l'association entre la charge de travail et l'incidence des blessures chez les joueurs de football professionnel	124
4.2 Résumé de la partie	131
5. Synthèse de la revue de littérature	133
<i>Contribution personnelle</i>	<i>134</i>
Problématique et objectifs des études mises en places.	135
Etude N° 1 : Charge de travail et incidence des blessures sans contact chez les footballeurs de haut niveau participant aux compétitions européennes.	136
Etude N° 2 : Monotonie, contrainte de charge de travail et incidence des blessures sans contact chez les footballeurs professionnels.....	153
Etude N°3 : Charge de travail et incidence des blessures chez les joueurs de football de haut niveau issus de centres de formation.	162
<i>Discussion générale</i>	<i>176</i>
<i>Conclusion</i>	<i>185</i>
<i>Perspectives.....</i>	<i>188</i>
<i>Références</i>	<i>191</i>

Résumé

Le football de haut niveau a été décrit comme une activité à très haut risque de blessure. La charge de travail a été identifiée comme un facteur de risque de blessures dans de nombreuses activités sportives. Dans le football, l'un des outils le plus utilisés pour mesurer la charge de travail interne est la méthode de la séance basée sur la perception de l'effort, dans laquelle il est demandé aux joueurs d'évaluer subjectivement l'intensité globale de la séance. La charge de travail est calculée en multipliant la valeur d'intensité perçue lors de la séance par le temps de séance ou de match. Cependant, le niveau d'évidence scientifique concernant l'association entre la charge de travail interne et l'incidence des blessures dans le football de haut niveau est faible. Ainsi, l'objectif de cette thèse est d'évaluer l'association entre plusieurs indicateurs de la charge de travail interne et l'incidence des blessures chez des footballeurs de haut niveau.

Pour répondre à cet objectif, la thèse s'articule autour de cinq grandes parties. La première partie concerne l'introduction. La seconde partie porte sur une revue de littérature. Cette revue de littérature intègre la mesure de la charge de travail, l'interaction entre cette charge de travail et l'amélioration de la condition physique, l'épidémiologie des blessures dans le football de haut niveau, l'interaction entre charge de travail et blessures. La troisième partie correspond aux études de cohorte effectuées pour répondre aux objectifs de cette thèse. La quatrième partie correspond à la discussion générale en articulant les résultats des études menées et ceux de la littérature. La dernière partie concerne la conclusion.

Les principaux résultats de ces études de cohorte indiquent des relations entre différents indices dérivés de la charge de travail interne chez les footballeurs professionnels et l'incidence des blessures. Des associations entre la charge de travail mesurée à l'aide de la charge interne et l'incidence des blessures chez de jeunes joueurs de haut niveau issus de centre de formation ont été observées. Enfin, si la charge de travail est associée à l'incidence des blessures, la charge de travail ne peut pas être considérée comme prédictive de la blessure.

Les résultats de cette thèse fournissent des informations sur la manière dont la charge de travail peut être utilisée par les praticiens, et sur la manière d'interpréter ces indicateurs dans la prise de décision.

Mots clés : sport collectifs, prévention, entraînement, épidémiologie.

Abstract

Elite football has been described as an activity with a very high level of injury risk. Workload has been associated with injury incidence in several activities. In football, one of the most common tools used to quantify the internal workload is a method based on the perceived exertion. With this method, the players are asked to subjectively assess the global intensity of the session. The workload is calculated by multiplying the perceived intensity by the duration of the session. However, the scientific level of evidence concerning the association between the internal workload and the injury incidence in elite football is low. Therefore, the aim of this thesis is to evaluate the association between several internal workload indicators and the injury incidence in elite level football players.

This thesis is based on 5 different parts. The first part is the introduction. The second part is a review of literature about the workload monitoring, the relationship between the workload and the level of performance in elite football, the injury epidemiology in elite football, and the relationship between the workload and the injury incidence in elite football. The third part of this thesis described the 3 cohort studies led to reach the aims of this thesis. The fourth part corresponds to a general discussion in which the results of the cohort studies are discussed based on the literature. The last part is a general conclusion.

The main results of the prospective cohort studies led indicate associations between internal workload indicators and injury incidence with elite football players. Associations have been identified between the internal workload and injury incidence with elite level players from a youth academy. The results of these studies also indicate that even if the workload is associated with the injury incidence in football, the workload cannot be considered as an injury prediction tool.

The results of this thesis give information about the way the workload can be monitored by practitioners and on the way the workload indicators should be used to help the decision making process.

Key words : Team sports, prevention, training, epidemiology.

Introduction

La probabilité de se blesser dans le football professionnel est 1000 fois plus importante que dans les emplois industriels les plus risqués (Drawer et Fuller, 2002). La blessure en football a des conséquences négatives multiples sur la santé des joueurs et la performance sportive. Un antécédent de blessure est associé à une augmentation du futur risque de blessure (Hägglund et al., 2013a). Une forte incidence des blessures dans un club est associée à de moins bonnes performances en championnat ainsi que dans les compétitions européennes (Ligue des Champions UEFA et Europa League) (Hägglund et al., 2013b). Ce constat met en évidence l'importance de la réduction de l'incidence des blessures dans le football.

La blessure en football est multifactorielle. Un facteur de risque est défini par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) comme tout attribut, caractéristique ou exposition d'un sujet qui augmente la probabilité de développer une maladie ou de souffrir d'un traumatisme.

Le football professionnel est le sport le plus suivi au monde. D'après un rapport de la FIFA, plus de 3,5 milliards de téléspectateurs ont regardé la Coupe du Monde 2018, soit 51 % de la population mondiale (Rapport de la FIFA, Décembre 2018). L'organisation de la Coupe du Monde de la FIFA rapporte plus de 3 milliards de dollars à la FIFA (Du Plessis et Maennig, 2011). La popularité du football, et les profits qui en découlent poussent les instances dirigeantes à organiser de nouvelles compétitions. La mise en place de la Ligue des Nations en 2018 et la volonté de mettre en place une Coupe du Monde des clubs à 24 participants d'ici 2021, ou d'une nouvelle formule de la Ligue des Champions d'ici 2024, dans laquelle les finalistes joueraient 21 matchs contre 13 actuellement, témoignent de cette tendance. L'incidence des blessures est 6,7 fois plus importante lors des matchs que lors des entraînements (Hägglund et al., 2013b) et est également augmentée lorsque 2 matchs sont séparés par des périodes de récupération de moins de 96h (Dupont et al., 2010 ; Bengtsson et al., 2018). Dans une enquête menée auprès de 34 équipes participant à des compétitions européennes, McCall et al. (2015) ont montré que la fatigue était considérée comme le deuxième facteur de risque de blessure le plus important par les praticiens, derrière les antécédents de blessure (un facteur de risque non modifiable).

Ces résultats mettent en lumière l'importance du suivi des joueurs. Akenhead et Nassis (2016) ont montré dans une enquête que l'ensemble des clubs interrogés mettaient en place un suivi de la charge de travail dont l'un des objectifs principaux était la prévention des blessures. Selon un consensus d'experts, la charge de travail a été définie comme le stress imposé à un athlète durant l'entraînement ou la compétition (Bourdon et al., 2017).

Cependant, à notre connaissance, le niveau d'évidence scientifique de l'association entre la charge de travail et l'incidence des blessures dans le football de haut niveau n'a jamais été

évalué. Cette problématique soulève plusieurs questions de recherche sur la charge de travail dans le football de haut niveau :

- Quel est le niveau d'évidence scientifique de l'association entre charge de travail et performance dans le football de haut niveau ?
- Quel est le niveau d'évidence scientifique de l'association entre charge de travail et incidence des blessures dans le football de haut niveau ?
- Existe-t-il un niveau de charge de travail pour optimiser les performances tout en limitant le niveau de risque de blessure des joueurs de football de haut niveau ?

Pour répondre à cette problématique et ces questions de recherche, ce travail sera divisé en 2 parties. La première partie portera sur une revue de littérature dans laquelle seront définies la charge de travail, les outils et méthodes pour la mesurer. Dans cette revue de littérature, après avoir identifié les recommandations méthodologiques à suivre pour la mise en place d'une étude de cohorte, le niveau d'évidence scientifique des associations entre la charge de travail et la condition physique, et le niveau d'évidence scientifique des associations entre la charge de travail et l'incidence des blessures seront établis. Dans la deuxième partie de la thèse, trois études de cohorte seront présentées dans l'objectif d'évaluer les associations entre différents indicateurs de la charge de travail interne et les blessures chez les footballeurs professionnels et chez les jeunes joueurs de haut niveau évoluant en centre de formation de clubs professionnels. La troisième partie de cette thèse sera une discussion générale concernant les trois études mises en place. Les principaux résultats de ces études seront mis en perspective avec la revue de littérature menée. La quatrième partie de cette thèse correspondra à une conclusion générale dans laquelle des réponses à la problématique et aux questions de recherche seront apportées. Dans la cinquième partie, les perspectives soulevées par ce travail de thèse seront proposées.

Revue de littérature

1. La mesure de la charge de travail

Dans une enquête menée auprès de 41 clubs de football professionnels, Akenhead et Nassis (2016) ont montré que tous les clubs interrogés mettaient en place des stratégies de suivi de la charge de travail. Dans cette enquête, les objectifs du suivi de la charge de travail, par ordre d'importance, étaient : 1) les améliorations des performances des joueurs, 2) la gestion de la distribution de la charge de travail dans le temps, 3) la diminution du risque de blessure. Cette enquête montrait également que les méthodes et les outils de suivi de la charge de travail sont très variés dans le football professionnel, et sont dictés par : 1) les choix du coach, 2) les ressources humaines disponibles, 3) la fiabilité des données, 4) les équipements nécessaires et 5) l'absence de consensus pour les analyses (Akenhead et Nassis, 2016).

Dans la première partie de cette revue de littérature, l'objectif sera d'utiliser la littérature scientifique pour définir la charge de travail à l'aide de consensus d'experts scientifiques, et de décrire les outils disponibles, en en présentant les avantages, les limites, les niveaux de fiabilité et leur utilisation possible dans le football.

1.1 Définition de la charge de travail

Un consensus du comité international olympique (CIO) définit la charge comme « la charge issue et non issue du sport (stresseurs physiologiques, psychologiques ou mécaniques ; uniques ou multiples) correspondant à des stimuli appliqués à un organisme (au niveau intracellulaire, cellulaire, tissulaire, organique, ou au niveau de l'individu) » (Soligard et al., 2016). La charge peut être appliquée à l'organisme sur des périodes de temps variables (secondes, minutes, heures, jours, semaines, mois, et années) et avec une grandeur variable (volume, fréquence et intensité) (Soligard et al., 2016). La charge de travail correspond à l'ensemble de la charge subie lors de l'entraînement et de la compétition. La charge d'entraînement correspond au stress cumulé placé sur l'athlète lors d'une séance ou de plusieurs séances d'entraînement durant une période de temps (Soligard et al., 2016). La charge de compétition correspond au stress cumulé placé sur l'athlète issu d'une ou plusieurs compétitions imposées directement par l'effort fourni par l'athlète durant la compétition, ou indirectement par des facteurs tels que la fréquence ou la saturation des événements, la durée de la saison ou les voyages liés aux compétitions (Soligard et al., 2016).

La charge de travail a été définie par un consensus d'experts, en la catégorisant de deux manières (Bourdon et al., 2017). La charge de travail externe correspond aux mesures objectives du travail réalisé par l'athlète durant l'entraînement ou la compétition (Bourdon et al., 2017). La charge de travail interne a été définie comme le stress biologique relatif (physiologique et psychologique) imposé à un athlète durant l'entraînement ou la compétition (Bourdon et al., 2017). Ces définitions ont été simplifiées par les experts du CIO qui ont défini la charge externe comme tous les stimuli appliqués à l'athlète et mesurée indépendamment de ses caractéristiques internes, alors que la réponse individuelle de l'athlète à cette charge correspond à la charge interne (Soligard et al., 2016). Ces différentes définitions de la charge impliquent des outils de mesure de la charge différents et des méthodes de suivi différentes. Il est précisé dans la définition de la charge de travail que celle-ci peut prendre des grandeurs variables, telles qu'une durée, une fréquence ou une intensité. Ce sont ces indicateurs qui sont mesurés lors du suivi de la charge de travail.

1.2 Charge de travail externe

La charge de travail externe correspond aux mesures du travail réalisé par l'athlète (Bourdon et al., 2017). Plusieurs indicateurs peuvent être utilisés pour mesurer cette charge externe.

1.2.1 Le temps de pratique, la fréquence de pratique

Le volume et la fréquence de match sont des variables de mesure de la charge de travail externe. Dans une enquête menée auprès de clubs de football professionnels internationaux, il a été rapporté que le premier facteur utilisé dans les clubs pour réguler la charge d'entraînement était le temps de jeu récent (Akenhead et Nassis, 2016), c'est à dire le nombre de minutes passées sur le terrain en compétition. Le temps de pratique de l'activité a été utilisé pour mesurer les relations entre la charge de travail externe et la performance technique dans le football chez les jeunes (Huijgen et al., 2010) et la performance physique chez les joueurs professionnels (Campos-Vasquez et al., 2016 ; Los Arcos et al., 2014). Plusieurs études ont également utilisé la fréquence des matchs (nombre de matchs par semaine) dans le football comme variable de la charge de travail (Dupont et al. 2010 ; Bengtsson et al., 2018).

Cette méthode de suivi de la charge basée sur le temps de pratique, ou la fréquence, est accessible et très simple à mettre en place. Cependant, elle ne permet de prendre en compte que le volume de travail et non l'intensité du travail réalisé. Deux individus peuvent avoir le même

volume d'entraînement, mais avec des intensités très différentes lors de la séance, et donc, une charge de travail externe différente. Cette limite est illustrée par la figure 1. Sur cette figure, deux athlètes sont représentés, avec le même volume de travail, mais des intensités de travail complètement différentes. Cette figure met en lumière le manque d'information sur la charge de travail lorsque seul le volume de séance est calculé.

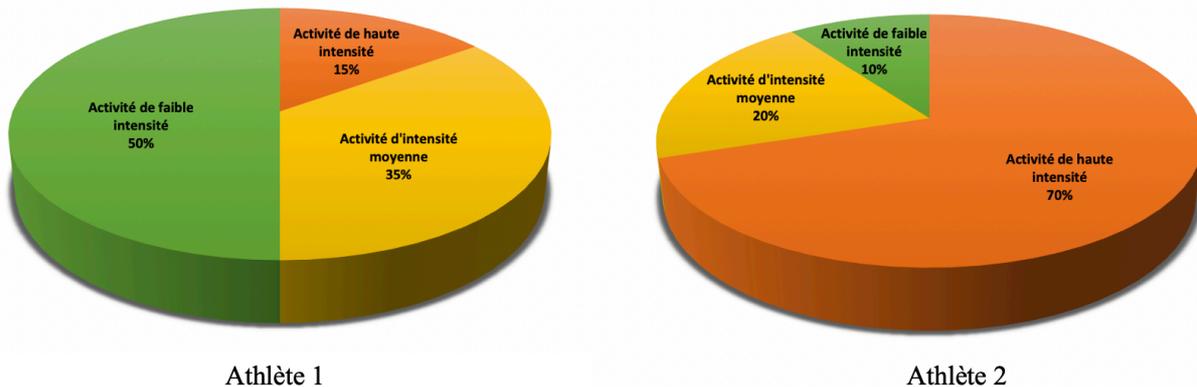


Figure 1 : Deux athlètes avec la même durée de pratique, représentée par le volume total, mais avec des intensités de travail différentes, représentées par les 3 zones.

1.2.2 Le nombre d'actions

Le cumul du nombre d'actions réalisées lors d'une séance ou d'un match est également utilisé pour quantifier la charge de travail externe. En cricket et en baseball, le nombre de balles lancées a été étudié comme indicateur de charge de travail externe (Hulin et al., 2014 ; Lyman et al., 2002). En football, le nombre d'actions à haute intensité pouvant induire des dommages musculaires (sprints <5m, sprints >5m, tacles, sauts, changements de direction brusques, contacts, frappes, passes longues) a été étudié pour définir la charge de travail issue d'un match et ses effets sur la récupération (Nédélec et al., 2014).

Cette méthode de suivi permet, comme le suivi du temps de pratique, d'obtenir un indicateur du volume de travail réalisé. Par exemple, comptabiliser le nombre de coups francs tirés par un joueur lors d'une semaine, permet d'obtenir une indication du volume de travail sur coup franc de ce joueur. Dans la figure 2a, les coups francs réalisés à l'entraînement par deux joueurs différents ont été comptabilisés, sans que le temps de travail ne soit pris en compte. Le joueur 2 a réalisé un plus gros volume de travail sur les coups francs lors de la semaine que le joueur 1, et a certainement un temps de travail plus important sur les coups francs que le joueur 1. Si

ce nombre d'actions est rapporté sur un temps (un match de football par exemple), cet indicateur peut devenir un indicateur de l'intensité du travail réalisé sur la période donnée. Par exemple, compter le nombre de sprints ou de frappes d'un joueur lors d'un match ou d'une séance permet d'obtenir une indication de l'intensité du match ou de la séance de ce joueur. Dans la figure 2b, deux joueurs ont eu le même volume (temps) de travail, mais le nombre d'actions comptées est différent et reflète les différences d'intensité lors de la séance entre les deux joueurs.

L'utilisation du comptage d'actions nécessite une analyse en temps réel ou à posteriori de chaque séance à partir de séquences vidéos. Elle nécessite donc du temps ou des ressources humaines pour être mise en place.

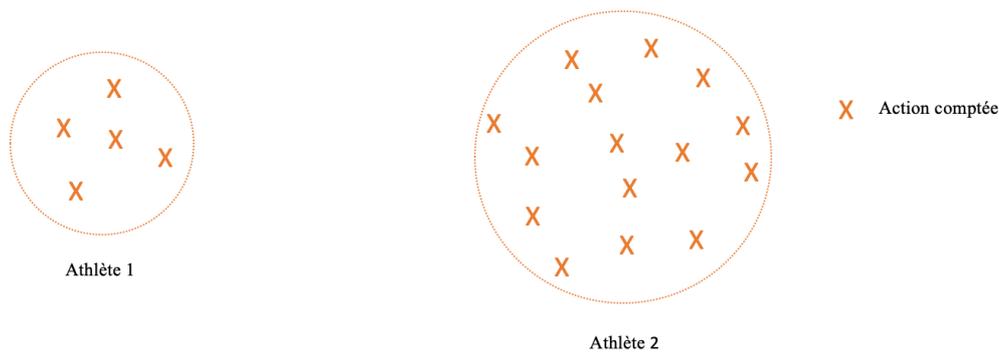


Figure 2a : *Le nombre d'actions effectuées comme indicateur du volume de travail.*

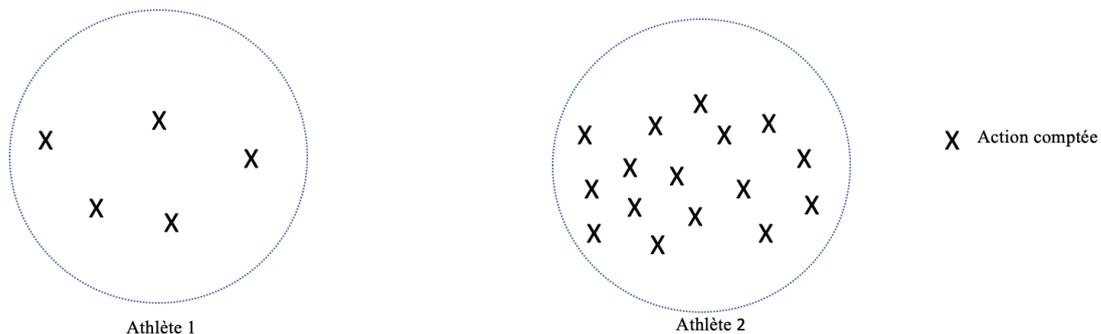


Figure 2b : *Le nombre d'actions effectuées comme indicateur de l'intensité de travail pour un même volume (durée). Cinq actions ont été comptabilisées pour l'athlète 1, 16 actions ont été comptabilisées pour l'athlète 2.*

1.2.3 Les mouvements sur le terrain

1.2.3.1 L'utilisation des GPS

Des technologies permettent un suivi des déplacements et de l'activité des joueurs à l'entraînement et en match. Dans une enquête menée auprès de 41 clubs professionnels, Akenhead et Nassis (2016) ont montré que l'ensemble des clubs ayant répondu à l'enquête utilisent le système global de positionnement (Global Positioning System, GPS) pour quantifier la charge de travail des joueurs. L'enquête indique également qu'en match, les outils les plus utilisés pour quantifier la charge sont des outils de suivi des déplacements.

La technologie GPS est une technologie de navigation basée sur un réseau satellite. Cette technologie permet d'obtenir des informations sur la localisation de l'unité utilisée. Les satellites en orbite envoient un signal au récepteur (l'unité) à la vitesse de la lumière. La durée de transfert des signaux entre les satellites et le récepteur permet de déterminer la position du récepteur sur la terre (Malone et al., 2017). Pour déterminer une position, au moins 3 satellites doivent être connectés au récepteur, la qualité de la mesure est influencée par le nombre de satellites connectés au récepteur (Witte et Wilson, 2004 ; Malone et al., 2017). Les outils GPS, commercialisés dans le sport, permettent donc, à l'aide de ces positions et de ces différences de position dans le temps, de mesurer la distance parcourue, la vitesse, l'accélération et les décélérations (Malone et al., 2017).

Les unités GPS commercialisées pour le sport sont également équipées d'accéléromètres tri-axiaux, de magnétomètres et de gyroscopes. Ces unités de mesures inertielles sont utilisées pour mesurer une charge mécanique, basée sur les variations d'accélération dans les trois axes X, Y et Z.

Les unités GPS permettent d'obtenir de nombreuses informations pour mesurer la charge de travail externe (volume de course, intensité des courses, nombre d'accélération, nombre de collisions...). Cependant, l'utilisation d'un outil de mesure nécessite d'évaluer au préalable sa fiabilité.

La fiabilité d'une mesure est définie par son niveau de reproductibilité et son niveau de validité. La validité est une mesure de l'écart entre la valeur de la mesure effectuée et la valeur réelle de ce qui est mesuré. La validité répond à la question « est-ce que l'outil mesure ce qu'il est censé mesurer ? ». La reproductibilité a été définie par Hopkins (2000a) comme la régularité des résultats d'un test lors d'essais répétés chez un même individu ou un même outil. Elle implique une meilleure précision des mesures et un meilleur suivi des évolutions des valeurs mesurées

dans le cadre de la recherche ou lors d'applications pratiques (Hopkins, 2000a). La mesure de la reproductibilité et la mesure de la validité d'un outil de mesure sont essentielles avant son utilisation et l'interprétation des résultats acquis à l'aide de cet outil. Pour évaluer la validité d'un outil, les mesures réalisées sont comparées aux mesures réalisées avec un outil de référence (Hopkins, 2000b). Pour évaluer la reproductibilité d'un outil, les mesures réalisées sur un même test avec plusieurs unités de l'outil sont comparées les unes avec les autres (reproductibilité inter-unité) ou les mesures réalisées lors de tests répétés dans les mêmes conditions et avec le même outil sont comparées les unes avec les autres (reproductibilité intra-unité) (Hopkins, 2000a). Les critères d'évaluation de la fiabilité (reproductibilité et validité) et les méthodes statistiques à utiliser sont précisés dans le tableau 1.

Tableau 1 : Description des critères d' évaluation de la fiabilité d' un outil (ET : Ecart type).

	Information fournie		Indicateurs statistiques utilisés
Reproductibilité	Erreur type ou coefficient de variation	La variation du résultat chez un sujet d'un test à l'autre (ou d'une unité à l'autre)	Erreur type = $(ET \text{ des différences entre les 2 test} / \sqrt{2})$ Coefficient de variation = $(\text{Erreur type} / \text{moyenne}) * 100$
	Coefficient de corrélation intraclasse	La variation du classement des résultats d'un test à l'autre (comment le classement évolue lorsque l'on répète le test ?)	Coefficient de corrélation intraclasse = $(ET \text{ du test}^2 / \text{erreur type}^2) / (ET \text{ du test}^2)$
Validité	Erreur type de l'estimation	Erreur de l'estimation de la valeur de référence à partir de la valeur mesurée avec l'outil évalué	Erreur type des valeurs mesurées par rapport à la courbe d'estimation
	Corrélation de validité	Variation du classement des résultats entre l'outil évalué et l'outil de référence	Coefficient de corrélation de Pearson

Plusieurs études ont évalué les niveaux de reproductibilité et de validité des variables issues des GPS.

Une revue de littérature réalisée par Scott et al. (2016) compile les résultats des études ayant évalué la validité et la reproductibilité des GPS. Les auteurs de cette revue de littérature concluent que les niveaux de reproductibilité et de validité des GPS dépendent du modèle, de la fréquence d'acquisition (Hertz, Hz) et du type de variables analysées. Les niveaux de reproductibilité et de validité des GPS, selon leur fréquence d'acquisition (1Hz, 5Hz, 10Hz) et la variable retenue, sont résumés dans le tableau 2.

Depuis cette revue de littérature, d'autres études ont été menées pour évaluer le niveau de fiabilité de solutions GPS (Beato et al., 2018 ; Hoppe et al., 2018 ; Nikolaidis et al., 2018). Les résultats de ces études sont variables et dépendent du type de GPS utilisé et du protocole mis en place. Hoppe et al. (2018) ont confirmé que l'augmentation de la fréquence d'acquisition améliorait la fiabilité de la mesure. Les GPS 18Hz permettaient d'augmenter le niveau de fiabilité des mesures enregistrées en comparaison avec un modèle 10Hz.

Dans l'enquête d'Akenhead et Nassis (2016), les variables les plus utilisées dans le football pour réaliser le suivi de la charge d'entraînement à l'aide des outils GPS sont les variables liées aux accélérations, suivies de la distance totale parcourue, et de la distance parcourue à haute intensité ($>5,5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) (Akenhead et Nassis, 2016).

Or, le coefficient de variation de l'accélération mesurée à l'aide des GPS est compris entre 1,9 et 43% selon le modèle de GPS évalué et le type de sprint mesuré (Scott et al., 2016). Ces résultats doivent amener les praticiens à connaître les valeurs de fiabilité du matériel utilisé, sur les variables utilisées dans l'aide à la prise de décision. Il semble essentiel de rester prudent dans l'analyse des données récoltées à l'aide des GPS lors des séances d'entraînement ou en match.

La technologie et les données récoltées limitent l'utilisation du GPS aux séances extérieures, et à la mesure du mouvement dans l'espace. Ainsi, le GPS ne permet pas de comptabiliser les sauts lors d'une séance, et ne peut pas être utilisé lors d'une séance en salle, une séance de musculation, ou une séance sur ergocycle par exemple. Le GPS ne permet donc pas d'obtenir un suivi complet et exhaustif de la charge de travail externe de l'athlète.

Tableau 2 : Résumé des niveaux de validité et de reproductibilité des unités GPS, réalisé à partir des résultats de la revue de littérature de Scott et al., 2016.

Fréquence d'échantillonnage	Distance totale		Distance à haute intensité		Distance à très haute intensité		Accélération		Décélération	
	Validité	Reproductibilité	Validité	Reproductibilité	Validité	Reproductibilité	Validité	Reproductibilité	Validité	Reproductibilité
1Hz	Bonne	Distance longue : Bonne Distance courte : Faible	Pas d'étude	Faible	Pas d'étude	Faible	Pas d'étude	Pas d'étude	Pas d'étude	Pas d'étude
5Hz	Bonne	Distance longue : Bonne Distance courte : Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Modérée à Faible	Modérée à Faible	Faible	Faible
10Hz	Bonne	Bonne à modérée	Bonne	Bonne	Faible	Faible	Modérée	Modérée	Faible	Modéré

1.2.3.2 Les outils de suivi du mouvement en match

Les outils GPS n'ont été autorisés en compétition qu'en Juillet 2015 (Arrêté de la FIFA, 2015). Or, des analyses de l'activité physique en match sont réalisées depuis plus de 30 ans. Dès la fin du 19^{ème} siècle, Georges Demeny et Etienne-Jules Marey utilisent la capture d'image pour réaliser des analyses de mouvements sportifs. En inventant et en utilisant la chronophotographie (série d'images successives sur un même support), ils analysaient le geste réalisé par des sportifs. L'invention et la commercialisation de la caméra entre la fin du 19^{ème} siècle et la première moitié du 20^{ème} siècle, puis les améliorations techniques de celles-ci, ont ensuite permis de développer de nouvelles méthodes de suivi de l'activité. La première étude concernant l'analyse des mouvements et de l'activité physique en match de football à l'aide de caméras a été réalisée en 1976 (Reilly et Thomas, 1976). Le développement du numérique et des techniques de codage ont permis l'émergence de nouvelles solutions basées sur l'analyse vidéo, qui permettent une analyse du match automatisée et donc plus rapide (Carling et al., 2008). De nombreuses sociétés se sont développées depuis 1990 et proposent aujourd'hui des solutions de suivi du mouvement lors d'un match de football, telles que STATS, InStat, Tracab. Un état des lieux des différentes solutions sur le marché a été réalisé par Carling et al. (2008). Ces solutions nécessitent l'installation de plusieurs caméras, fixées et calibrées autour du terrain. Les enregistrements obtenus à l'aide de ces caméras permettent d'obtenir les coordonnées et positions de chaque joueur sur le terrain et donc, de suivre les mouvements, desquels sont dérivés les distances parcourues, les vitesses, les accélérations et décélérations des joueurs (Carling et al., 2008). La fréquence d'acquisition de ces technologies est, pour la majorité des systèmes, de 25Hz. La reproductibilité et la validité du suivi du mouvement basé sur l'analyse vidéo ont été évaluées dans plusieurs études (Roberts et al., 2006 ; Duthie et al., 2003). Dans ces études, les niveaux de reproductibilité intra-observateur et inter-observateurs ont été analysés. Le niveau de reproductibilité intra-observateur est défini par les différences de résultats lorsque la même personne analyse les images à plusieurs reprises. Le niveau de reproductibilité inter-observateurs est défini par les différences de résultats entre deux observateurs indépendants.

Dans les études sur l'utilisation de caméra, le niveau de reproductibilité intra et inter-observateur est élevé pour la distance parcourue (Roberts et al., 2006), mais le niveau de reproductibilité intra-observateurs est modéré, voire faible pour le temps passé dans chaque zone d'intensité (marche, course, sprint, position immobile) (Duthie et al., 2003). Les niveaux de reproductibilité intra et inter-observateurs de la solution STATS (anciennement Prozone)

ont été évalués à plusieurs reprises et sont bons pour la distance totale (CV < 2%), la distance en sprint (CV = 3,5% (Bradley et al., 2009), la vitesse en sprint et la vitesse pic (CV entre 1 et 7 % ; ICC = 0,91) (Buccheit et al., 2014 ; Di Salvo et al., 2006). Cependant, les niveaux de reproductibilité inter-observateurs, évaluée lors de deux tests répétés et de l'analyse des tests par deux équipes de Prozone indépendantes, chutent lors de l'évaluation des variables d'accélération (CV = 20 %) et poussent à la prudence lors de l'utilisation de ces variables pour quantifier la charge de travail externe (Buchheit et al., 2014).

Bien qu'automatisées, ces solutions nécessitent un traitement humain des images et représentent un coût humain et financier important. C'est pourquoi leur utilisation est limitée à l'analyse des données en match, et ne peut, pour le moment, pas représenter un outil de suivi de la charge de travail globale des joueurs (match et entraînement).

1.2.4 Bilan sur la charge de travail externe

La charge de travail externe représente l'ensemble du travail réalisé par l'athlète, sans prise en compte des caractéristiques ou de ses réactions individuelles (Bourdon et al., 2017). Les forces et les faiblesses des outils décrits pour réaliser le suivi de la charge externe sont résumés dans la figure 3. Bien que des outils simples d'utilisation et gratuits, tels que le calcul du temps de pratique ou le nombre de répétitions d'une action, permettent d'obtenir des informations sur la charge, ils ne permettent pas un suivi global, basé sur le volume et l'intensité de cette charge externe. Les outils d'analyse de l'activité physique, tels que les GPS, permettent d'obtenir des informations sur le volume et l'intensité de l'activité réalisée par les joueurs. Cet outil a gagné en popularité et est aujourd'hui utilisé dans la plupart des clubs professionnels pour réaliser le suivi de la charge de travail externe (Akenhead et Nassis, 2016). Cependant, les limites concernant son utilisation lors de certaines séances (séances en salle, séances de renforcement ou de musculation) ne permettent pas un suivi global de la charge externe. Le niveau de fiabilité de cet outil pour mesurer certaines variables, telles que les courses à très haute intensité et les accélérations et décélérations est très variable selon le modèle utilisé. Ceci nécessite d'être prudent lors de l'utilisation et de l'interprétation des résultats obtenus à l'aide des outils GPS. La charge de travail externe ne prend pas en compte les caractéristiques et les réactions individuelles de l'athlète (Bourdon et al., 2017). La charge de travail externe ne permet donc pas de mesurer le stress physiologique et psychologique imposé à l'athlète (Impellizzeri et al., 2005). Seuls des indicateurs de la charge de travail interne de l'athlète peuvent permettre d'évaluer ce stress.

	<i>Facilité d'utilisation</i>	<i>Exhaustivité des informations recueillies</i>	<i>Fiabilité des données</i>	<i>Coût</i>
Enregistrement du temps de séance				
Enregistrement du nombre d'actions				
Utilisation des GPS				

Figure 3 : *Résumé des différents outils de mesure de la charge externe. + : bon ; O : Ni bon, ni mauvais, dépend des variables ; - : mauvais. Adapté de Bourdon et al. (2017).*

1.3 Charge de travail interne

La charge de travail interne correspond à la réponse de l'athlète à la charge de travail externe (Bourdon et al., 2017). Cette réponse individuelle peut être évaluée de manière objective ou subjective à l'aide de différents outils.

1.3.1 Charge de travail interne : Définition et importance

Bien que l'entraînement soit souvent prescrit en termes de charge externe (un temps de séance, une distance, une intensité), le stimulus à l'origine des adaptations induites par l'entraînement est le stress d'ordre physiologique et /ou psychologique imposé à l'athlète par cette charge externe (Impellizzeri et al., 2005). Des facteurs tels que la condition physique, l'histoire de l'individu, influencent également la réponse interne, et donc, le résultat de l'entraînement (Impellizzeri et al., 2005). Les résultats d'un entraînement dépendent de la charge externe, mais également de la réaction de l'athlète, basée sur ses caractéristiques personnelles (figure 4).

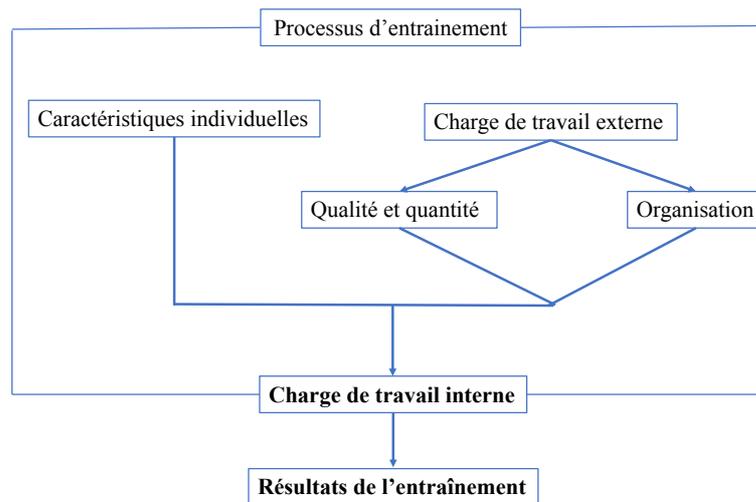


Figure 4 : Place de la charge interne dans le processus d'entraînement et dans les résultats de l'entraînement, adapté de Impellizzeri et al. (2005).

Il est essentiel de mesurer cette réaction individuelle à l'entraînement dans un sport comme le football, où de nombreux exercices collectifs sont utilisés avec des efforts différents selon les individus et des réponses individuelles variables (Hill-Haas et al., 2011).

La charge de travail interne correspond au stress biologique relatif (physiologique et psychologique) imposé à un athlète durant l'entraînement ou la compétition (Bourdon et al., 2017). Il s'agit de la réponse individuelle de l'athlète à la charge externe (Soligard et al., 2016). Cette définition de la charge de travail interne induit plusieurs notions concernant son suivi. Tout d'abord, la charge interne correspond à la réponse à un stress, d'ordre physiologique ou psychologique. Des outils de mesure de la réaction physiologique et psychologique sont nécessaires à la mesure de cette charge interne. De plus, les outils qui seront utilisés pour quantifier la charge interne doivent permettre de quantifier la réaction relative et personnelle, ce qui signifie que ces outils peuvent être objectifs ou subjectifs (liés à l'individu).

Plusieurs outils sont utilisés dans la littérature scientifique et par les praticiens pour quantifier la charge de travail interne. Dans l'enquête menée par Akenhead et Nassis (2016), les outils les plus utilisés pour suivre la charge de travail interne étaient la mesure de la fréquence cardiaque (les 41 clubs interrogés ont répondu qu'ils utilisaient la fréquence cardiaque pour réaliser le suivi de la charge de travail interne), suivi par les échelles subjectives et les questionnaires (32 clubs sur les 41 ont rapporté une utilisation des échelles subjectives dans le suivi de la charge interne).

1.3.2 Les outils de suivi de la charge de travail interne

1.3.2.1 La fréquence cardiaque

La mesure de la fréquence cardiaque (FC) à l'aide d'outils est très utilisée pour réaliser le suivi de l'intensité d'un exercice physique, en particulier dans les sports d'endurance (Achten et Jeukendrup, 2003). Ce premier outil de suivi de la fréquence cardiaque conçu par le physiologiste Willem Einthoven remonte au début du 20^{ème} siècle (invention du premier électrocardiographe, ECG). Le principe de l'ECG est basé sur l'enregistrement de l'activité électrique du cœur (Achten et Jeukendrup, 2003). L'ECG est composé de 3 sections, l'onde P, qui représente la dépolarisation et la contraction des atriums, le complexe d'ondes QRS qui représente la dépolarisation et la contraction des ventricules et l'onde T qui représente la repolarisation et le repos des ventricules (Achten et Jeukendrup, 2003) (figure 5). Le temps entre deux pics R-R correspond donc au temps entre deux battements cardiaques.

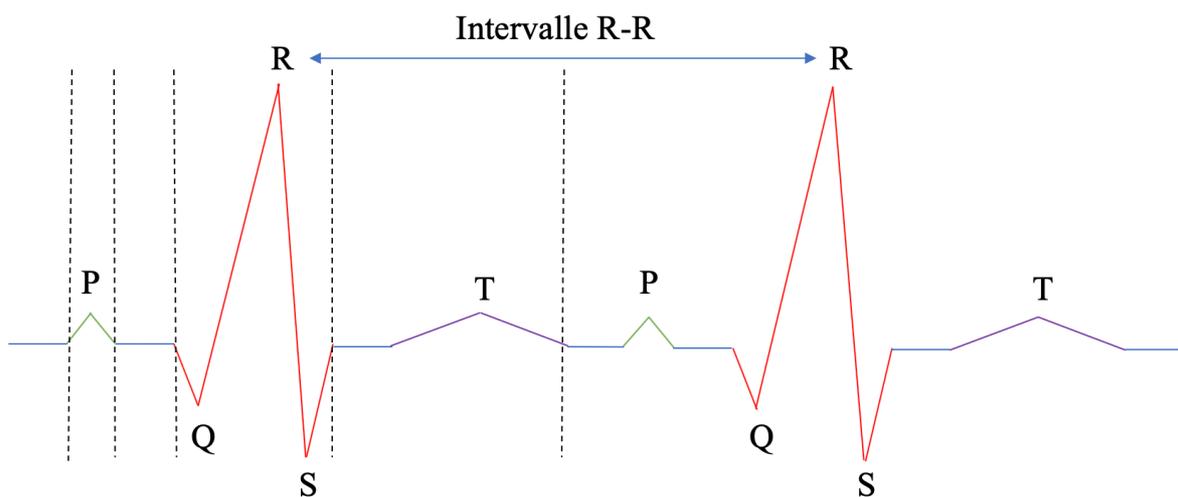


Figure 5 : Description des différentes ondes d'un ECG. L'intervalle RR représente le temps entre deux battements cardiaques.

Le matériel inventé par Willem Einthoven au début du 20^{ème} siècle ne pouvait être utilisé qu'en laboratoire ou en milieu hospitalier (Achten et Jeukendrup, 2003). Peu après cette invention, le premier moniteur de fréquence cardiaque portable a été inventé (Holter). Il nécessitait une connexion à une boîte d'enregistrement, ce qui le rendait impossible à utiliser lors de l'entraînement. Depuis les années 1980 et le premier moniteur de fréquence cardiaque

sans fil, les outils de mesure de la FC et les technologies utilisées se sont miniaturisés, jusqu'à atteindre la taille d'une montre (Achten et Jeukendrup, 2003 ; Hopkins, 1991) (Figure 6).

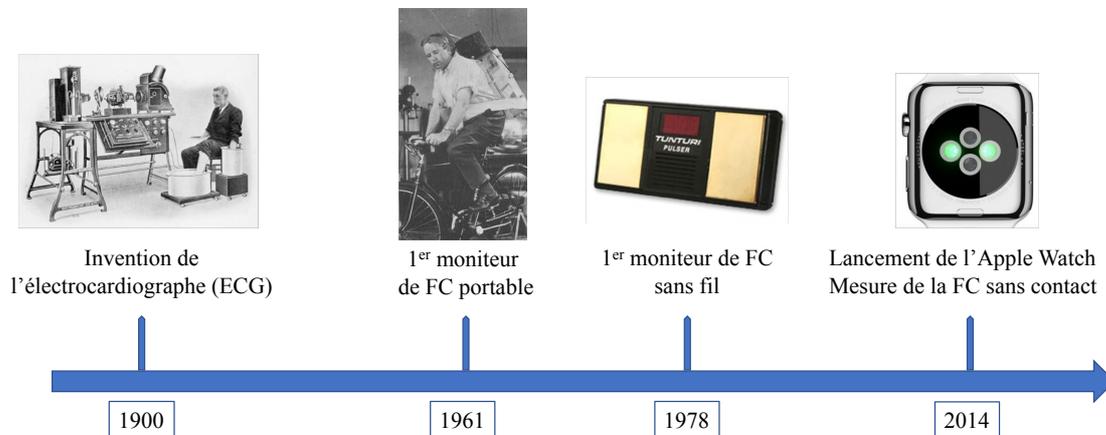


Figure 6 : Evolution des outils d'enregistrement de la fréquence cardiaque.

Plusieurs études ont évalué la reproductibilité et la validité des outils mesurant la FC (Léger et Thivierge, 1998 ; Terbizan et al., 2002 ; Abt et al., 2018). Les résultats de ces études montrent que la fiabilité des outils dépend du modèle, de la technologie utilisée et de l'intensité de l'exercice (Léger et Thivierge, 1988 ; Terbizan et al., 2002). De grandes différences existent entre les modèles, et la fiabilité des données diminue lorsque l'intensité d'exercice augmente (Terbizan et al., 2002). Par exemple, des études sur l'Apple Watch, dont la technologie permet une mesure de la fréquence cardiaque sans contact avec la peau, par photopléthysmographie (système lumineux avec photorécepteur permettant de mesurer les variations d'intensité lumineuse associées au flux sanguin dans les capillaires), montrent que cette technologie a un niveau de validité élevé mais un niveau de reproductibilité modéré pour mesurer la FC max (Erreur standard de l'estimation < 1% ; erreur type = 0,46) (Abt et al., 2018).

Ces évolutions techniques dans le matériel ont permis d'utiliser ce matériel à l'entraînement, et ont permis le développement de l'utilisation de la FC comme indicateur de la charge de travail interne. Aujourd'hui, la fréquence cardiaque est un indicateur de la charge interne utilisé dans le football de haut niveau (Akenhead et Nassis, 2016).

Le principe de l'utilisation de la fréquence cardiaque pour mesurer la charge de travail interne est basé sur la relation linéaire entre la fréquence cardiaque et l'intensité d'un exercice continu sous-maximal (Borresen et Lambert, 2009). Le principe d'utilisation met en lumière une première limite de l'utilisation de la fréquence cardiaque comme indicateur de la charge de

travail interne en football. Le football étant une activité basée sur une répétition d'actions à haute intensité entrecoupées de récupération (Bangsbo et al., 2006), la question de la relation entre la fréquence cardiaque et cet exercice discontinu, intermittent, peut être posée. Lors d'exercices intermittents avec des changements de rythmes brutaux, la fréquence cardiaque change relativement lentement et ne reflète pas les changements d'intensité d'exercice, puisque 3 à 5 minutes sont nécessaires pour l'adaptation de la FC à une augmentation de l'intensité (Achten et Jeukendrup, 2003). De plus, quelle que soit la méthode choisie pour évaluer la charge de travail à l'aide de la FC, seule la dimension aérobie du travail est prise en compte. Ces méthodes ne peuvent pas être utilisées pour quantifier la charge de travail interne lors de séances de musculation ou de sprint à dominante anaérobie (Borresen et Lambert, 2009). De plus, le suivi de la charge de travail interne à l'aide de la FC, nécessite que les joueurs portent un cardiofréquencemètre à chaque séance, et l'exploitation des données peut être difficile et chronophage (Impellizzeri et al., 2005 ; Bourdon et al., 2017).

Cependant, malgré ces limites, plusieurs indices, dérivés de la fréquence cardiaque, existent et sont utilisés pour définir l'intensité d'un exercice. Le pourcentage de fréquence cardiaque maximale (FC max) a été utilisé (équation 1), bien qu'il semble que l'utilisation de la fréquence cardiaque de réserve (FC de réserve) soit plus précise, en raison de l'absence de correspondance entre le pourcentage de FC max (%FC max) et le pourcentage de VO₂ maximale (%VO_{2max}) (Impellizzeri et al., 2005).

Equation 1 :

$$\text{Pourcentage de FC max} = \left[\frac{\text{FC de travail}}{\text{FC max}} \right] \times 100$$

L'utilisation de la FC de réserve a été définie et proposée par Karvonen et Vuorimaa (1988) selon l'équation 2 :

Equation 2 :

$$\text{FC de réserve} = \left[\frac{(\text{FC de l'entraînement} - \text{FC de repos})}{(\text{FC max} - \text{FC de repos})} \right] \times 100$$

La FC de réserve a été proposée avec pour objectif d'individualiser l'intensité de travail, en prenant en compte l'hétérogénéité de la FC de repos de la FC max (Karvonen et Vuorimaa, 1988).

En football, Impellizzeri et al. (2005) ont montré, à l'aide d'une courbe de régression, que lors d'un 5 contre 5 chez des footballeurs semi-professionnels, une association entre le pourcentage

de FC de réserve et le pourcentage de VO₂ de réserve ((VO₂ de l'entraînement – VO₂ de repos) / (VO_{2max} – VO₂ de repos) x 100). Les auteurs concluent que cet indice de FC reflète l'intensité du travail aérobie lors de la pratique du football (Impellizzeri et al., 2005).

A partir de ces indicateurs de FC (FC max, FC de réserve), plusieurs méthodes pour mesurer la charge de travail interne lors d'une séance ont été proposées.

La méthode proposée par Banister et al. (1991), est basée sur l'idée que la réponse cardiaque d'un individu associée à la durée de l'exercice, peut être une mesure de l'effort physique réalisé. Cette combinaison d'intensité et de durée proposée par Banister est appelée « training impulse » (TRIMP).

Le calcul est basé sur l'utilisation de la durée de l'entraînement, la FC de réserve, et un coefficient de sexe mettant l'accent sur les exercices à haute intensité. Le coefficient de sexe est basé sur les différences d'évolution de la lactatémie entre hommes et femmes en fonction de l'intensité de l'exercice (Borresen et Lambert, 2009). Le calcul du TRIMP est décrit dans l'équation 3 :

Equation 3 :

Charge de travail TRIMP = Durée de la séance (min) X % FC de réserve X coefficient de sexe

Cette méthode permet de coupler l'intensité de la séance à la durée de celle-ci. Cette méthode est plus adaptée aux exercices continus qu'aux activités de nature intermittente, comme le football puisqu'elle est basée sur une FC moyenne (Borresen et Lambert, 2009).

Une autre méthode a été proposée par Edwards (1993). Cette méthode, appelée « summated heart rate zone » (SHRZ), consiste à multiplier le temps passé dans une zone de fréquence cardiaque par un coefficient lié à l'intensité de cette zone. Le calcul de la charge interne à l'aide de cette méthode est décrit dans l'équation 4 :

Equation 4 :

Charge de travail SHRZ = temps passé en zone 1 X 1 + temps passé en zone 2 X 2 + temps passé en zone 3 X 3 + temps passé en zone 4 X 4 + temps passé en zone 5 X 5

Dans cette équation, le « temps passé en zone » s'exprime en minutes, et les zones correspondent aux intensités suivantes :

- Zone 1 : Entre 50 et 60% FC max
- Zone 2 : Entre 60 et 70% de FC max
- Zone 3 : Entre 70 et 80% de FC max
- Zone 4 : Entre 80 et 90% de FC max
- Zone 5 : Entre 90 et 100% de FC max.

Cependant, à notre connaissance, malgré la description de cette méthode dans plusieurs revues de littérature sur l'utilisation de la FC pour déterminer la charge de travail interne, cette méthode n'a été validée que chez de jeunes pratiquants de haut niveau de Taekwondo (Haddad et al., 2012). Comme les autres méthodes basées sur le suivi de la FC, cette méthode ne permet de quantifier que la charge de travail aérobie et l'utilisation de cette méthode en football n'a jamais été validée. Ainsi, des études visant à évaluer la validité de cette méthode pour réaliser le suivi de la charge de travail interne dans le football doivent être réalisées avant que son utilisation puisse être recommandée.

1.3.2.2 Echelle subjective : la sRPE

Le suivi de la FC permet d'obtenir une indication sur la charge de travail aérobie subie par l'athlète, mais ne donne aucune indication sur le stress psychologique subi par l'athlète. Pour réaliser un suivi physiologique et psychologique de la charge subie par l'athlète, des échelles subjectives peuvent être utilisées (Saw et al., 2016).

La méthode subjective la plus utilisée dans le football de haut niveau est l'échelle d'effort perçu lors de la séance (session rate of perceived exertion, sRPE) (Akenhead et Nassis, 2016). Cette méthode de suivi de la charge est basée sur la multiplication de l'intensité perçue de la séance par l'athlète par la durée de la séance. Le produit de cette multiplication donne un score en unité arbitraire (UA) correspondant à la charge de la séance (Foster, 2001). La somme de ces charges quotidiennes permet ensuite d'obtenir des informations sur la charge de travail interne de l'athlète (hebdomadaire, mensuelle...).

L'échelle utilisée pour réaliser ce suivi de la charge est une échelle basée sur les travaux de Borg et al. (1972 ; 1987), adaptée par Foster (1998) pour la rendre plus accessible et rendre son utilisation plus facile (Foster et al., 2001).

La première échelle proposée par Borg (1972) était une échelle de perception de l'effort entre 6 et 20 (échelle RPE), qui était basée sur la relation existante entre l'intensité perçue et la FC du participant sur ergocycle : l'effort perçu multiplié par 10 permettait d'estimer la FC du

participant. Cette échelle était conçue avec une progression linéaire de la difficulté, unité par unité (Borg, 1990). Or, les études en psychophysique sur la perception d'une intensité (Stevens, 1966) montrent que celle-ci augmente de manière exponentielle lorsque l'intensité augmente. Borg a donc proposé de nouvelles échelles non linéaires, allant de 0 à 10 ou de 0 à 20, et répondant à l'augmentation exponentielle de la perception de l'intensité lorsque celle-ci augmente (Borg CR-10 ; Borg CR-20) (Borg, 1990). L'évolution des différentes échelles de perception de l'effort est décrite dans la figure 7.

C'est l'échelle de Borg (CR-10) qui a été adaptée par Foster (1998) pour être utilisée dans cette méthode de suivi de la charge interne, et appelée « session RPE » (sRPE). Cette adaptation permet à l'échelle de mieux répondre aux caractéristiques d'une bonne échelle de perception définies par Hopkins (1991). En effet, l'objectif de ces modifications était de rendre la question posée plus accessible, de rendre les différents repères verbaux (les réponses possibles) plus facilement compréhensibles. Comme une seule question simple est posée (« Comment était ton entraînement ? »), la réponse au questionnaire ne prend que quelques secondes par athlète.

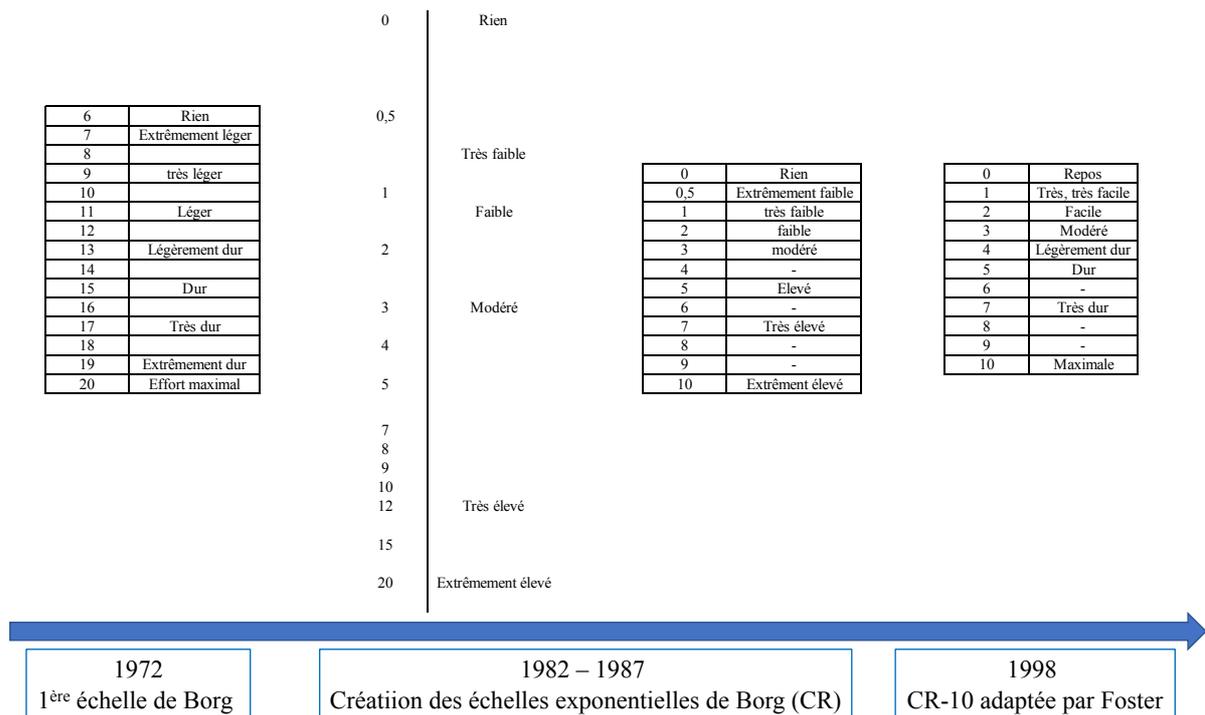


Figure 7 : Historique et description des différentes échelles de perception de l'effort. L'échelle (1) est l'échelle RPE créée en 1972 par Borg ; les échelles (2) et (3) sont les échelles CR-20 et CR-10 créées entre 1982 et 1987 par Borg ; l'échelle (4) correspond à l'échelle de Borg CR-10 modifiée par Foster (1998) pour mesurer la charge d'entraînement à l'aide de la méthode de la sRPE.

La méthode sRPE a été validée, lors d'exercices continus et intermittents sur ergocycle et lors de séances d'entraînement de basket-ball par Foster et al. (2001), avec comme valeur de référence la charge de travail définie par la méthode des TRIMP de Banister.

Dans le football, cette méthode de quantification de la charge de travail a été validée (Impellizzeri et al., 2005) en confrontation avec la méthode TRIMP de Banister ($r=0,50-0,85$; $p<0,01$). La méthode sRPE a également été validée chez les joueuses de football de haut niveau en confrontation avec les TRIMP de Banister ($r=0,84$, intervalle de confiance à 95% (IC95%) 0,80 à 0,89, étendue : 0,67 à 0,95) (Alexiou et Coutts, 2008). Bien que chez les hommes, comme chez les femmes, les corrélations trouvées soient seulement modérées pour certains individus, ce résultat ne signifie pas que la sRPE n'est pas un outil valide pour mesurer la charge de travail interne en football, puisque d'autres facteurs que la FC déterminent la charge de travail en football, comme la contribution anaérobie (Impellizzeri et al., 2005). Il a d'ailleurs été démontré par Borg et al. (1987) que la combinaison de la FC et de la lactatémie permettait d'obtenir une meilleure prédiction de la RPE que l'une de ces deux variables isolées. Scott et al. (2013) ont également démontré que la charge interne des séances mesurées à l'aide de la sRPE était associée à certaines variables de charge externe mesurées à l'aide de GPS, comme la distance totale parcourue durant la séance ($r=0,80$, IC95% : 0,72 à 0,86).

Les questionnaires et les échelles pour quantifier la charge de travail interne ont plusieurs avantages : ils peuvent être utilisés pour tous types de séance, et ce sont les outils les plus rapides, les plus simples et les moins chers à utiliser (Hopkins et al., 1991). L'utilisation d'échelles perceptives permet d'obtenir une indication complète de la charge interne, basée sur les paramètres physiques et psychologiques de l'athlète (Morgan, 1994). Cependant, la nature subjective des mesures réalisées à l'aide de ces outils peut être considérée comme une limite.

Pour être fiable, ces méthodes nécessitent également que les joueurs y soient familiarisés, que les conditions de passation des échelles soient standardisées et que les joueurs soient honnêtes dans leurs réponses (Impellizzeri et al., 2004). La méthode utilisée et recommandée par Foster et al. (2001) pour réaliser le suivi de la charge de travail interne à l'aide de la sRPE est décrite dans la figure 8.

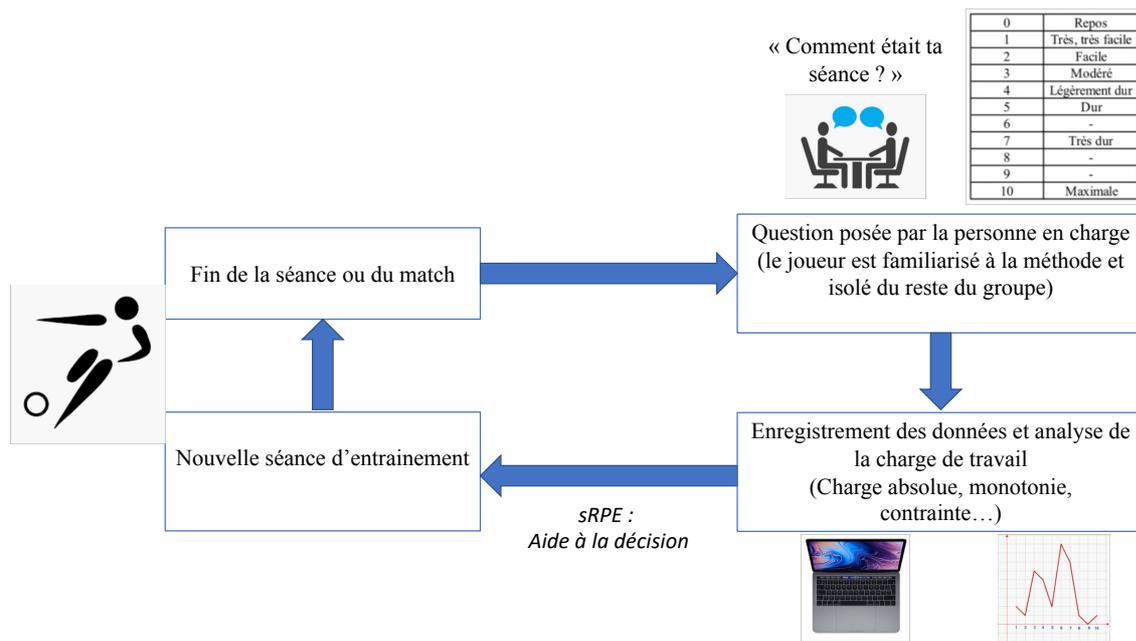


Figure 8 : Description de l'utilisation de la sRPE dans le processus d'entraînement selon les recommandations de Foster et al. (2001) (Impellizzeri et al., 2005).

Plusieurs limites ont été soulevées concernant l'utilisation de la sRPE pour définir une intensité ou une charge de travail interne. Ces limites ont conduit à des propositions de modification de la méthode originale. La graduation de 0 à 10 de l'échelle pourrait ne pas être assez fine pour avoir une estimation précise de la charge de travail (Borg et Borg, 2002). Pour répondre à cette problématique, une autre échelle a été proposée, graduée de 0 à 100 (Borg et Borg, 2002). Cette échelle a été validée dans le football et peut être utilisée de manière interchangeable avec l'échelle CR10 pour mesurer la charge de travail (Fanchini et al., 2016). Cependant, aucune étude à ce jour n'a utilisé cette nouvelle échelle pour associer la charge de travail interne à des indicateurs de performance dans le football, et son utilisation n'est pas répandue dans le football professionnel (Akenhead et Nassis, 2016). Une autre critique à l'égard de la sRPE concerne le score donné, indiquant la difficulté globale de la séance, et ne permettant pas de différencier les efforts respiratoires et les efforts musculaires. Los Arcos et al. (2014) ont proposé de différencier les efforts respiratoires des efforts musculaires pour affiner les informations, en récoltant deux scores de sRPE dissociés. Les auteurs ont obtenu des réponses différentes sur ces deux scores à l'issue d'un match de football. Toutefois, l'un des intérêts de la sRPE réside dans sa capacité à donner un indice global, physique et psychologique, du ressenti du joueur suite à la séance ou au match, ces modifications méthodologiques représentent un risque de perte d'information.

La charge de travail absolue quotidienne est mesurée à l'issue de chaque entraînement ou chaque match, et l'addition des charges absolues quotidiennes permet d'obtenir la charge hebdomadaire ou mensuelle. La monotonie et la contrainte, des indices dérivés de la méthode sRPE, ont été proposées par Foster et al. (1998) comme indices de charge de travail interne.

La monotonie est un indice de la variabilité quotidienne de la charge de travail. Elle est définie par le calcul suivant :

Equation 5 :

$$\text{Monotonie} = \frac{\text{Moyenne de la charge de travail}}{\text{Ecart type de la charge de travail}}$$

Plus la monotonie est élevée, moins la charge de travail présente de variations quotidiennes.

La contrainte est un indice basé sur l'hypothèse, émise par Foster, qu'une charge élevée et une monotonie élevée sont deux facteurs associés à des événements négatifs, et que le produit de ces deux facteurs (la contrainte) est néfaste s'il est trop élevé. La contrainte est donc définie par le calcul suivant :

Equation 6 :

$$\text{Contrainte} = \text{Charge de travail} \times \text{Monotonie}.$$

Ces deux indices ont été associés à l'occurrence des blessures ou des maladies chez des patineurs de vitesse de tous niveaux (Foster et al., 1998).

D'autres valeurs dérivées de la sRPE absolue ont été utilisées, comme les ratios de charge aigüe : chronique qui consistent à diviser la charge absolue sur une période courte (entre 1 jour et une semaine) par la charge absolue sur une période plus longue (entre 3 et 6 semaines) (Gabbett, 2016).

Ces différents indices permettent d'obtenir des informations sur la variabilité, le niveau, la répartition et l'évolution de la charge de travail interne dans le temps (Foster et al., 1998 ; Gabbett, 2016).

1.3.3 Bilan sur la charge de travail interne

La charge interne permet de mesurer la réponse individuelle de l'athlète à l'effort qui lui est demandé (Soligard et al., 2016). Ce suivi est essentiel, puisque les résultats de l'entraînement sont liés aux caractéristiques individuelles de l'athlète (Impellizzeri et al., 2005). Des méthodes

de suivi objectif telles que l'enregistrement de la fréquence cardiaque, existent. Cependant, ces méthodes ne prennent pas en compte toutes les activités réalisées au cours d'un match de football et ne permettent pas de prendre en compte la réaction psychologique de l'athlète à l'effort effectué.

Bien que, par sa nature subjective, elle nécessite une rigueur méthodologique importante, une familiarisation et une honnêteté de l'athlète, la SRPE est un outil validé pour son utilisation dans le football, gratuite, facile et rapide d'utilisation, permettant d'appréhender de manière globale la charge interne de l'athlète, aux niveaux physiologique et psychologique.

1.4 Résumé de la partie

La charge de travail est définie de deux manières, la charge de travail externe, qui correspond à l'ensemble du travail réalisé par l'athlète, et la charge de travail interne, qui correspond aux réactions de l'athlète à la charge externe (Bourdon et al., 2017). Plusieurs outils peuvent être utilisés pour mesurer la charge externe ou la charge interne (volume de travail, GPS, fréquence cardiaque, échelles subjectives) que ce soit de façon isolée ou par une combinaison de deux ou plusieurs outils. Cependant, avant de choisir un outil de suivi, il est nécessaire de s'assurer de la fiabilité des données récoltées, et de l'utilité des données récoltées pour refléter la charge de travail d'un joueur de football. Les études ont montré que selon les caractéristiques techniques de l'outil de mesure et des indicateurs de charge sélectionnés, les données de fiabilité sont très variables (Scott et al., 2016 ; Terbizan et al., 2009). Bien que certains outils permettent un suivi objectif de la charge de travail (temps de séance, GPS, cardio-fréquencemètre), aucun de ces outils ne permet de mesurer l'ensemble de la charge de travail subie par un joueur de football. Bien qu'elles demandent une familiarisation et de la rigueur méthodologique, seules les échelles subjectives permettent un suivi exhaustif de la charge de travail du joueur de football (séance de musculation, séance en salle, contribution anaérobie lors de la pratique...). En ce sens, la sRPE, est une échelle de suivi de la charge de travail, simple, gratuite et rapide d'utilisation, dont l'utilisation a été validée dans le football (Impellizzeri et al., 2004)..

2. Charge de travail et amélioration de la condition physique

L'amélioration et l'optimisation de la performance est le premier objectif du suivi de la charge de travail pour les praticiens, selon les résultats de l'enquête d'Akenhead et Nassis (2016). Cependant, à notre connaissance, le niveau d'évidence scientifique de l'association entre les différents indicateurs de la charge de travail externe et interne et le niveau de performance dans le football de haut niveau n'est pas déterminé. Pour établir ce niveau d'évidence scientifique, cette partie de la revue de littérature est découpée en 2 parties. La grande disparité des indicateurs de performance, ou de condition physique, et la confusion qui en résulte, amèneront, dans un premier temps, à réaliser une revue de ces paramètres. Dans un second temps, une revue de littérature des relations entre condition physique et performance en football sera réalisée. Ce travail permettra d'obtenir des informations essentielles afin d'établir, dans un troisième temps, le niveau d'évidence scientifique des études ayant évalué les associations entre charge de travail et niveau de performance en football.

2.1 Condition physique et performance : Définitions, méthodologie et applications pratiques

La condition physique est définie comme la capacité à réaliser des tâches quotidiennes avec vigueur et vivacité, sans fatigue indésirable, et en ayant suffisamment d'énergie pour profiter d'activités de loisirs et faire face aux urgences inattendues (Caspersen et al., 1985). Elle se caractérise par une série d'attributs liés à la santé, aux compétences mesurables, qui incluent la condition cardiorespiratoire, la force musculaire, l'endurance, la composition corporelle, la souplesse, l'équilibre, l'agilité, le temps de réaction et la puissance (Caspersen et al., 1985). De manière simplifiée, la condition physique est définie dans le dictionnaire Larousse comme « l'état général de l'organisme d'un sujet, déterminant le niveau de ses performances physiques potentielles » (Dictionnaire médical Larousse, 2006).

Ces définitions de la condition physique induisent qu'elle est mesurable, que plusieurs facteurs définissent le niveau de condition physique d'un individu, et qu'elle peut être définie par un niveau de performance physique.

Plusieurs outils peuvent permettre de déterminer la condition physique, selon les compétences que l'on cherche à évaluer (niveau de performance cardiorespiratoire, niveau de force...). Selon

les objectifs et le contexte (santé, performance athlétique dans une activité physique particulière), les évaluations et les outils d'évaluation de la condition physique seront différents. Chacun des tests visant à évaluer les qualités physiques présente un niveau de fiabilité différent. Le niveau de fiabilité, le coût et la facilité de réalisation du test de condition physique sont à prendre en compte avant de choisir quel test mettre en place pour évaluer un niveau de condition physique. Le tableau 3 décrit certains tests fréquemment utilisés pour évaluer la condition physique des individus, en laboratoire ou sur le terrain, selon la qualité physique évaluée et le contexte d'évaluation. Le niveau de reproductibilité du test, la facilité et l'accessibilité du test sont précisés. Dans le cadre du sport, il est également nécessaire d'identifier les relations entre les résultats lors du test mis en place, et le niveau de performance de l'athlète évalué dans l'activité. Pour le football, les indicateurs de condition physique doivent être valides et reproductibles, et associés à la performance physique potentielle des joueurs lors du match.

Tableau 3 : Exemples de tests de laboratoire et de terrain pouvant être mis en place dans le cadre d' une évaluation de la condition physique.

	Contexte	Test	Reproductibilité et validité	Facilité de mise en place et accessibilité
Fonction cardiorespiratoire	Laboratoire	VO ₂ max en laboratoire	CV = 2 à 6 % ICC > 0,90 (MacFarlane, 2001)	Peu accessible et coûteux (nécessite l'accès à un laboratoire)
	Terrain	Test de Léger et Boucher (1980)	CV = 2,5 % Coefficient de corrélation de Pearson par rapport au test de VO ₂ max en laboratoire = 0,96 (Léger et Boucher, 1980)	Accessible et gratuit (nécessite une piste et des plots)
Force musculaire	Laboratoire	Force isocinétique des extenseurs du genou	CV = 1,9 à 6,9 % ICC > 0,94 (Maffiuletti et al., 2007)	Peu accessible et très coûteux (nécessite une machine isocinétique)
	Terrain	1 répétition maximale (1 RM) lors d'un mouvement extension du genou sur une machine "leg extension" de musculation	CV = 6,0 % ICC = 0,97 (Levinger et al., 2009)	Moyennement accessible (nécessite l'accès à une salle de musculation ou à un banc de "leg extension")
Composition corporelle	Laboratoire	% de masse grasse mesurée à l'aide de la DXA	CV = 2,5 à 5,7 % (selon la machine) ICC = 0,98 à 0,99 (Bilborough et al., 2014)	Très peu accessible et très coûteux (radiation de faible intensité, nécessite la présence d'un radiologue, ne peut être fait que sous certaines conditions très précises)
	Terrain	% de masse grasse calculée à l'aide de la méthode des plis cutanées (4 plis)	CV = 3,2 % (dépend de l'examineur) ICC = 0,97 Coefficient de corrélation de Pearson par rapport à la DXA = 0,88 (Carling et Orhant, 2010) (Reilly et al., 2009)	Accessible et peu coûteux (nécessite une pince à plis et une personne habituée à ce type de mesure)

2.2 Les indicateurs de performance physique dans le football

Un match de football professionnel se caractérise par une distance parcourue moyenne entre 10 et 13 km (Bangsbo et al., 2006) et par une répétition d'activités à haute intensité (Andrzejewski et al., 2012 ; Bradley et al., 2009 ; Carling et al., 2012a). Mohr et al. (2003) comptabilisent 217 ± 13 courses à haute intensité ($>18\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$) par match. Lors d'une observation de matchs réalisée sur 10 matchs d'Europa League, les joueurs de haut niveau réalisaient en moyenne $11,2 \pm 5,3$ sprints ($\geq 24 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) par match, ce qui correspondait à une distance en sprint par match de 237 ± 127 m (Andrzejewski et al., 2012). En première division anglaise, Bradley et al. (2009) comptabilisent une distance parcourue $> 19,8\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ de 905 m par match, avec une période moyenne de récupération de 72 secondes entre chaque action à haute intensité. Les études de Bradley et al. (2009) et Carling et al. (2012a), réalisées en premières divisions anglaise et française, montrent que des périodes avec un enchaînement d'actions à haute intensité avec des périodes de récupération courtes surviennent également lors des matchs. Faude et al. (2012) ont analysé les actions amenant à un but en première division allemande durant une demi saison. Ils ont montré que 83% des buts étaient précédés par au moins une action explosive (saut, changement de direction, sprint) du buteur, ou du passeur décisif.

Ces caractéristiques de l'activité, et le caractère décisif de la capacité à réaliser et à répéter des actions à haute intensité peuvent orienter les indicateurs utilisés pour déterminer le niveau de condition physique des joueurs de football. Les performances neuromusculaires et les performances aérobie, associées à la capacité d'un joueur à répéter des actions à haute intensité (Dupont et al., 2005) semblent être des indicateurs importants du suivi de la condition physique des joueurs de football de haut niveau.

2.2.1 Les tests de la fonction neuromusculaire

La fonction neuromusculaire est fréquemment évaluée chez les joueurs de football, pour évaluer la fatigue liée à un match (Nédélec et al., 2012), ou les effets d'un programme d'entraînement (Hoff et al., 2005).

Dans une enquête menée par Taylor et al. (2012), les résultats indiquent que, chez les praticiens, les tests de saut sont les tests athlétiques les plus utilisés pour réaliser le suivi de la condition physique des joueurs. Dans cette enquête, le saut en contre mouvement (CMJ) est utilisé par l'ensemble des praticiens réalisant un test de saut pour le suivi de la condition physique.

Le CMJ présente plusieurs avantages : il est rapide et simple à mettre en place, et n'est pas contraignant pour les joueurs qui sont évalués. Le niveau de reproductibilité de la performance sur un CMJ dépend de plusieurs facteurs, tels que l'âge des joueurs évalués (Buchheit et Mendez-Villanueva, 2013) ; les consignes techniques pour le saut (Heishman et al., 2018), le matériel utilisé (Rago et al., 2018), l'indicateur de performance utilisé (Cormack et al., 2008), ou le moment de la journée (Taylor et al., 2010).

La plateforme de force est considérée comme l'outil de référence, et présente des niveaux de reproductibilité élevés lors de l'évaluation de la hauteur (cm) d'un CMJ (CV = entre 2 et 4,5 % ; coefficient de corrélation intraclass (ICC) = 0,95) (Buchheit et Mendez-Villanueva, 2013 ; Cormack et al., 2008 ; Nédélec et al., 2012). D'autres outils tels que des accéléromètres (Myotest), des équipements photo électriques (Optojump), des tapis évaluant le contact au sol, ou des applications téléphoniques d'analyse vidéo du saut ont été évalués et présentent tous de bons niveaux de reproductibilité (CV < 5 % et ICC > 85%) (Rago et al., 2018). Ces différents outils peuvent être utilisés pour mesurer la performance en saut de manière fiable. Le niveau de reproductibilité du CMJ dépend aussi de la technique de saut utilisée (Heishman et al., 2018). Lorsque le joueur a les mains sur les hanches, le niveau de reproductibilité est légèrement plus élevé (CV = 4,7 % ; ICC = 0,96) que lorsque le joueur a les bras libres (CV = 5,1 % ; ICC = 0,93) (Heishman et al., 2018). Les consignes données lors du saut et la technique de saut doivent être uniformisées, et permettre le plus haut niveau de reproductibilité. Le moment de la journée peut également influencer le niveau de reproductibilité du test CMJ. Le niveau de reproductibilité des CMJ réalisés le matin (CV = 4,3 %) est meilleur que lorsque les tests sont réalisés l'après-midi (CV = 6,2 %) (Taylor et al., 2010). Les variations de performance sur la hauteur d'un CMJ ont montré que ce test était sensible à la mise en place d'un programme d'entraînement (Hoff, 2005) ou à la fatigue induite par un match de football (Nédélec et al., 2012), et peut constituer un outil intéressant pour réaliser le suivi de l'état de condition physique neuromusculaire des joueurs. Cependant, il est légitime de s'interroger sur la validité écologique : la performance sur un CMJ ne reflète pas les spécificités de l'activité. La majorité des déplacements sur un terrain de football sont des déplacements horizontaux (Mohr et al., 2003). Faude et al. (2012) ont montré que 61 à 67 % des actions amenant à un but comprenaient un sprint du buteur ou du passeur décisif. L'évaluation de la performance en sprint du joueur semble être un facteur intéressant à évaluer lors de la mise en place du suivi de la condition physique des joueurs de football. Le niveau de reproductibilité des tests de sprint a été évalué (Haugen et Buchheit, 2016 ; Buchheit et Mendez-Villanueva, 2013). Ce niveau de reproductibilité est dépendant de l'outil de mesure utilisé (chronomètre, cellule photo

électrique, radar), de l'environnement dans lequel le test est réalisé, du nombre d'essais accordés aux joueurs (Haugen et Buchheit, 2016), et des conditions de départ (Haugen et Buchheit, 2016). Par exemple, plusieurs essais permettent d'améliorer le niveau de reproductibilité de la meilleure performance ; un départ lancé avec une distance > 5m avant l'enregistrement de la performance présente des niveaux de reproductibilité inférieurs à un départ lancé avec une distance < 2m avant l'enregistrement de la performance ; une performance mesurée à l'aide d'un chronomètre présente des niveaux de reproductibilité inférieurs à une performance mesurée à l'aide de cellules photo-électriques (Haugen et Buchheit, 2016). La performance sur un sprint de 10m en ligne droite mesurée à l'aide de cellules photo électriques présente un CV aux alentours de 2 % (Haugen et Buchheit, 2016) et l'ICC est compris entre 0,58 et 0,87 chez les jeunes joueurs de football de haut niveau (Buchheit et Mendez-Villanueva, 2013). Pour qu'un test de sprint soit reproductible, il faut que les conditions climatiques, le sol, et le matériel utilisé soient standardisés d'un test à l'autre (Haugen et Buchheit, 2016). Les valeurs de CV et d'ICC lors des tests de sprint indiquent une reproductibilité intra individuelle importante, mais une reproductibilité inter individuelle modérée, signifiant que ces tests peuvent être utilisés pour comparer un joueur à lui-même lors de tests répétés dans le temps, mais que la comparaison des joueurs entre eux doit être faite avec précaution lors de la mise en place d'un test de sprint de 10m à l'aide de cellules photo électriques (Hopkins, 2000). Les performances en sprint sont sensibles à la mise en place d'un programme d'entraînement visant à développer la performance en sprint ou à l'état de fatigue suite à un match (Nédélec et al., 2012). La performance en sprint est un indicateur qui peut être pris en compte dans le cadre du suivi de l'état de condition physique neuromusculaire des joueurs. Cependant, il est plus difficile à mettre en place que les tests de saut, en particulier pour réaliser un suivi de la condition physique dans des périodes de compétition où les joueurs et les entraîneurs ne veulent pas prendre le risque de réaliser ce type de test, pouvant provoquer une blessure. Dans l'enquête réalisée par Taylor et al. (2012), les tests de sprint sont les moins utilisés par les praticiens pour réaliser le suivi des joueurs.

2.2.2 Les tests aérobie

Le niveau de $VO_2 \text{ max}$ et les cinétiques d'adaptation de la VO_2 des joueurs de football sont associés à une moindre diminution des performances lors d'un test de répétition de sprints (Dupont et al., 2005). Le football étant caractérisé par une répétition d'actions à haute intensité, le niveau de condition aérobie des joueurs peut être un indicateur intéressant pour refléter le

niveau de condition physique des joueurs. De nombreux tests ont été utilisés pour refléter le niveau de condition aérobie des joueurs, ces tests peuvent être maximaux ou sous-maximaux (Impellizzeri et al., 2005).

2.2.2.1 Les tests maximaux

Les tests maximaux visent à évaluer la consommation maximale d'oxygène d'un individu (VO_{2max}) (Impellizzeri et al., 2005). La VO_{2max} reflète le niveau de condition aérobie d'un individu (Davis, 1995 ; Impellizzeri et al., 2005) et peut être évaluée directement lors d'un test réalisé avec un analyseur d'échange gazeux (Davis, 1995). Le niveau de reproductibilité de ces tests de laboratoire est élevé, et dépend du protocole mis en place et de l'analyseur d'échange gazeux utilisé (CV = 2 à 6 %) (Macfarlane, 2001). Les tests maximaux mis en place, sont, pour la plupart, des tests continus et incrémentaux, lors desquels l'intensité augmente régulièrement au fur et à mesure du test (Davis, 1995). Pour permettre d'atteindre la VO_{2max} , le test choisi ne doit être ni trop court, ni trop long, la durée idéale d'un test incrémental se situant entre 8 et 12 minutes (Davis, 1995). Le mode de test peut également avoir un impact sur la VO_{2max} atteinte (Davis, 1995). Les valeurs de VO_{2max} atteintes lors d'un test sur tapis roulant étant généralement de 10% supérieures aux valeurs atteintes lors d'un test sur ergocycle (Davis, 1995). Lors de la mise en place d'un test de laboratoire pour évaluer la VO_{2max} des joueurs, ces facteurs sont à prendre en compte dans le choix du test mis en place pour s'assurer qu'il permette d'atteindre la VO_{2max} . La VO_{2max} est un indicateur sensible aux variations du niveau de performance aérobie induits par un entraînement visant à développer les qualités aérobie (Impellizzeri et al., 2005 ; Castagna et al., 2013), ou à un désentraînement (Mujika et Padilla, 2000) et représente un indicateur du niveau de condition physique aérobie des joueurs fiable et sensible.

La mise en place d'un test de laboratoire avec analyseur d'échanges gazeux pour réaliser une mesure directe de la VO_{2max} reste cependant compliquée à mettre en place dans le cadre d'une équipe de football, puisqu'elle nécessite l'utilisation de matériel de mesure individuel et coûteux. Plusieurs tests maximaux de terrain sont réalisables pour estimer la VO_{2max} sans analyseur d'échanges gazeux (Impellizzeri et al., 2005). Le test continu et incrémental proposé par Léger et Boucher (1980), réalisé sur une piste d'athlétisme, sans analyseur d'échanges gazeux a été démontré comme fortement corrélé au niveau de VO_{2max} (coefficient de corrélation de Pearson $r=0,96$) et reproductible (CV = 2,5 %) (Léger et Boucher, 1980).

Il a été reproché aux tests incrémentaux continus de ne pas refléter suffisamment la spécificité d'une activité intermittente comme le football (Bangsbo et al., 2008). Des tests, tels que le test

intermittent Yo-Yo de niveau 1 ont été proposés pour évaluer la condition physique des joueurs de football. Le test intermittent Yo-Yo de niveau 1 présente de bons niveaux de reproductibilité (CV entre 1,9 et 4,9% ; ICC = 0,95) (Krustrup et al., 2003 ; Thomas et al., 2006), et présente une association avec la VO_{2max} lors d'un test incrémental ($r=0,71$). Malgré cette corrélation, les outils statistiques utilisés dans cette étude ne permettent pas de conclure à la validité du test Yo-Yo de niveau 1 pour mesurer la VO_{2max} , l'estimation de VO_{2max} à partir d'un test Yo-Yo doit donc être utilisée avec précaution. Le test Yo-Yo de niveau 1 est sensible à la mise en place d'un programme d'entraînement de préparation d'avant saison (Krustrup et al., 2003), et peut représenter un outil intéressant pour mesurer le niveau de condition physique des joueurs de football de haut niveau et d'apprécier les changements de performance aérobie.

Ces tests maximaux, spécifiques ou non, peuvent être utilisés pour mesurer le niveau de condition physique aérobie des joueurs, toutefois, la difficulté, l'exigence athlétique et la fatigue induite par ces tests, limitent parfois leur utilisation dans le suivi quotidien des joueurs (Nédélec et al., 2012). Pour répondre à cette problématique, plusieurs tests sous-maximaux ont été proposés (Impellizzeri et al., 2005).

2.2.2.2 Les tests sous-maximaux

Les tests sous-maximaux visent à mesurer la lactatémie sous-maximale, qui est considérée comme un reflet de la capacité musculaire à utiliser l'oxygène disponible (Davis, 1995 ; Impellizzeri et al., 2005). La vitesse à laquelle l'individu atteint une lactatémie (concentration sanguine en lactate) de 4 mmol.l^{-1} a été utilisée dans plusieurs études pour évaluer l'effet d'un entraînement sur les performances aérobie de joueurs de football (Akubat et al., 2012 ; Castagna et al., 2011 ; 2013). Cette valeur de lactatémie de 4 mmol.l^{-1} est considérée comme la valeur représentant le « seuil anaérobie » (seuil théorique à partir duquel le métabolisme aérobie ne suffit plus à couvrir les besoins à l'activité musculaire) (Cazorla et al., 2001 ; Heck et al., 1985). La reproductibilité et la validité de ce seuil ont été évaluées par Weltman et al. (1990). Toutefois, l'utilisation de valeurs de seuil anaérobie présente des limites. Tout d'abord, de nombreuses méthodes (34 dans l'étude) ont été répertoriées pour établir des seuils anaérobies, et 10 seuils anaérobies différents ont été établis (Cazorla et al., 2001). Le type de régime alimentaire et le niveau d'activité physique lors des jours précédant le test, vont avoir un effet sur la vitesse à laquelle le niveau de lactatémie de 4 mmol.l^{-1} va être atteint (Cazorla et al., 2001). Le niveau d'entraînement et la spécificité d'entraînement de l'athlète évalué va également avoir un effet sur le pourcentage de VO_{2max} auquel la lactatémie de 4 mmol.l^{-1} va

être atteinte. Enfin, la lactatémie ne reflète pas les niveaux de lactate musculaire qui augmentent dès le début de l'exercice, et même à une puissance faible (Cazorla et al., 2001). Bien que plusieurs études aient démontré la sensibilité de la lactatémie suite à la mise en place d'un programme de développement des qualités physiques dans le football (Impellizzeri et al., 2005), les nombreuses précautions méthodologiques nécessaires pour utiliser la lactatémie comme reflet du niveau de condition aérobie d'un joueur, les variabilités individuelles dans la lactatémie, le manque de consensus concernant l'établissement des seuils anaérobies à partir de la lactatémie, et le faible niveau d'évidence scientifique de l'existence de ces seuils, poussent à la prudence dans l'utilisation de la lactatémie comme indicateur de la condition physique aérobie lors de tests sous-maximaux.

2.2.3 Relations entre indicateur de performance physique et performance en football

En football, des relations entre la VO_{2max} et la distance parcourue en match ont été établies (Bangsbo et Lindquist, 1992). Des relations entre la performance à un test intermittent (test Yo-Yo) et les courses à haute intensité en match ont été identifiées (Krustrup et al., 2003). Des relations entre le classement d'une équipe et les performances sur les tests athlétiques (test Yo-Yo ; détente) durant la saison ont également été établies (Arnason et al., 2004a ; Mohr et Krustrup, 2013). Toutefois, des associations négatives entre le niveau d'activité physique lors des matchs et les résultats d'une équipe ont également été démontrées (Di Salvo et al., 2013 ; Rampinini et al., 2009). Par exemple, les joueurs de deuxième division anglaise parcouraient de plus longues distances par match que les joueurs de première division (Di Salvo et al., 2013). Il a également été démontré que les équipes classées parmi les 5 premières de première division italienne parcouraient moins de distance totale, moins de distance à haute intensité, et moins de distance à très haute intensité que les équipes classées parmi les 5 dernières du championnat (Rampinini et al., 2009). Les données techniques (tirs cadrés, passes réussies...) étaient supérieures pour les équipes les mieux classées (Rampinini et al., 2009). La variabilité de l'activité athlétique d'un match à l'autre (CV = 37,1 % pour la distance à haute intensité) (Carling et al., 2016a) limitent également grandement l'utilisation des performances athlétiques en match pour mesurer le niveau de performance des joueurs. Ces résultats montrent que la performance en football ne peut pas être reflétée par le niveau de performance physique des joueurs. L'activité athlétique en match pour définir la performance doit être mise en perspective avec la performance technique des joueurs, le contexte et le scénario du match. Il n'existe

aujourd'hui, à notre connaissance, aucun indicateur valide et reproductible de la performance globale d'une équipe en match faisant consensus. Le résultat du match est certainement l'outil le plus simple et le meilleur reflet de la performance d'une équipe.

Dans ce contexte, les indicateurs d'activité physique en match décrits précédemment, associés à la performance en football et présentant des hauts niveaux de fiabilité peuvent être utilisés, selon la qualité physique évaluée.

Avant de choisir les tests à mettre en place, il est recommandé d'identifier le niveau de fiabilité du test et les protocoles permettant d'obtenir les plus hauts niveaux de fiabilité selon la qualité physique évaluée. Dans le cadre de l'évaluation de la condition physique des joueurs, avant de réaliser un test, il est également essentiel de mettre les indicateurs fournis en perspective avec les caractéristiques de l'activité, de l'équipe et des joueurs, pour définir si ce test peut être une aide à la décision ou non, et donc, identifier la légitimité de sa mise en place (Haugen et Buchheit, 2016 ; Mendez-Villanueva et Buchheit, 2013).

2.3 Relations entre charge de travail et condition physique

L'American College of Sports Medicine (ACSM) rédige et actualise régulièrement des recommandations basées sur les niveaux d'évidence scientifique sur la qualité et la quantité d'exercice physique nécessaires pour développer et maintenir la condition physique chez des adultes en bonne santé (ACSM, 1978 ; 1990 ; 1998 ; Garber et al., 2011). Depuis la première version de ce document, en 1978, la charge de travail pour développer ou maintenir la condition physique est quantifiée en termes de fréquence (3 à 5 jours par semaine), d'intensité (60 à 90% de la FC de réserve) et de volume (15 à 60 minutes d'exercice par jour) (ACSM, 1978).

Dans la version la plus récente de ce document de l'ACSM (Garber et al., 2011), les recommandations de fréquence, et de volume sont les mêmes, mais il est précisé que l'intensité d'exercice suffisante dépend du niveau d'entraînement : une intensité correspondant à 30% de la VO₂max chez les personnes sédentaires suffit, alors qu'une intensité d'au moins 80% de la VO₂ max est recommandée pour maintenir ou développer la condition physique d'athlètes modérément entraînés et une intensité de 95% à 100% de la VO₂ max est nécessaire pour des athlètes très entraînés. Selon les caractéristiques de l'ACSM, le niveau d'évidence scientifique entre charge de travail (définie par la fréquence, l'intensité et le volume) et condition physique chez les adultes en bonne santé est élevé (basé sur de nombreuses études randomisées contrôlées) (Garber et al., 2011).

Dans le sport, de nombreux modèles ont été proposés pour optimiser la charge de travail dans un objectif de performance. Ces modèles reposent sur l'équilibre entre la fatigue induite par l'entraînement et les adaptations induites par cet entraînement. Dans ces modèles, la performance peut être définie comme la différence entre la condition physique de l'athlète et la fatigue (Morton et al., 1990 ; Fitz-Clarke et al., 1991, Busso et al., 1991), selon l'équation suivante (équation 7) :

Equation 7 :

Performance = condition physique – fatigue.

Dans les modèles de Morton et al. (1990) ; Fitz-Clarke et al. (1991) et Busso et al. (1991), l'athlète est considéré comme un système, dans lequel la charge de travail est le stimulus entrant et la performance le résultat sortant (Borresen et al., 2009). Dans le cadre d'une activité collective, comme le football, dans laquelle les indicateurs de la performance ne sont pas clairement définis et dépendent de très nombreux facteurs différents de la condition physique des joueurs, les modèles de prédiction de la performance ont des applications limitées.

A notre connaissance, avant 2010, aucun article n'avait eu pour objectif d'établir une association entre charge de travail, condition physique et performance dans le football de haut niveau. Jaspers et al. (2018) ont réalisé une revue de littérature systématique concernant les relations entre charge de travail et des indicateurs de condition physique chez les footballeurs professionnels, et ont répertorié 12 articles publiés depuis 2010 visant à évaluer l'association entre la charge de travail et des indicateurs de condition physique ou de performance athlétique chez les footballeurs professionnels. Cette augmentation du nombre de publications démontre un intérêt croissant pour cette problématique dans le football.

Dans les études sur les associations entre charge de travail et condition physique, plusieurs variables ont été utilisées pour évaluer le niveau de condition physique, ou de performance des joueurs. Ces variables permettent de mesurer les relations entre la charge de travail et le niveau de performance aérobie (Akubat et al., 2012 ; Castagna et al., 2011 ; 2013 ; Brink et al., 2010 ; Campos-Vasquez, 2016 ; Fitzpatrick et al., 2018 ; Gil-Rey et al., 2015 ; Los Arcos et al., 2014 ; 2015 ; 2017 ; Manzi et al., 2013 ; Silva et al., 2011), entre la charge de travail et le niveau de performance neuromusculaire des joueurs (Fitzpatrick et al., 2018 ; Gil-Rey et al., 2015 ; Los Arcos et al., 2014 ; 2015 ; 2017) et entre la charge de travail et le niveau de performance en match des joueurs (Fessi et al., 2016 ; Rowell et al., 2018). Cependant, l'ensemble de ces études

sont des études observationnelles et le niveau d'évidence scientifique concernant les associations entre charge de travail et condition physique n'a jamais été défini dans la littérature.

Deux questions concernant ces relations peuvent être posées :

- Quel est le niveau d'évidence scientifique de la relation entre la charge de travail interne et le niveau de condition physique des joueurs de football de haut niveau ?
- Quel est le niveau d'évidence scientifique de la relation entre la charge de travail externe et le niveau de condition physique des joueurs de football de haut niveau ?

2.3.1. Méthodologie

Pour répondre à ces questions, une méthodologie basée sur l'établissement des niveaux d'évidence scientifique, selon les recommandations d'Harbour et Miller (2001), a été mise en place dans cette revue de littérature. Cette méthodologie est décrite dans la figure 9.

La recherche d'articles a été réalisée à l'aide des bases de données PubMed et Google Scholar et les articles publiés jusqu'au 31 Décembre 2018 ont été analysés. La stratégie de recherche d'articles mise en place était basée sur l'utilisation de la combinaison des mots « football » ; « soccer » ; « workload » ; « training » ; « performance » et « fitness ». Pour être inclus dans cette analyse du niveau d'évidence scientifique, un article devait avoir pour objectif primaire d'analyser les relations entre un ou plusieurs indicateurs de la charge de travail et un ou plusieurs indicateurs de performance athlétique ou de performance en football chez des footballeurs de haut niveau (joueurs sous contrat professionnel ou jeunes joueurs évoluant en centre de formation d'un club de football professionnel). Seuls les articles publiés en anglais dans une revue à comité de lecture ont été analysés.

Chaque article retenu dans cette partie de la revue de littérature a été analysé à l'aide de grilles méthodologiques validées et adaptées au type d'étude : la grille AMSTAR pour les revues de littérature systématiques et les méta-analyses (Shea et al., 2007), la grille CONSORT 2010 pour les études contrôlées randomisées et non randomisées (Moher et al., 2010), et la grille STROBE pour les études de cohorte et les études observationnelles (Von Elm et al., 2007). A l'aide de ces échelles, chaque étude a obtenu un score méthodologique, en pourcentage, reflétant la qualité méthodologique de l'étude. Un score était ensuite assigné à chaque étude, basé sur le type d'étude et la qualité méthodologique de l'étude analysée. Selon les critères définis par Harbour et Miller (2001), les études randomisées et contrôlées, les revues systématiques d'études randomisées contrôlées et les méta-analyses étaient de niveau 1, les revues

systématiques et méta-analyses d'études, les études de cohorte, et les études cas-contrôle étaient de niveau 2, les études non-analytiques ou les études de cas correspondaient au niveau 3, et les opinions d'expert correspondaient au niveau 4. Pour les études de niveau 1 et de niveau 2, une note supplémentaire « ++ », « + » ou « - » était assignée selon le score de qualité méthodologique calculé lors de l'analyse à l'aide des grilles. Lorsqu'une étude obtenait un score $\geq 75\%$, cette étude était considérée comme une étude de qualité élevée avec un risque de biais faible ; lorsqu'une étude obtenait un score entre 50% et 74%, cette étude était considérée comme une étude de bonne qualité avec un risque de biais faible, et lorsqu'une étude obtenait un score $<50\%$, cette étude était considérée comme une étude de faible qualité avec un risque de biais élevé (McCall et al., 2015b).

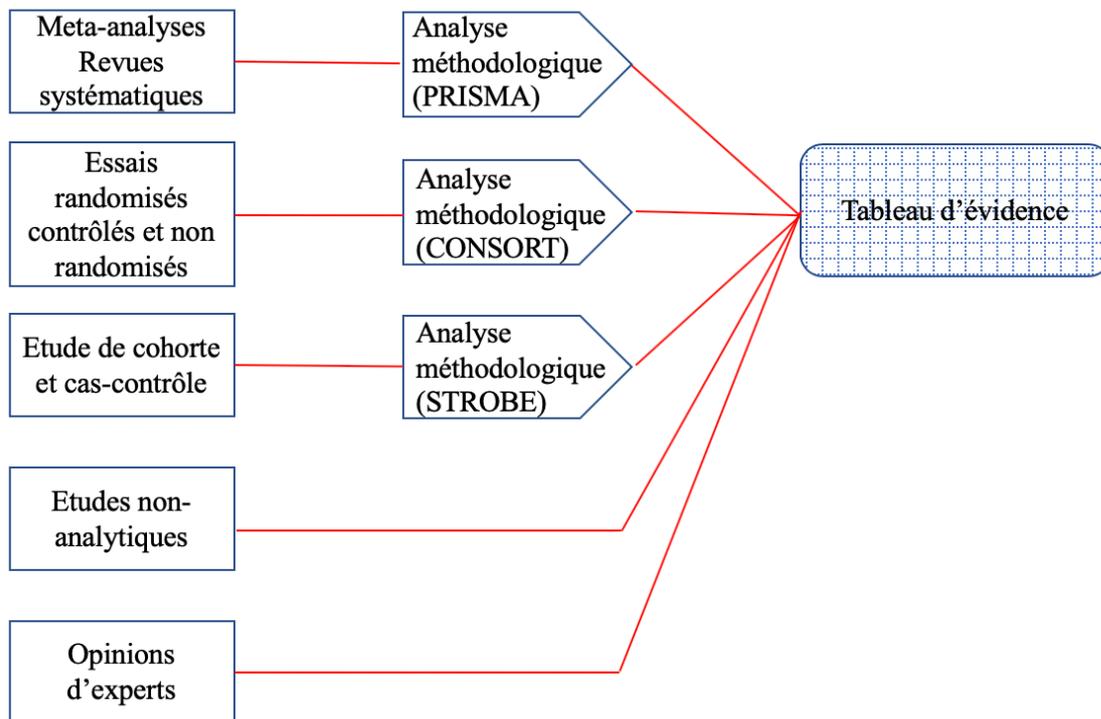


Figure 9 : Méthodologie de la détermination du niveau d'évidence scientifique, selon Harbour et Miller (2001).

2.3.2 Niveau d'évidence scientifique des relations entre charge de travail interne, condition physique et niveau de performance dans le football de haut niveau.

Au total, 13 études ont été retenues et analysées pour évaluer le niveau d'évidence scientifique entre charge de travail interne, niveau de condition physique et performance dans le football de haut niveau. La qualité méthodologique et le score des études retenues sont décrits dans le tableau 4.

Tableau 4 : Etudes sur les associations entre charge de travail interne et niveau de performance dans le football de haut niveau, et analyse méthodologique des études.

Auteurs	Type d'étude	Sujets	Période d'observation	Mesure de la charge de travail	Indicateurs de la performance	Relations entre charge et performance	Qualité méthodologique (%)	Niveau de l'étude
Akubat et al., 2012	Observationnelle	9 jeunes joueurs de football de haut niveau (2ème division anglaise de jeunes joueurs) (âge : 17 ± 1 ans ; taille : 181 ± 5 cm ; masse : 72,9 ± 6,7 kg)	6 semaines (championnat)	sRPE FC	Vitesse à une lactatémie de 2 et 4 mmol.l ⁻¹	Corrélation entre les TRIMP individualisés et l'amélioration de la vitesse à 2 mmol.l ⁻¹ (p=0,67 ; p=0,04) Pas de corrélation entre RPE et condition physique	68%	2+
Brink et al., 2010	Observationnelle	18 joueurs de football U19 de haut niveau (âge : 17 ± 0,5 ans ; taille : 180,4 ± 7,3 cm ; masse : 72,4 ± 7,8 kg)	7 mois (championnat)	RPE	FC lors d'un test intermittent sous maximal	Pas de corrélations entre RPE et indicateurs de la performance	73%	2+
Campos-Vasquez et al., 2016	Observationnelle	12 joueurs professionnels (Seconde division espagnole) (âge : 27,7 ± 4,3 ans, taille : 177,1 ± 6,2 cm, masse : 73,1 ± 5,2 kg)	4 semaines (pré-saison)	sRPE FC	Test 30-15 intermittent	Corrélation entre sRPE et amélioration sur le test (r=0,75, IC95% : 0,41 à 0,91) Pas de corrélation entre FC et améliorations sur le test	64%	2+
Castagna et al., 2011	Observationnelle	14 joueurs professionnels (1ère division italienne Serie A) (âge : 25 ± 4 ans ; taille : 178 ± 7 cm ; masse : 74 ± 8 kg)	6 semaines (pré-saison)	FC	Vitesse à une lactatémie de 2 et 4 mmol.l ⁻¹	Corrélations significatives entre le temps passé à une intensité élevée et les améliorations des vitesses à une lactatémie de 2 mmol.l ⁻¹ (r=0,84 ; IC95% : 0,55 à 0,95) Corrélations significatives entre le temps passé à une intensité élevée et les améliorations des vitesses à une lactatémie de 4 mmol.l ⁻¹ (r=0,65 ; IC 95% : 0,20 à 0,88)	77%	2++
Castagna et al., 2013	Observationnelle	18 joueurs professionnels (1ère division italienne Serie A) (âge : 28,6 ± 3,2 ans ; taille : 183 ± 6,1 cm ; masse : 80 ± 5,4 kg)	8 semaines (pré-saison)	FC	Performance sur test Yo-Yo IR1 VO _{2max} sur test incrémental Vitesse à une lactatémie de 2 et de 4 mmol.l ⁻¹	Corrélations significatives entre le temps passé à une intensité élevée et les améliorations de VO _{2max} (r=0,65 ; IC95% : 0,16 à 0,89) Corrélations significatives entre le temps passé à une intensité élevée et les améliorations sur le test Yo-Yo IR1 (r=0,69 ; IC95% : 0,17 à 0,89) Corrélations significatives entre le temps passé à une intensité élevée et l'amélioration de la vitesse à une lactatémie de 2 mmol.l ⁻¹ (r=0,78 ; IC95% 0,39 à 0,93) Corrélations significatives entre le temps passé à une intensité élevée et l'amélioration de la vitesse à une lactatémie de 4 mmol.l ⁻¹ (r=0,60 ; IC95% 0,07 à 0,86)	82%	2++
Fessi et al., 2016	Observationnelle	19 joueurs professionnels (âge : 25,7 ± 2,6 ans ; taille : 186 ± 7,1 cm ; masse : 74,1 ± 9,1 kg)	26 semaines (championnat)	sRPE	Distance totale parcourue en match Distance à haute intensité parcourue en match Distance en sprint parcourue en match	Une réduction de la charge de travail la semaine précédant le match (-25%, basée sur une réduction de la fréquence et du volume) : Augmentation de la distance totale (+10,1%) Augmentation de la distance à haute intensité (+15,7%) Augmentation du nombre de sprints (+ 17,8%)	68%	2+

Tableau 4 : Suite.

Fitzpatrick et al., 2018	Observationnelle	14 jeunes joueurs Première division anglaise U18 (âge : 17,1 ± 0,5 ans ; taille : 178,3 ± 4,6 cm ; masse : 70,9 ± 5,8 kg)	6 semaines (championnat)	FC sRPE	Performance sur un sprint de 40m Performance sur un 1500m	Aucune association entre FC, sRPE et évolution des performances	59%	2+
Gil-Rey et al., 2015	Observationnelle	28 jeunes joueurs de football (élite (n=14) et non élite (n=14))	9 semaines (championnat)	sRPE musculaire sRPE respiratoire	Performance sur un test Léger et Boucher (1980) Sprint 5 et 15m CMJ	sRPE respiratoire corrélée à l'amélioration de la performance aérobie (r=0,71; IC 95% : 0,42 à 0,87) sRPE musculaire corrélée à l'amélioration de la performance aérobie (r=0,69; IC 95% : 0,40 à 0,85)	77%	2++
Los Arcos et al., 2014	Observationnelle	21 joueurs professionnels (Troisième division espagnole) (âge : 21,0 ± 1,7 ans ; taille : 181 ± 6,3 cm ; masse : 76,1 ± 7,7 kg)	9 semaines (championnat)	sRPE musculaire sRPE respiratoire	Lactatémie à une vitesse constante sous maximale Performance sur un sprint de 5 et 15m Performance en CMJ	Corrélations négatives significatives entre la sRPE musculaire et les variations des performances en sprint (-0,59, p<0,05)	50%	2+
Los Arcos et al., 2015	Observationnelle	19 joueurs professionnels (Réserve de La Liga) (âge : 20,2 ± 1,9 ans ; taille : 181 ± 7 cm ; masse : 73,8 ± 7,3 kg)	9 semaines (5 semaines de pré-saison + 4 semaines de championnat)	sRPE musculaire sRPE respiratoire	Masse corporelle, CMJ Sprint de 5 et 15m Lactatémie sur un test sous-maximal	Corrélations négatives significatives entre la sRPE musculaire et les variations des performances en saut (-0,61 : IC90% -0,87 à -0,24) Corrélations négatives significatives entre la sRPE musculaire et les variations de la lactatémie sous maximale (-0,57 : IC90% -0,87 à -0,09)	59%	2+
Los Arcos et al., 2017	Observationnelle	14 joueurs professionnels (Réserve de la Liga) (âge : 20,6 ± 1,5 ans ; taille : 180 ± 5 cm ; masse : 73,6 ± 7,4 kg)	32 semaines (5 semaines de pré-saison + 27 semaines de championnat)	sRPE musculaire sRPE respiratoire	Lactatémie à une vitesse constante sous maximale Vitesse pour une lactatémie de 3 mmol.l ⁻¹ Performance sur un sprint de 5 et 15m Performance en CMJ	Corrélations positives entre RPE respiratoire et amélioration de certaines performances neuromusculaires (diminution du temps sur sprint de 15m (r = -0,51 ± 0,36) et performance en CMJ (r = 0,46 ± 0,38))	68%	2+
Manzi et al., 2013	Observationnelle	18 joueurs professionnels (Serie A) (âge : 28 ± 3,2 ans ; taille : 182 ± 5,3 cm ; masse : 79,9 ± 5,5 kg)	8 semaines (pré-saison)	FC	Performance sur test Yo-Yo IR1 VO ₂ max sur test incrémental VO ₂ au seuil ventilatoire	Corrélations entre TRIMP individualisé et les variations de performance sur le Yo-Yo IR1 (r=0,69, p=0,009) Corrélations entre TRIMP individualisé et les variations de VO ₂ max (r=0,77, p=0,002) Corrélations entre TRIMP individualisé et variations de la VO ₂ au seuil ventilatoire (r=0,78, p=0,004) Une charge de 500 UA (TRIMP individualisé) nécessaire aux améliorations	50%	2+

Tableau 4 : Suite et fin.

Rowell et al., 2018	Observationnelle	23 joueurs professionnels (A-league) (âge : $23,3 \pm 4,1$ ans ; taille : 180 ± 10 cm ; masse : $75,7 \pm 4,4$ kg)	Une saison complète (championnat)	sRPE	Note subjective de la performance en match (moyenne des notes de 5 membres du staff)	Augmentation de la charge sur différentes périodes entre 3 et 14 jours chez les défenseurs : diminution de la performance en match Augmentation de la charge sur différentes périodes entre 3 et 14 jours chez les milieux et les attaquants : amélioration de la performance en match	41%	2-
------------------------	------------------	---	---	------	---	---	-----	----

Toutes les études sont des études observationnelles, de niveau 2. La qualité méthodologique moyenne de ces études est de 64 ± 13 % (entre 41 et 82 %). Parmi ces études, 3 études sont des études de cohorte de niveau 2++ ; 8 études sont des études de cohorte de niveau 2+ et une étude est une étude de cohorte de niveau 2-. La taille d'échantillon moyenne des études est de 17 ± 5 joueurs (entre 9 et 28 joueurs) et la durée de la période d'observation moyenne est de 15 ± 13 semaines (entre 17 jours et une saison). À notre connaissance, aucune étude de niveau 1 (étude randomisée contrôlée) n'a été réalisée sur les relations entre charge de travail interne et performance. Cela peut être expliqué par le fait que la variable indépendante évaluée est la charge de travail. Il est difficile de mettre en place une étude dans le football de haut niveau dans laquelle la charge de travail serait volontairement augmentée ou diminuée pour étudier les effets sur des variables dépendantes telles que les niveaux de performance aérobie, les fonctions neuromusculaires ou l'activité physique en match. De manière générale, les études menées sur les relations entre charge de travail interne et niveau de performance ont été réalisées sur un nombre d'athlètes très limité (entre 9 et 28 joueurs) et toujours issus de la même équipe (donc influencés par des facteurs de confusion liés à l'environnement de l'équipe) (Leviton et Trujillo, 2016).

Trois études de niveau 2++ (Castagna et al., 2011 ; 2013 ; Gil-Rey et al., 2015) et 4 études de niveau 2+ (Akubat et al., 2012 ; Campos-Vasquez et al., 2016 ; Los Arcos et al., 2017 ; Manzi et al., 2013) montrent une association entre une augmentation de la charge de travail interne et une amélioration des performances sur des tests athlétiques. Ces études ont toutes été réalisées sur des petits groupes d'athlètes (entre 9 et 28 joueurs). Les réponses à un programme d'entraînement présentent une grande variabilité interindividuelle (Hecksteden et al., 2015 ; Hopkins, 2000). Les petites tailles d'échantillon de ces études limitent la généralisation des résultats.

Deux études de niveau 2+ (Los Arcos et al., 2014 ; 2015) montrent une association entre l'augmentation de la charge de travail et une diminution de la performance sur des tests athlétiques neuromusculaires et aérobie. Ces deux études, ainsi que l'étude de Gil-Rey et al. (2015) utilisent des indicateurs de charge de travail interne qui sont la sRPE musculaire et la sRPE respiratoire. Bien la sRPE musculaire ait été associée à la diminution de la performance en saut après un match et que le niveau de reproductibilité ait été évalué (Los Arcos et al., 2014 ; Los Arcos et al., 2015), à notre connaissance ces indicateurs n'ont jamais été validés face à un outil de référence. Dans les deux études de Los Arcos et al. (2014 ; 2015), les auteurs utilisent la lactatémie sous maximale comme critère de condition physique aérobie. Les limites de validité et de reproductibilité des tests de lactatémie sous maximale ont été mis en lumière

(Cazorla et al., 2001). Ces deux études associent des variables indépendantes dont la validité n'a jamais été évaluée, et des variables dépendantes dont le niveau d'évidence scientifique est controversé. De la même manière que pour les études montrant une association positive entre la charge de travail et l'amélioration des résultats sur les tests athlétiques, ces études présentent des petites tailles d'échantillon de 19 et 21 joueurs, tous issus de la même équipe. La généralisation de ces résultats n'est pas possible. Ces deux études souffrent de limites méthodologiques importantes, qui poussent à la prudence dans l'interprétation des résultats et ne permettent pas de tirer de conclusions quant à une éventuelle association négative entre charge de travail et diminution des niveaux de performance sur des tests athlétiques neuromusculaires et aérobie.

Une étude (Fessi et al., 2016) de niveau 2+ identifie une association entre la charge de travail interne aigüe et l'activité physique en match. Dans cette étude il est conclu qu'une diminution de la charge de travail interne sur la semaine précédant le match est associée à une augmentation de la distance parcourue en match, la distance parcourue à haute intensité et le nombre de sprints réalisés en match. Cette étude tend à confirmer l'hypothèse qu'une stratégie d'affûtage sur une période courte permette une amélioration des performances en match. Cependant, l'activité physique en match présente un coefficient de variation très élevé (37,1% pour les actions à haute intensité) (Carling et al., 2016a) et dépend de nombreux facteurs (score, stratégie de l'équipe, niveau de l'équipe adverse, blessés) (Bush et al., 2015 ; Redwood-Brown et al., 2018 ; Windt et al., 2018). Il semble que cette variable dépendante ne soit pas appropriée pour mesurer les effets d'une variable indépendante, telle que la charge de travail. Une autre étude a évalué les effets de l'évolution de la charge de travail interne durant une période aigüe sur les performances en match (Rowell et al., 2018). Durant une saison complète, la charge de travail évaluée à l'aide de la sRPE a été suivie chez 23 joueurs de football professionnels. Après chaque match, la moyenne des notes subjectives de 5 membres du staff permettait de déterminer la performance du joueur. Les résultats de cette étude ont montré que les variations de la charge de travail n'avaient pas les mêmes relations avec la performance selon le poste, et qu'une diminution de la charge aigüe chez les défenseurs permettait d'optimiser les performances en match alors qu'une augmentation de la charge aigüe chez les attaquants permettait d'optimiser les performances en match. Cette étude ayant un score méthodologique de 41% présente de nombreuses limites méthodologiques telles que la petite taille d'échantillon ou une méthode d'évaluation des performances non validée. Le niveau de performance technique et physique d'un joueur présente un coefficient de variation très élevé, est associé au niveau de l'adversaire, au résultat du match (Bush et al., 2015). Ces limites incitent à la prudence dans l'interprétation

des résultats. Deux études de niveau 2+ (Brink et al., 2010 ; Fitzpatrick et al., 2018) ne montrent aucune association entre la charge de travail interne et le niveau de performance. L'ensemble de ces études a été mené sur des périodes de temps réduites (de 6 semaines à une saison complète, en moyenne 15,6 semaines \pm 15 semaines). Une seule étude a été menée sur une saison complète et ce sont les effets de la variation de la charge sur les deux semaines avant le match qui ont été évalués (Rowell et al., 2018). Neuf études sur les 13 incluses ont été menées sur des périodes inférieures à 10 semaines. La réduction de la charge de travail dans le but de réduire le stress physiologique et psychologique sur les performances physiques est une stratégie appelée affûtage (Mujika et Padilla, 2000). Les effets positifs de l'affûtage sur les performances ont été observés jusqu'à 4 semaines de réduction de la charge de travail précédant (Mujika, 1998). Les résultats concernant les associations négatives entre la charge de travail et les performances sur des périodes courtes sont donc à analyser avec précaution. Cette association peut être liée à une fatigue physique et psychologique moins importante chez les joueurs ayant eu la charge de travail la moins importante sur cette période d'observation. Cette hypothèse est renforcée par le fait qu'aucune étude ayant eu pour objectif d'évaluer les effets de la charge de travail interne sur une période supérieure à 10 semaines n'a montré d'associations négatives entre charge de travail interne et niveau de performance (Brink et al., 2010 ; Los Arcos et al., 2017). La seule étude menée sur une période longue (32 semaines) et intégrant la période de pré-saison et une période de compétition a montré une association positive entre charge de travail interne et niveau de performance des joueurs sur des tests de sauts et de sprints (Los Arcos et al., 2017).

Il semble donc que d'autres études, incluant des périodes d'observation longues, des tailles d'échantillon plus larges et issus de différents clubs soient nécessaires pour améliorer le niveau d'évidence scientifique de l'association entre la charge de travail interne et les performances sur des tests athlétiques reflétant un niveau de condition physique chez des footballeurs de haut niveau.

2.3.3 Niveau d'évidence scientifique des relations entre charge de travail externe, condition physique et niveau de performance dans le football de haut niveau

Neuf études ont été retenues pour évaluer le niveau d'évidence scientifique entre la charge de travail externe et le niveau de performance sur des tests athlétiques reflétant la condition physique, ou le niveau d'activité physique en match des joueurs. Ces études, ainsi que leurs qualités méthodologiques et leurs scores sont décrits dans le tableau 5. L'ensemble de ces

études sont des études observationnelles de niveau 2. Le score méthodologique moyen de ces études est de $63 \pm 9 \%$ (entre 50 et 77 %). Les groupes observés étaient en moyenne de 17 ± 5 joueurs (de 10 à 28 joueurs). La période d'observation était en moyenne de 16 ± 16 semaines (entre 17 jours et une saison), et présentait une grande disparité d'une étude à l'autre. Ces biais méthodologiques et l'absence d'études de niveau 1 limitent les conclusions qui peuvent être tirées concernant les relations entre charge de travail externe et niveau de performance.

Parmi les études répertoriées, sept avaient pour objectif de mesurer l'association entre le volume de pratique (temps de jeu et/ou d'entraînement) et l'évolution de la condition aérobie. Quatre études de niveau 2+ (Brink et al., 2010 ; Campos-Vasquez et al., 2016 ; Fitzpatrick et al., 2018 ; Silva et al., 2011) et une étude de niveau 2++ (Gil-rey et al., 2015) ; ont montré une association positive entre volume de pratique et le niveau de condition aérobie, alors qu'une étude de niveau 2+ a montré une association négative entre le volume de pratique et le niveau de condition aérobie (Los Arcos et al., 2017) et que deux études de niveau 2+ (Los Arcos et al., 2014 ; 2015) n'ont pas montré d'association entre le volume de pratique et le niveau de condition aérobie. Ces différences de résultats peuvent être expliquées par des méthodes différentes de mesure de la performance aérobie. Toutes les études ayant utilisé des tests maximaux pour définir la performance aérobie ont montré une association positive entre volume de pratique et amélioration de la performance aérobie. Dans les trois études ayant montré une absence d'association ou une association négative entre le volume de pratique et le niveau de condition aérobie, l'indicateur de performance aérobie était la lactatémie à une vitesse constante sous-maximale. Les limites de l'utilisation de la lactatémie sous-maximale pour évaluer un niveau de condition physique et de performance athlétique en football, et la faible fiabilité de cette variable indépendante, doivent pousser à la précaution lors de l'analyse des résultats de ces études.

Six études ont analysé les relations entre la charge de travail externe et la performance sur des tests de la fonction neuromusculaire. Les résultats sont contrastés. Trois études de niveau 2+ (Los Arcos et al., 2014 ; Los Arcos et al., 2015 ; Thorpe et al., 2015) menées sur des périodes courtes (entre 17 jours et 9 semaines) ont montré une association négative entre la charge de travail externe et les performances sur des tests de la fonction neuromusculaire. Ces trois études avaient un score méthodologique compris entre 50 et 55%, et donc des risques de biais méthodologiques importants. Dans ces trois études, les auteurs concluent à des associations entre le volume de pratique et le niveau de performance sur des tests de saut (CMJ). Les tailles d'échantillon de ces études sont comprises entre 10 et 21 joueurs. Étant donné les variabilités interindividuelles (Hecksteden et al., 2015) dans les réponses à l'entraînement et la taille des

groupes évalués, il est difficile de pouvoir conclure à des associations entre les indicateurs de la charge de travail externe et le niveau de performance sur les tests de CMJ. Thorpe et al. (2015) utilisent la distance parcourue à haute intensité, mesurée à l'aide de GPS 5Hz comme variable indépendante pour l'associer aux diminutions de performance sur un CMJ. Les GPS 5Hz ont des niveaux de reproductibilité et de validité faibles pour évaluer des courses à haute intensité (Scott et al., 2016), ce qui remet en question l'association identifiée dans cette étude. Deux études de niveau 2+ (Gil-Rey et al., 2015 ; Los Arcos et al., 2017) menées sur des périodes allant de 9 à 32 semaines n'ont montré aucune association entre charge de travail externe et la performance sur des tests de la fonction neuromusculaire. Aucune de ces deux études n'a réalisé de calcul de la taille d'échantillon nécessaire préalable à l'expérimentation, ni de calcul de la puissance statistique. Dans l'ensemble de ces études, les tailles des groupes suivis semblent insuffisantes pour établir des associations avec une puissance statistique satisfaisante et qui permettrait de généraliser les résultats à la population ciblée.

Une étude de niveau 2+ (Silva et al., 2011) menée sur une saison a montré une association positive entre le temps de jeu et une amélioration des performances sur des tests de la fonction neuromusculaire lors de la saison. Le suivi du temps de jeu ne permet de refléter la charge de travail globale des athlètes suivis. De plus, l'association identifiée ne signifie pas qu'un lien de causalité existe entre le temps de jeu et le niveau de performance musculaire. Est-ce que les joueurs ont progressé sur les tests neuromusculaires parce que leur temps de jeu était plus important ? Ou est-ce que les joueurs avec la meilleure condition physique (reflétée par les améliorations de la fonction neuromusculaire) avaient un temps de jeu plus important ?

Des études randomisées et contrôlées dans lesquelles l'effet isolé du temps de jeu sur la performance neuromusculaire pourraient être mises en place pour répondre à cette problématique et augmenter le niveau d'évidence scientifique de l'association et de la causalité entre temps de jeu et condition physique neuromusculaire.

Tableau 5 : *Etudes sur les associations entre charge de travail externe et niveau de performance dans le football de haut niveau, et analyse méthodologique des études.*

Auteurs	Type d'étude	Sujets	Période d'observation	Mesure de la charge de travail	Indicateurs de la performance	Relations entre charge et performance	Qualité méthodologique (%)	Niveau de l'étude
Brink et al., 2010	Observationnelle	18 joueurs de football U19 de haut niveau (âge : $17 \pm 0,5$ ans ; taille : $180,4 \pm 7,3$ cm ; masse : $72,4 \pm 7,8$ kg)	7 mois (championnat)	Volume (temps)	FC lors d'un test intermittent sous maximal	Corrélations entre le volume de travail et la diminution de la FC sur le test intermittent sous maximal	73%	2+
Campos-Vasquez et al., 2016	Observationnelle	12 joueurs professionnels (2 ^{de} division espagnole) (âge : $27,7 \pm 4,3$ ans ; taille : $177,1 \pm 6,2$ cm ; masse : $73,1 \pm 5,2$ kg)	4 semaines (pré-saison)	Volume (temps)	Test 30-15 intermittent	Corrélations volume et amélioration sur le test (0,72, IC95% : 0,365 à 0,90)	64%	2+
Fitzpatrick et al., 2018	Observationnelle	14 jeunes joueurs (U18) Première division anglaise U18 (âge : $17,1 \pm 0,5$ ans ; taille : $178,3 \pm 4,6$ cm ; masse : $70,9 \pm 5,8$ kg)	6 semaines (championnat)	Distance parcourue (GPS)	Performance sur un sprint de 40m Performance sur un 1500m	Temps passé à une intensité > VMA corrélé avec l'amélioration sur le 1500m ($r=0,77$; IC 90% : 0,48 à 0,91) Temps passé à une intensité > la vitesse de réserve anaérobie avec l'amélioration sur le 1500m ($r=0,62$; IC90% : 0,22 à 0,84)	59%	2+
Gil-Rey et al., 2015	Observationnelle	28 jeunes joueurs de football (élite (n=14) et non élite (n=14))	9 semaines (championnat)	Volume (temps)	Performance sur un test Léger et Boucher (1980) Sprint 5 et 15m CMJ	Corrélations entre le temps de jeu et d'entraînement et l'amélioration de la performance aérobie sur le test Léger et Boucher ($r=0,67 \pm 0,21$)	77%	2++
Los Arcos et al., 2014	Observationnelle	21 joueurs professionnels (3 ^{ème} division espagnole) (âge : $21,0 \pm 1,7$ ans ; taille : $181 \pm 6,3$ cm ; masse : $76,1 \pm 7,7$ kg)	9 semaines (championnat)	Volume (temps)	Lactatémie à une vitesse constante sous maximale Performance sur un sprint de 5 et 15m Performance en CMJ	Corrélations négatives significatives entre le volume total et les variations de performances en saut ($-0,62$; $p<0,01$)	50%	2+
Los Arcos et al., 2015	Observationnelle	19 joueurs professionnels (Réserve de La Liga) (âge : $20,2 \pm 1,9$ ans ; taille : 181 ± 7 cm ; masse : $73,8 \pm 7,3$ kg)	9 semaines (5 semaines de pré-saison + 4 semaines de championnat)	Volume (temps)	Masse corporelle CMJ Sprint de 5 et 15m Lactatémie sur un test sous-maximal	Corrélations négatives significatives entre le volume total et les variations des performances en saut ($-0,51$; IC90% -0,80 à -0,02)	55%	2+
Los Arcos et al., 2017	Observationnelle	14 joueurs professionnels (Réserve de la Liga) (âge : $20,6 \pm 1,5$ ans, taille : $180 \pm 0,5$ cm, masse : $73,6 \pm 7,4$ kg)	32 semaines (5 semaines de pré-saison + 27 semaines de championnat)	Volume (temps)	Lactatémie à une vitesse constante sous maximale Vitesse pour une lactatémie de 3 mmol.l^{-1} Performance sur un sprint de 5 et 15m Performance en CMJ	Corrélations négatives entre le volume total et les indicateurs de la condition aérobie (lactatémie sur des intensités sous maximales) ($r = -0,56$ à $-0,62$; $p<0,05$)	64%	2+

Tableau 5 : Suite et fin.

Silva et al., 2011	Observationnelle	18 joueurs professionnels (1ère division portugaise) (âge : $25,7 \pm 4,6$ ans ; taille : $178,1 \pm 5,7$ cm ; masse : $76,5 \pm 9,2$ kg)	Une saison complète (pré-saison + championnat)	Temps de jeu	Performance en sprint (5 et 30 m) Force isocinétique des quadriceps et des ischio-jambiers Yo-Yo test niveau 2 CMJ T-test (agilité)	Temps de jeu significativement corrélé au sprint sur 5m ($r=-0,705$) Temps de jeu significativement corrélé à la force isocinétique des extenseurs du genou de la jambe non dominante ($r=0,786$) Temps de jeu significativement corrélé à la force isocinétique des extenseurs du genou de la jambe non dominante ($r=0,786$) et aux fléchisseurs du genou de la jambe dominante ($r=0,590$) et de la jambe non dominante ($r=0,575$)	73%	2+
Thorpe et al., 2015	Observationnelle	10 joueurs professionnels (âge : $19,1 \pm 0,6$ ans ; taille : 184 ± 7 cm ; masse : $75,4 \pm 7,6$ kg)	17 jours (championnat)	Distance totale à haute intensité quotidienne (DTHI) ($>14,4$ km.h ⁻¹)	CMJ questionnaires de bien être	Corrélations entre DTHI et baisse de CMJ ($r=0,23$, IC95% : 0,4 à 0,41) Corrélations entre DTHI et fatigue ressentie ($-0,51$, IC95% : -0,62 à -0,39)	55%	2+

2.4 Résumé de la partie

Dans la population générale, les études ont permis de définir la charge de travail nécessaire au maintien ou au développement des qualités physiques et de proposer des recommandations basées sur les niveaux d'évidence scientifique. Dans le football de haut niveau, plusieurs études ont été menées sur ces relations entre charge de travail et niveau de performance. Cependant, aucune étude de niveau 1 n'a été réalisée, et les études menées présentent de nombreux biais, en particulier des tailles d'échantillon réduites. Le type d'étude et la qualité des études menées empêchent de proposer des recommandations concernant la charge de travail pour optimiser le niveau de performance. Des études de cohorte avec de grandes tailles d'échantillon, définies à l'aide de test de puissance statistique, prenant en compte les réponses inter-individuelles à l'entraînement et le niveau de fiabilité des indicateurs de condition physique, doivent être mises en place. Ces études de cohorte de grande taille doivent être menées sur des périodes de suivi variables pour identifier les effets de la charge de travail à court terme et à long terme, et au sein d'une population issue de plusieurs clubs, permettant de généraliser les résultats en limitant les biais de confusion liés au club observé. Ces études de cohorte doivent permettre d'établir des recommandations sur la gestion de la charge de travail pour optimiser le niveau de performance des joueurs de football de haut niveau, en centre de formation, comme au niveau professionnel.

3. Epidémiologie, niveau de risque, et football de haut niveau

Van Mechelen et al. (1992) ont proposé un modèle de prévention des blessures basé sur 4 étapes pour diminuer le risque de blessure dans le sport.

Ces 4 étapes sont les suivantes :

- établissement de l'ampleur du problème,
- description des mécanismes et des causes des blessures,
- mise en place de stratégies préventives,
- évaluation de ces stratégies préventives.

Ce modèle implique de respecter une méthodologie rigoureuse permettant de quantifier la blessure et le risque. Il est nécessaire d'harmoniser les définitions et les méthodes de quantification de la blessure et du risque. Cette harmonisation permet une normalisation des méthodes, et de mieux répondre aux deux premières étapes du modèle de Van Mechelen et al. (1992), qui sont l'établissement de l'ampleur des blessures dans le football et la description du mécanisme conduisant à ces blessures. La mise en place de mesures préventives, qui correspond à la 3^{ème} étape du modèle, nécessite d'identifier les mécanismes et les facteurs qui peuvent amener à la blessure. L'identification de ces mécanismes et de ces facteurs nécessitent la construction de modèles de risque de blessure basés sur ces facteurs et leurs interactions. L'évaluation des stratégies préventives, qui correspond à la 4^{ème} étape nécessite d'utiliser la même méthodologie que les deux premières étapes de manière à pouvoir comparer les résultats. Il est essentiel que les données épidémiologiques récoltées soient issues d'études respectant une méthodologie bien définie pour refléter le risque de blessure et les effets d'une stratégie préventive sur le risque de blessure (Brooks et Fuller, 2006).

L'objectif de cette partie de la revue de littérature est d'identifier la méthodologie à suivre pour quantifier la blessure et le risque de blessure dans le football, puis d'identifier les différents modèles du risque, permettant la mise en place d'actions préventives.

3.1 Les blessures dans le football de haut niveau

3.1.1 Définition de la blessure

Van Mechelen et al. (1992) mettent en lumière la nécessité d'uniformiser la définition de la blessure dans les études liées à la prévention des blessures et les études épidémiologiques dans le sport. Dans les études épidémiologiques où la définition de la blessure diffère, il n'est pas possible de comparer objectivement les résultats des différentes études, ou des programmes de prévention. De manière générale, la blessure sportive peut être définie comme tous types de dommages qui peuvent être subis lors de la pratique sportive (van Mechelen et al., 1992). Les études épidémiologiques sur les blessures liées à la pratique sportive précédant cette publication de 1992 avaient défini la blessure sportive à l'aide des registres d'assurances ou des hospitalisations et traitements dans un département médical (van Mechelen et al., 1992). Cependant, ces définitions n'intègrent pas de nombreuses blessures. Les résultats d'une enquête menée en 1990 par van Galen et Diedericks, cité par Van Mechelen et al. (1992), ont montré que seules 43% des blessures nécessitaient un traitement médical.

L'absence de définition uniforme de la blessure liée à l'activité sportive pourrait être, en partie, à l'origine des différences de résultats entre les études, plutôt que de véritables différences dans les niveaux de risque. Plusieurs définitions ont alors été proposées pour harmoniser la définition de la blessure. Pour qu'un évènement soit considéré comme une blessure par le conseil Européen, il doit avoir au moins l'une des conséquences suivantes 1) une réduction de la pratique ou du niveau de pratique du sport, 2) la nécessité d'une consultation ou d'un traitement médical, 3) des effets sociaux ou économiques indésirables (Junge et Dvorak, 2000).

Le système d'enregistrement national des blessures athlétiques des Etats-Unis (NAIRS) enregistre une blessure si celle-ci limite la participation sportive durant au moins une journée après son jour de survenue (Junge et Dvorak, 2000).

Ces définitions de la blessure ont des avantages et des inconvénients pour leur application au grand public. La définition européenne est large, elle permet d'englober un grand nombre de blessures, et n'est pas basée uniquement sur les conséquences directes de la blessure sur l'impossibilité de pratiquer, puisqu'elle prend également en compte les effets sociaux ou économiques indésirables. La principale limite de la définition européenne est qu'elle est soumise à une interprétation individuelle. Par exemple, quelles sont les blessures qui nécessitent une consultation, et quelles sont les blessures qui n'en nécessitent pas (Junge et Dvorak, 2000) ? La définition du NAIRS, et les définitions basées sur l'impossibilité de pratiquer, permettent de

définir la blessure de manière objective et ne sont pas soumises à l'interprétation individuelle, puisqu'elles sont basées sur l'absence ou la présence lors de la pratique. Les définitions basées sur l'impossibilité de pratiquer l'activité présentent deux limites principales (Junge et Dvorak, 2000). D'abord, l'application de cette définition va dépendre de la fréquence de pratique de la personne. Si le sportif ne s'entraîne que deux fois par semaine, alors il est possible qu'un joueur ait récupéré d'une blessure provoquée par le premier entraînement avant l'entraînement suivant, et la blessure n'est alors pas comptabilisée. L'autre limite est liée au fait qu'un sportif blessé puisse prendre part à l'entraînement, sur une séance adaptée ou modifiée (Junge et Dvorak, 2000).

Pour répondre à cette problématique, la FIFA a établi un consensus sur la définition de la blessure dans le football (Fuller et al., 2006). La blessure, dans ce consensus, est 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 ». Une blessure ayant pour conséquence la nécessité d'une attention médicale est répertoriée comme « blessure avec attention médicale » et une blessure provoquant l'incapacité d'un joueur à prendre part pleinement à un futur entraînement ou match est considérée comme une « blessure avec absence ». Pour répondre aux limites des différentes définitions proposées, la FIFA a donc proposé deux définitions de la blessure différentes, basées sur l'incapacité ou non de pratiquer pleinement l'activité. L'UEFA, lors de ses enquêtes épidémiologiques de grande ampleur, a suivi ce consensus, en utilisant le critère de l'incapacité à pratiquer pleinement l'activité pour définir la blessure (Ekstrand et al., 2009 ; Ekstrand et al., 2011a ; Ekstrand et al., 2011b ; Ekstrand et al., 2016 ; Waldén et al., 2005a). Dans le football professionnel, les entraînements étant quotidiens, cette définition est suffisamment large pour inclure la grande majorité des événements pouvant être assimilés à une blessure. La définition proposée par la FIFA répond également à l'autre limite de la définition de la blessure basée sur l'absence de pratique, puisque la définition précise que c'est l'incapacité à prendre pleinement part à la séance, et inclut donc toutes les blessures qui provoquent la modification de la séance d'un joueur (Junge et Dvorak, 2000). L'autre avantage de cette définition est qu'elle met en évidence les conséquences négatives directes de la blessure, puisque la blessure engendre une absence à l'entraînement ou en match pour un joueur.

Dans le consensus de la FIFA, Fuller et al. (2006) proposent également de classer les blessures par sévérité, par localisation, et par type. La sévérité est mesurée en se basant sur le nombre de jours d'absence provoqués par la blessure et, est alors définie comme « le nombre de jours qui

se sont écoulés entre la date de la blessure du joueur et la date de son retour complet à l'entraînement et de sa disponibilité pour un match ». Dans ce consensus, la blessure est également caractérisée par :

- sa localisation : tête et cou / membres supérieurs / tronc / membres inférieurs ;
- son type : fractures et blessures osseuses / articulations et ligaments / muscles et tendons / contusions / lacérations et lésions dermatologiques / système nerveux central ou périphérique / autre (Fuller et al., 2006).

Dans la fiche de classification des blessures éditée par la FIFA (figure 10), la cause de la blessure est également reportée par un contact, une collision avec un autre joueur ou un objet. Cette précision permet de différencier les blessures avec ou sans contact. Les blessures peuvent également être caractérisées par le mécanisme de survenue. L'identification du mécanisme de survenue de la blessure fait partie des quatre séquences, nécessaires à la mise en place de stratégies de prévention des blessures, définies par van Mechelen et al. (1992). L'identification du mécanisme de survenue permet, en effet, la mise en place de stratégies de prévention adaptées à ce mécanisme (van Mechelen et al., 1992).

1A- Date de la blessure : _____

1B- Date de retour à la pratique : _____

2A- Localisation de la blessure :

- | | | |
|--|---|--|
| <input type="checkbox"/> Tête / visage | <input type="checkbox"/> Épaule / clavicule | <input type="checkbox"/> Hanche / Aine |
| <input type="checkbox"/> Cou / cervicales | <input type="checkbox"/> Bras | <input type="checkbox"/> Cuisse |
| <input type="checkbox"/> Sternum / côtes / haut du dos | <input type="checkbox"/> Coude | <input type="checkbox"/> Genou |
| <input type="checkbox"/> Abdomen | <input type="checkbox"/> Avant-bras | <input type="checkbox"/> Jambe (partie distale) / Tendon d'Achille |
| <input type="checkbox"/> Bas du dos / Sacrum / pelvis | <input type="checkbox"/> Poignet | <input type="checkbox"/> Cheville |
| | <input type="checkbox"/> Main / Doigt / Pouce | <input type="checkbox"/> Pied / Orteil |

2B- Côté blessé :

- | | | |
|--------------------------------|---------------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> Droit | <input type="checkbox"/> Gauche | <input type="checkbox"/> Non applicable |
|--------------------------------|---------------------------------|---|

3- Type de blessure :

- | | | |
|---|---|---|
| <input type="checkbox"/> Commotion avec ou sans perte de connaissance | <input type="checkbox"/> Lésion du ménisque ou cartilage | <input type="checkbox"/> Hématome / Contusion |
| <input type="checkbox"/> Fracture | <input type="checkbox"/> Lésion musculaire / Déchirure / Rupture / Crampes | <input type="checkbox"/> Abrasion |
| <input type="checkbox"/> Autre blessure osseuse | | <input type="checkbox"/> Lacération |
| <input type="checkbox"/> Dislocation / luxation | | <input type="checkbox"/> Blessure nerveuse |
| <input type="checkbox"/> Entorse / Blessure ligamentaire | <input type="checkbox"/> Blessure au tendon / rupture / Tendinite / Bursite | <input type="checkbox"/> Blessure dentaire |

l Autre blessure (précisez) : _____

4- Diagnostic :

5- Est-ce que le joueur a subi une blessure précédente du même type au même endroit :

- | | |
|------------------------------|------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Non | <input type="checkbox"/> Oui |
|------------------------------|------------------------------|

Si **Oui**, précisez la date : _____

6- La blessure est-elle causée par un traumatisme aigu ou une surutilisation chronique :

- | | |
|-------------------------------|------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Aigu | <input type="checkbox"/> Chronique |
|-------------------------------|------------------------------------|

7- Quand la blessure a-t-elle eu lieu ?

- | | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Entraînement | <input type="checkbox"/> Match |
|---------------------------------------|--------------------------------|

8- La blessure a-t-elle été causée par un contact ou une collision ?

- | | |
|------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> Non | <input type="checkbox"/> Oui, avec un autre joueur |
| | <input type="checkbox"/> Oui, avec le ballon |
| | <input type="checkbox"/> Oui, avec un autre objet (précisez) : |

9- L'arbitre a-t-il sifflé une faute sur l'action amenant à la blessure ?

- | | | | |
|------------------------------|--|--|--|
| <input type="checkbox"/> Non | <input type="checkbox"/> Oui, coup franc / Penalty | <input type="checkbox"/> Oui, carton jaune | <input type="checkbox"/> Oui, carton rouge |
|------------------------------|--|--|--|

Si **Oui**, la sanction de l'arbitre était contre :

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Le joueur blessé | <input type="checkbox"/> Le joueur adverse |
|---|--|

Figure 10 : Fiche d'enregistrement créée par consensus d'experts pour la FIFA, adaptée de Fuller et al. (2006).

3.1.2 Quantification des blessures dans le football

La première étape du modèle de Van Mechelen et al. (1992) consiste à établir l'étendue du problème des blessures dans le football. Pour cela, il est nécessaire de quantifier les blessures. La quantification est définie par le centre national de ressources textuelles et lexicales (CNRTL, 2012) comme l'action d'attribuer une certaine quantité à un phénomène mesurable. Dans le cadre des blessures dans le football, il s'agit d'attribuer un nombre ou une mesure au phénomène de la blessure. Pour comparer les résultats, évaluer l'effet d'une stratégie préventive, identifier des facteurs de risque, il est essentiel que les méthodes de quantification des blessures soient harmonisées (Brooks et Fuller, 2006). Plusieurs méthodes ont été proposées pour quantifier les blessures, et au-delà de la définition de la blessure, la méthode de quantification utilisée a une grande influence sur les résultats et les conclusions de l'étude épidémiologique mise en place (Brooks et Fuller, 2006).

Plusieurs articles (van Mechelen, 1992 ; Junge et Dvorak, 2000 ; Brooks et Fuller, 2006) ainsi que le consensus de l'UEFA (Fuller et al., 2006) recommandent l'utilisation de l'incidence, plutôt que la quantité absolue de blessures (un nombre absolu), pour quantifier les blessures. Selon l'institut national de la statistique et des études économiques (INSEE), l'incidence est définie comme le nombre de nouveaux cas d'une pathologie observés sur une période donnée (INSEE, 2016). Dans le football, l'incidence des blessures est définie comme le nombre de nouvelles blessures sur une période définie selon le nombre de joueurs observés (Junge et Dvorak, 2000). Par exemple, dans l'enquête nationale réalisée par le Ministère des Sports (2011), le football était la pratique sportive à l'origine du plus grand nombre de blessures (13% des blessures liées à une activité physique). Cependant, comme c'était également la pratique qui comptait le plus de licenciés en France en 2010 (2 107 924 licenciés, soit plus de 17% des licences sportives délivrées en 2010) (Ministère des Sports, 2011), les chiffres absolus peuvent refléter la dangerosité de la pratique du football, ou tout simplement sa popularité et son nombre très important de licenciés (Junge et Dvorak, 2000). Plusieurs méthodes de normalisation ont été proposées. Le nombre de blessures pour 1000 expositions d'athlètes, pour 1000h de match, ou pour 1000h de pratique, ont été utilisés dans le sport (Brooks et Fuller, 2006).

Le nombre de blessures pour 1000 expositions d'athlètes est basé sur le nombre total d'athlètes exposés (durant l'entraînement et/ou les matchs), sans prise en compte du temps d'exposition, cette incidence est calculée de la manière suivante :

Equation 8 :

$$\text{Blessures pour 1000 athlètes exposés} = \left[\frac{\text{Nombre de blessures}}{\text{Nombre de joueurs exposés}} \right] \times 1000$$

Le nombre de blessures pour 1000h de pratique est basé sur la durée d'exposition totale des joueurs lors de la pratique :

Equation 9 :

$$\text{Blessures pour 1000h de pratique} = \left[\frac{\text{Nombre de blessure}}{\text{Somme de la durée d'exposition globale de chaque joueur}} \right] \times 1000$$

Les normalisations pour 1000 athlètes exposés sont les plus simples à mettre en place, puisqu'elles ne nécessitent pas d'enregistrer la durée de pratique des joueurs suivis, cependant, les informations issues de ces méthodes peuvent être biaisées. Brooks et Fuller (2006) ont illustré ces limites (tableau 6). Dans cet article, les auteurs ont comparé deux groupes de joueurs, les titulaires et les remplaçants. En se basant sur le nombre de blessures pour 1000 athlètes exposés, ou pour 1000 matchs joués, les titulaires subissaient beaucoup plus de blessures en match que les remplaçants, et l'incidence était plus importante chez les titulaires que chez les remplaçants. Cependant, lorsque les données étaient normalisées pour 1000h de match, et donc normalisées selon le temps d'exposition (qui est beaucoup plus important chez les titulaires que chez les remplaçants), alors l'incidence de blessures était plus importante chez les remplaçants (tableau 6). Cette méthode nécessite de connaître l'exposition de chaque joueur, donc les temps d'entraînement et de jeu de chaque joueur suivi dans l'étude. Certaines études ont estimé le temps d'exposition en multipliant le nombre de joueurs par la durée de pratique hebdomadaire. Cependant, cette méthode est moins précise, puisqu'elle ne prend pas en compte les absences à l'entraînement ou les séances adaptées pour certains joueurs. La durée d'exposition peut être alors sous-estimée ou surestimée et donc, l'incidence surestimée ou sous-estimée (Junge et Dvorak, 2000).

De manière à comparer les résultats d'une étude à l'autre, d'une population à l'autre, le consensus de la FIFA et les études sur l'épidémiologie dans le sport recommandent l'utilisation de l'incidence pour 1000h de pratique (Brooks et Fuller, 2006 ; Fuller et al., 2006 ; van Mechelen et al., 1992).

Tableau 6 : Effets de la méthode de normalisation des incidences sur les résultats de suivi des blessures.

<i>Méthode de calcul</i>	<i>Incidence (IC 95%)</i>	
	Titulaires	Remplaçants
Blessures / 1000 h	89 (85 à 94)	118 (99 à 137)
Blessures / 1000 athlètes exposés	114 (108 à 121)	43 (36 à 50)
Blessures / 1000 matchs	1786 (1682 à 1880)	185 (155 à 215)

C'est en se basant sur la définition de la blessure de la FIFA et l'incidence pour 1000h de pratique que la description épidémiologique des blessures dans le football sera réalisée dans la partie suivante de cette revue de littérature.

Les recommandations pour mener un suivi épidémiologique dans le football de haut niveau sont résumées dans la figure 11. Dans cette figure, 4 étapes à respecter lors de la mise en place d'une étude épidémiologique ont été mises en avant. L'utilisation d'une définition de la blessure définie par consensus permet une comparaison objective des résultats avec les autres études réalisées dans la discipline sportive, ou dans d'autres disciplines sportives utilisant la même définition. Le suivi d'une population suffisamment large permet de généraliser les résultats de l'étude mise en place. Il est recommandé que la population suivie ne soit pas issue d'une seule équipe ou d'un seul club, puisque l'incidence est influencée par l'environnement du club suivi (Fuller et al., 2006). Dans le cadre d'études visant à comparer des groupes ou des conditions, il est nécessaire que la taille des groupes soit définie au préalable à l'aide de tests de puissance statistique (Fuller et al., 2006). Une taille d'échantillon suffisante permet de généraliser les conclusions de l'étude à la population représentée par l'échantillon, en limitant les erreurs liées à l'échantillonnage (Hopkins, 2000a). La méthode de quantification, basée sur une incidence pour 1000h de pratique, permet d'harmoniser les chiffres d'une étude à l'autre, en limitant les effets liés au nombre de joueurs suivis, ou au temps de pratique des différents joueurs (Brooks et Fuller, 2006). Enfin, les caractéristiques des blessures rapportées dans les études permettent d'identifier les zones anatomiques les plus touchées, ainsi que les mécanismes et les actions à l'origine de ces blessures. Ces données permettent d'identifier des facteurs associés à la blessure et d'envisager la mise en place de stratégies préventives en réponse à ces facteurs.

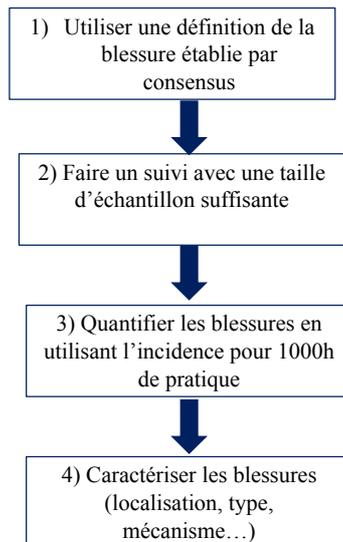


Figure 11 : *Recommandations méthodologiques pour réaliser une étude épidémiologique (Brooks et Fuller, 2006 ; Fuller et al., 2006).*

3.1.3 Epidémiologie de la survenue de blessures chez les joueurs de football de haut niveau évoluant en centre de formation.

Pfirrmann et al. (2016) ont réalisé une revue systématique sur l'incidence des blessures chez les jeunes footballeurs de haut niveau. Dans cette étude, les jeunes joueurs de haut niveau sont définis comme les joueurs âgés de 8 à 19 ans, dont le niveau était décrit par le fait d'évoluer en centre de formation (« soccer academy ») ; à haut niveau, ou au niveau « élite ». Dans cette revue de littérature systématique, les auteurs ont trouvé de grandes différences entre les études concernant l'incidence des blessures. Leurs résultats montraient que l'incidence globale des blessures chez les jeunes était comprise entre 2,0 et 19,4 blessures pour 1000h de pratique, l'incidence en match se situait entre 9,5 et 48,7 blessures pour 1000h et l'incidence à l'entraînement se situait entre 3,7 et 11,1 blessures pour 1000h de pratique. L'absence d'harmonisation des définitions et des méthodologies d'une étude à l'autre dans cette revue de littérature peut expliquer, en partie, les grandes différences de résultats entre les études. La blessure était définie comme un évènement nécessitant une attention médicale dans certaines études incluses (Brink et al., 2010 ; Peterson et al., 2000) ; comme un évènement provoquant l'incapacité du joueur à prendre pleinement part à la séance suivante (Brink et al., 2010 ; Ergün et al., 2013 ; Hawkins et Fuller, 1999 ; Nilsson et al., 2016) ; comme un évènement provoquant l'incapacité du joueur à prendre part aux séances durant au moins 48h après sa survenue (Deehan et al., 2007 ; Legall et al., 2006 ; Read et al., 2018) ; ou comme un évènement

provoquant l'incapacité du joueur à prendre part aux séances durant au moins une semaine après l'évènement (Junge et al., 2000). Les critères d'inclusion pour définir un joueur de haut niveau n'étaient pas définis par un niveau minimum, mais simplement par la présence du mot « centre de formation » (« soccer academy ») « élite » ou « haut niveau » dans le titre de l'article, ce qui peut impliquer une grande hétérogénéité des publics étudiés. L'importance de l'harmonisation de la définition des blessures a été mise en évidence dans la partie précédente. Il n'est donc pas surprenant que cette revue de littérature systématique montre des résultats très différents d'une étude à l'autre et que des conclusions soient difficiles à dessiner. Une étude, qui n'était pas incluse dans la revue de littérature de Pfirrmann et al. (2016) décrit l'incidence des blessures chez les joueurs d'un centre de formation de première division française durant 3 saisons, mais la définition de la blessure pour établir l'incidence n'y est pas précisée (Tourny et al., 2014). Seules cinq études se sont appuyées sur le consensus de la FIFA (Fuller et al., 2006), qui définit la blessure comme un évènement ayant pour conséquence l'incapacité du joueur à prendre pleinement part à la séance suivante (Brink et al., 2010 ; Ergün et al., 2013 ; Hawkins et Fuller, 1999 ; Nilsson et al., 2016 ; Renshaw et Goodwin, 2016). Ces études sont présentées dans le tableau 7.

Tableau 7 : Description des études ayant évalué l' incidence des blessures chez les joueurs de football issus de centre de formation, selon la définition de Fuller et al. (2006).

Auteurs	Population	Niveau	Définition de la blessure	Résultats
Brink et al., 2010	53 joueurs (âge : 16,5 ± 1,1 ans ; taille 177 ± 7,8 cm , masse : 66,5 ± 8,7 kg)	Elite (1ère division allemande)	Absence liée à un évènement à l'entraînement ou en match	Incidence en match : 26,7 blessures / 1000h Incidence à l'entraînement : 6,7 blessures / 1000h
Ergün et al., 2013	52 joueurs entre U17 et U19 (taille : 179,5 cm; masse : 72,9 kg)	Elite (Sélection nationale turque)	Absence liée à un évènement à l'entraînement ou en match	Incidence en match : 30,4 blessures / 1000h Incidence à l'entraînement : 7,4 blessures / 1000h Incidence globale : 12,1 blessures / 1000h
Hawkins et Fuller, 1999	36 joueurs (pas de précision)	Elite (1ère division anglaise)	Absence liée à un évènement à l'entraînement ou en match	Incidence en match : 37,2 blessures / 1000h Incidence entraînement : 4,1 blessures / 1000h Incidence globale : 5,6 blessures / 1000h
Nilsson et al., 2016	43 joueurs U19 (âge : 17,7 ans ; taille : 181 cm ; masse 75 kg)	Elite (1ère division suédoise)	Absence liée à un évènement à l'entraînement ou en match	Incidence en match : 15,5 blessures / 1000h Incidence à l'entraînement : 5,6 blessures / 1000h Incidence globale : 6,8 blessures / 1000h
Renshaw et Goodwin, 2016	181 joueurs : U9-11 : 68 U12-14 : 59 U15 : 17 U16 : 17 U18 : 20	Elite (Club de 1ère division Angleterre)	Absence liée à un évènement à l'entraînement ou en match	Incidence en match : Entre 0,32 / 1000h (U11) et 80 / 1000h (U15) Incidence à l'entraînement : Pas de données précises Incidence globale : Pas de données précises

Lorsque la définition de blessure est la même, les incidences de blessures rapportées sont plus proches. L'incidence globale est entre 5,6 et 12,1 blessures pour 1000h de pratique ; l'incidence à l'entraînement est entre 4,1 et 7,4 blessures pour 1000h de pratique ; l'incidence en match est entre 15,5 et 37,2 blessures pour 1000h de pratique (Brink et al., 2010 ; Ergün et al., 2013 ; Hawkins et Fuller, 1999 ; Nilsson et al., 2016). Cependant, des différences persistent entre les résultats de ces études. L'incidence en match est, par exemple, plus de deux fois plus importante dans l'étude de Hawkins et Fuller (1999) que dans l'étude de Nilsson et al. (2016). Ces différences pourraient être expliquées, en partie, par plusieurs biais méthodologiques et différences dans la conception des études. Tout d'abord, ces quatre études ont des petites tailles d'échantillon : 36 joueurs pour Hawkins et Fuller (1999), 43 joueurs pour Nilsson et al. (2016), 52 joueurs pour Ergün et al. (2013), et 53 joueurs pour Brink et al. (2010). Les périodes d'observation, entre 1 et 3 saisons, étaient courtes. Le suivi des joueurs était également différent. L'étude d'Ergün et al. (2013) porte sur un suivi de joueurs en sélection nationale, donc seulement quelques semaines dans l'année. Au total, dans son étude, seuls 32 matchs et 92 entraînements ont été analysés. Cette étude a été réalisée chez les U17, U18 et U19 internationaux turcs, et chez les U18. Par exemple, seuls 4 matchs et 10 entraînements ont été évalués. Cette période d'observation, avec un faible nombre d'entraînements et de matchs suivis, ne permet donc pas de tirer de conclusions sur l'incidence des blessures chez les jeunes joueurs de football internationaux.

Dans l'étude d'Hawkins et Fuller (1999), il n'y a aucune précision sur l'âge et les critères d'inclusion des jeunes joueurs observés. En Angleterre, les catégories de jeunes joueurs vont jusqu'à la catégorie des moins de 23 ans (U23). L'absence de précision concernant la catégorie d'âge suivie, et le très faible échantillon suivi (36 joueurs issus de deux clubs) représentent les principales limites de cette étude, en limitant la validité externe.

L'étude de Renshaw et Goodwin (2016) respecte les recommandations établies par Fuller et al. (2006). Cependant, les résultats précis de l'incidence par catégorie d'âge n'apparaissent pas, et avec seulement entre 17 et 68 joueurs suivis par catégorie d'âge durant une seule saison, le nombre de blessures par catégorie d'âge (entre 5 et 37) n'est pas suffisant pour tirer des conclusions et généraliser les résultats de cette étude. Dans les études de Brink et al. (2010) et Nilsson et al. (2016), les joueurs d'un club ont été suivis durant deux saisons entières. Dans ces deux études, les joueurs évoluaient au plus haut niveau national dans leur catégorie (U19). Les résultats de ces deux études sont assez proches, en particulier pour l'incidence de blessures à l'entraînement (6,7 blessures pour 1000h d'entraînement dans l'étude de Brink et al. (2010) et

5,6 pour 1000h de pratique dans l'étude de Nilsson et al. (2016). Dans ces deux études, l'incidence des blessures est 3 à 4 fois plus élevée en match qu'à l'entraînement (tableau 6). Parmi ces deux études, seule l'étude de Nilsson et al. (2016) a précisé la localisation et les types de blessures chez les jeunes joueurs de football. Les résultats concernant le type de blessure et la localisation des blessures sont présentés dans la figure 12. Cette figure indique que la majorité des blessures surviennent sur les membres inférieurs et que la zone anatomique la plus lésée est la cuisse, avec 26 % des blessures enregistrées. Ces résultats sont en accord avec les études de grande ampleur menées dans le football professionnel, qui indiquent que la cuisse est la zone la plus lésée chez les footballeurs professionnels, avec 23 % des blessures enregistrées (Ekstrand et al., 2011a).

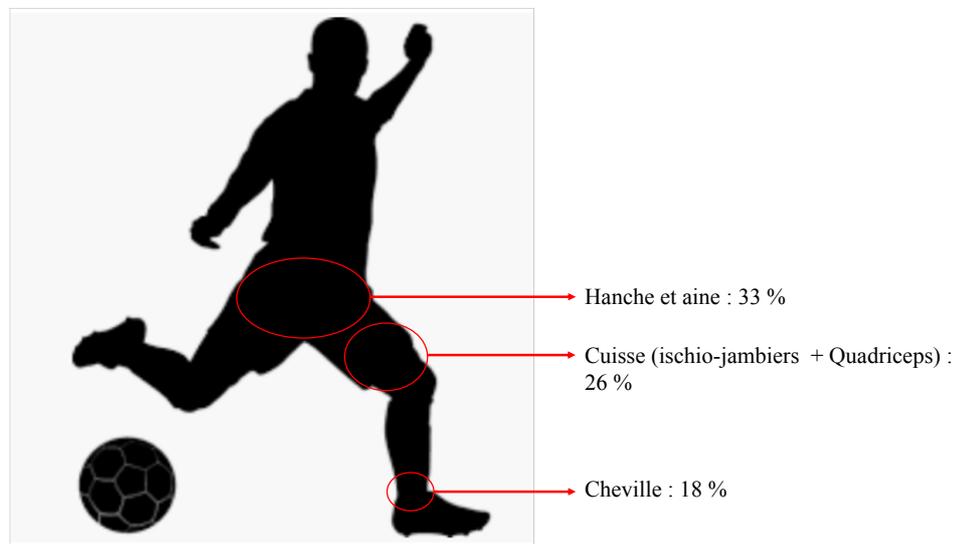


Figure 12 : Localisation des blessures chez des jeunes joueurs de haut niveau (U19), d'après Nilsson et al. (2016).

Les études de Brink et al. (2010), Hawkins et Fuller (1999), Nilsson et al. (2016) et Renshaw et Goodwin (2017) sont, à notre connaissance, les quatre études ayant réalisé un suivi longitudinal dans des centres de formation de jeunes joueurs de football de haut niveau, et ayant respecté la définition de la blessure basée sur l'incapacité à prendre pleinement part à l'activité le jour suivant l'évènement définie par consensus par Fuller et al. (2006). Il semble donc que ces études soient les seules à pouvoir être comparées à d'autres activités, ou d'autres catégories (joueurs professionnels, joueurs amateurs) et servent donc, actuellement, de référence pour définir l'incidence des blessures chez les jeunes joueurs de haut niveau. Cependant, ces quatre études présentent plusieurs limites : la faible taille d'échantillon (entre 17 et 68 joueurs par étude ou par catégorie d'âge), des joueurs issus d'un seul club dans les études de Brink et al.

(2010), Nilsson et al. (2016), et Renshaw et Goodwin (2017) et de deux clubs dans l'étude de Hawkins et Fuller (1999). Ces biais limitent la validité externe des résultats. D'autres études, de grande ampleur, sur l'incidence des blessures chez les jeunes joueurs de football de haut niveau, respectant la définition et les recommandations sur les études épidémiologiques définies par consensus, sont nécessaires.

3.1.4 Epidémiologie chez les joueurs de football professionnel

Une étude épidémiologique sur les blessures dans le football professionnel, avec un suivi prospectif des blessures dans le club anglais d'Arsenal entre 1960 et 1966, rapportait une incidence des blessures en match de 14,2 blessures sur les membres inférieurs pour 1000h de pratique (Bass, 1967). Depuis 1967, de nombreuses études épidémiologiques ont été menées dans le football professionnel. Les résultats sont très variables. L'incidence globale des blessures pour 1000h de pratique varie de 4,0 (Morgan et Oberlander, 2001) à 14,4 (Hägglund et al., 2005) blessures pour 1000h de pratique ; l'incidence en match varie de 4,7 (Dauty et Collon, 2011) à 78,3 blessures (Hawkins et Fuller, 1999) pour 1000h de match et l'incidence à l'entraînement varie de 1,8 (Parry et Drust, 2006) à 11,8 blessures pour 1000h d'entraînement (Hägglund et al., 2005). L'importance de la définition de la blessure et de la méthodologie utilisée a été mise en évidence par de nombreuses études (van Mechelen et al., 1992 ; Junge et Dvorak, 2000, Brooks et Fuller, 2006). Ces grandes disparités de résultats pourraient être en partie expliquées par les différentes définitions de la blessure et méthodologies utilisées dans ces études. Certains auteurs ont défini la blessure comme un événement provoquant une intervention médicale sur le terrain (Hawkins et Fuller, 1998), ou en dehors du terrain (Waldén et al., 2005b), comme un événement provoquant un arrêt de la séance ou du match pour le joueur blessé (Lüthje et al., 1996), comme un événement empêchant le joueur de prendre part aux séances ou aux matchs durant une période d'au moins 48h (Parry et Drust, 2006 ; Hawkins et al., 2001), ou empêchant le joueur de prendre part aux séances ou aux matchs durant une période d'au moins 72h (Dauty et Collon, 2001). Parmi les études répertoriées, 16 études ont utilisé une définition de la blessure correspondant au consensus d'experts établi par Fuller et al. (2006) pour la FIFA. Les résultats de ces études sont décrits dans le tableau 8. Lorsque seules ces études sont analysées, l'incidence globale varie de 4 (Morgan et Oberlander, 2001) à 14,4 blessures (Hägglund et al., 2005) pour 1000h de pratique. L'incidence en match varie de 14,5 (Eirale et al., 2013) à 93,6 blessures (Carling et al., 2016b) pour 1000h de match. L'incidence à l'entraînement varie de 2,3 (Nielsen et Yde, 1989) à 11,8 blessures (Hägglund et al., 2005)

pour 1000h d'entraînement. Les disparités entre les études sont importantes. Les différences méthodologiques, les périodes d'observation et les limites de ces études peuvent expliquer, en partie, ces disparités.

Tableau 8 : Description des études épidémiologiques réalisées chez les joueurs de football professionnel selon la définition de Fuller et al. (2006).

Auteurs	Sujets	Définition	Incidence	Type de blessure et localisation
Arnason et al., 1996	1 saison 5 équipes de football élite (1ère division Islande) 84 joueurs (age : 25 ans)	Absence à un entraînement ou un match	Incidence globale : 12,4 / 1000h Incidence match : 34,8 / 1000h Incidence entraînement : 5,9 / 1000h	<p>Type de blessure :</p> <ul style="list-style-type: none"> lésion musculaire : 29 % entorse : 22 % contusion : 20 % <p>Localisation :</p> <ul style="list-style-type: none"> ischio-jambiers : 18 % cheville : 16 % quadriceps : 12 % <p>Blessures avec contact : 44 %</p>
Arnason et al., 2004	1 saison compétitive (4 mois) 17 clubs de football professionnel (1ère division Islande)	Absence à un entraînement ou un match	Incidence globale : 7,2 blessures / 1000h Incidence match : 24,6 blessures / 1000h Incidence entraînement : 2,1 blessures / 1000h	<p>Type de blessures :</p> <ul style="list-style-type: none"> blessures musculaires : 31 % contusions : 20 % entorses : 18 % <p>Localisation :</p> <ul style="list-style-type: none"> cuisse : 24 % genou : 16 % jambe (partie distale) : 13 % cheville : 9 %
Bengtsson et al., 2013	11 saisons 27 équipes européennes	Absence à un entraînement ou un match	Incidence globale : 7,5 blessures / 1000h Incidence match : 26,9 blessures / 1000h Incidence entraînement : 3,9 blessures / 1000h	Pas d'information

Tableau 8 : Suite.

Bengtsson et al., 2018	14 saisons 133 710 matchs (57 équipes européennes suivies sur des périodes de temps variables)	Absence à un entraînement ou un match (blessure en matchs uniquement)	Incidence en match : 24,5 blessures / 1000h 22,7 blessures / 1000h (7 à 10 jours de récupération entre les matchs) 25,3 blessures / 1000h (5 jours de récupération entre les matchs)	Localisation : cuisse : entre 20 et 25 % adducteurs : entre 8 et 16 % jambe (partie distale) : entre 3 et 6 % <i>Type de blessures :</i> blessures musculaires : 46 % blessures articulaires : 27 % Contusions : 14 % <i>Localisation :</i> cuisse : 22 % cheville : 18 % genou : 16 % adducteurs : 11 %
Bjørneboe et al., 2014	5 saisons (2002-2007) 14 clubs de football professionnel (1ère division Norvège)	Absence à un entraînement ou un match	Incidence globale : 4,8 blessures / 1000h Incidence match : 15,9 blessures / 1000h Incidence entraînement : 1,9 blessures / 1000h	<i>Types de blessure :</i> contusion : 4 blessures / 7 blessures musculaires : 2 blessures / 7 entorse : 1 blessure / 7 <i>Localisation :</i> cuisse : 2 blessures / 7 pied : 2 blessures / 7 adducteurs : 1 blessure / 7 cheville : 1 blessure / 7 genou : 1 blessure / 7
Carling et al., 2012b	8 matchs (26 jours) 1 équipe de football professionnel (1ère division France)	Absence à un entraînement ou un match (blessure en matchs uniquement)	Incidence en match : entre 49,8 et 50,3 blessures / 1000h (7 blessures)	<i>Localisation :</i> cuisse : 2 blessures / 7 pied : 2 blessures / 7 adducteurs : 1 blessure / 7 cheville : 1 blessure / 7 genou : 1 blessure / 7
Carling et al., 2016b	6 saisons 25 joueurs professionnels (1ère division France)	Absence à un entraînement ou un match (blessure en matchs uniquement)	Incidence en match : entre 47 et 93,6 blessures / 1000h Enchaînement de 3 matchs avec récupération ≤ 4 jours entre chaque match : 1er match : 47 blessures / 1000h 2ème match : 70,6 blessures / 1000h 3ème match : 93,6 blessures / 1000h	<i>Localisation :</i> ischio-jambiers : entre 11,1 et 28,8 / 1000h cheville : entre 2,8 et 28,8 / 1000h adducteurs : entre 1,4 et 3,7 / 1000h mollets : entre 0 et 4,1 / 1000 h

Tableau 8 : Suite.

Dellal et al., 2015	16 joueurs professionnels (1ère division France)	Absence à un entraînement ou un match	<p>2 matchs par semaine :</p> <p>Incidence globale : 14,4 blessures / 1000h Incidence match : 43,3 blessures / 1000h Incidence entraînement : 4,6 blessures / 1000h</p> <p>1 match par semaine :</p> <p>Incidence globale : 15,6 blessures / 1000h Incidence match : 18,6 blessures / 1000h Incidence entraînement : 14,6 blessures / 1000h</p>	Pas d'information
Drawer et Fuller, 2002	4 équipes de football professionnel (1ère division Angleterre) 138 joueurs (pas de caractéristique)	Absence à un entraînement ou un match	Incidence globale : 14,4 blessures / 1000h	Pas d'information
Dupont et al., 2010	2 saisons 32 joueurs professionnels (1ère division Ecosse)	Absence à un entraînement ou un match	Incidence match : 43,3 blessures / 1000h	<p><i>Localisation</i></p> <p>Cuisse : 28 % Genou : 17 % Hanche / aine : 14 % Cheville : 13 %</p>
Eirale et al., 2012	17 mois (Juin 2007 - Octobre 2008) Equipe nationale du Qatar : 36 joueurs (23,8 ans ; 72,9 kg ; 176,3 cm)	Absence à un entraînement ou un match	Incidence entraînement : 4,6 blessures / 1000h	<p><i>Type de blessure :</i></p> <p>lésion musculaire : 30,8 % entorse : 12,8 %</p> <p><i>Localisation :</i></p> <p>cuisse : 33,3 % genou : 16,7 % jambe distale : 10,3 % cheville : 9,0 %</p> <p>Récidive : 24 % Blessures avec contact : 41%</p>

Tableau 8 : Suite.

Eirale et al., 2013	<p>1 saison 10 équipes de première division (Qatar) 230 joueurs (âge : 28,4 ± 4,4 ans; taille : 176, 5 ± 7,2 cm ; masse : 72,5 ± 8,7 kg)</p>	Absence à un entraînement ou un match	<p>Incidence globale : 6,0 / 1000h Incidence en match : 14,5 /1000h Incidence entraînement : 4,4 / 1000h</p>	<p>Type de blessure : lésion musculaire : 36,4 %</p> <p>Localisation : cuisse : 39,2 % genou : 15,2 % cheville : 12,0 %</p> <p>Récidive : 15%</p>
Ekstrand et Tropp, 1990	<p>1 saison 21 équipes de football de haut niveau 135 joueurs issus de 9 équipes de 1ère Division (Suède) 180 joueurs de 12 équipes issus de 2ème Division (Suède)</p>	Absence à un entraînement ou un match	<p>1ère division : Incidence globale : 8,6 ± 3,3 blessures / 1000h Incidence match : 21,8 ± 11,3 blessures / 1000h Incidence entraînement : 4,6 / 1000h</p> <p>2ème division : Incidence globale : 8,5 ± 3,2 blessures / 1000h Incidence match : 18,7 ± 8 blessures / 1000h Incidence entraînement : 5,1 / 1000h</p>	<p>Localisation : Division 1 cheville : 19,5 % Division 2 cheville : 20,4 %</p>
Ekstrand, 2004	11 équipes européennes (1 saison) (266 joueurs)	Absence entraînement ou match suivant	<p>Joueurs participant à la Coupe du Monde (65) : Incidence globale : 7,9 ± 7,4 / 1000h Incidence match 26,7 ± 15 / 1000h Incidence entraînement : 3,2 ± 2,2 / 1000h</p> <p>Joueurs ne participant pas à la Coupe du Monde (201) : Incidence globale : 9,5 ± 3,7 / 1000h Incidence match : 30,3 ± 13,9 / 1000h Incidence entraînement : 5,5 ± 2,1 /1000h</p>	Pas d'information

Tableau 8 : Suite.

Ekstrand et al., 2011a	UEFA 7 saisons 23 équipes de football professionnel	Absence à un entraînement ou un match	Incidence globale : 8 blessures / 1000h Incidence match : 27,5 blessures / 1000h Incidence entraînement : 4,1 ± 2,1 / 1000h	Type de blessure : lésion musculaire : 35 % entorse : 18 % contusion : 17 % Localisation : cuisse : 23 % genou : 18 % cheville : 14 % Récidive : 12 %
Ekstrand et al., 2011b	Entre 1 et 9 saisons : 51 équipes 2299 joueurs (age : 25,3 ± 4,6 ans ; taille : 181,8 ± 6,2 cm ; masse : 78,2 ± 6,8 kg) 24 équipes participant à la Ligue des Champions UEFA 15 équipes de 1ère division (Suède) 15 équipes européennes professionnelles évoluant sur des terrains synthétiques	Absence à un entraînement ou un match (uniquement les blessures musculaires)	Incidence globale : 2,48 / 1000h Incidence match : 8,70 / 1000h Incidence entraînement : 1,37 / 1000h	Localisation : ischio-jambiers : 37 % adducteurs : 23 % quadriceps : 19 % mollets : 13 % Récidive : 16 %
Ekstrand et al., 2013	Entre 1 et 11 saisons : 27 équipes participant à la Ligue des Champions (1743 joueurs)	Absence à un entraînement ou un match	Incidence globale : 7,6 blessures / 1000h Incidence match : 26,7 blessures / 1000h Incidence entraînement : 4,0 blessures / 1000h	Localisation : ischio-jambiers : 15,6 % chevilles : 9,2 % adducteurs : 9,2 % genoux : 8,8 % quadriceps : 7,6 % mollets : 6,1 %
Häggglund et al., 2003	2 saisons : 1982 et 2001 1982 : 8 clubs de football professionnel (1ère division Suède) en 1982 (118 joueurs) 14 clubs de football professionnel (1ère division Suède) en 2001 (310 joueurs)	Absence à un entraînement ou un match	1982 : Incidence globale : 8,3 blessures / 1000h Incidence match : 20,6 blessures / 1000h Incidence entraînement : 4,6 blessures / 1000h 2001 : Incidence globale : 7,8 blessures / 1000h Incidence match : 25,9 blessures / 1000h Incidence entraînement : 5,2 blessures / 1000h	Pas d'information

Tableau 8 : Suite.

Hägglund et al., 2005	1/2 saison : 498 joueurs : 188 joueurs (1ère division Danemark) (âge : 26 ± 4 ans ; taille : 183 ± 5 cm ; masse : 79 ± 6 kg) 310 joueurs (1ère division Suède) (âge : 25 ± 5 ans ; taille : 182 ± 6 cm ; masse : 79 ± 6 kg)	Absence à un entraînement ou un match	Danemark : Incidence globale : 14,4 blessures / 1000h Incidence match : 28,2 blessures / 1000h Incidence entraînement : 11,8 blessures / 1000h Suède : Incidence globale : 8,2 blessures / 1000h Incidence match : 26,2 blessures / 1000h Incidence entraînement : 6,0 blessures / 1000h	Localisation : cuisse : 23 % genou : 17 % hanche / aine : 15 % cheville : 11,3 %
Hawkins et Fuller, 1999	3 saisons 4 équipes de football professionnel (1ère Division Angleterre)	Absence à un entraînement ou un match	Incidence globale : 8,2 blessures / 1000h Incidence match : 26,9 blessures / 1000h Incidence entraînement : 3,4 blessures / 1000h	Localisation : cuisse : 22,8 % cheville : 16,8 % genou : 14,8 % jambe partie distale : 13,8 % Hanche et aine : 10,7 % Blessures avec contact : 41% Récidive : 22%
Morgan et Oberlander, 2001	1 saison 10 clubs de 1ère division américaine (237 joueurs, âge moyen : 27 ans)	Absence à un entraînement ou un match	Incidence globale : 4 blessures / 1000h Incidence match : 35,3 blessures / 1000h Incidence entraînement : 2,9 blessures / 1000h	Localisation : genou : 21 % cheville : 18 % adducteurs : 11 % ischio-jambiers : 9 %
Nielsen et Yde, 1989	1 saison 1 équipe (2ème division Norvège)	Absence à un entraînement ou un match	Incidence match : 18,5 / 1000h Incidence entraînement : 2,3 / 1000h	Pas d'information
Walden et al., 2005a	1 saison (2001) 14 clubs de 1ère division (Suède) : 310 joueurs (âge : 25 ; taille : 182 cm ; masse : 79 kg)	2 définitions : => Absence à un match ou à un entraînement => attention médicale	Incidence globale (basée sur l'absence) : 7,8 ± 4,5 / 1000h Incidence match (basée sur l'absence) : 25,9 ± 16/1000h Incidence entraînement (basée sur l'absence) : 5,2 ± 3,2 / 1000h	Localisation : cuisse : 23 % hanche / aine : 16 % genou : 16 % jambe partie distale : 15 % cheville : 10 % Récidive : 22 %

Tableau 8 : Suite et fin.

Walden et al., 2005b	1 saison (2001-2002) 11 équipes 266 joueurs (26 ± 4 ans ; taille 181 ± 6 cm ; masse : 78 ± 7 kg)	Absence à un entraînement ou un match	Incidence globale : 9,4 ± 3,2 blessures / 1000h Incidence match : 30,5 ± 11 blessures / 1000h Incidence entraînement : 5,8 ± 2,1 / 1000h	<i>Type de blessures :</i> lésion musculaire : 26 % entorse : 21 % contusion : 16 % <i>Localisation :</i> cuisse : 23 % genou : 20 % cheville : 14 % hanche / aine : 12 %
----------------------	--	--	--	---

Certaines études se sont basées sur des estimations pour calculer le temps d'exposition. Par exemple, Morgan et Oberlander (2001) ont défini le temps moyen d'une séance à 105 minutes et ont multiplié ce temps par le nombre de séances pour définir la période d'exposition. C'est une limite importante, puisqu'elle ne prend pas en compte le nombre de joueurs lors de chaque séance, la durée précise de chaque séance, ni le fait qu'un joueur arrête une séance en cours. Cette limite méthodologique a pour conséquence une surestimation ou une sous-estimation du temps d'exposition et donc, une diminution artificielle de l'incidence calculée. Parmi les études rapportées, c'est cette étude qui rapporte l'incidence à l'entraînement la plus basse (4,0 blessures pour 1000h d'entraînement) (Morgan et Oberlander, 2001).

Deux études ont utilisé des estimations pour mesurer l'exposition (Hawkins et Fuller, 1999 ; Morgan et Oberlander, 2001), et une étude n'a pas précisé la méthode de mesure de l'exposition (Drawer et Fuller, 2002). Comme décrit dans le tableau 8, la majorité des études ont suivi des cohortes de petites tailles ou des cohortes où tous les joueurs suivis étaient issus du même championnat. Les résultats de l'étude d'Hägglund et al. (2005) ont montré qu'il était possible que le championnat dans lequel évolue la cohorte influence l'incidence des blessures. Dans cette étude, les incidences de blessures en match et à l'entraînement étaient, par exemple, à peu près deux fois plus importantes au Danemark qu'en Suède. La population suivie peut donc influencer les résultats, et les différences entre les études peuvent également être expliquées par le championnat ou le type d'équipe suivie. Eirale et al. (2012) ont réalisé le suivi épidémiologique de l'équipe nationale du Qatar durant trois saisons et ont montré une incidence en match très importante (66 blessures / 1000h de match). Cependant, la validité externe des résultats de cette étude peut être interrogée. Le groupe suivi était un groupe de très petite taille, 36 joueurs, la période d'observation était courte (41 entraînements et 37 matchs). Compte tenu de l'influence de la taille d'échantillon et des caractéristiques de la cohorte suivie sur les résultats d'une étude épidémiologique (Brooks et Fuller, 2006), de larges études de cohorte, menées dans différentes équipes issues de différents championnats doivent permettre d'établir des références dans le football de haut niveau. Seules les études de Waldén et al. (2005b) et de Ekstrand et al. (2004, 2011a, 2013) menées dans le cadre du groupe de recherche médical de l'UEFA, ont évalué l'incidence globale des blessures avec une cohorte de joueurs importante (entre 266 et 2299 joueurs), et dans différents clubs issus de différents championnats européens de très haut niveau (équipes participant à la Ligue des Champions UEFA, ou à l'Europa League). De manière générale, ces études ont montré qu'une équipe de 25 joueurs évoluant en coupe d'Europe pouvait s'attendre à subir 50 blessures lors d'une saison, soit 2 blessures par joueur et par saison (Ekstrand et al., 2011a). Dans ces études, l'incidence globale des blessures

était comprise entre 7,6 (Ekstrand et al., 2013) et 9,4 (Waldén et al., 2005a) blessures pour 1000h de pratique, l'incidence en match était comprise entre 26,7 (Ekstrand et al., 2013) et 30,5 (Waldén et al., 2005b) blessures pour 1000h de match, et l'incidence à l'entraînement était comprise entre 4,0 (Ekstrand et al., 2013) et 5,8 blessures (Waldén et al., 2005a) pour 1000h de pratique. Les résultats dans ces études sont très proches. L'étude de Waldén et al. (2005b) est basée sur le suivi de 11 équipes européennes durant une saison entière, alors que les études d'Ekstrand et al. (2011a ; 2013) sont basées sur le suivi de 27 équipes européennes entre 1 et 11 saisons. Ce sont aujourd'hui les études de cohorte les plus larges réalisées dans le football professionnel.

Selon les études d'Ekstrand (2011a et 2013), l'incidence des blessures en match est entre 6,3 et 6,7 fois supérieure à l'incidence à l'entraînement. Ces résultats confirment les résultats des autres études épidémiologiques mises en place dans le football de haut niveau, qui ont trouvé une incidence en match supérieure à l'incidence à l'entraînement (tableau 8). $80 \pm 1,7$ % des blessures à l'entraînement et de 57 ± 3 % des blessures en match enregistrées étaient des blessures sans contact (Ekstrand et al., 2013). Cela confirme les résultats d'autres études de cohorte qui ont conclu que 56 % (Arnason et al., 1996) ou 59% (Eirale et al., 2013 ; Hawkins et Fuller, 1999) des blessures dans le football de haut niveau étaient des blessures sans contact. La blessure sans contact est définie comme une blessure qui n'a pas été causée par un contact avec un joueur, le ballon ou un autre objet (Fuller et al., 2006). Les lésions musculaires représentent le type de blessures le plus fréquent dans le football (35%), suivi par les entorses (18%) et les contusions (17%) (Ekstrand et al., 2011a). La blessure la plus fréquente dans le football entre 2001 et 2012 est la lésion aux ischio-jambiers (12,8 % des blessures), suivie de la lésion des adducteurs (9,2 %) et les entorses de cheville (6,9%) (Ekstrand et al., 2013). Les résultats concernant les blessures qui surviennent le plus fréquemment dans le football sont présentés dans la figure 13.

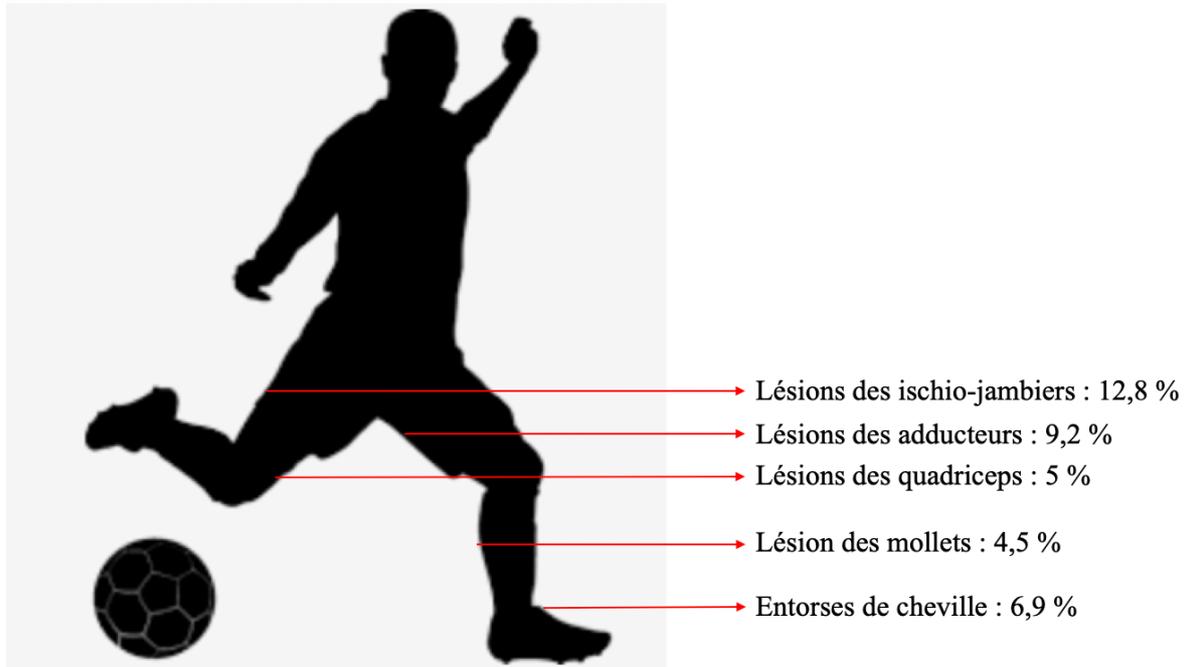


Figure 13 : Localisation et proportion des 5 blessures les plus fréquentes dans le football de haut niveau, d'après Ekstrand et al. (2013).

Dans l'étude d'Ekstrand et al. (2013), l'impact des blessures a également été mesuré. La blessure à l'origine du plus grand nombre de jours d'absence est la lésion aux ischio-jambiers (18,2 jours d'absence pour 1000h de pratique), suivie par la lésion musculaire aux adducteurs (10,3 jours d'absence pour 1000h de pratique) et la lésion musculaire aux quadriceps (8,1 jours d'absence pour 1000h de pratique). Les lésions musculaires des membres inférieurs sont donc les blessures les plus fréquentes, mais également les blessures provoquant le plus grand nombre de jours d'absence pour 1000h de pratique. Les résultats concernant les absences associées aux blessures sont présentés dans la figure 14. Quasiment la totalité (92 à 96%) des lésions subies aux ischio-jambiers, aux quadriceps, et aux adducteurs par les joueurs de football professionnels sont des blessures sans contact (Esktrand et al., 2011b).

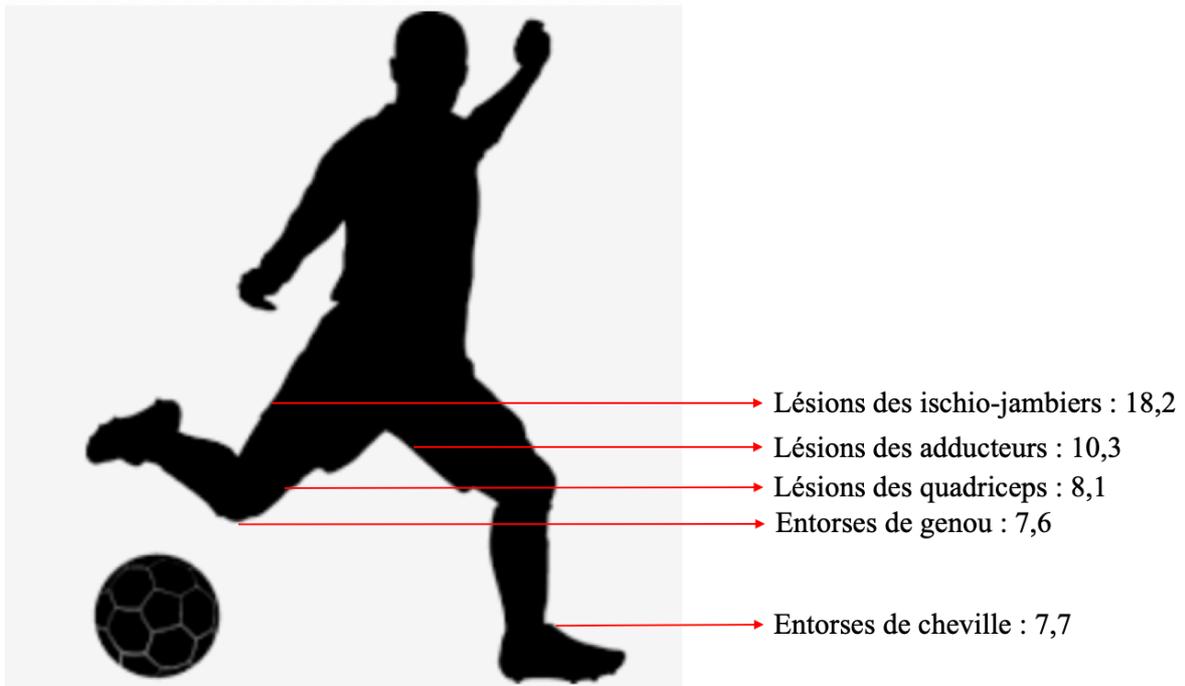


Figure 14 : *Le nombre de jours d'absence pour 1000h de pratique pour les 5 blessures provoquant le plus grand nombre de jours d'absence pour 1000h de pratique dans le football de haut niveau, d'après Ekstrand et al. (2013).*

Les études d'Ekstrand et al. (2011a ; 2013) sont des études dont la cohorte prend part à des compétitions européennes. Ces équipes sont régulièrement soumises à des semaines lors desquelles les matchs sont joués avec des périodes de récupération ≤ 4 jours.

Plusieurs études ont cherché à évaluer l'effet d'un calendrier chargé (avec peu de jours de récupération entre les matchs) sur l'incidence des blessures dans le football de haut niveau. Dupont et al. (2010) ont réalisé le suivi sur deux saisons de 32 joueurs de football d'un club participant à la Ligue des Champions UEFA et ont démontré que l'incidence des blessures était 6,2 fois plus importante lorsque 2 matchs étaient joués en 4 jours ou moins, en comparaison avec deux matchs séparés par 6 jours ou plus. Dellal et al. (2015) et Carling et al. (2016b) ont également démontré des associations entre l'incidence des blessures et les périodes où les matchs sont rapprochés (≤ 3 jours de récupération entre les matchs). Carling et al. (2012b) ont conclu que l'incidence des blessures dans une équipe de première division française n'était pas augmentée lors d'une période chargée (8 matchs en 26 jours) en comparaison avec le reste de la saison. Les différences dans les résultats entre ces différentes études peuvent être expliquées par la méthodologie suivie. Dupont et al. (2010) n'ont inclus dans la condition « calendrier chargé » que les joueurs ayant pris part à au moins 75 minutes des deux matchs, alors que

Carling et al. (2012b) ont évalué l'incidence globale de l'équipe observée, sans prendre en compte la rotation des joueurs d'un match à l'autre. Une bonne gestion de l'effectif et de la charge liée à la compétition lors de ces périodes de surcharge, pourraient donc permettre de diminuer l'effet des matchs rapprochés sur l'incidence des blessures. L'étude de Carling et al. (2012b) présente également un échantillon de matchs observés très faible (8 matchs), ce qui peut également expliquer l'absence d'association entre un calendrier chargé et l'incidence des blessures. De manière générale, ces études présentent plusieurs limites. Aucune d'entre elles ne présente une taille d'échantillon importante, et toutes ces études ont évalué l'effet d'un calendrier chargé au sein d'une seule équipe, ce qui limite la généralisation des résultats. Pour éviter ces limites méthodologiques, Bengtsson et al. (2013 ; 2018) ont évalué l'effet du nombre de jours de récupération entre deux matchs sur l'incidence des blessures sur des périodes d'observation longues, avec des cohortes de grande taille. L'observation de 133 710 matchs dans les différents championnats européens confirme que l'incidence des blessures musculaires est réduite lorsque la période séparant deux matchs est ≥ 6 jours en comparaison avec une période ≤ 3 jours (RR = 0,79 ; IC 95% : 0,65 à 0,95) (Bengtsson et al., 2018).

Les résultats de ces différentes études montrent qu'il existe une association entre la charge liée à la compétition sur des périodes restreintes, avec un calendrier chargé, et l'incidence des blessures dans le football de haut niveau. Il est nécessaire de prendre en compte la population suivie par Ekstrand et al. (2011a ; 2013), composée de footballeurs prenant part à des compétitions européennes, lorsque l'on souhaite établir des valeurs de référence concernant l'incidence des blessures dans le football de haut niveau.

Il est intéressant de noter qu'aucune étude concernant les effets d'un calendrier chargé n'a été mise en place chez les jeunes joueurs de football de haut niveau, alors qu'une compétition européenne regroupant les meilleures équipes européennes de U19 a été mise en place par l'UEFA en 2013 et amène les jeunes joueurs à subir des semaines saturées par les matchs (3 matchs en 8 jours).

3.2 Le risque

3.2.1 Définition du risque et du niveau de risque

Dans le dictionnaire de l'Académie Française, le risque est défini comme un danger, péril éventuel dont la survenue est plus ou moins prévisible (dictionnaire de l'Académie Française, 2011). Pour la haute autorité de santé (HAS), le risque est défini comme une situation non

souhaitée, ayant des conséquences négatives résultant de la survenue d'un ou plusieurs événements dont l'occurrence est incertaine (Agence nationale d'accréditation et d'évaluation en Santé, 2003). Fuller et Drawer (2004) ont défini le risque comme la probabilité qu'un danger ait un impact sur les personnes suivies. Lorsque l'on applique ces définitions à la blessure dans le football, le niveau de risque correspond donc à la probabilité de survenue d'une blessure lors de la pratique. Pour définir le niveau de risque, plusieurs indicateurs épidémiologiques peuvent être utilisés. La prévalence correspond au nombre de cas dans la population observée à un instant donné. Dans le football, il s'agit donc du nombre de joueurs blessés à un instant donné. L'incidence correspond au nombre de nouveaux cas dans la population observée sur une période donnée. Dans le football, il s'agit donc du nombre de blessures qui surviennent sur la période d'observation (une saison par exemple) (Brooks et Fuller, 2006). L'incidence ne suffit pas à mesurer un niveau de risque, la quantification du risque dépend également des conséquences de l'évènement négatif (la blessure) (Drawer et Fuller, 2002). C'est pourquoi il est recommandé de mesurer la sévérité des blessures dans le football (Fuller et al., 2006).

La quantification du risque est la première étape à réaliser lorsque l'on a cherché à diminuer les pathologies et/ou les blessures (Fuller et Drawer, 2004). Des études épidémiologiques, qui respectent la définition de la blessure et les recommandations méthodologiques établies par consensus d'expert par Fuller et al. (2006) ont été menées dans le football et permettent de définir ce niveau de risque. Ces études sont décrites dans la partie 3.1 de cette revue de littérature.

A partir de la quantification de ces niveaux de risque, des stratégies de prévention peuvent être mises en place pour diminuer ce niveau de risque (Fuller et Drawer, 2004).

Qu'en est-il dans le football de haut niveau ?

Drawer et Fuller (2002) ont montré que le niveau de risque de blessure dans le football en première division anglaise était 1000 fois plus élevé que dans des métiers considérés à haut risque (manufacture, construction) et pour lesquels le gouvernement anglais a mis des mesures de prévention en place. Le niveau de risque est inacceptable dans le football professionnel (Drawer et Fuller, 2002) et des stratégies visant à réduire le niveau de risque doivent être mises en place.

Pour mettre en place des stratégies de prévention, il est nécessaire d'identifier les facteurs de risque de blessure de manière à agir dessus (Bahr, 2016). Un facteur de risque est défini par l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) comme tout attribut, caractéristique ou exposition d'un sujet qui augmente la probabilité de développer une maladie ou de souffrir d'un

traumatisme. Dans le cadre du risque de blessure dans le football, il s'agit donc de tout attribut, caractéristique ou exposition qui augmente la probabilité de souffrir d'une blessure.

Les facteurs de risque peuvent être caractérisés selon plusieurs critères. Un facteur de risque peut être intrinsèque ou extrinsèque (Fuller et Drawer, 2004). Un facteur de risque intrinsèque est un facteur de risque spécifique à l'individu (l'âge, le sexe ou le niveau de force par exemple). Un facteur de risque extrinsèque est un facteur de risque provenant de l'extérieur (règles du jeu, équipements, qualité du terrain, charge de travail, par exemple) (Fuller et Drawer, 2004). Un facteur de risque peut être non modifiable ou modifiable (Bahr et Holme, 2003). Un facteur de risque non modifiable est un facteur sur lequel il n'est pas possible d'agir (l'âge ou le sexe par exemple), et un facteur de risque modifiable est un facteur de risque sur lequel une action est possible (le niveau de force, la masse...) (Bahr et Holme, 2003). Enfin, un facteur de risque peut être catégoriel ou continu (Bahr et Holme, 2003). Un facteur de risque catégoriel est un facteur de risque qui mesure un état, une catégorie (antécédent de blessure, sexe, poste sur le terrain), alors qu'un facteur de risque continu est mesurable et quantitatif (l'âge, la masse, la taille, la force...).

Les différentes caractéristiques d'un facteur de risque vont influencer la méthodologie utilisée pour évaluer l'effet de ce facteur sur l'incidence des blessures, et les stratégies de prévention qui seront mises en place (Bahr et Holme, 2003).

Plusieurs types d'études peuvent être mis en place pour mesurer l'effet d'un facteur de risque sur l'incidence des blessures.

3.2.2 Mesure du risque et des facteurs de risque

3.2.2.1 Les études cas-témoin

Les études cas-témoin sont des études rétrospectives (Bahr et Holme, 2003). Elles permettent de chercher, à posteriori, chez les joueurs blessés, les facteurs qui peuvent être associés à la blessure, c'est-à-dire les facteurs présents plus fréquemment chez les joueurs blessés que chez les joueurs non blessés (Bahr et Holme, 2003).

Il existe plusieurs possibilités statistiques pour évaluer l'association entre la blessure et un facteur dans une étude cas-témoin.

Il est possible, dans le cas d'une variable quantitative (l'âge par exemple) de calculer la différence entre le groupe de joueurs blessés et le groupe témoins. Si une différence existe, et qu'elle est significative, alors on peut conclure que ce facteur est associé à l'incidence des

blessures dans le groupe de joueurs blessés (Bahr et Holme, 2003). Cependant, cela ne permet de conclure à la linéarité de la relation. Il est possible que la différence soit associée à un seuil ou un sous-groupe particulier dans lequel le risque est plus élevé que dans le reste du groupe observé (Bahr et Holme, 2003). Par exemple, en football Australien, une étude a montré que les joueurs dont c'était la première année en ligue professionnelle se blessaient plus tôt dans la saison que les joueurs dont ce n'était pas la première année (Fortington et al., 2016). Si le nombre d'années dans la ligue professionnelle avait été comparé dans une étude rétrospective entre les joueurs qui se blessent plus tôt et ceux qui se sont blessés plus tard, une différence significative aurait donc certainement été trouvée, mais n'aurait pas permis d'identifier que c'est lors de la première année que les joueurs sont le plus à risque. La conclusion de l'étude aurait alors certainement été que le nombre d'années dans la ligue est un facteur négativement associé à l'incidence des blessures, et que plus un joueur a d'années d'expérience dans la ligue professionnelle, moins il est à risque de blessure.

Lorsque le facteur est une variable catégorielle (antécédent de blessure par exemple), il est possible de calculer un ratio de cotes (« odds ratio ») (Bahr et Holme, 2003). L'objectif est de comparer la fréquence d'exposition à un facteur de risque potentiel dans un groupe de joueurs blessés à la fréquence d'exposition dans un groupe de joueurs n'ayant pas subi de blessure.

Le calcul à réaliser pour calculer un ratio de cotes est décrit dans l'équation suivante (Bahr et Holme, 2003) :

Equation 10 :

$$\text{Ratio de cotes (« odds ratio »)} = \frac{\left(\frac{\text{Nombre d'exposés au facteur chez les joueurs blessés}}{\text{Nombre de non exposés au facteur chez les joueurs blessés}} \right)}{\left(\frac{\text{Nombre d'exposés au facteur chez les joueurs sains}}{\text{Nombre de non exposés au facteur chez les joueurs sains}} \right)}$$

La figure 15 représente un tableau de contingence. Un tableau de contingence est un outil de représentation de données issues de comptage. Dans le cas de l'épidémiologie, un tableau de contingence permet d'illustrer la répartition de la population selon son exposition ou non au facteur évalué et la survenue, ou non, de l'évènement (dans le cas du football, la blessure).

Si l'on se réfère à ce tableau de contingence (figure 15), le ratio de cotes est décrit par l'équation suivante :

Equation 11 :

$$\text{Ratio de cotes} = \frac{\left[\frac{a}{b} \right]}{\left[\frac{c}{d} \right]}$$

		Blessure		
		+	-	
Exposition au facteur	+	a	b	a+b
	-	c	d	c+d
		a+c	b+d	

Figure 15 : Tableau de contingence utilisé pour illustrer la répartition de la population face à l'exposition à un facteur et à la survenue d'une blessure (+ = positif ; - = négatif) (Pearson, 1904).

Les études cas-témoins nécessitent une grande rigueur méthodologique et présentent plusieurs limites. Elles nécessitent que le groupe de joueurs « cas » (ayant subi une blessure) soit représentatif des joueurs ayant subi cette blessure dans la population évaluée. Elles nécessitent que le groupe de joueurs « témoins » (n'ayant pas subi de blessure) soit représentatif de la population des joueurs n'ayant pas subi de blessure (Bahr et Holme, 2003). Il faut également que l'exposition au risque potentiel soit rapportée de manière fiable (Junge et Dvorak, 2000). Il a été démontré que le nombre de blessures rapportées par les joueurs à l'aide de questionnaires rétrospectifs était seulement égal à un tiers des blessures enregistrées de manière hebdomadaire durant les 12 mois d'observation (Junge et Dvorak, 2000). Enfin, si l'objectif de l'étude rétrospective est d'évaluer une caractéristique interne des joueurs blessés, il est difficile de savoir si cette caractéristique a été modifiée par la survenue de la blessure ou non, et donc, d'établir le lien de causalité entre ce facteur et la survenue de la blessure. Par exemple, le niveau de force des ischio-jambiers peut être modifié par une blessure aux ischio-jambiers et ne peut donc pas être mesurée suite à la blessure de manière rétrospective avec l'objectif d'évaluer la force comme un facteur de risque des blessures aux ischio-jambiers (Bahr et Holme, 2003).

3.2.2.2 Les études de cohorte prospective

L'étude de cohorte prospective est le type d'étude recommandé pour établir une association entre un facteur et l'incidence des blessures dans les recommandations de la FIFA (Fuller et al., 2006). L'objectif d'une étude de cohorte prospective est de mesurer l'association entre un facteur défini et l'incidence des blessures au sein de la population observée. Pour évaluer cette association, plusieurs outils statistiques peuvent être utilisés selon le type de facteurs (catégoriel binaire, quantitatif, etc.).

Lorsqu'un seul facteur est évalué, il est possible de calculer le ratio de cotes ou le risque relatif pour établir une association. Le risque relatif se calcule selon l'équation suivante :

Equation 12 :

$$\text{Risque relatif (RR)} = \frac{\left(\frac{\text{Nombre de blessures chez les joueurs exposés au facteur}}{\text{Nombre de joueurs exposés au facteur}} \right)}{\left(\frac{\text{Nombre de blessures chez les joueurs non exposés au facteur}}{\text{Nombre de joueurs non exposés au facteur}} \right)}$$

Selon le tableau de contingence (figure 15), le risque relatif correspond donc à l'équation suivante :

Equation 13 :

$$\text{Risque Relatif} = \frac{\left[\frac{a}{a+c} \right]}{\left[\frac{b}{b+d} \right]}$$

Le ratio de cotes peut également être utilisé, mais contrairement aux études de cas-témoins, l'objectif est, cette fois, de mesurer la cote de survenue de l'évènement (blessure) dans le cas de l'exposition au facteur évalué, en comparaison avec la cote de survenue de l'évènement dans le cas de l'absence d'exposition au facteur évalué.

Dans le cas d'une étude de cohorte prospective, le ratio de cotes se calcule selon l'équation suivante :

Equation 14 :

$$\text{Ratio de cotes} = \frac{\left(\frac{\text{Nombre de blessures chez les joueurs exposés au facteur}}{\text{Nombre de joueurs non blessés exposés au facteur}} \right)}{\left(\frac{\text{Nombre de blessures chez les joueurs non exposés au facteur}}{\text{Nombre de joueurs non blessés non exposés au facteur}} \right)}$$

Le calcul du risque relatif ou du ratio de cotes permet donc d'évaluer si l'exposition à un facteur est associée à une augmentation de l'incidence des blessures. Le risque relatif reflète l'augmentation du risque lié à la présence d'un facteur. Lorsque la fréquence de survenue de l'évènement est faible, le ratio de cotes et le risque relatif sont très proches. Lorsque la survenue de l'évènement est fréquente, en ne prenant pas en compte les joueurs blessés et exposés dans le dénominateur, le ratio de cotes surestime le risque relatif (Viera, 2008).

Pour le risque relatif et le ratio de cotes, la valeur est centrée autour de 1. Si la valeur est supérieure à 1 et que l'intervalle de confiance (à 90% ou à 95%), ne comprend pas la valeur 1, alors cela signifie que le facteur augmente le risque de survenue de l'évènement. Si la valeur est inférieure à 1, et que l'intervalle de confiance (à 90 ou 95%) ne comprend pas la valeur 1, alors cela signifie que le facteur diminue le risque de survenue de l'évènement (facteur protecteur) (Hopkins et al., 2009 ; Viera, 2008). L'intervalle de confiance correspond au niveau de certitude qu'une étendue (un intervalle) de valeurs contienne la vraie, l'exacte valeur dans une population si l'expérimentation était répétée (Page, 2014).

Si le facteur évalué est une variable quantitative, le calcul du risque relatif ou du ratio de cotes ne permet pas d'évaluer la linéarité de l'association entre le facteur et l'incidence des blessures. Pour mesurer une association entre une variable quantitative et l'incidence des blessures, plusieurs outils statistiques peuvent être utilisés.

Il est possible de diviser le groupe de joueurs observés (dichotomiser) selon la valeur de la variable quantitative. Par exemple, il est possible de diviser son groupe en trois, en utilisant l'écart type comme valeur seuil, avec un groupe de joueurs observés au-dessus d'un écart type de la moyenne du groupe, un groupe de joueurs observés en dessous d'un écart type de la moyenne du groupe et un groupe de joueurs entre +1 et -1 écart type, et de calculer le risque relatif en prenant l'un de ces trois groupes comme groupe de référence. Van Dyk et al. (2017), ont, par exemple, cherché à évaluer l'association entre le niveau de force des ischio-jambiers et l'incidence des blessures aux ischio-jambiers chez des joueurs de football professionnel. Ils ont divisé le groupe en trois : le groupe des joueurs les plus forts (niveau de force > moyenne + 1

écart-type) ; le groupe des joueurs les moins forts (niveau de force < moyenne - 1 écart-type) et un groupe intermédiaire (niveau de force = moyenne \pm 1 écart type). Dans cette étude, les auteurs ont calculé les ratios de cotes pour le groupe des joueurs forts et le groupe des joueurs les moins forts en utilisant le groupe intermédiaire comme valeur de référence (van Dyk et al., 2017). L'intérêt de cette méthode est qu'elle permet de définir des valeurs seuils au-delà desquelles l'incidence de blessures est supérieure ou inférieure. Cette méthode permet des applications pratiques directes dans la prévention des blessures et une identification de la présence ou non d'un facteur associé à la blessure. Cependant, cette méthode présente également plusieurs limites. Tout d'abord, la nature binaire du facteur associé (présent ou absent) ne reflète pas la réalité liée à l'augmentation d'une variable quantitative associée à la blessure. Bourne et al. (2015) ont conclu qu'un déséquilibre de force entre les deux jambes était un facteur associé à l'incidence de blessures aux ischio-jambiers, et que si ce déséquilibre était $\geq 20\%$, alors le risque était 3,4 fois supérieur à un déséquilibre <20 %. Cette conclusion signifie qu'un joueur avec un déséquilibre de 20% est 3,4 fois plus à risque de blessure qu'un joueur à 19 %. Or, ce n'est certainement pas le cas (Carey et al., 2018). L'autre limite de la dichotomisation des groupes est liée à la puissance statistique. La division du groupe observé en plus petits groupes diminue la puissance statistique de l'étude réalisée (Carey et al., 2018)

Il est également possible de mesurer l'association entre une ou plusieurs variables quantitatives et l'incidence des blessures à l'aide de techniques de régression. Ces régressions permettent de mesurer l'association entre l'augmentation d'une unité de la variable indépendante et l'augmentation de la fréquence de l'évènement, et fournissent le ratio des cotes ou le risque relatif associé à l'augmentation d'une unité de la variable indépendante (Bahr et Holme, 2003). Ces régressions peuvent, par exemple, permettre de mesurer l'association entre une augmentation de l'âge d'une année et l'augmentation de l'incidence des blessures (Bahr et Holme, 2003).

Plusieurs types de régression peuvent être mis en place selon les objectifs de l'étude, la nature de la variable indépendante et la nature et la fréquence de la variable dépendante (Sedgwick, 2013a ; Sedgwick 2013b ; Sedgwick 2013c ; Sedgwick, 2014). Le tableau 9 reprend les principales techniques de régression utilisées dans les études et les conditions dans lesquelles elles doivent être réalisées.

Tableau 9 : Description des principaux types de régression et recommandations d'utilisation selon l'objectif de l'étude, le type de variable, et les résultats souhaités.

	Objectif de l'étude	Type de variable(s) indépendante(s)	Type de variable dépendante	Résultats de l'analyse
Régression linéaire simple	Evaluer l'association linéaire entre 2 variables	Continue	Continue	Equation donnant l'ampleur du changement de la variable dépendante lorsque la variable indépendante augmente d'une unité
Régression linéaire multiple	Evaluer simultanément l'association entre deux variables indépendantes (ou plus) et une variable dépendante	Continue	Continue	Coefficient de régression partielle donnant l'ampleur du changement de la variable dépendante lorsque la variable indépendante augmente d'une unité et que les autres variables indépendantes sont contrôlées
Régression multivariée	Evaluer simultanément l'association entre deux variables indépendantes (ou plus) et une variable dépendante	Continue Binaire Catégorielle	Continue	Coefficient de régression partielle donnant l'ampleur du changement de la variable dépendante lorsque la variable indépendante augmente d'une unité et que les autres variables indépendantes sont contrôlées
Régression logistique	Evaluer simultanément l'association entre deux variables indépendantes (ou plus) et une variable dépendante	Continue Binaire Catégorielle	Binaire	Ratio des cotes (OR) et intervalle de confiance Variable continue : Augmentation de l'OR pour l'augmentation d'une unité de la variable indépendante Variable Binaire et catégorielle : Augmentation de l'OR selon la condition
Régression de Poisson	Evaluer simultanément l'association entre deux variables indépendantes (ou plus) et une variable dépendante	Continue Binaire Catégorielle	Somme d'événements (compte) suivant une loi de Poisson : rare, survenant au hasard	Risque relatif (RR) et intervalle de confiance : Variable continue : Augmentation du RR pour l'augmentation d'une unité de la variable indépendante Variable Binaire et catégorielle : Augmentation du RR selon la condition

Bien que ce soit aujourd'hui le type d'étude recommandé pour établir une association entre un facteur et l'incidence des blessures (Fuller et al., 2006), les études de cohorte présentent également plusieurs limites.

Les études de cohorte nécessitent de grandes tailles d'échantillon pour que des associations soient établies entre un facteur et l'incidence des blessures. Plus l'évènement que l'on cherche à associer au facteur est rare, plus la taille d'échantillon doit être importante. De la même manière, plus l'association est faible (bien que réelle), plus la taille d'échantillon devra être grande pour établir cette association (Bahr et Holme, 2003).

Si la taille d'échantillon n'est pas assez grande, alors le risque d'erreur de type 2 (conclure à l'absence d'une association alors qu'une association existe) est important (Bahr et Holme, 2003).

L'association mesurée n'est pas nécessairement causale. Si une association significative est détectée entre un facteur et l'augmentation de l'incidence des blessures, cela ne signifie pas nécessairement que ce facteur est un facteur de risque de blessure. Il peut s'agir d'un facteur associé, l'association peut être due à une troisième variable par exemple, qui influe sur le risque de blessure et sur le facteur associé (appelé facteur confondant), sans pour autant qu'un lien de causalité existe entre le facteur évalué et l'incidence des blessures (Meeuwisse, 1994 ; Bahr et Holme, 2003).

3.2.2.3 Les études randomisées contrôlées

Seules les études randomisées contrôlées, qui représentent le plus haut niveau d'évidence scientifique (Harbour et Miller, 2001) permettent d'établir un lien de causalité entre un facteur et l'incidence des blessures. Dans le cadre de la prévention des blessures, l'objectif de ces études randomisées contrôlées est d'évaluer l'impact d'une intervention sur la réduction de l'incidence des blessures (van Mechelen, 1992). L'objectif est, suite à l'identification de l'association possible entre un facteur et l'incidence des blessures, d'évaluer, dans une étude randomisée contrôlée, l'impact d'une intervention sur ce facteur sur l'incidence des blessures (Bahr, 2016). La méthodologie suivie dans les études randomisées contrôlées consiste à mettre en place une intervention au sein d'un groupe et de comparer l'évolution de l'incidence des blessures au sein de ce groupe avec l'évolution au sein d'un groupe contrôle. Plusieurs aspects méthodologiques doivent être respectés. D'abord, les deux groupes (le groupe intervention et le groupe contrôle) doivent être similaires et représentatifs de la population dont ils sont extraits. Ces deux groupes doivent également être de taille suffisante pour éviter une erreur de type 2 (conclure qu'il n'y a pas de différence alors qu'il en existe une). Pour cela, il faut calculer la taille d'échantillon nécessaire et la puissance statistique de l'étude (Hopkins, 2000b). Dans une étude randomisée contrôlée, la taille d'échantillon doit être définie a priori, et la méthode de définition de la taille d'échantillon nécessaire doit être précisée dans la méthodologie de l'étude. Ces critères font partie des critères d'évaluation des grilles de qualités méthodologiques des articles, mises en place par les sociétés savantes (Moher et al., 2010 ; Downs et Black, 1998). Bien que ces études randomisées contrôlées soient plébiscitées (Harbour et Miller, 2001 ; Bahr, 2016), elles sont difficiles à mettre en place dans le cadre du football de haut niveau. Tout

d'abord, elles ne peuvent être réalisées que si le facteur identifié est un facteur modifiable. En effet, par définition, il n'est pas possible d'agir sur un facteur non modifiable, et donc, aucune étude randomisée contrôlée ne peut être mise en place, bien que ce facteur soit associé au risque de blessure. Par exemple, l'âge a été identifié comme un facteur associé à une augmentation de l'incidence des blessures dans le sport et le football dans plusieurs études et revues systématiques (Freckleton et Pizzari, 2013 ; Green et Pizzari, 2017 ; Hägglund et al., 2013), mais il n'est pas possible d'intervenir sur ce facteur dans des études randomisées contrôlées. Les études randomisées et contrôlées sont également difficiles à mettre en place puisqu'elles exigent une modification de la pratique dans un groupe. D'un point de vue éthique, il est difficile de modifier un facteur qui pourrait avoir un impact sur le risque de blessure ou les performances des joueurs sans fondements théoriques solides (apportés par les études de cohorte). Cependant, si les fondements théoriques sont solides, il est éthiquement difficile d'empêcher le groupe contrôle de réaliser une intervention sur un facteur associé à la blessure (une stratégie de gestion de la charge, un programme de renforcement) et qui peut avoir des conséquences positives sur le risque de blessure ou les performances des joueurs (Bahr, 2016). Dans le football de haut niveau, ce type d'études randomisées contrôlées au sein d'une cohorte suffisamment large est donc difficile à mettre en place. Cependant, des programmes de renforcement, basés sur les associations épidémiologiques établies et les groupes musculaires à risque, ont démontré leur efficacité dans des études randomisées contrôlées dans le football (Thorborg et al., 2017) et le football de haut niveau (Arnason et al., 2008 ; Askling et al., 2003 ; Harøy et al., 2018).

3.2.2.4 Association et prédiction

La capacité prédictive d'un facteur est définie comme la précision de celui-ci pour prédire l'occurrence (ou non) d'un évènement (Bahr, 2016). Bien qu'un facteur soit associé à une augmentation de l'incidence des blessures, cela ne signifie pas nécessairement que celui-ci soit prédictif de la blessure (Bahr, 2016). Lorsque l'objectif d'une étude est de définir le niveau de prédiction d'un facteur, les outils d'analyses statistiques à utiliser sont différents. Cependant, il y a dans la littérature une grande confusion entre facteur de risque, association et prédiction. McCall et al. (2017) ont démontré que seules 35% des études associant les mots « prédiction » et « blessures » dans le titre utilisaient des outils d'analyse prédictive.

Suite à une étude de cohorte, ou une étude de cas-témoin, si l'objectif est de déterminer la capacité prédictive du risque de blessure d'un facteur associé, il est nécessaire d'utiliser une méthodologie et des outils statistiques adaptés.

Quelle est la méthodologie à suivre ?

A partir des seuils identifiés dans les études de cohorte pour le facteur évalué, l'objectif est alors de déterminer la capacité de ce seuil à prédire la blessure dans de nouvelles études de cohorte. Plusieurs outils statistiques peuvent être utilisés (Bahr, 2016 ; McCall, 2017 ; Lalkhen et McCluskey, 2008) :

- La sensibilité et la spécificité : la sensibilité est définie comme la capacité d'un test (ou du seuil d'un facteur) à identifier l'ensemble des blessures qui vont survenir. La spécificité d'un test est définie comme la capacité du test à n'identifier que les joueurs qui vont subir une blessure. La sensibilité et la spécificité sont définies par les équations suivantes (Bahr, 2016) :

Equation 15 :

$$\text{Sensibilité} = \frac{\text{vrais positifs}}{(\text{vrais positifs} + \text{faux négatifs})}$$

Equation 16 :

$$\text{Spécificité} = \frac{\text{vrais négatifs}}{(\text{vrais négatifs} + \text{faux positifs})}$$

Les vrais positifs sont définis comme les sportifs chez qui le facteur est présent et qui subissent une blessure ;

Les vrais négatifs sont définis comme les sportifs chez qui le facteur n'est pas présent et qui ne subissent pas de blessure ;

Les faux positifs sont définis comme les sportifs chez qui le facteur est présent mais qui ne subissent pas de blessure ;

Les faux négatifs sont définis comme les sportifs chez qui le facteur n'est pas présent mais qui subissent une blessure.

- Les valeurs de prédictions positives et négative : indiquent, respectivement, la probabilité qu'un individu subisse une blessure lorsqu'il est au-dessus du seuil ; la probabilité qu'un individu ne subisse pas de blessure lorsqu'il est en dessous du seuil, et sont définies par les équations suivantes (Lalkhen et McCluskey, 2008) :

Equation 17 :

$$\text{Valeur de prédiction positive} = \frac{\text{vrais positifs}}{(\text{vrais positifs} + \text{faux positifs})}$$

Equation 18 :

$$\text{Valeur de prédiction négative} = \frac{\text{vrais négatifs}}{(\text{vrais négatifs} + \text{faux négatifs})}$$

- Les ratios de probabilité : L'augmentation de la probabilité de subir une blessure lorsqu'un joueur est au-dessus du seuil en comparaison avec un joueur qui est en dessous du seuil et sont définis par l'équation suivante (Lalkhen et McCluskey, 2008) :

Equation 19 :

$$\text{Ratio de probabilité} = \frac{\text{Sensibilité}}{(1 - \text{Spécificité})}$$

- Les courbes ROC : indiquent la spécificité et la sensibilité d'un test pour chaque valeur que prend ce test (en indiquant le nombre de faux positifs et de faux négatifs à chaque valeur du test), et donnent une indication de la capacité prédictive du facteur évalué.

Un facteur (ou un test) prédictif permet donc de prédire la majorité des blessures qui vont survenir, tout en étant suffisamment discriminant pour ne pas prédire de blessures chez les joueurs qui ne vont pas en subir (Bahr, 2016). Bien que de nombreux facteurs aient été associés à l'incidence des blessures dans le football, aucune étude ou aucun modèle n'a été démontré comme prédictif du risque de blessure (Bahr, 2016). Il semble donc qu'il faille faire preuve de prudence dans l'analyse des résultats et dans la prise de décision, lors de la présence d'un facteur de risque chez un joueur.

Cependant, cela ne signifie pas que ces facteurs associés à l'incidence des blessures ne sont pas importants à prendre en compte. La relation sexuelle non protégée est l'un des exemples donnés

par l’OMS pour décrire un facteur de risque. En suivant cet exemple, la relation sexuelle non protégée est un facteur de risque très important de contracter le VIH, cependant, les relations sexuelles non protégées ont une faible spécificité pour prédire la contraction du VIH, étant donné que la plupart des relations sexuelles non protégées n’amènent pas à la contraction du VIH. Cet exemple met en lumière l’important de prendre en compte les facteurs de risque pour réduire l’incidence des blessures, et de ne pas uniquement essayer de prédire la blessure. Ignorer un facteur de risque parce qu’il n’est pas prédictif amènerait à rater des facteurs de risque ou des facteurs de protection importants simplement parce qu’ils ne sont pas, de manière isolée, prédictifs de la blessure.

3.3 Les modèles de risque de blessure dans le football

Plusieurs modèles d’identification et de quantification du risque de blessure existent. Le modèle et l’approche théorique adoptés dépendent de l’objectif de l’étude mise en place. L’utilisation de modèles réductionnistes, qui consistent à isoler un facteur pour évaluer son effet sur l’incidence des blessures, a permis l’évaluation et l’identification de nombreux facteurs de risque de blessure dans le football de haut niveau (van Mechelen et al., 1992 ; Hägglund et al., 2005).

Plusieurs auteurs estiment que la somme des facteurs de risque identifiés de manière isolée ne permet pas de quantifier ou de prédire le risque de blessure de l’athlète suivi, et qu’il faut étudier la blessure de manière multifactorielle et holistique (Meeuwisse et al., 2007 ; Bittencourt et al., 2016 ; Pol et al., 2018). En étudiant les interactions entre les facteurs de risque, l’objectif est double : augmenter la capacité prédictive des facteurs suivis, et optimiser les stratégies mises en place (Meeuwisse et al., 2007 ; Bittencourt et al., 2016 ; Pol et al., 2018).

3.3.1 L’identification d’un facteur de risque : l’approche isolée

Les outils statistiques décrits dans la partie 3.2 (le risque) de ce manuscrit permettent d’étudier l’association entre un ou des facteurs (identifiés comme potentiels facteurs de risque) et l’incidence des blessures.

Ces analyses permettent d’isoler un facteur des autres effets qui pourraient être des facteurs confondants, pour étudier l’effet de ce facteur sur l’incidence des blessures.

Ce modèle est un modèle réductionniste (Meeuwisse, 1994 ; Bittencourt et al., 2016 ; Pol et al., 2018). L’objectif est d’isoler l’effet d’un facteur pour en évaluer l’ampleur sur l’incidence, en

contrôlant les autres facteurs confondants (qui pourraient avoir un effet sur l'incidence). C'est le modèle le plus efficace pour identifier et évaluer l'impact d'un facteur sur l'incidence (Bittencourt et al., 2016). Cette stratégie permet d'identifier de nombreux facteurs de risque épidémiologiques dans le domaine de la santé, comme les connexions fortes entre tabagisme et cancer du poumon, ou l'exposition à l'amiante et le développement d'un mésothéliome (Galéa et al., 2010). Ce modèle est particulièrement adapté dans le domaine de la santé à condition que la présence d'un seul facteur puisse provoquer une maladie (Meeuwisse, 1994). Ces études de facteurs isolés sont encouragées de manière à identifier de nouveaux facteurs de risque potentiels (Pol et al., 2018). Cependant, plusieurs auteurs ont pointé les limites de ce modèle réductionniste et de ses applications dans le domaine de la prévention des blessures dans le sport.

Meeuwisse (1994) a proposé un modèle de prévention, basé sur le fait que la blessure en football est multifactorielle, et que l'analyse d'un facteur de manière isolée ne permet pas de rendre compte de l'interaction entre les facteurs de risque identifiés, et limite les applications pratiques qui peuvent être tirées de ces études réductionnistes. Quatman et al. (2009) illustrent cette problématique en expliquant que ce n'est pas en comprenant comment les différentes parties d'un vélo fonctionnent séparément, que l'on comprend comment ces différentes parties sont assemblées et fonctionnent ensemble. Bien que très utile pour définir, évaluer, et identifier des facteurs de risque, et étant un modèle très utilisé pour les études épidémiologiques dans le sport (Bittencourt et al., 2016), le modèle réductionniste limite la compréhension de la blessure et des mécanismes à l'origine de sa survenue. En ne prenant pas en compte les interactions avec les autres facteurs (internes et externes), et les événements provoquant la blessure, le modèle réductionniste ne semble pas être le modèle le plus adapté pour identifier les conditions et le rôle des différents facteurs dans la survenue d'une blessure, de nature multifactorielle.

3.3.2 La blessure est multifactorielle : l'approche holistique

3.3.2.1 Etudier les interactions entre les facteurs de risques et les événements déclencheurs : les modèles de Meeuwisse.

Pour répondre aux limites de l'approche réductionniste, plusieurs modèles ont été proposés, visant à analyser la blessure comme un événement multifactoriel et complexe. Le premier modèle ayant proposé cette approche multifactorielle a été proposé par Meeuwisse (1994). Ce modèle est décrit dans la figure 16. Dans ce modèle, plusieurs facteurs de risque internes

interagissent chez l'athlète et le prédisposent à la blessure (athlète prédisposé). Ces facteurs sont des facteurs prédisposants, et sont définis comme des facteurs qui préparent, sensibilisent, conditionnent ou créent une situation dans laquelle l'acteur peut réagir de manière spécifique à un agent pathogène ou un stimulus environnemental (Meeuwisse, 1994). L'exposition à des facteurs de risque externes rend l'athlète vulnérable à la blessure (athlète susceptible). Les facteurs externes sont définis comme des facilitateurs de la manifestation de la blessure. Ainsi, les facteurs internes et externes, et leur interaction, augmentent la susceptibilité de l'athlète à la blessure. Cependant, la présence de ces facteurs internes et externes n'est jamais suffisante à la survenue de la blessure, un événement déclencheur est nécessaire pour que l'athlète subisse la blessure (Bahr et Krosshaug, 2005 ; Meeuwisse, 1994). Il semble nécessaire d'analyser le mécanisme de la blessure comme les interactions entre des facteurs internes, des facteurs externes, et un événement déclencheur (Bahr et Krosshaug, 2005 ; Meeuwisse, 1994). Meeuwisse (2007) a corrigé et affiné son modèle, pour en faire un modèle dynamique récursif (figure 17). Un système dynamique a été défini en épidémiologie comme un système dont l'état évolue au cours du temps, en suivant certaines règles (Rickles et al., 2007). La manière dont un système évolue dépend de son état de départ et des règles qui régulent son évolution (Rickles et al., 2007). Ainsi, le premier modèle proposé, adapté des modèles utilisés dans les études de cohorte épidémiologiques classiques, dans lesquelles la survenue de la maladie ou de la mort constituent la fin de suivi du sujet, ne permettait pas de prendre en compte les évolutions du modèle selon la survenue, ou non, de la blessure. Ce nouveau modèle proposé par Meeuwisse (2007) prend en compte les évolutions des facteurs de risque et du niveau de risque de l'athlète selon son exposition à l'entraînement, aux différents facteurs, ses adaptations, et la survenue d'une blessure, ou non. Le principe de ce modèle est que l'exposition de l'athlète à un événement pouvant provoquer la blessure modifie les facteurs de risques intrinsèques de l'athlète et sa prédisposition à la blessure. Ce modèle est récursif, les expositions aux événements modifient la susceptibilité de l'athlète de subir une blessure. Ainsi, si un athlète est exposé à un événement qui peut provoquer une blessure, mais qu'il ne se blesse pas, la susceptibilité de l'athlète à la blessure lors du prochain événement est alors modifiée. Cette exposition à des événements pouvant provoquer des blessures peut augmenter la susceptibilité de l'athlète en provoquant de la fatigue ou des microlésions (Pol et al., 2018), ou diminuer la susceptibilité de l'athlète, en provoquant des adaptations de celui-ci à l'environnement et à des situations potentiellement risquées, et une meilleure capacité à faire face à ces événements (Meeuwisse et al., 2007 ; Pol et al., 2018). Un même événement, sur des échelles de temps

différentes peut donc, à la fois, augmenter ou diminuer la susceptibilité d'un athlète à la blessure (Pol et al., 2018).

Si le joueur subit une blessure en étant exposé à l'évènement, les soins, la récupération et la reprise de l'activité modifient également le niveau de risque du joueur et la susceptibilité de celui-ci de se blesser par la suite (Meeuwisse et al., 2007). Dans le football de haut niveau, par exemple, une revue systématique menée par McCall et al. (2015b) a montré que l'antécédent de blessure était le facteur associé à la blessure présentant le plus haut niveau d'évidence scientifique.

Ainsi, dans ce modèle, la susceptibilité de l'athlète à la blessure face à un évènement est donc le résultat de facteurs intrinsèques, qui sont modifiés en permanence par l'exposition de l'athlète à des évènements pouvant inciter la blessure, de facteurs extrinsèques, et de l'interaction de ces facteurs.

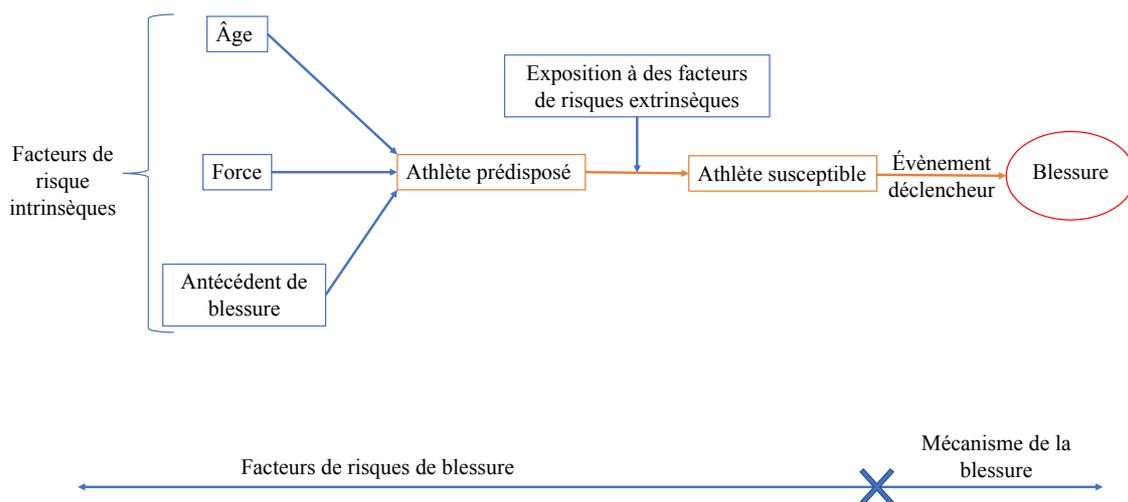


Figure 16 : *Modèle multifactoriel de la blessure, d'après Meeuwisse et al. (1994).*

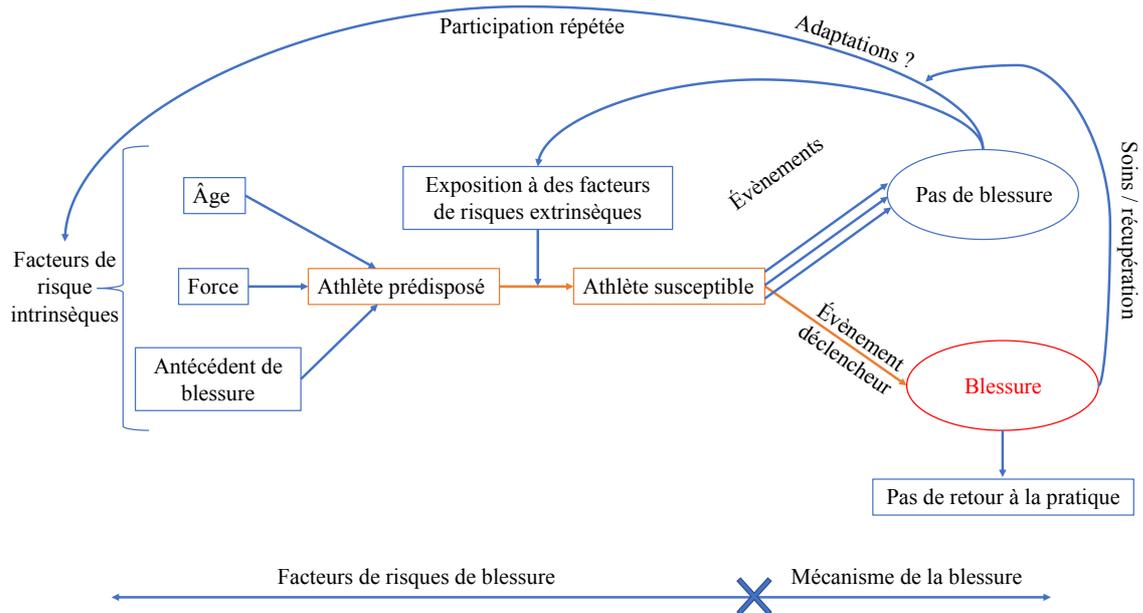


Figure 17 : *Modèle multifactoriel et dynamique de la blessure, d'après Meeuwisse et al. (2007).*

3.3.2.2 Les systèmes complexes dynamiques

Sans le nommer, Meeuwisse (2007) propose un modèle reposant sur un système complexe dynamique. Un système complexe est un système basé sur les interactions des sous-unités le composant. Ces interactions sont à l'origine des comportements du système. Ces comportements vont eux-mêmes, en retour, influencer les sous-unités (Rickles et al., 2007). Si l'on reprend le modèle de Meeuwisse en utilisant cette définition, le mécanisme de la blessure est un système basé sur les interactions de facteurs de risque internes et externes qui provoquent la survenue ou non d'une blessure lors de l'exposition à un événement potentiellement déclencheur. Cet événement potentiellement déclencheur et la blessure ou l'absence de blessure qui en résultent, modifient eux-mêmes les facteurs de risque internes ou externes.

Un système complexe répond à plusieurs caractéristiques (Bittencourt et al., 2016) :

- dynamique et récursif : le système n'est pas figé et les comportements résultant du système influencent eux-mêmes le système,
- ouvert : interagit et est influencé par l'environnement,
- non-linéaire : l'augmentation d'un facteur n'augmente pas de façon linéaire le risque de blessure,
- incertain : la présence de facteurs dans le système ne permet pas de prédire la blessure,

- auto-organisé : les interactions entre les facteurs résultent en un comportement propre au système, qui ne peut être prédit par chacun des facteurs pris séparément.

Les différents facteurs internes et externes constituent un réseau, dans lequel ils interagissent de manière inconnue, pour provoquer un comportement. Etant donnée la complexité des interactions entre les différents facteurs, Bittencourt et al. (2016), ont proposé un modèle (figure 18) dans lequel l'identification du niveau de risque ne se fait plus au niveau du réseau de facteurs, mais au niveau du comportement émergent de ce réseau. Le comportement, résultant du réseau de facteurs est alors considéré comme protecteur, ou à risque, et amène, lors de la survenue d'un évènement potentiellement déclencheur, à la blessure, ou à l'adaptation. Ce résultat modifie ensuite le réseau de facteurs (récursivité du système).

L'un des points intéressants du modèle et du schéma proposé par Bittencourt et al. (2016) réside dans la pondération des différents facteurs et des interactions entre les facteurs de risque dans le réseau de facteurs. Chaque facteur est pondéré selon son impact sur l'émergence du comportement, et les interactions entre les facteurs sont pondérées selon leur importance (figure 18).

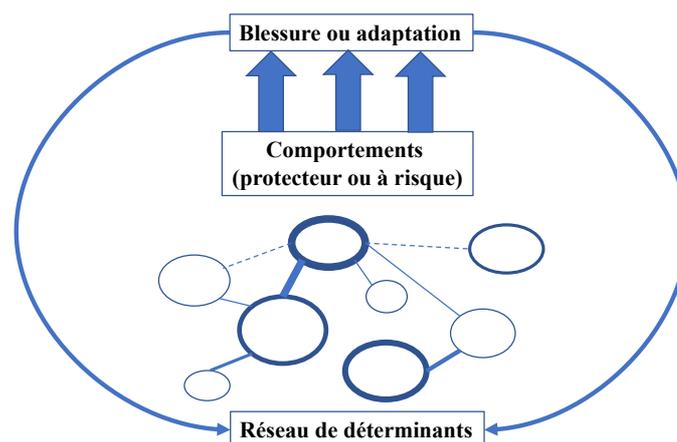


Figure 18 : *Modèle complexe et dynamique de la blessure, d'après Bittencourt et al. (2016).*

D'un point de vue méthodologique, la mise en place d'un système complexe nécessite de s'appuyer, non plus sur des relations causales et directes (comme dans le modèle

réductionniste), mais sur des niveaux de probabilité de survenue d'un évènement (Bittencourt et al., 2016). D'autres outils statistiques doivent alors être utilisés, tels que les réseaux de neurones (méthode d'analyse non linéaire), les arbres de régression (création d'un arbre de décisions basé sur les interactions non-linéaires dans le réseau de déterminants), les modèles basés sur l'agent (qui permettent d'identifier des relations complexes entre les différents facteurs du réseau de déterminants), ou les techniques d'apprentissage de la machine. Avec ces techniques, le résultat est analysé en fonction du comportement des différents facteurs, ce qui permet d'identifier le rôle et les interactions des facteurs et de créer un modèle de prédiction, qui sera ensuite auto-évalué, selon la différence entre le comportement prédit et le comportement réel, ce qui permet d'affiner le modèle (Bittencourt et al., 2016).

Ces modèles complexes et dynamiques sont prometteurs. En considérant la blessure, non plus comme le résultat d'une somme de facteurs de risque, mais comme le résultat de l'interaction de différents facteurs (internes et externes), d'un évènement, et des adaptations à cet évènement, ces modèles devraient permettre d'affiner la compréhension des mécanismes qui amènent à la blessure. Ces modèles considèrent l'athlète comme un ensemble, évoluant et interagissant dans un environnement, et non plus comme une somme de facteurs superposés les uns sur les autres. Cependant, bien que les auteurs préconisant l'utilisation de ce type de modèles soient très encourageants, aujourd'hui, à notre connaissance, aucune étude n'a utilisé ce modèle pour créer un modèle de prédiction ou de description du risque de blessure, et les évidences scientifiques concernant l'utilité de ces modèles dans le domaine de la prévention des blessures sont, pour le moment, inexistantes.

3.4 Résumé de la partie

van Mechelen et al. (1992) ont proposé un modèle de prévention des blessures. Ce modèle est basé sur 4 étapes. La première étape consiste à établir l'étendue du problème des blessures. Pour répondre à cette partie du modèle, il est nécessaire, au préalable, de définir la blessure. La FIFA, à partir d'un consensus d'experts, a permis d'harmoniser la définition de la blessure (Fuller et al., 2006) et fourni des recommandations à suivre pour mettre en place des études de surveillance et des études épidémiologiques dans le football. En se basant sur ces recommandations, l'UEFA a mis en place des études avec de larges échantillons de manière à mieux quantifier la survenue des blessures dans le football (Ekstrand et al., 2011a ; Ekstrand et al., 2013). Avec une incidence moyenne de 7,6 blessures pour 1000h de pratique (Ekstrand et al., 2013), le niveau de risque de blessure en football professionnel est élevé et considéré comme inacceptable, selon les seuils d'acceptabilité du risque au travail définis par la direction de la santé et du travail de Grande-Bretagne (Drawer et Fuller, 2002).

La deuxième étape de ce modèle consiste à établir l'étiologie et le mécanisme des blessures. Cette étape présente des objectifs multiples. Le premier objectif est d'identifier le type de blessure et le mécanisme de survenue des blessures subies par les athlètes. Les études épidémiologiques répondent à cet objectif. A partir de ces mécanismes, l'objectif est d'identifier les facteurs de risque potentiels et de les évaluer dans des études de cohorte. Plusieurs types d'études peuvent être mis en place pour évaluer l'association entre un facteur et l'incidence des blessures. Les études de cas témoins rétrospectives et les études de cohorte prospectives, considérées comme plus fiables que les études cas-témoin et dont l'utilisation est recommandée par le consensus d'experts de la FIFA (Fuller et al., 2006) permettent de mesurer le degré d'association entre un facteur et l'incidence des blessures. L'association entre un facteur et l'incidence des blessures ne signifie pas qu'il existe une relation causale entre ce facteur et le risque de blessure. Lorsqu'un facteur est associé à l'incidence des blessures, il faut ensuite, s'assurer que ce facteur soit modifiable pour mettre en place des stratégies préventives concernant ce facteur, et évaluer l'effet de ces stratégies préventives sur l'incidence des blessures à travers des études randomisées contrôlées. La figure 19 reprend donc le modèle proposé par van Mechelen (1992), en précisant pour chaque étape du modèle, les réponses et recommandations apportées par la littérature scientifique. La première étape de ce modèle, qui consiste à établir l'étendue du problème des blessures, nécessite la mise en place d'études de cohorte avec de larges échantillons, respectant les recommandations méthodologiques et la définition de la blessure définies par consensus et proposées par la FIFA (Fuller et al., 2006).

La deuxième étape du modèle, qui consiste à identifier les mécanismes et les causes des blessures, doit permettre d'identifier les stratégies préventives potentiellement efficaces. Lors de cette étape, la quantification du risque, et l'association entre un facteur et l'incidence des blessures doivent être établies. Pour cela, des études de cohorte avec une puissance statistique suffisante, et une méthode statistique adaptée à l'étude, doivent être mises en place. Un facteur associé à la blessure peut ensuite être intégré dans un modèle au sein duquel ses interactions avec les autres facteurs seront étudiées, de manière à mieux comprendre les mécanismes menant à la blessure. Les 3^{ème} et 4^{ème} étapes du modèle consistent à introduire les mesures préventives identifiées comme potentiellement efficaces à partir des facteurs et mécanismes identifiés dans la 2^{ème} étape et à évaluer l'efficacité de ces mesures préventives. Pour cela, des études randomisées contrôlées peuvent être mises en place pour mesurer l'effet de la stratégie par rapport à un groupe contrôle. Il est également possible de mesurer, dans des cohortes de grande taille, l'impact de l'introduction d'une stratégie préventive, comme un changement de règle ou la mise en place de programmes de prévention, sur l'incidence des blessures.

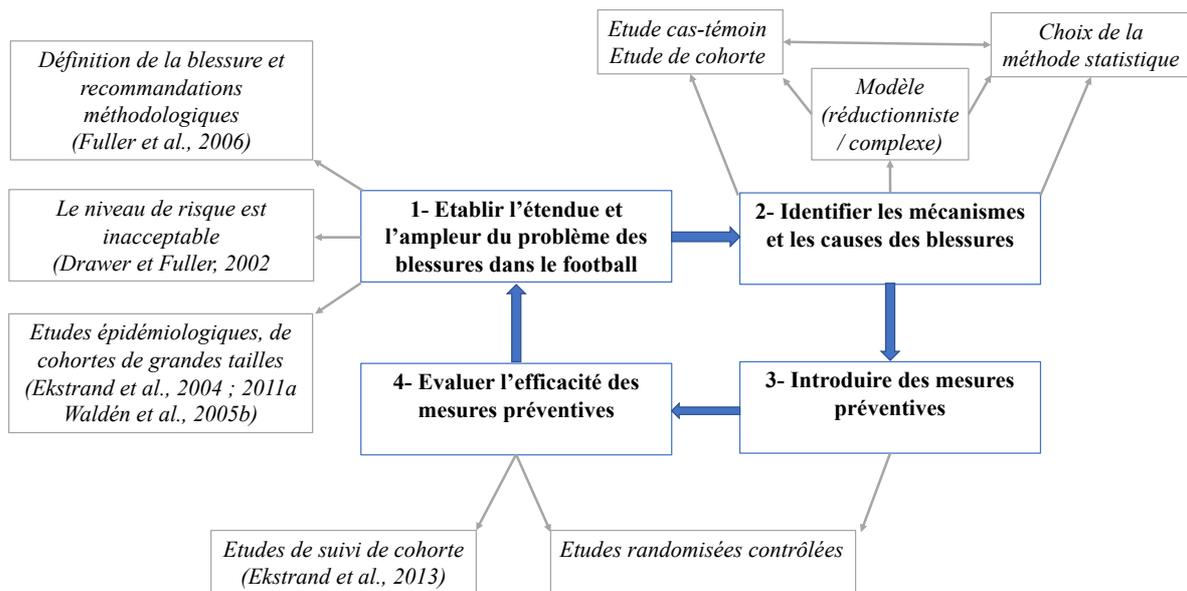


Figure 19 : Les séquences de prévention de la blessure de van Mechelen (1992) et les recommandations concernant chaque étape de ce modèle.

4. Charge de travail et blessures dans le football de haut niveau

Dans de nombreuses disciplines sportives (natation, cricket, football australien, rugby...), des études ont établi une association entre la charge de travail et le niveau d'incidence d'évènements négatifs (blessures, maladies) (Colby et al., 2014 ; Foster et al., 1998 ; Gabbett et Jenkins, 2011 ; Hulin et al., 2014). D'après les résultats de l'enquête d'Akenhead et Nassis (2017), la prévention des blessures est l'un des objectifs principaux de la mise en place d'un suivi de la charge de travail dans les clubs de football professionnels. Nassis et Gabbett (2016) ont mis en évidence l'absence d'étude concernant l'association entre la charge de travail et l'incidence des blessures dans le football de haut niveau. Depuis ce constat, plusieurs études ont évalué les associations entre charge de travail et blessures dans le football (Bowen et al., 2017 ; Malone et al., 2017 ; 2018 ; McCall et al., 2018a,b). A notre connaissance, la qualité méthodologique des études mises en place n'a jamais été évaluée et le niveau d'évidence scientifique de ces études n'a jamais été établi. Cette partie de la revue de littérature a pour objectif de répertorier les différentes études mises en place dans le football de haut niveau et d'établir le niveau d'évidence scientifique des associations entre la charge de travail et l'incidence des blessures dans le football de haut niveau.

4.1 Niveau d'évidence scientifique de l'association entre charge de travail et incidence des blessures dans le football de haut niveau.

Jones et al. (2017) ont réalisé une revue de littérature systématique sur les relations entre la charge de travail et l'incidence des blessures dans le sport de haut niveau. Parmi les 65 études incluses dans cette revue de littérature systématique, 12 concernaient le football de haut niveau, et seules 3 études réalisaient un suivi de la charge de travail à l'entraînement, basée sur le volume et l'intensité, avec pour objectif d'évaluer l'association entre la charge de travail et l'incidence des blessures dans le football (Brink et al., 2010 ; Mallo et Dellal, 2012 ; Owen et al., 2015). D'après l'enquête d'Akenhead et Nassis (2016), dans les clubs de football professionnel, l'un des objectifs principaux du suivi de la charge de travail est la prévention des blessures, les outils les plus utilisés pour réaliser ce suivi de la charge de travail étant les outils GPS pour la charge de travail externe, le suivi de la fréquence cardiaque et l'échelle sRPE pour la charge de travail interne.

Parmi les études répertoriées par Jones et al. (2017), aucune étude n'a évalué l'association entre la charge de travail externe et l'incidence des blessures dans le football de haut niveau. Mallo et Dellal (2012) ont établi une association entre la fréquence cardiaque moyenne lors de l'entraînement et l'incidence des blessures, alors qu'Owen et al. (2015) ont évalué l'association entre le temps passé à différentes intensités de fréquence cardiaque lors des séances d'entraînement et l'incidence des blessures. Dans ces deux études, la charge de travail en match n'était pas prise en compte pour mesurer la charge de travail globale des joueurs suivis. Seule l'étude de Brink et al. (2010) a cherché à évaluer une association entre la charge de travail globale (entraînement + match) mesurée à l'aide de la sRPE et l'incidence des blessures dans le football de haut niveau. Il s'agit d'une étude menée au sein d'un seul centre de formation d'un club de football professionnel.

Les résultats de la revue de littérature de Jones et al. (2017) et le niveau d'évidence scientifique du suivi de la charge de travail sont en décalage avec les pratiques en club de suivi de la charge pour prévenir les blessures.

Depuis la revue de littérature de Jones et al. (2017), de nombreuses publications concernant l'association entre charge de travail et incidence des blessures dans le football de haut niveau (professionnel ou centre de formation), ont été publiées (Bowen et al., 2017 ; Malone et al., 2017 ; 2018 ; McCall et al., 2018a,b). Aucune revue de littérature n'a cherché à évaluer la qualité méthodologique de ces études. La multiplication des études, et le suivi de la charge de travail mis en place dans les clubs de football professionnel pour prévenir les blessures soulèvent plusieurs questions :

- Quel est le niveau d'évidence scientifique de l'association entre la charge de travail et l'incidence des blessures chez les jeunes joueurs de haut niveau issus de centre de formation ?
- Quel est le niveau d'évidence scientifique de l'association entre charge de travail et incidence des blessures chez les footballeurs professionnels ?
- Quels outils peuvent être utilisés dans le football de haut niveau pour quantifier la charge de travail de manière à prévenir la blessure ?

L'objectif de cette partie de la revue de littérature est de répertorier, évaluer la qualité méthodologique des différentes études et d'établir le niveau d'évidence scientifique des associations entre la charge de travail et l'incidence des blessures dans le football de haut niveau.

4.1.1 Méthodologie

Pour répondre aux questions soulevées, une méthodologie basée sur l'établissement des niveaux d'évidence scientifique a été mise en place. La recherche d'articles a été réalisée à l'aide des bases de données PubMed et Google Scholar, et les articles publiés ou acceptés et publiés en ligne avant impression jusqu'au 31 Décembre 2018 ont été analysés. La stratégie de recherche d'articles mise en place était basée sur la combinaison des mots « Workload » ou « Training » ; « Injury » ; « Football » ou « Soccer » dans les bases de données PubMed et Google Scholar. Pour être inclus dans cette partie de la revue de littérature, les articles devaient avoir pour objectif primaire d'analyser les relations entre un ou plusieurs indicateurs de la charge de travail et l'incidence des blessures chez des footballeurs professionnels ou des jeunes joueurs de haut niveau. Pour être inclus dans cette analyse, les articles devaient être rédigés en anglais et publiés dans un journal à comité de lecture. Les articles devaient suivre une population constituée de joueurs de football professionnels (joueurs sous contrat professionnel) ou de jeunes joueurs de haut niveau (joueurs évoluant dans un centre de formation de clubs professionnels ou au plus haut niveau national dans les compétitions de jeunes à partir de U17). Les études exclues de l'analyse étaient les études qui ne réalisaient pas un suivi global de la charge de travail (match + entraînement) ; les études qui suivaient une population dont l'âge moyen était inférieur à 16 ans (âge de la première année de centre de formation en France) ou dont la population était constituée de femmes.

Les études respectant les critères d'inclusion étaient évaluées méthodologiquement à l'aide de grilles méthodologiques validées scientifiquement et adaptées au type d'étude : la grille AMSTAR pour les revues de littérature systématiques et les méta-analyses (Shea et al., 2007), la grille CONSORT 2010 pour les études contrôlées randomisées et les études non randomisées (Moher et al., 2012), et la grille STROBE pour les études de cohorte et les études observationnelles (von Elm et al., 2007). A l'aide de ces échelles, chaque étude a obtenu un score méthodologique, en pourcentage, reflétant la qualité méthodologique de l'étude. Un score était ensuite assigné à chaque étude, basé sur le type d'étude et la qualité méthodologique de l'étude analysée. Les études randomisées et contrôlées, les revues systématiques d'études randomisées contrôlées et les méta-analyses étaient de niveau 1, les revues systématiques et méta-analyses d'études de cohorte, les études de cohorte, et les études cas-contrôles étaient de niveau 2, les études non-analytiques ou les études de cas correspondaient au niveau 3, et les opinions d'experts correspondaient au niveau 4. Pour les études de niveau 1 et de niveau 2, une

note supplémentaire « ++ », « + » ou « - » était assignée selon le score de qualité méthodologique calculé lors de l'analyse à l'aide des grilles d'analyse méthodologique. Lorsqu'une étude obtenait un score $\geq 75\%$, cette étude était considérée comme une étude de qualité élevée avec un risque de biais faible ; lorsqu'une étude obtenait un score entre 50% et 74%, cette étude était considérée comme une étude de bonne qualité avec un risque de biais faible, et lorsqu'une étude obtenait un score $<50\%$, cette étude était considérée comme une étude de faible qualité avec un risque de biais élevé (McCall et al., 2015b).

Cette méthodologie est recommandée par Harbour et Miller (2001). Elle est décrite dans la figure 9 de cette revue de littérature.

4.1.2 Niveau d'évidence scientifique de l'association entre la charge de travail et l'incidence des blessures chez les jeunes joueurs de football de haut niveau en centre de formation.

Les études ayant évalué l'association entre la charge de travail et l'incidence des blessures dans les centres de formation de football de haut niveau retenues dans cette partie de la revue de littérature sont décrites dans le tableau 10. Quatre études ont été répertoriées et incluses dans cette partie de la revue de littérature. La durée d'observation moyenne de ces 4 études était de $1,5 \pm 0,6$ saisons (de 1 à 2 saisons) ; la taille moyenne de l'échantillon suivi était de 37 ± 13 joueurs (de 22 à 53 joueurs) ; et la qualité méthodologique moyenne des études était de $65 \pm 11\%$ (de 50 à 73%). L'ensemble des études répertoriées étaient des études de cohorte, de niveau 2+ d'après les critères d'Harbour et Miller (2001) et la grille méthodologique STROBE. Parmi ces études, deux études évaluaient les associations entre la charge de travail externe et l'incidence des blessures (Bacon et Mauger, 2016 ; Bowen et al., 2017), une étude évaluait les associations entre charge de travail interne et incidence des blessures (Raya-Gonzalez et al., 2019), et une étude évaluait l'association entre la charge de travail externe, la charge de travail interne, et l'incidence des blessures (Brink et al., 2010). Parmi les trois études ayant évalué l'association entre la charge de travail externe et l'incidence des blessures, deux études (Bacon et Mauger, 2016 ; Bowen et al., 2016) ont utilisé les GPS pour quantifier la charge de travail externe. Ces études ont montré des associations entre une augmentation de la distance totale parcourue et l'incidence des blessures. L'étude de Bowen et al. (2016) a également montré des associations entre le nombre d'accélération, le ratio de charge aiguë : chronique de la distance totale et du nombre d'accélération et l'incidence des blessures. Cependant, ces deux études présentent plusieurs limites. Tout d'abord, l'étude de Bacon et Mauger (2016) ne définit pas la

blessure. Étant donné les effets des différences de définition de la blessure sur les résultats d'une étude (Brooks et Fuller, 2006), cette absence de définition de la blessure présente une limite majeure de cette étude. Dans l'étude de Bowen et al. (2016), le nombre d'accélération est associé à l'incidence des blessures. Les limites de fiabilité des GPS pour mesurer les variables d'accélération et les différences de fiabilité d'un modèle à l'autre, ont été mises en évidence dans la littérature (Scott et al., 2016). Le niveau de fiabilité des unités utilisées dans l'étude pour mesurer les accélérations n'est pas précisé. Le manque d'information concernant la fiabilité de la variable indépendante d'intérêt (les accélérations mesurées à l'aide des GPS) représente une limite majeure de l'étude et des conclusions de celle-ci. Aucune de ces deux études n'a réalisé de calcul préalable de la puissance statistique ou n'a défini la taille de l'échantillon avant sa mise en place. Bacon et Mauger (2016) réalisent le suivi de 41 joueurs issus de deux catégories (U18 et U21) du même club sur une saison, et Bowen et al. (2016) réalisent le suivi de 32 joueurs issus du même club sur 2 saisons. Ces petits échantillons limitent fortement la généralisation des résultats de ces deux études.

La troisième étude (Brink et al., 2010) concernant l'association entre la charge de travail externe et l'incidence des blessures a évalué l'association entre le temps de pratique et l'incidence des blessures et a montré que la durée de pratique hebdomadaire était associée à l'incidence des blessures (Ratio de cotes = 1,14 ; IC 95 % : 1,06 - 1,23). Brink et al. (2010) concluent à une association entre l'augmentation de la monotonie (Ratio de cotes = 2,59 ; IC 95% : 1,22 - 2,50) et l'incidence des blessures, et entre une augmentation de la contrainte et une augmentation de l'incidence des blessures (Ratio de cotes = 1,01 ; IC 95% 1,00 – 1,01). Les conclusions de l'étude sur l'association entre contrainte et incidence des blessures peuvent être questionnées, étant donné les résultats de l'étude et l'intervalle de confiance (Ratio de cotes = 1,01 ; IC 95% 1,00 – 1,01). Le ratio de cotes peut surestimer le risque relatif. L'analyse de l'intervalle de confiance entre 1,00 et 1,01 permet de conclure qu'il n'existe pas d'association négative entre l'augmentation de la contrainte et l'augmentation de l'incidence des blessures. Mais, la limite inférieure de l'intervalle de confiance étant 1,00, les résultats ne permettent pas de conclure à une association positive entre contrainte et incidence des blessures. Dans cette étude, la taille d'échantillon nécessaire pour obtenir une puissance statistique suffisante n'a pas été établie et la petite taille d'échantillon ainsi que la période d'observation courte (2 saisons) ne permettent pas de généraliser les résultats de cette étude.

Une autre étude a évalué l'association entre la charge de travail interne mesurée à l'aide de la sRPE et l'incidence des blessures (Raya-Gonzalez et al., 2019). Cette dernière n'a montré aucune association entre la charge de travail interne et l'incidence des blessures.

Bahr (2003) estime qu'au moins 200 blessures sont nécessaires lors d'une étude de cohorte pour identifier des associations de petites à modérées entre un facteur et l'incidence des blessures. Brink et al. (2010) ont enregistré 237 blessures. Raya-Gonzalez et al. (2019) n'ont pris en compte que les blessures sans contact, seules 27 blessures ont été enregistrées lors de la période d'observation. Ce faible nombre de blessures limite la puissance statistique de l'étude et peut expliquer pourquoi aucune association n'a été obtenue entre la charge de travail et l'incidence des blessures dans cette étude.

Les 4 études analysées dans cette partie de la revue de littérature sont encourageantes, mais leurs limites méthodologiques doivent être prise en compte pour orienter les prochaines études concernant l'association entre la charge de travail et l'incidence des blessures chez les jeunes joueurs de football de haut niveau. Deux études ont conclu à une association entre des indicateurs de la charge de travail externe (Bacon et Mauger, 2017 ; Bowen et al., 2017) et l'incidence des blessures et une étude a conclu à une association entre une augmentation de la charge de travail interne et l'incidence des blessures (Brink et al., 2010). Les tailles d'échantillon limitées dans les 4 études répertoriées, le nombre de blessures enregistrées, et la grande disparité du nombre de blessures enregistrées dans chaque étude (en moyenne 121 ± 89 blessures, entre 27 et 237 blessures) limitent la généralisation des résultats. D'après les recommandations de Bahr (2003), seule l'étude de Brink et al. (2010) est de taille suffisante pour identifier des associations modérées entre un facteur et l'incidence des blessures. De plus, toutes les études incluses n'ont suivi qu'un seul club. Ces résultats préliminaires permettent d'identifier les associations potentielles entre la charge de travail et l'incidence des blessures chez les joueurs de haut niveau en centre de formation. Cependant, d'autres études, avec des cohortes plus importantes et/ou avec des périodes d'observation plus longues sont nécessaires pour confirmer ces résultats préliminaires et augmenter le niveau d'évidence scientifique de l'association entre la charge de travail et l'incidence des blessures chez les jeunes joueurs de football de haut niveau. Des études randomisées et contrôlées, où l'effet isolé d'une charge de travail contrôlée est comparé à une condition dans laquelle la charge de travail n'est pas contrôlée, sont également nécessaires pour évaluer la causalité de l'association entre la charge de travail et l'incidence des blessures dans cette population.

Tableau 10 : Description et qualité méthodologique des études ayant évalué l' association entre charge de travail et incidence des blessures chez les jeunes joueurs de football de haut niveau.

Auteurs	Type d'étude	Sujets	Période d'observation	Mesure de la charge de travail	Définition de la blessure	Relations entre charge et blessure	Qualité méthodologique (%)	Niveau de l'étude
Bacon et Mauger, 2017	Cohorte	41 joueurs (centre de formation de club de 1ère division anglaise) (âge : 18,7 ± 1,2 ans ; taille : 175,2 ± 4,5 cm ; masse : 72,4 ± 3,1 kg)	2 saisons	Charge externe : GPS	Pas de définition de la blessure	Association entre une augmentation de la distance totale hebdomadaire et une diminution de l'incidence des blessures	50%	2+
Bowen et al., 2017	Cohorte	32 joueurs (centre de formation de club de 1ère division anglaise) (âge : 17,3 ± 0,9 ans ; taille : 180 ± 7,3 cm ; masse : 74,1 ± 7 kg)	1 saison	Charge externe : GPS	Définition de Fuller et al., 2006	Association entre une distance totale sur 4 semaines élevée et l'incidence des blessures Association entre un nombre d'accélération élevé sur 3 semaines et l'incidence des blessures Association entre un ratio aigu:chronique >1,76 pour la distance totale et l'incidence des blessures Association entre un ratio aigu:chronique >1,77 pour le nombre d'accélération et l'incidence des blessures	73%	2+
Brink et al., 2010	Cohorte	53 joueurs (1ère division néerlandaise U19) (âge : 16,5 ± 1,1 ; taille : 177 ± 7,8 cm ; masse : 66,5 ± 8,7 kg)	2 saisons	Charge externe : volume de pratique Charge interne sRPE	Définition de Fuller et al., 2006	Association entre une augmentation de la durée et une augmentation de l'incidence des blessures (OR = 1,94 ; IC 95% 1,06-1,23) Association entre une augmentation de la monotonie et une augmentation de l'incidence des blessures (OR = 2,59 ; IC 95% 1,22-5,50) Association entre une augmentation de la contrainte et une augmentation de l'incidence des blessures (OR = 1,01 ; IC 95% 1,00-1,01)	73%	2+
Raya-Gonzalez et al., 2019	Cohorte	22 joueurs (1ère divisions espagnole U19) âge : 18,6 ± 0,6 ans ; taille : 178 ± 4 cm ; masse : 72,2 ± 6,9 kg)	1 saison	Charge interne : sRPE	Définition de Fuller et al., 2006 mais blessure sans contact uniquement	Aucune association n'a été trouvée entre la charge absolue mesurée à l'aide de la sRPE et l'incidence des blessures Aucune association n'a été trouvée entre les ratios de charge aigu:chronique mesurés à l'aide de la sRPE et l'incidence des blessures	64%	2+

4.1.3 Niveau d'évidence scientifique de l'association entre la charge de travail et l'incidence des blessures chez les joueurs de football professionnel.

Les études ayant évalué l'association entre la charge de travail et l'incidence des blessures chez les footballeurs professionnels retenues dans cette partie de la revue de littérature sont décrites dans le tableau 11. Huit études ont été retenues dans cette partie de la revue de littérature. La durée d'observation moyenne de ces études était de $1,4 \pm 0,88$ saison (entre 8 semaines et 3 saisons) ; la taille d'échantillon moyenne était de 51 ± 50 joueurs (de 19 à 171 joueurs) ; le nombre de blessures moyen était de 61 ± 39 blessures par étude (de 7 à 123 blessures) ; et la qualité moyenne méthodologique des articles retenus était de 73 ± 15 % (de 50 à 91 %).

Tableau 11 : Description et qualité méthodologique des études ayant évalué l' association entre la charge de travail et l' incidence des blessures chez les footballeurs professionnels.

Auteurs	Type d'étude	Sujets	Période d'observation	Mesure de la charge de travail	Définition de la blessure	Relations entre charge et blessure	Qualité méthodologique (%)	Niveau de l'étude
Ehrmann et al., 2016	Cohorte	19 joueurs professionnel (1ère division australienne) (âge : 25,7 ± 5,1 ans ; taille : 181 ± 4,8 cm ; masse : 77,3 ± 4,2 kg)	1 saison	Charge externe : GPS	Blessure sans contact provoquant l'absence à un match	La distance en mètre / minute dans la semaine qui précède la blessure > moyenne de la saison (p= 0,008) La distance en mètre / minute dans les 4 semaines qui précèdent la blessure > moyenne de la saison (p= 0,008)	50%	2+
Fanchini et al., 2018	Cohorte	34 joueurs de football professionnel (1ère division italienne) (âge : 26 ± 5 ans ; taille : 182 ± 5 cm ; masse : 78 ± 4 kg)	3 saisons	Charge interne : sRPE	Définition de Fuller et al., 2006 mais blessure sans contact uniquement	Le ratio aigu:chronique avec une charge chronique de 2 semaines est associé à l'incidence des blessures (OR = 2,98 ; IC 90% : 1,87-4,75) Le ratio aigu:chronique avec une charge chronique de 3 semaines est associé à l'incidence des blessures (OR = 2,46 ; IC 90% : 1,43-4,24) Le ratio aigu:chronique avec une charge chronique de 2 semaines est associé à l'incidence des blessures (OR = 2,91 ; IC 90% : 1,58-5,36)	91%	2++
Jaspers et al., 2018	Cohorte	35 joueurs de football professionnel (1ère division néerlandaise) (âge : 23,2 ± 3,7 ans ; taille : 182 ± 6 cm ; masse : 77,5 ± 7,4 kg)	2 saisons	Charge externe : GPS Charge interne : sRPE	Définition de Fuller et al., 2006	La distance totale sur 2 semaines est associée à l'incidence des blessures (OR = 2,85 ; IC 90% : 1,17 - 4,34) La distance totale sur 3 semaines est associée à l'incidence des blessures (OR = 1,88 ; IC 90% : 1,08 - 3,26) Un ratio aigu:chronique avec une charge chronique de 4 semaines entre 0,85 et 1,12 est associé à une diminution de l'incidence des blessures (OR = 0,39 ; IC 90% : 0,23-0,65)	82%	2++
Lu et al., 2017	Cohorte	45 joueurs de football professionnel (1ère division australienne)	2 saisons	Charge externe : GPS Volume de travail Charge interne : sRPE	Définition de Fuller et al., 2006	La charge sRPE significativement plus élevée durant les 3 semaines qui précèdent la blessure en comparaison avec la semaine de la blessure (p=0,03; p=0,01; p < 0,01) La charge sRPE hebdomadaire lors des 3 semaines était égale à 114 ± 4 % de la charge moyenne hebdomadaire de la saison La distance à haute intensité 2 semaines avant la blessure > la distance à haute intensité la semaine de la blessure	63%	2+
Malone et al., 2017	Cohorte	48 joueurs de football professionnel (issus de 2 équipes) (âge : 25 ± 3,1 ans ; taille : 183 ± 7 cm ; masse : 72 ± 7 kg)	1 saison	Charge interne : sRPE	Blessure provoquant une absence de plus de 24h	sRPE hebdomadaire > 2120 U.A. associée à une augmentation de l'incidence des blessures (OR = 2,44 ; IC 95% : 1,98-4,66) sRPE hebdomadaire > 3200 U.A. associée à une augmentation de l'incidence des blessures (OR = 3,33 ; IC 95% : 1,69-6,75) Associations entre charge de travail sur 2 semaines, 3 semaines et 4 semaines et incidence des blessures Variations de charge hebdomadaire > 550 U.A. (OR = 1,44 ; IC 95% : 1,01 - 4,25) Ratio aigu:chronique > 1,50 (OR = 3,03 ; IC 95% : 1,69 - 3,75)	59%	2+

Tableau 11 : Suite et fin.

Malone et al., 2018	Cohorte	37 joueurs de football professionnel (1ère division portugaise) (âge : 25 ± 3 ans ; taille : 182 ± 7 cm ; masse : 72 ± 7 kg)	1 saison	Charge externe : GPS	Blessure provoquant une absence de plus de 24h	<p>Une distance hebdomadaire à haute intensité entre 700 et 750 m associée à une diminution de l'incidence des blessures (OR = 0,12 ; IC 95% : 0,08 - 0,94)</p> <p>Une distance hebdomadaire en sprint entre 201 et 350 m associée à une diminution de l'incidence des blessures (OR = 0,54 ; IC 95% : 0,41 - 0,85)</p> <p>Une variation hebdomadaire de la distance à haute intensité > 100 m associée à une augmentation de l'incidence des blessures (OR entre 1,20 et 3,02)</p> <p>Une variation hebdomadaire de la distance en sprint > 50 m associée à une augmentation de l'incidence des blessures (OR entre 3,12 et 6,12)</p> <p>Ratio aigu:chronique > 0,86 pour la distance à haute intensité associé à une augmentation de l'incidence des blessures (OR entre 1,20 et 3,02)</p> <p>Ratio aigu:chronique > 0,86 pour la distance en sprint associé à une augmentation de l'incidence des blessures (OR entre 1,15 et 5,00)</p>	77%	2++
McCall et al., 2018a	Cohorte	17 joueurs professionnels internationaux (Equipe nationale d'Australie) (âge : 26,6 ± 4,7 ans ; 182,4 ± 7,2 cm ; 77,5 ± 7,2 kg)	8 semaines	Charge externe : Nombre d'entraînements Nombre de match	Définition de Fuller et al., 2006 Blessure sans contact uniquement	<p>Charge chronique durant les 4 semaines avant la période de préparation chez les joueurs blessés < les joueurs non blessés (taille d'effet : 0,57 ; IC 95% : 0,39-1,08)</p> <p>Ratio aigu:chronique chez les joueurs blessés > les joueurs non blessés (taille d'effet : 0,45 ; IC 95% : 0,31-0,87)</p> <p>Nombre de séances sur les 4 semaines avant la préparation chez les joueurs blessés < les joueurs non blessés (taille d'effet : 0,55 ; IC 95% : 0,38-1,06)</p> <p>Nombre d'entraînements sur la 1ère semaine de stage chez les joueurs blessés > les joueurs non blessés (taille d'effet : 0,47 ; IC95% 0,33-0,91)</p>		3
McCall et al., 2018b	Cohorte	171 joueurs de football professionnel (5 équipes européennes évoluant en Ligue des Champions)	1 saison	Charge interne : sRPE	Définition de Fuller et al., 2006 Blessure sans contact uniquement	<p>Ratio aigu:chronique avec une charge chronique de 4 semaines entre 0,97 et 1,38 associé à une augmentation de l'incidence des blessures en comparaison avec un ratio <0,97 (RR = 1,68 ; IC 95% : 1,02 à 2,78)</p> <p>Ratio aigu:chronique avec une charge chronique de 4 semaines >1,38 associé à une augmentation de l'incidence des blessures en comparaison avec un ratio <0,97 (RR = 2,13 ; IC 95% : 1,20 à 3,77)</p> <p>Ratio aigu:chronique avec une charge chronique de 4 semaines >1,42 associé à une augmentation de l'incidence des blessures en comparaison avec un ratio entre 0,59 et 0,97 (RR = 1,190 ; IC 95% : 1,08 à 3,36)</p>	86%	2++

Parmi les études retenues, 4 études étaient des études de cohorte de niveau 2++ (Fanchini et al., 2018 ; Jaspers et al., 2017 ; Malone et al., 2018 ; McCall et al., 2018b), 3 études étaient des études de cohorte de niveau 2+ (Ehrmann et al., 2016 ; Lu et al., 2017 ; Malone et al., 2017) et une étude était une étude de cas de niveau 3 (McCall et al., 2018a). Deux études n'ont quantifié que la charge de travail externe à l'aide d'unités GPS (Ehrmann et al., 2016 ; Malone et al., 2018). Trois études n'ont quantifié que la charge de travail interne à l'aide de la sRPE (Fanchini et al., 2018 ; Malone et al., 2017 ; McCall et al., 2018b). Trois études ont réalisé un suivi simultané de la charge de travail interne à l'aide de la sRPE et de la charge de travail externe, à l'aide de GPS (Jaspers et al., 2017 ; Lu et al., 2017), ou en comptabilisant le nombre de matchs joués et de séances d'entraînement (McCall et al., 2018a). Les quatre études ayant évalué les associations entre la charge de travail externe mesurée à l'aide des GPS ont conclu à des associations entre une augmentation de certaines variables (distance en mètres par minute, distance totale et distance à haute intensité) et une augmentation de l'incidence des blessures. Ces études présentent plusieurs limites. Tout d'abord, l'étude d'Ehrmann et al. (2016) ne respecte pas la définition de la blessure recommandée par le consensus d'experts de la FIFA (Fuller et al., 2006). Dans cette étude, une blessure est définie par l'absence au match suivant. Cette définition exclut toutes les blessures qui provoquent une absence à l'entraînement sans provoquer d'absence au match suivant. Cette définition de la blessure est dépendante du calendrier des matchs et peut influencer les résultats de l'étude. Dans cette étude, Ehrmann et al. (2016) utilisent des GPS avec une fréquence d'acquisition de 5Hz, dont les niveaux de fiabilité sont faibles pour les vitesses élevées. Les auteurs proposent également de réaliser le suivi d'un indice appelé « New Body Load » pour lequel le niveau de fiabilité n'est pas connu. La limite de la fiabilité des variables indépendantes observées à l'aide du GPS et de la définition de la variable dépendante, la blessure, limitent fortement les conclusions qui peuvent être tirées de cette étude. De la même manière, Malone et al. (2018) n'ont pas utilisé la définition de la blessure recommandée par le consensus d'experts de la FIFA (Fuller et al., 2006), et les conclusions, l'exploitation et les généralisations liées à cette étude sont limitées par cette définition de la blessure qui ne correspond pas aux recommandations internationales. Trois des études (Ehrmann et al., 2016 ; Jaspers et al., 2017 ; Lu et al., 2017) ont été menées alors que l'utilisation des GPS en compétition n'était pas encore autorisée. Les données de charge de travail externe en match ont été extrapolées à partir des données athlétiques des matchs amicaux de préparation. La distance en sprint parcourue en match présente un coefficient de variation de 37 % ; la distance parcourue à haute intensité en match présente un coefficient de variation de 19,8% (Carling et al., 2016a). La grande variabilité des données athlétiques d'un match à

l'autre, qui sont dépendantes de nombreux facteurs (niveau de l'adversaire, lieu du match, score...) représente une limite majeure de ces deux études de cohorte qui ont pris la moyenne des matchs de préparation pour quantifier la charge de travail en match hebdomadaire. Cette méthode signifie que la charge de travail externe en match était la même chaque semaine dans l'étude, alors que certaines variables peuvent varier jusqu'à 37 % d'un match à l'autre (Carling et al., 2016a). Les variables indépendantes d'intérêt (variables GPS) enregistrées ne correspondent pas aux variables réelles subies par les joueurs, puisque les données de match sont normalisées, malgré leur grande variabilité. Les associations avec l'incidence des blessures démontrées correspondent alors à des associations avec des variables indépendantes ne reflétant pas la charge réelle subie par les joueurs. Les conclusions quant aux associations entre charge de travail mesurée à l'aide des GPS et l'incidence des blessures de ces deux études sont limitées et peuvent être remises en question par cette limite méthodologique.

L'étude de Lu et al. (2017) a comparé les variables GPS lors de la semaine de la blessure avec les variables lors des trois semaines précédentes et a démontré que la distance moyenne hebdomadaire parcourue à haute intensité était plus élevée lors des trois semaines précédant la blessure que la semaine de la blessure. Ce résultat peut s'expliquer par le fait que le joueur, la semaine de la blessure a pu être arrêté prématurément, ce qui a pour effet de diminuer la charge de travail hebdomadaire à partir de la survenue de la blessure. Les résultats de cette étude, et l'association identifiée semblent liés à un biais de confusion, induit par la diminution de la charge provoquée par la survenue de la blessure. Pour limiter ce biais, parmi les 3 autres études répertoriées, Malone et al. (2018) ont utilisé une méthodologie dans laquelle la charge hebdomadaire était calculée chaque jour en prenant en compte les 7 jours précédents (Malone et al., 2018), Jaspers et al. (2017) ont exclu la semaine de la blessure des analyses de charge et se sont basés sur la semaine précédente. Ehrmann et al. (2016) ne donnent pas de précision à propos de la définition de la charge hebdomadaire.

De manière générale, les quatre études (Ehrmann et al., 2016 ; Jaspers et al., 2017 ; Lu et al., 2017 ; Malone et al., 2018) ayant évalué les associations entre charge de travail externe mesurée à l'aide des GPS et l'incidence des blessures présentent des petites tailles d'échantillon (entre 19 et 37 joueurs) et un petit nombre de blessures (entre 16 et 75 blessures). Bahr (2016) estime que 200 blessures au minimum sont nécessaires pour identifier des associations modérées entre un facteur et le niveau d'incidence des blessures. Cette faible puissance statistique, qui n'a été calculée dans aucune des quatre études répertoriées, augmente le risque d'erreur de type 2. Il est possible que d'autres associations entre les indicateurs de la charge de travail externe

mesurée à l'aide des GPS et l'incidence des blessures existent et n'aient pas pu être identifiés à cause de cette faible puissance statistique.

Six études ont cherché à évaluer les associations entre la charge de travail interne mesurée à l'aide de la sRPE et l'incidence des blessures dans le football professionnel : trois études de cohorte de niveau 2++ (Fanchini et al., 2018 ; Jaspers et al., 2017 ; McCall et al., 2018b), deux études de cohorte de niveau 2+ (Malone et al., 2017 ; Lu et al., 2017) et une étude de cas de niveau 3 (McCall et al., 2018a). L'ensemble des études incluses ont identifié des associations entre la charge de travail mesurée à l'aide de la sRPE et l'incidence des blessures dans le football professionnel. Malone et al. (2017) ont identifié une association entre une augmentation de la charge de travail lors de 3 ou 4 semaines consécutives et une augmentation de l'incidence des blessures. McCall et al. (2018a) ont montré que la charge sur les 4 semaines précédant un rassemblement de l'équipe nationale était significativement plus basse chez les joueurs qui se sont blessés lors du rassemblement en comparaison avec les joueurs qui ne se sont pas blessés. Cependant, comme cette étude ne comptait que 17 joueurs et 7 blessures, ses résultats ne peuvent pas être généralisés.

Cinq des six études répertoriées ont évalué les associations entre les ratios de charge aiguë : chronique et l'incidence des blessures dans le football professionnel (Fanchini et al., 2018 ; Jaspers et al., 2017 ; Malone et al., 2017 ; McCall et al., 2018a,b). Ces cinq études ont identifié qu'un ratio de charge aiguë : chronique élevé était associé à une augmentation de l'incidence des blessures. Ces résultats sont présentés dans le tableau 11. Cinq des études incluses (Fanchini et al., 2018 ; Jaspers et al., 2017 ; Lu et al., 2017 ; Malone et al., 2017 ; McCall et al., 2018a) comportent les mêmes limites que les études concernant les jeunes joueurs de haut niveau. Les populations suivies étaient de petite taille, toutes issues du même club ou de la même équipe et les données étaient recueillies sur des périodes de temps limitées (entre 8 semaines et 3 saisons), sans calcul de la puissance statistique ou de la taille d'échantillon nécessaire. De nombreux facteurs de confusion peuvent influencer ces 4 études (type de coach, entraînements mis en place dans les clubs, résultats de l'équipe, niveau des joueurs...).

En réponse aux limites soulevées, McCall et al. (2018b) ont réalisé le suivi de 171 joueurs de football, issus de 5 équipes prenant part à la Ligue des Champions UEFA, durant 1 saison. Cette étude est à notre connaissance l'étude de plus grande ampleur réalisée concernant l'association entre la charge de travail et l'incidence des blessures dans le football professionnel. Les résultats de cette étude indiquent qu'une augmentation du ratio charge aiguë : chronique, avec une charge chronique de 3 ou 4 semaines était associée à une augmentation de l'incidence des

blessures ($p < 0,05$) mais que la charge de travail mesurée à l'aide de la sRPE n'était pas prédictive de la blessure. Les auteurs de cette étude n'ont enregistré que les blessures sans contact. Ce choix est justifié par le fait qu'il est plus facile de prévenir les blessures sans contact en modifiant les pratiques à l'entraînement que les blessures avec contact (Gabbett, 2010). Le fait de ne prendre en compte que les blessures sans contact a limité le nombre de blessures à 123. Le nombre de blessures enregistré ne correspond pas aux recommandations de Bahr (2003), qui recommande un minimum de 200 blessures pour identifier des associations de petites à modérées dans les études de cohorte.

Toutes les études répertoriées montrent des associations entre la charge de travail interne mesurée à l'aide de la sRPE et l'incidence des blessures dans le football professionnel. Les faibles tailles d'échantillon, les disparités dans les définitions de la blessure, et la rareté des blessures durant les périodes d'observation sont les principales limites des études mises en place. Les résultats des études mises en place, et les limites méthodologiques de ces études doivent encourager la mise en place d'études de grande ampleur, avec des tailles d'échantillon suffisantes, issues de différentes équipes, de différents championnats et durant plusieurs saisons, à l'instar de l'étude de McCall et al. (2018b).

La charge de travail interne est un facteur associé à l'incidence des blessures dans l'ensemble des études répertoriées, mais il n'est pas possible de conclure que la charge de travail interne soit un facteur de risque de blessure. Pour que la charge de travail interne soit considérée comme un facteur de risque de blessure, il faudrait que des études randomisées et contrôlées visant à évaluer l'effet d'un contrôle de la charge de travail interne de manière isolée sur la diminution de l'incidence des blessures soient mises en place.

4.2 Résumé de la partie

L'absence d'informations concernant les effets de la charge de travail sur l'incidence des blessures a été mise en évidence par Nassis et Gabbett (2017), qui ont incité à évaluer les associations entre la charge de travail et l'incidence des blessures dans le football de haut niveau. De nombreuses études ont ensuite été publiées à partir de données issues des centres de formation de jeunes joueurs de football de haut niveau et chez les joueurs de football professionnel. Ces études ont mis en évidence des associations entre une augmentation de la charge de travail absolue externe et/ou interne, ou une augmentation des ratios de charge aiguë : chronique externe et/ou interne et l'augmentation de l'incidence des blessures dans le football de haut niveau. Ces résultats confirment les associations identifiées dans d'autres disciplines sportives, comme le rugby, le cricket ou le football australien (Colby et al., 2014 ; Gabbett et Jenkins, 2011 ; Hulin et al., 2013).

Les études mises en place dans le football de haut niveau sont limitées par l'effectif des cohortes observées, composées d'un nombre limité de joueurs, tous issus du même club. L'utilisation d'indicateurs de charge de travail dont la fiabilité est limitée (GPS), ou la mise en place d'études de surveillance dans lesquelles la définition de la blessure ne respecte pas la définition établie par le consensus d'experts de la FIFA (Fuller et al., 2006), limitent également les conclusions pouvant être tirées de certaines études mises en place.

Les différentes études visant à identifier les associations entre la charge de travail et l'incidence des blessures ont permis d'identifier la charge de travail comme un facteur potentiellement associé à l'incidence des blessures, et doivent encourager à la mise en place d'études de suivi de grande ampleur, sur plusieurs saisons, avec des cohortes larges et issues de différents clubs et de différents championnats, pour augmenter le niveau d'évidence de ces associations. Ces études devront reprendre la méthodologie des études de cohorte recommandée par le consensus d'experts de la FIFA (Fuller et al., 2006), et devront utiliser des variables indépendantes valides, dont la fiabilité a été démontrée.

Bien que ces différentes études aient démontré des associations potentielles entre la charge de travail et le niveau d'incidence des blessures chez les jeunes joueurs ou les joueurs professionnels, ces associations ne signifient pas que la charge de travail soit un facteur prédictif de l'incidence des blessures. Raya-Gonzalez et al. (2018) chez les jeunes joueurs de haut niveau, et McCall et al. (2018b), ont démontré que la capacité prédictive de la charge de travail de manière isolée était très faible. Dans une étude préliminaire, avec seulement 23 blessures enregistrées, Rossi et al. (2017) ont montré qu'avec une technique d'apprentissage

de la machine (« machine learning »), la prédiction de la blessure par un algorithme, avec une approche multifactorielle, s'appuyant sur les données GPS et les caractéristiques des joueurs suivis, atteignait une sensibilité de 80%, mais une spécificité de 50% au maximum, ce qui signifie qu'une blessure sur deux prédite par l'algorithme ne survenait pas. L'ensemble des résultats concernant les faibles niveaux de prédiction de la charge de travail sur l'incidence des blessures, doivent pousser les praticiens à la prudence lors de l'utilisation de la charge de travail comme outil d'aide à la prise de décision.

L'association entre la charge de travail et l'incidence des blessures ne signifie pas qu'un lien de causalité existe entre charge de travail et incidence des blessures, et d'autres études, randomisées et contrôlées, doivent être mises en place pour que la charge de travail puisse être considérée comme un facteur de risque de blessure.

La blessure en football étant multifactorielle, les futures études devront également prendre en considération les interactions de la charge de travail avec d'autres facteurs associés à la blessure, selon les modèles complexes dynamiques proposés par Bittencourt et al. (2016) ou Meeuwisse et al. (2007). La mise en perspective de la charge de travail dans un modèle complexe dynamique doit permettre de mieux comprendre les mécanismes qui associent la charge de travail à la blessure, et la manière dont les praticiens doivent quantifier et agir sur la charge de travail de manière à prévenir la blessure (Windt et Gabbett, 2017).

5. Synthèse de la revue de littérature

La mise en place d'études de cohorte larges, suivant des recommandations méthodologiques et une définition de la blessure établie par consensus (Fuller et al., 2006) a permis de définir l'incidence des blessures dans le football professionnel. L'incidence des blessures chez les footballeurs de haut niveau participant à des compétitions européennes est de 8 blessures pour 1000h de pratique (Ekstrand et al., 2013), soit 50 blessures pour une équipe de 25 joueurs par saison. Cette incidence élevée met en lumière l'importance de la mise en place de stratégies préventives. L'identification des mécanismes de la blessure et des facteurs associés à la blessure sont nécessaires pour décider des actions préventives potentiellement efficaces pour en réduire l'incidence dans le football (van Mechelen et al., 1992).

Dans l'enquête menée par Akenhead et Nassis (2016), l'ensemble des 41 clubs professionnels interrogés mettent en place un suivi de la charge de travail, avec pour premiers objectifs l'amélioration des performances des joueurs et la gestion de la distribution de la charge de travail, puis la prévention des blessures.

Aucune étude randomisée contrôlée, du plus haut niveau d'évidence scientifique selon les critères d'Harbour et Miller (2001), n'a eu pour objectif d'étudier l'effet d'une charge de travail contrôlée sur l'amélioration des performances ou l'incidence des blessures. Des études de cohorte et des études de cas de niveau 2 et de niveau 3 ont été conduites. Plusieurs de ces études présentent de nombreuses limites : des variables indépendantes et/ou dépendantes non validées scientifiquement, de petites tailles d'échantillon sans test de puissance statistique préalable, des joueurs issus du même club.

Bien que des associations aient été identifiées, ces limites empêchent de tirer des conclusions sur les niveaux de charge de travail à recommander pour optimiser le niveau de performance des joueurs tout en limitant le niveau de risque de blessure.

Une incohérence apparaît alors entre les praticiens qui utilisent la charge de travail pour optimiser les performances et prévenir les blessures (Akenhead et Nassis, 2016), et les niveaux d'évidence scientifique concernant les associations entre charge de travail, performance et blessures. D'autres études, respectant les définitions et recommandations établies par consensus d'experts (Fuller et al., 2006), avec des cohortes larges et issues de différents clubs, utilisant des variables validées scientifiquement, sont nécessaires pour déterminer des recommandations relatives à la gestion de la charge de travail dans le football de haut niveau avec un niveau d'évidence scientifique élevé.

Contribution personnelle

Problématique et objectifs des études mises en places.

Les principaux objectifs du suivi de la charge de travail sont l'optimisation de la performance et la prévention des blessures (Akenhead et Nassis, 2016). Or, les études concernant les associations entre la charge de travail et le niveau de performance, et entre la charge de travail et l'incidence des blessures présentent des biais méthodologiques qui limitent les recommandations pratiques pouvant être tirées des associations identifiées.

Pour répondre à cette problématique, l'objectif de cette thèse était de déterminer si la charge de travail mesurée à l'aide d'un outil simple d'utilisation et gratuit, la sRPE, était associée à l'incidence des blessures dans le football de haut niveau.

Dans cette perspective, 3 études de cohorte prospectives ont été menées.

Les deux premières études sont basées sur les données issues d'une même cohorte de joueurs professionnels prenant part à des compétitions européennes.

La première étude réalisée visait à évaluer les associations entre la charge de travail interne absolue, les ratios de charge aiguë : chronique et l'incidence des blessures chez les joueurs de football professionnel.

La deuxième étude réalisée visait à évaluer si les indicateurs de monotonie et de contrainte, décrits par Foster (1998) étaient associés à l'incidence des blessures chez les joueurs professionnels.

Une troisième étude a été menée chez de jeunes joueurs de haut niveau, évoluant dans un centre de formation d'un club de football professionnel. L'objectif de cette troisième étude était d'évaluer les associations entre la charge de travail interne et l'incidence des blessures au sein de cette population.

Les trois études réalisées sont décrites dans cette deuxième partie.

Etude N° 1 : Charge de travail et incidence des blessures sans contact chez les footballeurs de haut niveau participant aux compétitions européennes.

Barthélémy DELECROIX^{1,6}, Alan MCCALL ^{2,3}, Brian DAWSON ⁴, Serge BERTHOIN ¹, Gregory DUPONT^{5,6} (2018) Workload and non-contact injury incidence in elite football players competing in European leagues. *European Journal of Sports Sciences*, 18, 1280-1287.

¹Univ. Lille, Univ. Artois, Univ. Littoral Côte d'Opale, EA 7369 - URePSSS - Unité de Recherche Pluridisciplinaire Sport Santé Société, Lille, France ; ²Napier University, Edinburgh, Scotland; ³Arsenal Football Club, London Colney, England; ⁴Sport Science, Exercise and Health, School of Human Sciences, The University of Western Australia, Perth, Australia, ⁵ The Football Exchange, Research Institute for Sport and Exercise Sciences, Liverpool John Moores University, Liverpool UK, ⁶FFF, Performance Lab, CNF, Domaine de Montjoye, 78120 Clairefontaine-en- Yvelines, France.

Résumé

L'objectif de cette étude est d'analyser les associations entre les indicateurs de charge de travail absolue et relative et l'incidence des blessures sans contact chez des footballeurs professionnels, et d'évaluer la capacité prédictive de ces indicateurs.

Des footballeurs professionnels (n=130) de très haut niveau, appartenant à 4 équipes participant à des compétitions européennes ont été suivis durant une à deux saisons. Les blessures sans contact étaient enregistrées et la charge de travail absolue, les ratios de charge aiguë : chronique (A:C) (4 semaines, 3 semaines, 2 semaines) et les variations hebdomadaires de la charge de travail ont été calculés quotidiennement à l'aide de la sRPE.

Le risque relatif de blessure sans contact était plus élevé lorsque la charge de travail absolue sur 4 semaines était supérieure à 10629 unités arbitraires (UA) en comparaison avec une charge de travail entre 3745 et 10628 UA (RR = 1,59 ; IC 95% : 1,18 à 2,15), et lorsque la charge de travail absolue sur 3 semaines était supérieure à 8319 UA en comparaison avec une charge de travail entre 2822 et 8318 UA (RR = 1,46 ; IC 95% : 1,08 à 1,98). L'incidence des blessures était également supérieure lorsque le ratio A:C était inférieur à 0,85 par rapport à un ratio supérieur à 0,85 (RR = 1,31 ; IC 95% : 1,02 à 1,70) et lorsque le ratio A:C avec une charge chronique de 3 semaines était supérieur à 1,30 en comparaison avec un ratio inférieur à 1,30 (RR = 1,37 ; IC 95% : 1,05 à 1,77). Aucun indicateur de charge ne montre des valeurs élevées de sensibilité et de spécificité et l'analyse des ratios de probabilité négative et positive indique que la probabilité de se blesser n'était jamais augmentée de plus de 0,8% entre les différentes combinaisons.

Il existe une association entre une charge absolue élevée sur 3 et 4 semaines et l'incidence des blessures sans contact et une association entre un ratio A:C bas (<0,80), un ratio A:C élevé (>1,30) avec des charges chroniques de 3 et 4 semaines, et l'incidence des blessures sans contact. Ces résultats indiquent que l'incidence des blessures est associée à la charge de travail interne chez les footballeurs professionnels.

Mots clés : Sport collectif, entraînement, prévention

Introduction

Malgré de nombreux bénéfices sur la santé, la pratique du football au niveau professionnel présente un haut niveau de risque de blessures. L'étude la plus large, coordonnée par l'Union Européenne de Football Association (UEFA) a défini une incidence moyenne (match et entraînement) des équipes participant à la ligue des champions de 8 blessures pour 1000h de pratique, ce qui correspond à 50 blessures par saison pour une équipe de 25 joueurs, soit 2 blessures par joueur et par saison (Eskstrand et al., 2011a).

Dans une enquête, McCall et al. (2015b) ont rapporté que les praticiens issus des départements médicaux et scientifiques de clubs de football professionnel considéraient la fatigue comme le deuxième facteur de risque de blessure sans contact le plus important, derrière les antécédents de blessure. Cela met en évidence l'importance du suivi de la fatigue des joueurs dans leur pratique, pour avoir des informations sur la manière dont ils supportent la charge liée aux matchs et aux entraînements. L'outil le plus utilisé par les praticiens pour calculer la charge de travail interne est l'échelle de perception de l'effort (sRPE) (Akenhead & Nassis, 2016), qui utilise une échelle de perception modifiée (Borg CR-10) (Foster et al., 2001). Cette méthode consiste à multiplier l'intensité de la séance ou du match (perçue par le joueur) par la durée (min) de la séance. Des études ont déjà montré des liens entre la charge d'entraînement interne (à partir de la sRPE) et l'incidence des blessures (Malone et al., 2017). En particulier, dans cette étude préliminaire, une charge de travail calculée à partir de la sRPE >1500 unités arbitraires (UA) était associée à une incidence de blessures plus élevée.

En particulier, le ratio de charge aigüe : chronique de charge de travail (ratio A:C), décrit comme le ratio entre la charge lors des 7 derniers jours et la charge moyenne des 3 à 6 dernières semaines (Gabbett, 2016) a été recommandé comme étant potentiellement la méthode la plus utile pour identifier un risque de blessure (Soligard et al., 2016). Dans le football de haut niveau, un ratio A:C entre 1,00 et 1,25 est associé à une incidence de blessure significativement plus basse qu'un ratio <0,85 ou >1,50 (Malone et al., 2017). Cependant, dans cette étude, l'intervalle de confiance à 95% pour les risques relatifs incluait la valeur « 1 », ce qui pourrait signifier que la relation n'est pas aussi forte que ce qui a été conclu par les auteurs. L'étude de Malone et al. (2017) présente d'autres limites. Elle comprend un échantillon de 48 joueurs, issus de 2 équipes, suivis sur deux saisons sans calcul de la puissance statistique. Les blessures avec et sans contact ont été prises en compte : les blessures avec contact sont considérées comme plus difficiles à

prévenir, alors que les blessures sans contacts sont souvent considérées comme pouvant être prévenues car liées aux facteurs de risque internes et externes tel que la charge de travail (Gabbett, 2016). De plus, la sensibilité, la spécificité ainsi que les ratios de probabilité positifs et négatifs (Bahr, 2016), qui peuvent donner des indications sur la capacité prédictive d'un facteur n'ont pas été évalués dans cette étude.

Le lien entre le ratio de charge A:C et l'incidence des blessures n'a jamais été étudié avec des durées pour la charge chronique différentes de 4 semaines dans le football. Il a été suggéré qu'utiliser cette durée de 4 semaines pouvait avoir un effet limité sur l'incidence des blessures parce que la charge de travail subie 4 semaines auparavant n'a probablement qu'un effet très limité sur le risque de blessure (Murray et al., 2017). Une étude réalisée avec des joueurs de football australien professionnels a identifié que l'association entre l'incidence des blessures et un ratio A:C basé sur une charge chronique de 3 semaines était plus forte qu'avec une charge chronique de 4 semaines (Carey et al., 2018). Il est plausible que d'autres durées de charges chroniques que la charge de 4 semaines aient des liens plus forts avec l'incidence de blessures dans le football professionnel.

A notre connaissance, cette étude est la première à analyser le lien entre la charge de travail et l'incidence de blessures sans contact avec une cohorte aussi large que 4 équipes européennes, prenant part à 4 championnats européens et à des compétitions européennes (Ligue des Champions UEFA et Ligue Europa). Les objectifs de cette étude étaient, premièrement, d'analyser l'association entre les charges de travail interne absolue et relative (calculée à l'aide de la sRPE) et l'incidence des blessures dans le football professionnel, et deuxièmement, de déterminer la capacité de la charge de travail à prédire la blessure.

Méthode

Participants

Des joueurs de football professionnels (n=130) venant de 4 clubs européens professionnels (Ligue 1 française, Primera Liga espagnole, Serie A italienne, Premier league anglaise) et jouant des compétitions européennes (Ligue des Champions UEFA et Ligue Europa) ont été suivis durant une saison (deux saisons pour le club issu de la Ligue 1 française). Tous les joueurs étaient informés et ont consenti à la participation à cette étude, qui a été réalisée en accord avec

le comité d'éthique local sur la recherche biomédicale (CCTIRS#10544) et les standards de la déclaration d'Helsinki (année).

Tous les joueurs de l'équipe première étaient inclus dans l'étude. Si un joueur rejoignait une équipe durant la saison, il était inclus à partir de la date à laquelle il rejoignait l'équipe. Un joueur qui quittait son club durant la saison était exclu des observations à partir de la date où il quittait le club. Si un joueur était déjà blessé au départ de la phase de collecte des données, il était inclus dans les données mais cette blessure était exclue des données (Fuller et al., 2006).

Méthodologie

Une blessure était définie comme une plainte physique subie par un joueur, résultant d'un match de football ou d'un entraînement et à l'origine d'une incapacité pour le joueur à participer au match ou à l'entraînement suivant (Fuller et al., 2006). Les blessures étaient diagnostiquées par le médecin du club. Dans cette étude, seules les blessures sans contact (haut et bas du corps) étaient enregistrées, parce qu'elles représentent la majorité des occurrences (entre 57 et 80%) (Ekstrand et al., 2011a) et sont considérées comme pouvant être prévenues, contrairement aux blessures avec contact, qui sont considérées comme plus dures à prévenir (Gabbett, 2010). Toutes les récurrences de blessures ont également été enregistrées et considérées comme de nouvelles blessures.

La charge de travail était calculée à l'aide de la méthode de la sRPE. Il était demandé aux joueurs de noter l'intensité globale de la séance ou du match sur une échelle de 0 à 10 (basé sur l'échelle de perception de Borg, 1987) en répondant la question suivante : « comment était ton entraînement aujourd'hui ? ». La sRPE était collectée 30 minutes après la fin de l'entraînement ou du match par un membre du département scientifique ou médical du club. Les joueurs étaient isolés avant de répondre, de manière à ne pas être influencés par les coéquipiers. La charge de travail, exprimée en unités arbitraires (UA) était calculée en multipliant l'intensité perçue par la durée de la séance ou du match (Foster et al., 2001) ; toutes les séances d'entraînement et tous les matchs étaient inclus. La charge de travail était calculée de manière quotidienne, avec un tableau roulant (chaque jour une nouvelle charge était calculée basée sur les jours précédents). La charge absolue était la somme des 7 derniers jours (1 semaine absolue), des 14 derniers jours (2 semaines absolues), des 21 derniers jours (3 semaines absolues) et des 28 derniers jours (4 semaines absolues). Pour déterminer les ratios de charge A:C, la charge absolue des 7 derniers jours était divisée par la charge totale des 28 derniers jours divisée par 4 pour le ratio A:C de 4 semaines, la charge totale des 21 derniers jours divisée par 3 pour le ratio

A:C de 3 semaines, la charge totale des 14 derniers jours divisée par 2 pour le ratio de 2 semaines. Les variations semaine après semaine étaient également calculées en divisant la charge des 7 derniers jours par la charge des 7 jours précédents.

Analyses statistiques

Les risques relatifs (RR) des différentes charges et des différents ratios ont été calculés avec les intervalles de confiance à 95% et les valeurs p des différents risques relatifs pour vérifier l'hypothèse que la charge de travail était associée à l'incidence des blessures.

Pour évaluer la capacité prédictive de la charge absolue et des ratios de charge, la sensibilité, la spécificité et les ratios de probabilité positifs et négatifs ont été également calculés.

La cohorte a été divisée en 3 groupes (charge élevée, charge basse et charge moyenne de référence) sur la base d'un Z-score (Bahr et Holme, 2003). Ces indicateurs de la prédiction ont également été calculés pour le ratio A:C de 4 semaines, comme dans d'autres études (Bowen, et al., 2017; Hulin et al., 2014; Malone et al., 2017), ainsi que pour les ratios A:C de 3 semaines, de 2 semaines et les variations hebdomadaires de charge.

Les courbes ROC ainsi que l'aire sous la courbe (AUC) ont également été calculées pour analyser le lien entre les ratio A:C et l'incidence des blessures.

La puissance statistique ainsi que le risque relatif détectable minimal ont également été calculés.

Résultats

Au début de la période d'observation, 109 joueurs étaient suivis. Vingt et un joueurs ont rejoint l'étude au cours de la saison alors que 18 ont été perdus après avoir quitté l'un des clubs durant les périodes des transferts. Durant cette période, 237 blessures sans contact (toutes sur les membres inférieurs) ont été subies, l'incidence des blessures sans contact était de 7,4 blessures pour 1000h de pratique. Cette incidence correspond à une probabilité de subir une blessure sans contact durant une journée de pratique de 0,78%, soit une blessure sans contact toutes les 135h. La puissance statistique pour détecter un risque relatif de 1,2 était de 0,50 et avec cette taille d'échantillon, cette étude avec une puissance statistique de 0,80 pour détecter un risque relatif de 1,38. La taille d'échantillon minimale pour détecter un risque relatif de 1,5 était de 22222 jours d'observation. Il y a eu un total de 30887 jours d'observation dans cette étude.

La charge absolue moyenne était de 7187 ± 344 UA pour 4 semaines, de 5496 ± 2674 UA pour 3 semaines, de 2737 ± 1295 UA pour 2 semaines et de 1914 ± 1080 UA pour une semaine. Pour les charges absolues, les résultats concernant le risque relatif, la sensibilité, la spécificité et les ratios de probabilités positives et négatives sont décrits dans le tableau 12. Les AUC étaient de 0,56 (charge absolue de 4 semaines), 0,56 (charge absolue de 3 semaines) 0,54 (charge absolue de 2 semaines) et 0,53 (charge absolue de 1 semaine).

La probabilité quotidienne de subir une blessure sans contact était de 1,08% dans le groupe de charge de travail absolue de 4 semaines élevée (>10629 UA), de 0,67% dans le groupe de charge de travail de référence (entre 3745 et 10629 UA) et de 0,58% dans le groupe de charge de travail basse (<3745 UA). Les probabilités quotidiennes de subir une blessure se situaient entre 0,65% et 1,07% dans les différentes conditions de charge sur 3 semaines (respectivement, charge basse et haute sur 3 semaines), entre 0,58% et 0,98% dans les différentes conditions de charge sur 2 semaines (respectivement charge basse et haute) et entre 0,56% et 0,80% dans les différentes conditions de charge sur une semaine (respectivement charge haute et moyenne).

Tableau 12 : Risque relatif (RR), intervalle de confiance à 95%, valeur de p, sensibilité (IC 95%), spécificité (IC 95%), ratio de probabilité positive (IC 95%), ratio de probabilité négative (IC 95%) entre les différentes charges absolues et les valeurs de référence entre 3745 and 10629 UA pour la charge sur 4 semaines, entre 2822 and 8319 UA pour la charge sur 3 semaines, entre 1441 and 4033 pour la charge sur 2 semaines et entre 833 and 2994 UA pour la charge sur une semaine.

	RR (IC 95%)	p	Sensibilité (IC 95%)	Spécificité (IC 95%)	Ration de probabilité positive (IC 95 %)	Ratio de probabilité négative (IC 95%)
Charge 4 semaines > 10629 UA	1,59 (1,18 à 2,15)	<0,01	25 (19 à 31)	83 (83 à 84)	1,45 (1,16 à 1,83)	0,91 (0,84 à 0,98)
Charge 4 semaines < 3745 UA	0,84 (0,52 à 1,37)	0,49	9 (6 à 15)	89 (89 à 89)	0,86 (0,55 à 1,33)	1,02 (0,97 à 1,07)
Charge 3 semaines > 8319 UA	1,46 (1,08 à 1,98)	0,02	23 (18 à 29)	83 (83 à 84)	1,36 (1,07 à 1,72)	0,93 (0,86 à 1,00)
Charge 3 semaines < 2822 UA	0,90 (0,60 à 1,36)	0,62	13 (9 à 18)	86 (86 à 87)	0,92 (0,64 à 1,31)	1,01 (0,96 à 1,07)
Charge 2 semaines > 4033 UA	1,32 (0,94 à 1,85)	0,11	18 (13 à 24)	86 (85 à 86)	1,25 (0,94 à 1,65)	0,96 (0,90 à 1,02)
Charge 2 semaines < 1441 UA	0,78 (0,52 à 1,16)	0,21	13 (9 à 19)	83 (83 à 84)	0,80 (0,56 à 1,13)	1,04 (0,99 à 1,10)
Charge 1 semaine > 2994 UA.	0,71 (0,48 à 1,05)	0,09	12 (8 à 17)	83 (88 à 84)	0,74 (0,53 à 1,05)	1,05 (1,00 à 1,10)
Charge 1 semaine < 833 UA	0,74 (0,48 à 1,14)	0,18	11 (7 à 15)	86 (86 à 87)	0,77 (0,52 à 1,13)	1,04 (0,99 à 1,08)

Pour le ratio de 4 semaines, les risques relatifs concernant les différents ratios sont rapportés dans le tableau 13 et les risques relatifs concernant les différents ratios par rapport au ratio de référence (entre 0,85 et 1,25) sont rapportés dans le tableau 14.

Tableau 13 : Risque relatif (RR), intervalle de confiance à 95% (IC 95%), valeur de p, sensibilité (IC 95%), spécificité (IC 95%), ratio de probabilité positive (IC 95%), ratio de probabilité négative (IC 95%) entre les différents seuils pour le ratio A:C avec une charge chronique de 4 semaines.

	RR (IC 95%)	p	Sensibilité (IC 95%)	Spécificité (IC 95%)	Ratio de probabilité positive (IC 95%)	Ratio de probabilité négative (IC 95%)
>2,11 / <2,11	1,25 (0,67 à 2,35)	0,69	4 (2 à 8)	97 (96 à 97)	1,24 (0,67 à 2, 28)	0,99 (0,97 à 1,02)
>1,5 / <1,5	1,2 (0,81 à 1,77)	0,92	12 (8 à 17)	90 (89 à 90)	1,18 (0,84 à 1,66)	0,98 (0,93 à 1,03)
>1,3 / < 1,3	0,98 (0,71 à 1,36)	0,12	19 (14 à 24)	81 (81 à 82)	0,98 (0,75 à 1,29)	1,00 (0,94 à 1,07)
>1,25 / > 1,25	0,87 (0,64 à 1,20)	0,83	20 (15 à 26)	78 (77 à 78)	0,90 (0,70 à 1,16)	1,03 (0,97 à 1,10)
<0,85 / >0,85	1,31 (1,02 à 1,70)	0,048	36 (30 à 42)	70 (70 à 71)	1,20 (1,01 à 1,42)	0,92 (0,83 à 1,01)

Tableau 14 : Risque relatif (RR), intervalle de confiance à 95% (IC 95%), valeur de p, sensibilité (IC 95%), spécificité (IC 95%), ratio de probabilité positive (IC 95%), ratio de probabilité négative (IC 95%) entre les différents ratio A:C avec une charge chronique de 4 semaines et la condition référence, qui correspond à un ratio compris entre 0,85 et 1,25.

	RR (IC 95%)	p	Sensibilité (IC 95%)	Spécificité (IC 95%)	Ratio de probabilité positive (IC 95%)	Ratio de probabilité négative (IC 95%)
>2,11 / Ref	1,34 (0,70 à 2,56)	0,37	9 (4 à 16)	93 (93 à 94)	1,31 (0,73 à 2,38)	0,98 (0,88 à 1,09)
>1,5 / Ref	1,27 (0,84 à 1,92)	0,25	22 (15 à 30)	82 (82 à 83)	1,21 (0,88 à 1,68)	0,95 (0,87 à 1,04)
>1,3 / Ref	1,06 (0,75 à 1,51)	0,73	30 (23 à 38)	72 (71 à 72)	1,05 (0,82 à 1,34)	0,98 (0,92 à 1,03)
>1,25 / Ref	0,97 (0,69 à 1,36)	0,88	32 (24 à 40)	68 (67 à 69)	0,98 (0,78 à 1,24)	1,01 (0,90 à 1,12)
<0,85 / Ref	1,29 (0,97 à 1,72)	0,07	45 (38 à 52)	61 (61 à 62)	1,16 (0,99 à 1,36)	0,90 (0,79 à 1,02)
0,85>X> 1,25 / Ref	1,16 (0,89 à 1,49)	0,27	56 (50 à 63)	48 (47 à 48)	1,07 (0,96 à 1,20)	0,92 (0,80 à 1,07)

Les différences entre les risques relatifs pour les ratios A:C de 3 et 2 semaines et pour les variations hebdomadaires de charge de travail sont rapportées dans le tableau 15. Ce tableau ne montre que les ratios avec un risque relatif significatif. Tous les autres ratios n'ont pas montré de risque relatif significatif par rapport à l'incidence des blessures.

Tableau 15 : Risque relatif (RR), intervalle de confiance à 95% (IC 95%), valeur de p, sensibilité (IC 95%), spécificité (IC 95%), ratio de probabilité positive (IC 95%), ratio de probabilité négative (IC 95%) pour toutes les conditions ayant montré une association significative avec l'incidence des blessures pour les ratios A :C avec une charge chronique de 2 semaines et 3 semaines, et pour les variations hebdomadaires de la charge de travail.

	RR (IC 95%)	p	Sensibilité (IC 95%)	Spécificité (IC 95%)	Ratio de probabilité positive (IC 95%)	Ratio de probabilité négative (IC 95%)
3 semaines >1,30 / 3 semaines ≤1,30	1,37 (1,05 à 1,77)	0,01	47 (46 à 48)	61 (54 à 66)	1,14 (1,03 à 1,27)	0,84 (0,71 à 0,98)
2 semaines ≤0,85 /2 semaines >0,85	1,80 (1,38 à 2,33)	<0,001	37 (31 à 43)	76 (75 à 76)	1,51 (1,28 à 1,79)	0,83 (0,76 à 0,92)
0,85>2 semaines >1,25	1,55 (1,20 à 1,99)	<0,001	50 (44 à 57)	60 (60 à 61)	1,27 (1,12 à 1,45)	0,82 (0,75 à 0,92)
variations 1 semaine <0,85 / variations 1 semaine >0,85	1,94 (1,51 à 2,49)	<0,001	51 (45 à 58)	65 (64 à 65)	1,46 (1,30 à 1,65)	0,75 (0,66 à 0,85)
variations 1 semaine <1,25 / variations 1 semaine >1,25	1,68 (1,23 à 2,29)	0,001	80 (75 à 85)	30 (29 à 30)	1,14 (1,07 à 1,21)	0,67 (0,52 à 0,86)
0,85> variations 1 semaine >1,25	1,33 (1,01 à 1,75)	0,04	71 (65 à 77)	35 (35 à 36)	1,10 (1,01 à 1,19)	0,82 (0,68 à 1,00)

Les différentes AUC étaient de 0,46 pour le ratio A:C de 4 semaines, 0,55 pour le ratio A:C de 3 semaines, 0,43 pour le ratio A:C de 2 semaines et 0,39 pour les variations hebdomadaires de charge de travail.

Discussion

Les objectifs de cette étude étaient d'analyser la possibilité d'association entre la charge de travail interne et l'incidence des blessures sans contact dans le football professionnel et de déterminer la capacité prédictive de ces indicateurs de la charge interne. Les principaux résultats ont montré que certains indicateurs de charge absolue, tels que la charge cumulée sur 3 et 4 semaines, et des ratios A:C éloignés de 1 avec des charges chroniques basées sur 2, 3 et 4 semaines étaient significativement associés à l'incidence des blessures sans contact.

Dans la présente étude, l'incidence globale des blessures était de 7,4 blessures pour 1000h d'exposition. La probabilité quotidienne générale de subir une blessure sans contact était de 0,78% et entre 0,57% et 1,08%, respectivement dans les conditions de charge pour lesquelles la probabilité de subir une blessure était la plus faible (une charge absolue de 4 semaines faible) et la plus élevée (une charge absolue de 4 semaines élevée). Ces résultats confirment ceux d'études précédentes dans le football professionnel (Ekstrand et al., 2013). Les résultats de l'étude actuelle mettent aussi en évidence que malgré l'incidence des blessures très élevée (l'incidence est 1000 fois plus élevée que dans les métiers considérés comme les plus à risque) (Drawer et Fuller, 2002), la probabilité quotidienne de subir une blessure sans contact est basse, <1%.

Les résultats concernant la charge interne absolue ont montré qu'il existait un lien entre l'incidence des blessures et une charge de travail cumulée élevée sur 4 semaines et 3 semaines. Ces résultats confirment en partie ceux de Malone et al. (2017), qui ont identifié un lien entre une charge de travail élevée et l'incidence des blessures. Cependant, dans la présente étude, il n'a pas été observé de lien entre la charge de travail absolue sur une semaine et l'incidence des blessures. Les résultats de la présente étude indiquent qu'un joueur présente un risque de blessure plus élevé lorsque la charge de travail est élevée durant 3 ou 4 semaines consécutives. Dans leur étude, Malone et al. (2017) ont montré qu'un ratio entre 0,85 et 1,25 était associé à une incidence de blessures plus faible en comparaison avec des ratio <0,85 ou >1,50. Ces résultats sont, en partie, confirmés par notre étude. Ils montrent qu'un joueur avec un ratio A:C de 4 semaines <0,85 était plus à risque qu'un joueur avec un ratio >0,85, cependant il n'y avait pas d'augmentation du risque de blessure lorsque le ratio était >1,50. Ces différences peuvent être expliquées par des définitions différentes de la blessure dans les deux études et des différences de tailles d'échantillon, puisque dans la présente étude, seules les blessures sans

contact étaient prises en compte et que la taille d'échantillon était plus large, avec des joueurs issus de différents championnats européens. L'étude actuelle avait également pour objectif de définir le lien entre les ratios de charge A:C et l'incidence des blessures en utilisant des charges chroniques basées sur des durées différentes, à savoir 4 semaines, 3 semaines, 2 semaines, ainsi que les variations hebdomadaires de la charge de travail. Les résultats ont indiqué que certains ratios A:C (élevés et faibles) étaient associés à une augmentation de l'incidence des blessures. Lorsque le ratio A:C de 3 semaines était $>1,30$, l'incidence de blessures était significativement plus élevée, un ratio de 2 semaines $<0,85$ et une variation hebdomadaire $<0,85$ étaient significativement associés à une augmentation de l'incidence des blessures. L'augmentation de l'incidence des blessures la plus importante était liée à un ratio de variations hebdomadaires $<0,85$ en comparaison avec un ratio $>0,85$.

Considérant les effets des différentes combinaisons de ratios A:C, les résultats de l'étude actuelle confirment en partie les résultats de l'étude de Carey et al. (2017) qui ont identifié des associations avec l'incidence des blessures pour des combinaisons différentes de la combinaison classique d'un ratio A:C avec une charge aiguë calculée sur 1 semaine et une charge chronique de 4 semaines. Dans leur étude, les auteurs ont identifié qu'une combinaison de charge aiguë de 6 jours et d'une charge chronique de deux semaines (basée sur la distance totale comme marqueur de charge externe) montrait l'association la plus forte avec l'incidence des blessures. Ce ratio est très proche du ratio A:C de 2 semaines étudié dans l'étude actuelle. De plus, dans l'étude de Carey et al. (2017), les résultats concernant la sRPE ont permis d'identifier de nouvelles combinaisons associées aux blessures (9:18 jours et 9:28 jours), qui sont similaires aux combinaisons associées aux blessures dans l'étude actuelle (7:14 jours, 7:21 jours et 7:28 jours). Les contrastes entre les résultats peuvent être expliqués par les différences de calendrier de matchs entre les activités : les matchs se jouent de manière hebdomadaire dans le football australien, alors que les joueurs de football participant à cette étude jouaient régulièrement 2 matchs dans la semaine. Ces résultats montrent que d'autres combinaisons que la combinaison classique (A:C 1:4 semaines) peuvent être utilisées comme indicateurs dans le cadre de la prévention des blessures chez les footballeurs professionnels. Dans le but de réduire l'incidence des blessures, la charge d'entraînement devrait être calculée quotidiennement et analysée avec des charges chroniques sur des périodes multiples. Les résultats indiquent que des variations hebdomadaires importantes doivent être évitées. Cette étude indique également qu'une charge cumulée élevée, un ratio A:C faible ou un ratio hebdomadaire faible sont associés à une augmentation de l'incidence des blessures. Une charge cumulée élevée peut amener à des

blessures en induisant de la fatigue ; les résultats concernant l'association de ratios faibles et d'incidence des blessures confirment les résultats d'autres études qui ont conclu qu'une charge de travail insuffisante pouvait être considérée comme un facteur associé à la blessure au même titre qu'une surcharge de travail. Une charge de travail insuffisante est à l'origine d'adaptations insuffisantes, d'une faible protection contre les blessures et d'athlètes sous préparés incapables de supporter les exigences élevées liées à l'entraînement et à la compétition (Gabbett, 2016). La probabilité de se blesser lorsqu'un joueur est dans une condition à risque peut être obtenue en multipliant l'incidence des blessures dans la population observée (ici, les joueurs de football professionnels) par le ratio de probabilité positif, et la probabilité de se blesser lorsqu'un joueur n'est pas dans une situation à risque peut être obtenue en multipliant l'incidence des blessures dans la population observée par le ratio de probabilité négative (Whiteley, 2016). Les résultats de l'étude actuelle indiquent qu'aucun des ratios de charge de travail étudiés n'augmente la probabilité de se blesser de plus de 0,8%. La méthode utilisée pour obtenir la probabilité dans les différentes conditions peut expliquer pourquoi la probabilité n'est quasiment pas modifiée, puisque la probabilité de base de se blesser (0,78%) est très basse, comme détaillée dans les résultats.

La sensibilité, la spécificité, les ratios de probabilité négative et positive de cette étude indiquent que la charge interne absolue ne permet pas de prédire la blessure. Les charges absolues cumulées sur 3 et 4 semaines ont des sensibilités inférieures à 25% et des différences de probabilités de blessure très faibles quand la charge de travail était supérieure à la valeur seuil au delà de laquelle le risque est augmenté. Pour les ratios A:C, aucune des combinaisons étudiées et des conditions associées à une augmentation du risque de blessure ne présente des valeurs de sensibilité et de spécificité élevées. Par exemple, la sensibilité du ratio A:C de 4 semaines $<0,85$ était faible (35,7%), ce qui signifie qu'une blessure sur 3 peut être détectée avec ce ratio. L'intervalle de confiance à 95% du ratio de probabilité positive était très proche de 1, et le ratio de probabilité négative incluait la valeur 1. Les intervalles de confiance à 95% des ratios de probabilités positive et négative se chevauchaient, indiquant que la probabilité de se blesser / de ne pas se blesser étaient les mêmes avec un ratio $<0,85$ ou $>0,85$. Ces résultats indiquent que ce ratio ne permet pas de prédire la blessure. Le meilleur outil de prédiction de la blessure, dans cette étude, était un ratio de charge hebdomadaire faible ($<0,85$) en comparaison avec un ratio hebdomadaire élevé ($>0,85$) (sensibilité = 51% et spécificité = 65%). Alors que les valeurs de risques relatifs indiquent que la charge de travail est un facteur associé à la blessure chez les footballeurs professionnels, les résultats concernant la capacité prédictive

indiquent que la charge de travail ne permet pas de prédiction de la blessure. Un facteur de risque est défini par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) comme tous les attributs, caractéristiques ou exposition d'un individu qui augmentent la probabilité de développer une maladie ou une blessure. La capacité prédictive d'un facteur est évaluée par sa précision pour prédire l'occurrence (ou non) d'un événement. Lu et al. (2017) ont montré que les charges de travail mesurées à l'aide la sRPE subies durant 1 semaine, 2 semaines et 3 semaines étaient associées à l'incidence de la blessure chez les footballeurs professionnels. Cependant, lorsque les auteurs ont placé les joueurs dans des groupes pour analyser la capacité prédictive de la sRPE, ils ont calculé une sensibilité de 16,3% et une différence très faible (1,9%) entre les valeurs prédictives positive et négative. Ces résultats sont en accord avec la présente étude, indiquant que la sRPE est un facteur associé à la blessure, utile à la prévention, mais pas un outil de prédiction de la blessure.

Le niveau athlétique, les antécédents de blessure, la fatigue et les facteurs psychologiques ont également été liés à l'incidence des blessures (Croisier et al., 2008 ; Ivarsson et Johnson, 2010, Malone et al., 2017). Compte tenu de la nature multifactorielle de la blessure, il n'est pas surprenant que la charge de travail seule ne puisse pas prédire avec précision la blessure. Il est important pour les praticiens de tenir compte de ce manque de capacité prédictive quand ils doivent prendre une décision ou donner des informations aux parties prenantes, puisque même si le risque relatif de blessure est plus élevé dans certaines conditions de charge de travail, la probabilité de subir une blessure reste faible. Cela signifie que, selon la situation (un match important par exemple), les praticiens peuvent considérer le risque de garder un joueur sur le terrain comme acceptable, bien que le risque relatif de blessure soit augmenté par la charge de travail. Les facteurs isolés n'ayant pas la capacité de prédire de manière précise la blessure, les futures études sur la prédiction de la blessure devront se centrer sur une approche multifactorielle et les combinaisons de facteurs associés à la blessure.

Cependant, l'incapacité de la charge absolue ou des ratio A:C de prédire la blessure ne signifie pas que ces outils ne doivent pas être utilisés pour prévenir et gérer le risque de blessure, dans la mesure où les résultats ont identifié la charge de travail comme un facteur associé à la blessure sans contact.

Notre étude présente des limites. D'abord la charge de travail externe n'a pas été enregistrée. Plusieurs liens entre charge de travail externe et risque de blessure ont déjà été établis dans

d'autres activités (Hulin et al., 2014 ; Hulin et al., 2016) et dans le football (Bowen et al., 2017). Les objectifs de cette étude étaient d'analyser les associations entre la charge de travail interne mesurée à l'aide d'un outil simple d'utilisation et gratuit, la sRPE, et l'incidence des blessures. Une enquête a révélé que l'outil mesurant la charge externe le plus utilisé par les praticiens est le GPS (Akenhead et Nassis, 2016). Ces unités GPS ne mesurent pas le travail réalisé durant les séances de musculation, les séances de prévention, ou les séances réalisées en intérieur, alors que ces activités sont prises en comptes avec les mesures sRPE. Cet outil basé sur la perception de l'athlète de son stress physique et psychologique pour représenter la charge interne (totale) a été validé pour son utilisation dans le football (Impellizzeri et al., 2004). Une autre limite de cette étude de cohorte est causée par l'observation de 130 joueurs durant une saison, ce qui signifie que les résultats sont influencés par les joueurs ayant subi plusieurs blessures sur la période d'observation. En tant que telles, ces blessures étaient considérées comme de nouvelles observations indépendantes. Les blessures sont, par nature, multifactorielles, et liées à plusieurs facteurs dépendants du joueur, comme, par exemple, la capacité de l'athlète à supporter des charges de travail élevées ou de larges variations de charge de travail hebdomadaires. Une autre limite de l'étude est liée au fait que les données ont été récoltées et enregistrées par les clubs, et que la manière dont les praticiens ont (ou non) adapté les charges de travail selon les données récoltées, pour protéger les joueurs avec des charges de travail très élevées ou très faibles, n'est pas connue.

Applications pratiques

Bien que l'augmentation des risques relatifs de blessure dans certaines conditions de charge de travail absolue ou de ratio A:C indiquent une relation entre charge de travail et incidence de blessures, l'analyse des résultats basée sur la sensibilité, la spécificité et les ratio de probabilité positive et négative indique que ces résultats doivent être interprétés avec précaution. La charge de travail absolue, les ratio A:C et les variations hebdomadaires de charge ne permettent pas de prédire la blessure. Cependant, ces outils sont utiles pour prévenir le risque de blessure. La charge de travail ne doit pas être considérée comme un outil prédictif du risque de blessure, mais comme un outil utile dans le cadre de la prévention.

Conclusion

Les résultats de cette étude indiquent que le risque relatif de blessure est augmenté lorsque la charge absolue cumulée sur 4 semaines est >10629 UA et lorsque la charge cumulée sur 3 semaines est >8319 UA, ces résultats montrent une association entre charge absolue cumulée et incidence de blessures dans le football professionnel. L'incidence des blessures était également plus élevée lorsque les ratios de charge A:C avec une charge chronique de 4 semaines et de 2 semaines étaient $<0,85$ et lorsque les ratios de charge A:C avec une charge chronique de 2 semaines et des variations hebdomadaires de la charge sont en dehors de l'intervalle allant de 0,85 à 1,25. Cependant, les faibles valeurs de sensibilité, de spécificité et les modifications très faibles de probabilité de subir une blessure dans les différentes conditions indiquent que la charge de travail (de manière isolée) ne permet pas de prédire la blessure.

Etude N° 2 : Monotonie, contrainte de charge de travail et incidence des blessures sans contact chez les footballeurs professionnels.

Barthélémy DELECROIX^{1,6}, Alan MCCALL^{2,3}, Brian DAWSON⁴, Serge BERTHOIN¹, Gregory DUPONT^{5,6} (2018) Workload monotony, strain and non-contact injury incidence in professional football players, *Science and Medicine in Football*, publié en ligne : 13/08/2018.

¹Univ. Lille, Univ. Artois, Univ. Littoral Côte d'Opale, EA 7369 - URePSSS - Unité de Recherche Pluridisciplinaire Sport Santé Société, Lille, France ; ²Napier University, Edinburgh, Scotland; ³Arsenal Football Club, London Colney, England; ⁴Sport Science, Exercise and Health, School of Human Sciences, The University of Western Australia, Perth, Australia, ⁵The Football Exchange, Research Institute for Sport and Exercise Sciences, Liverpool John Moores University, Liverpool UK, ⁶FFF, Performance Lab, CNF, Domaine de Montjoye, 78120 Clairefontaine-en-Yvelines, France.

Résumé

L'objectif de cette étude était d'analyser l'association entre la monotonie de la charge de travail, la contrainte de la charge de travail et l'incidence des blessures sans contact chez des footballeurs professionnels participant à des compétitions européennes.

Cent trente joueurs de football de très haut niveau, issus de 4 équipes participant à des compétitions européennes ont été suivis durant une à deux saisons. La charge de travail interne a été calculée à l'aide de la méthode perception de l'effort (s-RPE) et les blessures ont été enregistrées. La monotonie (charge moyenne divisée par l'écart type de la charge) et la contrainte (charge absolue multipliée par la monotonie) sur 1 semaine, 2 semaines, 3 semaines et 4 semaines ont été calculées quotidiennement.

La monotonie sur 4 semaines était associée à l'incidence des blessures. Le risque relatif de blessure était diminué lorsque la monotonie sur 4 semaines augmentait (RR=0,72 ; IC95% : 0,58 à 0,90, p=0,004). L'incidence des blessures était associée à la contrainte. Le risque relatif de blessure était augmenté lorsque la contrainte augmentait (RR=1,50 ; IC 95% : 1,14 à 1,97 ; p=0,004).

Les associations entre une monotonie sur 4 semaines élevée et l'incidence des blessures, et entre une contrainte élevée sur 4 semaines et l'incidence des blessures indiquent que la monotonie et la contrainte sont associées à l'incidence des blessures chez les footballeurs professionnels de haut niveau et devraient être suivies.

Mots clés : Sport collectif, entraînement, prévention

Introduction

Bien que la pratique du football ait des effets positifs significatifs sur la santé et les capacités physiques (Krustrup et al., 2009), la pratique présente également des risques de blessures. Les blessures dans le football de très haut niveau représentent un problème majeur pour les équipes, le risque global étant extrêmement élevé : à peu près 1000 fois plus élevé que dans des emplois industriels considérés comme à risque (Drawer et Fuller, 2002). En moyenne, un joueur subit deux blessures par saison, ce qui correspond à 50 blessures par équipe et par saison (Ekstrand et al., 2011a).

La charge de travail a été identifiée comme un facteur de risque de blessures dans de nombreuses activités (Jones et al., 2017). Plusieurs études ont montré une association entre la charge de travail et les blessures chez les joueurs de football professionnels (Malone et al., 2017 ; Lu et al., 2017 ; Jaspers et al., 2018). Ces résultats confirment l'importance de réaliser un suivi de la charge de travail chez les joueurs de football professionnels pour prévenir les blessures.

Deux revues de littérature ont conclu que les mesures internes et/ou subjectives étaient plus sensibles et associées aux blessures que les mesures externes et/ou objectives (Saw et al., 2016 ; Jones et al., 2017). L'outil subjectif le plus utilisé par les praticiens pour mesurer la charge de travail interne est la méthode de perception de l'effort, utilisant une échelle de perception de l'effort modifiée (Borg, CR-10) (Akenhead et Nassis, 2016). La charge de travail est calculée en utilisant la méthode proposée par Foster (1998), dans laquelle la note d'intensité de la séance (unité arbitraire, UA) est multipliée par le temps de séance ou de match en minutes (min). Une association entre la charge de travail mesurée à l'aide de la sRPE et l'incidence des blessures a été établie en football. Malone et al. (2017) ont montré qu'une charge supérieure à 1500 UA était associée à une augmentation de l'incidence des blessures chez des footballeurs de très haut niveau. Dans l'étude originale sur la méthode de la sRPE, Foster (1998) rapportait un lien entre des pics dans la monotonie de la charge, la contrainte et les épisodes de maladie. La monotonie est définie comme la charge de travail quotidienne moyenne divisée par l'écart type de la charge de travail quotidienne (Foster, 1998). Dans cette étude de 1998, Foster a montré que 77% des épisodes de maladie pouvaient être expliqués par un pic dans la monotonie de la charge. La contrainte est définie comme la monotonie multipliée par la charge absolue (Foster, 1998). Dans cette étude, 89% des épisodes de maladie pouvaient être expliqués par un pic de la contrainte de charge. Ces résultats indiquent qu'il semble qu'une augmentation de la monotonie ou de la contrainte pourrait avoir des conséquences négatives sur la santé des athlètes et les adaptations

liées à l'entraînement. Une étude a identifié une association entre la monotonie de la charge, la contrainte de la charge et l'incidence des blessures, chez des jeunes joueurs de football (Brink et al., 2010). Dans cette étude, une augmentation de la monotonie de la charge (Ratio de cotes = 2,59 ; IC95% : 1,22 à 1,50) ou de la contrainte (Ratio de cotes = 1,01 ; IC 1,00 à 1,02) était significativement associée à une augmentation de l'incidence des blessures. Cependant, cette étude a été menée avec de jeunes joueurs issus de centre de formation, et à notre connaissance, aucune étude n'a évalué les relations entre les indicateurs de monotonie et de contrainte chez des joueurs de football professionnel. Les joueurs prenant part aux compétitions européennes (Ligue des Champions UEFA et Europa League UEFA) doivent jouer 2 à 3 matchs par semaine, ce qui provoque des variations de la charge de travail. Ce calendrier chargé modifie la monotonie et la contrainte associée à la pratique. La monotonie et la contrainte pourraient être des indicateurs intéressants pour suivre la charge de travail chez des joueurs de football professionnels prenant part à des compétitions européennes, dans le but de réduire l'incidence des blessures.

L'objectif de cette étude est d'évaluer les associations entre la monotonie de la charge, la contrainte de la charge et l'incidence des blessures chez des joueurs de football professionnel prenant part à des compétitions européennes.

Matériel et méthode

Participants

Des joueurs professionnels (n=130) venant de 4 clubs européens professionnels (Ligue 1 française, Primera Liga espagnole, Serie A italienne, Premier League anglaise) et jouant des compétitions européennes (Ligue des Champions UEFA et Ligue Europa) ont été suivis durant une saison (deux saisons pour le club issu de la Ligue 1 française). Tous les joueurs étaient informés et ont consenti à la participation à cette étude qui a été réalisée en accord avec le comité d'éthique local sur la recherche biomédicale (CCTIRS#10544) et les standards de la déclaration d'Helsinki.

Tous les joueurs de l'équipe première étaient inclus dans l'étude. Si un joueur rejoignait une équipe durant la saison, il était inclus dans l'étude à partir de la date à laquelle il rejoignait l'équipe. Un joueur qui quittait son club durant la saison était exclu des observations à partir de la date où il quittait le club. Si un joueur était déjà blessé au départ de la phase de collecte des

données, il était inclus dans les données mais cette blessure était exclue des données (Fuller et al., 2006).

Méthodologie

Une blessure était définie comme une plainte physique subie par un joueur, résultant d'un match de football ou d'un entraînement et à l'origine d'une incapacité pour le joueur à participer au match ou à l'entraînement suivant (Fuller et al., 2006). Les blessures étaient diagnostiquées par le médecin du club. Dans cette étude, seules les blessures sans contact (haut et bas du corps) étaient enregistrées, parce qu'elles représentent la majorité des blessures (entre 57 et 80%) (Ekstrand et al., 2011a) et sont considérées comme pouvant être prévenues, contrairement aux blessures avec contact, qui sont considérées comme plus dures à prévenir (Gabbett, 2010). Toutes les récurrences de blessures ont également été enregistrées et considérées comme de nouvelles blessures.

La charge de travail était calculée à l'aide de la méthode de la sRPE. Il était demandé aux joueurs de noter l'intensité globale de la séance ou du match sur une échelle de 0 à 10 (basée sur l'échelle de perception de Borg, 1987) en répondant la question suivante : « comment était ton entraînement ? ». L'échelle était graduée unité par unité, selon les correspondances suivantes : 0=repos, 1 = très léger, 2=léger, 3=modéré, 4=légèrement dur, 5=dur, 7=très dur, 9=extrêmement dur ; 10=maximal. La sRPE était collectée 30 minutes après la fin de l'entraînement ou du match par un membre du département scientifique ou médical du club. Les joueurs étaient isolés avant de répondre, de manière à ne pas être influencés par les coéquipiers. La charge de travail, exprimée en unités arbitraires (UA), était calculée en multipliant l'intensité perçue par la durée de la séance ou du match (Foster et al., 2001) ; toutes les séances d'entraînement et tous les matchs étaient inclus. La monotonie sur une semaine correspondait à la charge moyenne des 7 derniers jours divisée par l'écart type de la charge sur les 7 derniers jours. Pour calculer la contrainte de la charge de travail, la monotonie sur une semaine (les 7 derniers jours) était multipliée par la charge absolue des 7 derniers jours. La monotonie et la contrainte pour 2 semaines (les 14 derniers jours), 3 semaines (les 21 derniers jours) et 4 semaines (les 28 derniers jours) étaient également calculées. La monotonie et la contrainte étaient calculées de manière quotidienne à l'aide d'un tableau roulant, et l'association entre les blessures et ces indicateurs était calculée quotidiennement.

Analyses statistiques

Une analyse à l'aide d'une régression de Poisson a été effectuée avec le logiciel SPSS Statistics développé par IBM (Version 20), pour la monotonie et la contrainte sur 1 semaine, 2 semaines, 3 semaines et 4 semaines pour évaluer les associations entre ces facteurs et l'incidence des blessures, et calculer le risque relatif (RR). Les résultats de monotonie et de contrainte subissaient une transformation logarithmique lorsque les scores n'étaient pas distribués normalement. Le niveau de significativité était fixé à $p \leq 0,05$.

Les statistiques descriptives concernant l'exposition, l'incidence des blessures, la probabilité de se blesser et la charge de travail ont été calculées à l'aide d'Excel (version 16.6.7 pour Mac). La puissance statistique de l'étude pour détecter un risque relatif $\geq 1,2$ était de 0,50, et avec la taille d'échantillon de cette étude, le risque relatif correspondant à une puissance de 0,80 était de 1,38. La taille d'échantillon minimale pour détecter un risque relatif de 1,5 était de 22222 jours d'observation.

Résultats

Durant la période d'observation 237 blessures sans contact ont été subies ; l'incidence des blessures était de 7,4 blessures pour 1000h de pratique. Cette incidence correspond à une probabilité quotidienne de subir une blessure de 0,78%, soit, une blessure toutes les 135h de pratique. Parmi les 237 blessures enregistrées, 58 étaient des récives de blessure.

Un total de 30887 jours d'observation a été réalisé.

La charge moyenne pour 4 semaines était de 7187 ± 3442 UA, pour 3 semaines de 5496 ± 2764 UA, pour 2 semaines de 2737 ± 1295 UA et pour une semaine de 1919 ± 1080 UA

Les régressions de Poisson effectuées indiquaient qu'il n'y avait pas de lien entre l'incidence des blessures et la monotonie sur 1 semaine ($p=0,43$), sur 2 semaines ($p=0,37$) et sur 3 semaines ($p=0,06$). La monotonie sur 4 semaines était associée à l'incidence des blessures ($p=0,004$). L'incidence des blessures était significativement diminuée lors de l'augmentation de la monotonie (RR =0,72 ; IC 95% : 0,58 à 0,90).

Il n'y avait pas de lien entre l'incidence des blessures et la contrainte sur 1 semaine, 2 semaines et 3 semaines. La contrainte sur 4 semaines était associée avec l'incidence des blessures ($p=0,004$). L'incidence des blessures était significativement augmentée avec l'augmentation de la contrainte (RR=1,50, IC 95% : 1,14 à 1,97).

Discussion

Les résultats de cette étude indiquent qu'une augmentation de la monotonie était associée à une diminution de l'incidence des blessures et qu'une augmentation de la contrainte était associée à une augmentation de l'incidence des blessures.

Dans la présente étude, l'incidence globale des blessures sans contact était de 7,4 blessures pour 1000h de pratique. Ces résultats confirment les résultats des études précédentes concernant l'incidence des blessures chez des footballeurs professionnels (Ekstrand et al., 2013).

L'association entre les blessures et la monotonie a été décrite pour la première fois par Foster (1998) et la monotonie a été associée aux épisodes de maladie chez les athlètes de haut niveau dans cette étude (Foster, 1998). Les résultats concernant la monotonie indiquent une association entre la monotonie sur 4 semaines et l'incidence des blessures. Les résultats de Foster (1998) et Brink et al. (2010) indiquaient que les épisodes de maladie et l'incidence des blessures étaient associés à une augmentation de la monotonie de la charge hebdomadaire. Les différences dans les résultats peuvent être expliqués par la différence de populations étudiées (jeunes vs joueurs professionnels). Le calendrier des matchs est très différent entre les jeunes issus de centre de formation et les joueurs professionnels. Les joueurs professionnels sont plus souvent soumis à des semaines avec 3 matchs, ce qui peut avoir un impact sur la monotonie de la charge de travail, alors que le calendrier est plus régulier chez les équipes de centre de formation. Les différences de résultats peuvent également être expliquées par la durée d'observation utilisée pour calculer la monotonie. Dans la présente étude, l'association entre la monotonie et l'incidence des blessures a été trouvée pour une période de 4 semaines, alors que la monotonie n'était calculée que pour une période d'une semaine dans l'étude de Brink et al. (2010). Les résultats présents sont surprenants parce qu'une augmentation de la monotonie était associée à une augmentation de l'incidence d'événements négatifs (maladies, blessures) dans les études précédentes (Foster, 1998 ; Brink et al., 2010). Cependant les résultats actuels sont en accord avec d'autres études de suivi de la charge de travail, menées dans le sport collectif, et qui ont montré que les pics dans la charge de travail et les variations brutales de charge (qui correspondent à une diminution de la monotonie), sont associés à une augmentation de l'incidence des blessures (Bowen et al., 2017 ; Hulin et al., 2016 ; Malone et al., 2017). Les résultats de cette étude confirment que la constance de la charge de travail est un facteur associé à l'incidence des blessures.

Cette étude a été menée chez des joueurs de football de haut niveau, participant à des compétitions européennes (Ligue des Champions UEFA et Europa League). Les semaines à 3 matchs causées par les compétitions européennes sont à l'origine d'une charge de travail élevée et à des variations de charge quotidiennes importantes, puisque les joueurs subissent probablement des pics de charge (les jours de match), entourés de jours où la charge de travail est très faible (les séances de récupération). Ces semaines sont à l'origine de très grandes variations quotidiennes de charge de travail, et donc, une diminution de la monotonie. Les résultats de cette étude indiquent que si ces variations sont répétées dans le temps (4 semaines), alors, elles sont associées à une augmentation de l'incidence des blessures.

Le second objectif de cette étude était d'analyser les relations entre la contrainte de charge, qui est le produit de la charge de travail absolue et de la monotonie. L'étude de Foster (1998) montrait qu'une contrainte de charge de travail élevée pouvait amener à un épisode de maladie chez des athlètes de haut niveau. Comme pour la monotonie, cet indicateur n'a jamais été étudié chez des footballeurs professionnels. Le résultat principal de l'étude actuelle montre une association entre une augmentation de la contrainte de charge sur 4 semaines et l'incidence des blessures, alors que les contraintes de charge sur 1 semaine, 2 semaines et 3 semaines n'étaient pas associées à l'incidence des blessures. Ces résultats confirment les résultats trouvés sur la monotonie, concernant l'absence d'association entre les indicateurs de charge de travail et l'incidence des blessures sur des périodes courtes, mais la présence d'une association sur une période plus longue.

Les résultats concernant la contrainte confirment ceux de Foster (1998), montrant qu'une contrainte de charge élevée était associée à une augmentation de l'incidence des blessures. Les joueurs pourraient ne pas être capables de subir une contrainte de charge élevée durant de longues périodes, ce qui pourrait expliquer l'association entre l'incidence des blessures et la contrainte de charge subie durant 4 semaines.

Cette étude présente plusieurs limites. Tout d'abord, la charge de travail était calculée à l'aide de la sRPE. Cette échelle représente la charge de travail interne de l'athlète, basée sur sa perception propre du stress physique et psychologique subi. La subjectivité de cet outil pourrait être considérée comme une limite, puisque cela demande que l'athlète soit familiarisé, comprenne l'outil, et soit honnête au moment de donner sa réponse. Cependant, les joueurs étaient tous familiarisés à l'outil et, un rappel fréquent concernant l'importance de l'honnêteté des réponses était réalisé. Cet outil a été validé pour son utilisation dans le football (Impellizzeri et al., 2004). De plus, les outils de mesure internes et subjectifs de la charge de travail sont plus sensibles et montrent des associations plus importantes avec l'incidence des blessures que les

outils de mesure de la charge externe et/ou objectifs (Saw et al., 2016 ; Jones et al., 2017). Un facteur isolé dans un contexte multifactoriel tel que le football présente une capacité prédictive très faible. La capacité prédictive de la monotonie et la contrainte, qui peut être définie comme la précision dans la prédiction de la survenue (ou non) d'une blessure à l'aide d'un de ces facteurs, n'a pas été évaluée. Cette étude est une étude de cohorte, dans laquelle des associations entre la monotonie de la charge de travail, la contrainte de charge et l'incidence des blessures ont été identifiées. Ces associations ne signifient pas nécessairement qu'une relation causale existe entre la monotonie, la contrainte et les blessures (Bahr, 2016). Des études randomisées et contrôlées doivent être mises en place pour analyser l'effet d'un contrôle de la monotonie et de la contrainte sur l'incidence des blessures, de manière isolée, pour confirmer une relation causale. La charge de travail était rapportée par les personnes responsables de gestion de la charge dans le club, qui étaient donc au courant des charges de travail des joueurs et pourraient avoir pris en compte ces charges de travail pour modifier ou adapter les séances d'entraînement, ayant un impact sur les séances à venir.

Conclusion

Pour conclure, les résultats de cette étude ont montré qu'une charge régulière est un facteur protecteur de la blessure, alors qu'une contrainte élevée (charge élevée et régulière) est un facteur de risque lorsque cette contrainte est subie sur des périodes longues. Ces résultats mettent en lumière deux nouveaux indicateurs de la charge de travail qui peuvent être utilisés par les praticiens pour réduire l'incidence des blessures dans le football professionnel. Ces indicateurs pourraient être utiles pour prévenir les blessures et pourraient être suivis par les praticiens en combinaison avec d'autres facteurs associés à la blessure, dans le contexte multifactoriel de la blessure dans le football. Les résultats concernant la monotonie doivent amener les experts scientifiques des clubs et les praticiens à gérer les variations de charge quotidiennes (provoquées par une différence entre les jours de repos, les jours d'entraînement et les pics de charge provoqués par les jours de match) pour essayer de réduire l'incidence des blessures.

Etude N°3 : Charge de travail et incidence des blessures chez les joueurs de football de haut niveau issus de centres de formation.

Barthélémy DELECROIX¹, Benoît DELAVAL², Brian DAWSON³, Serge BERTHOIN¹, Grégory DUPONT⁴ (2019) Workload and injury incidence in elite football academy players. **Journal of Sports Sciences**, publié en ligne : 01 / 03 / 2019.

¹Univ. Lille, Univ. Artois, Univ. Littoral Côte d'Opale, EA 7369 - URePSSS - Unité de Recherche Pluridisciplinaire Sport Santé Société, Lille, France ; ²Adaptations physiologiques à l'exercice et réadaptation à l'effort, Université de Picardie Jules Verne, Amiens, France ; ³Sport Science, Exercise and Health, School of Human Sciences, The University of Western Australia, Perth, Australia, ⁴ The Football Exchange, Research Institute for Sport and Exercise Sciences, Liverpool John Moores University, Liverpool UK,

Résumé

L'objectif de cette étude prospective était d'analyser les relations entre la charge de travail et l'incidence des blessures chez les jeunes joueurs de haut niveau évoluant en centre de formation d'un club professionnel.

Des joueurs de haut niveau (n=122) des catégories des moins de 19 ans (U19) et des moins de 21 ans (U21) d'un centre de formation de club professionnel participant aux compétitions européennes ont été suivis durant 5 saisons. Les blessures étaient enregistrées et la charge de travail absolue, les ratios de charge aiguë : chronique (4 semaines, 3 semaines, 2 semaines) et les variations hebdomadaires de la charge étaient calculées quotidiennement à l'aide de l'échelle de perception de l'effort (sRPE).

Les résultats n'indiquaient aucune association entre les indicateurs de la charge de travail et l'incidence des blessures dans la catégorie U19. Dans la catégorie U21, les charges absolues sur 3 semaines (RR=1,39 ; p=0,026) et sur 4 semaines (RR=1,40 ; p=0,019) étaient associées à une augmentation de l'incidence des blessures. Il n'y avait pas d'association entre les ratios de charge de travail et l'incidence des blessures chez les U21.

Les associations significatives entre une charge absolue élevée sur 3 semaines et 4 semaines et l'incidence des blessures chez les U21 confirment l'intérêt du suivi de la charge de travail interne et subjective dans cette catégorie pour prévenir les blessures. D'autres études sont nécessaires pour étudier les associations entre charge de travail et blessures en centre de formation.

Mots clés : Entraînement, Sport collectif, prévention.

Introduction

L'incidence moyenne (entraînement et match) parmi 7 clubs prenant part à la Ligue des Champions est égale à 8 blessures pour 1000h de pratique, ce qui correspond à 50 blessures par saison pour une équipe de 25 joueurs, soit, 2 blessures par joueur et par saison (Ekstrand et al., 2011). Cette incidence de blessures élevée met en lumière l'importance de la prévention des blessures dans le football de haut niveau

Selon le modèle de prévention des blessures de van Mechelen et al. (1992), lorsque l'incidence et la sévérité des blessures ont été évaluées à travers des études épidémiologiques, la 2^{ème} étape du modèle consiste à identifier les facteurs associés à la blessure et les mécanismes à l'origine des blessures. La 3^{ème} étape du modèle consiste à introduire des mesures qui peuvent potentiellement réduire le risque ou la sévérité des blessures. La dernière étape du modèle consiste à mesurer les effets de ces mesures en répétant la première étape (van Mechelen et al., 1992).

Plusieurs facteurs associés à la blessure ont été identifiés dans le football professionnel. Dans une enquête, McCall et al. (2015a) ont rapporté que les praticiens dans les clubs professionnels considéraient les antécédents de blessure comme le facteur de risque le plus important (121 points d'importance sur un score maximal de 132). Dans une revue systématique, McCall et al. (2015b) ont confirmé la perception des praticiens : les antécédents de blessure étaient le facteur de risque présentant le plus haut niveau d'évidence scientifique (niveau 2++), selon les critères publiés par le British Medical Journal (Harbour et Miller, 2001). Un antécédent de blessure aux ischio-jambiers, au mollet, aux adducteurs, ou au genou, multiplie par 2 à 3 fois le risque de nouvelle blessure, sur le même groupe musculaire, durant la saison suivante (Hägglund et al., 2013). Un antécédent de blessure augmente également le risque de blessure global (ratio de hasard = 2,7 ; IC95% : 1,7 à 4,3) (Hägglund et al., 2013). Comme un antécédent de blessure est un facteur de risque de blessure interne non modifiable, il est important de prévenir la survenue d'une blessure initiale lors de la période de formation du joueur. Une blessure lors de la période de formation du joueur pourrait devenir un facteur de risque de blessure non modifiable durant la suite de la carrière professionnelle du joueur. Durant la période de blessure, le jeune joueur ne peut pas s'entraîner normalement, ce qui pourrait provoquer un retard dans sa formation. Dans une revue systématique, Pfirmann et al. (2016) ont rapporté que, dans les centres de formation, l'incidence globale de blessures était entre 2,0 et 19,4 blessures pour 1000h de pratique, et l'incidence à l'entraînement était comprise entre 3,7 et 11,4 blessures pour 1000h

d'entraînement. Durant la dernière année en centre de formation, l'incidence globale dans les catégories U18 et U19 (entre 6,8 et 10 blessures pour 1000h de pratique) (Nilsson et al., 2016 ; Renshaw et Goodwin, 2016) est comparable à l'incidence rapportée dans le football professionnel (7,6 blessures pour 1000h de pratique) (Ekstrand et al., 2013). Les résultats indiquant une incidence des blessures élevée dans les catégories de jeunes joueurs de football de haut niveau mettent en évidence la nécessité d'identifier les facteurs associés à la blessure dans cette population pour mettre en place des stratégies préventives, en particulier pour réduire le risque de subir une première blessure. Bien que quelques études aient eu pour objectif d'identifier des facteurs associés à la blessure chez les jeunes joueurs de haut niveau (Bowen et al., 2017), la plupart des études se sont concentrées sur le football professionnel (Ekstrand et al., 2011a ; Hägglund et al., 2013).

Dans leur enquête, McCall et al. (2014a) ont rapporté que les praticiens considèrent la fatigue (105 points d'importance sur une maximum de 132 points) comme le deuxième facteur de risque de blessures le plus important chez les joueurs de football professionnels. La fatigue peut être induite par la répétition de matchs et d'entraînements. Plusieurs études ont identifié une association significative entre la charge de travail et l'incidence des blessures chez les footballeurs professionnels (Malone et al., 2017 ; Lu et al., 2017 ; Jaspers et al., 2018). Deux revues de littérature ont conclu que la charge de travail interne mesurée à l'aide d'outils subjectifs était plus sensible, et montrait des associations plus fortes avec l'incidence des blessures que la charge de travail externe mesurée à l'aide d'outils objectifs (Jones et al., 2017 ; Saw et al., 2016). Dans leur revue de littérature systématique, Jones et al. (2017) ont inclus 21 études évaluant l'association entre la charge de travail interne et l'incidence des blessures dans le sport de haut niveau. La majorité (90%) des études incluses concernaient les sports collectifs. Les auteurs concluent que le niveau d'évidence de l'association entre la charge de travail interne et l'incidence des blessures est modéré. Dans le football professionnel, Malone et al. (2017) ont mis en évidence qu'une charge absolue mesurée à l'aide de la sRPE ≥ 1500 unités arbitraires (UA) était associée à une augmentation de l'incidence des blessures, et qu'un ratio de charge aiguë : chronique (A:C) calculé à l'aide de la sRPE, compris entre 1,00 et 1,25 était associé à une diminution de l'incidence des blessures chez les joueurs de football professionnels. Chez les jeunes joueurs de haut niveau, évoluant en centre de formation, une étude a identifié une association entre la charge de travail absolue hebdomadaire mesurée à l'aide d'une échelle de la perception de l'effort (Borg, CR-10) (Foster, 1998), et l'incidence des blessures (ratio de cotes = 1,01 ; IC 95% : 1,00 à 1,06) (Brink et al., 2010). Toutefois, dans cette étude, la charge de travail était calculée uniquement sur une semaine, alors qu'en centre de formation, des

associations entre la charge de travail externe sur 2 semaines, 3 semaines et 4 semaines et l'incidence des blessures, et entre les ratios de charge A:C et l'incidence des blessures ont été identifiées (Bowen et al., 2017).

A notre connaissance, aucune étude n'a cherché à évaluer les associations entre la charge de travail interne durant des périodes de temps variées et l'incidence des blessures. L'objectif de cette étude est d'analyser les relations entre des combinaisons variées de la charge de travail mesurées à l'aide de la sRPE et l'incidence des blessures chez les jeunes joueurs de football de haut niveau évoluant en centre de formation.

Matériel et méthode

Participants

Cent vingt-deux jeunes joueurs de football de haut niveau (taille : $178,6 \pm 6,8$ cm ; masse corporelle : $70,9 \pm 7,3$ kg) issus des équipes de la catégorie des moins de 19 ans (U19) ($n=52$, âge : $16,8 \pm 0,9$) et de la catégorie des moins de 21 ans (U21) ($n=70$; âge : $20,1 \pm 0,3$), d'un club professionnel évoluant en première division française et prenant part régulièrement aux compétitions européennes, ont été suivis durant, respectivement, 4 et 5 saisons. Tous les joueurs des équipes U19 et U21 étaient inclus dans l'étude. Si un joueur rejoignait une équipe durant la période de suivi, alors ce joueur était inclus dans l'étude à partir de sa date d'arrivée dans l'équipe. Un joueur qui quittait le club durant la période de suivi était exclu de l'étude à partir du moment où il quittait le club. Si un joueur était blessé au début de la période d'observation, ce joueur était inclus dans l'étude, mais sa blessure n'était pas incluse dans les résultats (Fuller et al., 2006). Tous les joueurs prenant part à l'étude étaient informés de l'objectif de l'étude et ont consenti à y prendre part. Cette étude a été réalisée en accord avec le comité d'éthique local sur la recherche biomédicale (CCTIRS#10544) et les standards de la déclaration d'Helsinki.

Méthodologie

Cette étude était une étude de cohorte prospective.

Une blessure était définie comme une plainte physique subie par un joueur, résultant d'un match de football ou d'un entraînement et à l'origine d'une incapacité pour le joueur à participer au match ou à l'entraînement suivant (Fuller et al., 2006). Les blessures étaient diagnostiquées par le médecin du club. La charge de travail était calculée à l'aide de la méthode de la sRPE.

Cette méthode a été validée pour son utilisation chez les sportifs et les footballeurs de haut niveau (Foster, 1998 ; Impellizzeri et al., 2004). Il était demandé aux joueurs de noter l'intensité globale de la séance ou du match sur une échelle de 0 à 10 (basée sur l'échelle de perception de Borg, 1987) en répondant la question suivante : « comment était ton entraînement aujourd'hui ? ». La sRPE était collectée 30 minutes après la fin de l'entraînement ou du match par un membre de département scientifique ou médical du club. Les joueurs étaient isolés avant de répondre, de manière à ne pas être influencés par les coéquipiers. La charge de travail, exprimée en unités arbitraires (UA) était calculée en multipliant l'intensité perçue par la durée de la séance ou du match (Foster et al., 2001) ; toutes les séances d'entraînement et tous les matchs étaient inclus. La charge de travail était calculée de manière quotidienne, avec un tableau roulant (chaque jour une nouvelle charge était calculée basée sur les jours précédents). La charge absolue était la somme des 7 derniers jours (1 semaine absolue), des 14 derniers jours (2 semaines absolue), des 21 derniers jours (3 semaines absolue) et des 28 derniers jours (4 semaines absolue). Pour déterminer les ratios de charge A:C, la charge absolue des 7 derniers jours était divisée par la charge totale des 28 derniers jours divisée par 4 pour le ratio A:C de 4 semaines, la charge totale des 21 derniers jours divisée par 3 pour le ratio A:C de 3 semaines, la charge totale des 14 derniers jours divisée par 2 pour le ratio A:C de 2 semaines. Les variations hebdomadaires étaient également calculées en divisant la charge des 7 derniers jours par la charge des 7 jours précédents. La charge de travail était connue par les praticiens qui pouvaient utiliser les données pour réguler la charge de travail des joueurs. Chez les U19, la charge collective (mais pas la charge individuelle) était régulée de manière hebdomadaire. L'objectif en U19 était d'obtenir une charge hebdomadaire moyenne de 2500 UA ; déterminée de manière arbitraire, et considérée par les entraîneurs de l'équipe U19 comme la charge optimale permettant d'améliorer les qualités des joueurs tout en limitant le risque de blessure. Les données n'étaient pas prises en compte pour réguler la charge de travail chez les U21.

Analyses statistiques

Une analyse à l'aide d'une régression de Poisson a été effectuée avec SPSS Statistics développé par IBM (Version 20), pour la charge absolue sur 1 semaine, 2 semaines, 3 semaines et 4 semaines, et les ratios de charge A:C, pour évaluer les associations entre ces facteurs et l'incidence des blessures, et calculer le risque relatif (RR). La charge absolue et les ratios de charge subissaient une transformation logarithmique lorsque les scores n'étaient pas distribués normalement. Le niveau de significativité était fixé à $p \leq 0,05$.

Les statistiques descriptives concernant l'exposition, l'incidence des blessures, la probabilité quotidienne de se blesser et la charge de travail ont été calculées à l'aide d'Excel (version 16.6.7 pour Mac). La probabilité quotidienne de se blesser était calculée en divisant le nombre de blessures par le nombre de jours d'observation, multiplié par 100.

Résultats

Au total, 122 joueurs ont été suivis durant la période d'observation. Le nombre de joueurs dans chaque équipe, saison par saison, est décrit dans le tableau 16. Chez les U19, un total de 52 joueurs ont été suivis (24 joueurs ont été suivis durant une saison, 26 joueurs ont été suivis durant 2 saisons, et 2 joueurs ont été suivis durant 3 saisons). Chez les U21, 70 joueurs ont été suivis (41 joueurs ont été suivis durant 1 saison, 16 joueurs ont été suivis durant 2 saisons, 8 joueurs ont été suivis durant 3 saisons, 4 joueurs ont été suivis durant 4 saisons, et un joueur a été suivi durant 5 saisons). Cela représente un total de 200 joueurs-saisons ; 17 778 jours d'observation en U19 et 26 672 jours d'observation en U21.

Saison	Nombre de joueurs suivis	
	U19	U21
2012-2013	X	21
2013-2014	18	26
2014-2015	16	24
2015-2016	23	28
2016-2017	25	19

Tableau 16 : *Nombre de joueurs suivis par saison dans les catégories U19 et U21.*

Au total, 182 blessures ont été enregistrées chez les U19 (119 blessures sans contact + 63 blessures avec contact) et 307 blessures ont été enregistrées chez les U21. Cela représente une incidence globale de 7,6 blessures pour 1000h de pratique en U19 et de 9,6 blessures pour 1000h de pratique en U21. La probabilité quotidienne de se blesser était de 1,02% en U19 et de 1,15% en U21.

En U19, la charge moyenne hebdomadaire était de 2046 ± 705 UA ; la charge moyenne sur 2 semaines était de 3813 ± 1291 UA ; la charge moyenne sur 3 semaines était de 5501 ± 1831 UA, et la charge moyenne sur 4 semaines était de 7104 ± 2334 UA, Aucune association n'a été identifiée entre la charge absolue hebdomadaire, la charge absolue cumulée (2 semaines, 3

semaines, 4 semaines), et l'incidence globale des blessures, l'incidence des blessures sans contact, et l'incidence des blessures avec contact chez les U19. Ces résultats sont décrits dans le tableau 17. Aucune association n'a été identifiée entre les ratios de charge A:C et l'incidence globale des blessures, l'incidence des blessures sans contact, et l'incidence des blessures avec contact chez les U19. Ces résultats sont décrits dans le tableau 18.

Tableau 17 : *Risque relatif (RR) (intervalle de confiance à 95%) et valeur de p pour une augmentation de la charge absolue lors des 7 derniers jours (1 semaine), 14 derniers jours (2 semaines), 21 derniers jours (3 semaines) et 28 derniers jours (4 semaines) dans la catégorie U19.*

	RR (IC 95%)	p
Charge absolue 1 semaine	1,11 (0,84 à 1,50)	0,44
Charge absolue 2 semaines	1,03 (0,77 à 1,38)	0,85
Charge absolue 3 semaines	0,97 (0,74 à 1,28)	0,82
Charge absolue 4 semaines	1,00 (0,76 à 1,33)	0,97

Tableau 18 : *Risque relatif (RR) (intervalle de confiance à 95%) et valeur de p pour une augmentation du ratio de charge A:C calculé avec une charge chronique de 28 jours (4 semaines), 21 jours (3 semaines), 14 jours (2 semaines) et les variations hebdomadaires dans la catégorie U19.*

	RR (IC 95%)	p
Ratio A:C 4 semaines	1,01 (0,96 à 1,07)	0,73
Ratio A:C 3 semaines	1,00 (0,95 à 1,06)	0,91
Ratio A:C 2 semaines	0,99 (0,90 à 1,09)	0,82
Variations hebdomadaires	1,00 (0,96 à 1,04)	0,93

Chez les U21, la charge moyenne hebdomadaire était de 1979 ± 666 UA ; la charge moyenne sur 2 semaines était de 3783 ± 1211 UA ; la charge moyenne sur 3 semaines était de 5497 ± 1740 UA ; la charge moyenne sur 4 semaines était de 7145 ± 2254 UA. Les résultats concernant les associations entre la charge absolue et l'incidence globale des blessures, l'incidence des blessures sans contact et l'incidence des blessures avec contact chez les U21 sont décrits dans le tableau 19. Une association a été identifiée entre la charge absolue cumulée sur 3 semaines

et l'incidence globale des blessures (RR=1,39 ; p=0,026) et entre la charge absolue cumulée sur 4 semaines et l'incidence globale des blessures (RR=1,40 ; p=0,019). Aucune association n'a été identifiée entre les ratios A:C et l'incidence des blessures chez les U21. Les résultats sont décrits dans le tableau 20.

Tableau 19 : *Risque relatif (RR) (intervalle de confiance à 95%) et valeur de p pour une augmentation de la charge absolue lors des 7 derniers jours (1 semaine), 14 derniers jours (2 semaines), 21 derniers jours (3 semaines) et 28 derniers jours (4 semaines) dans la catégorie U21.*

	RR (IC 95%)	p
Charge absolue 1 semaine	1,18 (0,92 à 1,52)	0,19
Charge absolue 2 semaines	1,28 (0,97 à 1,69)	0,076
Charge absolue 3 semaines	1,39 (1,04 à 1,84)	0,026
Charge absolue 4 semaines	1,40 (1,06 à 1,86)	0,019

Tableau 20 : *Risque relatif (RR) (intervalle de confiance à 95%) et valeur de p pour une augmentation du ratio de charge A:C calculé avec une charge chronique de 28 jours (4 semaines), 21 jours (3 semaines), 14 jours (2 semaines) et les variations hebdomadaires dans la catégorie U21.*

	RR (IC 95%)	p
Ratio A:C 4 semaines	0,89 (0,71 à 1,13)	0,34
Ratio A:C 3 semaines	0,88 (0,66 à 1,16)	0,37
Ratio A:C 2 semaines	0,86 (0,58 à 1,29)	0,47
Variations hebdomadaires	1,00 (0,95 à 1,06)	0,91

Discussion

L'objectif de cette étude était d'analyser les relations entre la charge de travail et l'incidence des blessures chez les jeunes joueurs de haut niveau évoluant en centre de formation. Les principaux résultats indiquent qu'il n'y avait aucune association entre les indicateurs de charge de travail interne chez les U19, alors que des associations entre la charge de travail interne cumulée absolue sur 3 et 4 semaines et l'incidence des blessures chez les U21 ont été identifiées.

Dans cette étude, l'incidence globale des blessures était de 7,6 blessures pour 1000h de pratique chez les U19 et de 9,6 blessures pour 1000h de pratique chez les U21. Ces résultats confirment les résultats d'études précédentes, indiquant une incidence entre 6 et 10 blessures pour 1000h d'exposition dans les catégories U18 et U19 (Nilsson et al., 2016 ; Renshaw et Goodwin, 2016). L'incidence rapportée dans la présente étude est également proche de l'incidence rapportée chez les joueurs de football professionnel (8 blessures pour 1000h de pratique) (Ekstrand et al., 2011a). Lorsque ces incidences sont rapportées en probabilité quotidienne de blessures, la probabilité globale de blessure était de 1,02 % par joueur chez les U19 et de 1,15 % par joueur chez les U21. La probabilité de subir une blessure met en évidence que même si l'incidence de blessure est très élevée dans le football en comparaison avec d'autres activités (Ekstrand et al., 2013), la probabilité quotidienne de subir une blessure en centre de formation est faible, aux alentours de 1 %.

Aucune association entre la charge absolue ou les ratios de charge et l'incidence des blessures n'a été identifiée chez les joueurs de la catégorie U19. Ces résultats sont différents de ceux présentés par Brink et al. (2010) qui ont identifié une association entre la charge de travail interne calculée à l'aide de la sRPE et l'incidence des blessures chez les U19. Cependant, les méthodologies utilisées sont différentes. Dans l'étude menée par Brink et al. (2010), le ratio de cotes était calculé, alors que dans la présente étude, une régression de Poisson était utilisée, donnant un risque relatif. L'incidence des blessures dans l'étude de Brink et al. (2010) (37,55 pour 1000h de match et 11,14 pour 1000h d'entraînement) était plus élevée que dans l'étude actuelle (entre 7,6 et 9,6 blessures pour 1000h de pratique). La probabilité d'identifier une association significative entre un facteur de risque potentiel et un événement dépend de la fréquence de survenue de cet événement. Cela signifie que plus l'incidence des blessures est élevée, plus la probabilité de trouver une association significative est élevée (Bahr et Holme, 2003). La méthode pour calculer la charge de travail n'était pas la même entre les deux études.

Brink et al. (2010) ont utilisé une échelle de 15 points pour noter l'intensité perçue lors de la séance alors qu'une échelle graduée sur 10 points était utilisée dans l'étude actuelle. Il est dès lors difficile de comparer les charges de travail calculées dans les deux études, avec une étendue des valeurs de la charge de travail plus grande dans l'étude de Brink et al. (2010). L'étendue des valeurs d'une variable indépendante influence les résultats d'une régression (Salgueiro et al., 2017). Une autre différence dans les résultats peut être expliquée par les différences de définition de la blessure. Brink et al. (2010) ont défini la blessure comme toutes les plaintes physiques subies par un joueur, résultant de la pratique, et provoquant une absence ou une attention médicale. Dans l'étude actuelle, seules les blessures ayant provoqué une absence ont été prises en compte. Etant donné le très faible ratio de cotes (Ratio de cotes = 1,01 ; IC 95% 1,00 – 1,02) rapporté par Brink et al. (2010), ces différences méthodologiques peuvent expliquer les différences de résultats entre ces deux études.

Chez les U21, aucune association n'a été identifiée entre les ratio de charge A:C, alors qu'une association a été trouvée entre les charges absolues cumulées sur 3 semaines et 4 semaines et l'incidence des blessures. Ces résultats indiquent qu'aucune association n'a été trouvée entre la charge mesurée sur les 7 derniers jours (ratio de charge A:C et charge absolue sur 7 jours). Ces résultats ne permettent pas d'identifier un lien entre les ratios de charge A:C mesurés à l'aide de la sRPE et l'incidence des blessures chez les joueurs de centre de formation, alors que cette association a été identifiée chez les joueurs de football professionnels (Malone et al., 2017). Dans le football professionnel, un ratio de charge A:C entre 1,00 et 1,25 a été associé à une diminution de l'incidence des blessures (Malone et al., 2017). Un ratio de charge A:C élevé est le résultat de la combinaison d'une charge chronique faible et d'une charge aigüe élevée (Blanch et Gabbett, 2016). Cela signifie qu'une charge chronique faible ou que des pics dans la charge de travail doivent être évités chez les joueurs de football professionnels pour diminuer l'incidence des blessures (Blanch et Gabbett, 2016). Jaspers et al. (2018) ont identifié qu'une charge élevée calculée à l'aide de la sRPE durant 2 semaines était associée à une augmentation des blessures chez les joueurs de football professionnels, alors qu'une charge moyenne sur 4 semaines était associée à une diminution de l'incidence des blessures en comparaison avec une charge faible. Ce résultat indique qu'une charge de travail minimale semble être nécessaire pour éviter une augmentation de l'incidence des blessures, et donc, qu'une charge de travail chronique trop basse pourrait représenter un facteur associé à l'incidence des blessures chez les joueurs de football professionnels. Ces résultats mettent en lumière l'association entre l'incidence des blessures et les ratios de charge A:C calculés à l'aide de la sRPE chez les footballeurs professionnels. Ces associations n'ont pas été identifiées dans l'étude actuelle chez

les joueurs évoluant en centre de formation. Les différences entre les joueurs évoluant en centre de formation et les joueurs de football professionnels participant à des compétitions européennes peuvent être expliquées, en partie, par les différences de variations de charge aiguë dans ces populations. Des variations de la charge importantes sont subies par les joueurs prenant part à des compétitions européennes, avec des semaines lors desquelles 3 matchs peuvent être joués. Le calendrier chez les joueurs évoluant en centre de formation semble être plus régulier, avec un match joué par semaine, ce qui provoque des variations de la charge moins importantes. Ces différences dans le calendrier des compétitions peuvent expliquer, en partie, l'absence d'association entre les ratios de charge A:C et l'incidence des blessures dans les catégories U19 et U21.

Les différences de résultats entre les U19 et les U21 dans cette étude peuvent être expliquées, en partie, par le plus petit nombre de blessures enregistrées en U19 en comparaison avec les U21 (182 vs 307), ce qui peut être expliqué par l'incidence plus faible en U19 (7,6 vs 9,6) et la période d'observation plus courte chez les U19 (4 saisons vs 5 saisons). La proportion de blessures sans contact était similaire entre les U19 et les U21 (65 % en U19 et 71% en U21), mais un plus petit nombre de blessures sans contact a été enregistré en U19 (119 vs 215), ce qui peut également expliquer l'absence d'association, puisque les blessures sans contact sont considérées comme étant plus faciles à prévenir que les blessures avec contact (Gabbett, 2010). Comme expliqué dans l'introduction de l'article, un antécédent de blessure est le facteur de risque présentant le plus haut niveau d'évidence scientifique. Dans les études futures, il serait intéressant d'évaluer les effets d'un antécédent de blessure sur la capacité du joueur à supporter des charges de travail élevées, puisque les résultats de l'étude actuelle indiquent que les joueurs U21 semblent plus sensibles aux variations de la charge de travail, et que cela pourrait être expliqué par une proportion de joueurs avec des antécédents de blessures plus importante chez les joueurs plus âgés.

Cette étude présente plusieurs limites. Tout d'abord, l'association identifiée ne signifie pas nécessairement qu'il existe un lien de causalité entre la charge de travail et l'incidence des blessures (Bahr, 2016). Bien que très compliquées à mettre en place, des études randomisées et contrôlées doivent être menées pour analyser l'effet d'une charge de travail contrôlée sur l'incidence des blessures pour confirmer une association causale (Bahr, 2016). En tant qu'étude de cohorte, l'étude menée présente également des limites. L'observation de joueurs signifie que les résultats sont influencés par les joueurs ayant subi plusieurs blessures durant la période d'observation. Chaque blessure est considérée comme un événement indépendant alors que ces blessures sont multifactorielles et sont liées à de nombreux facteurs dépendants du joueur

observé, comme, par exemple, la capacité du joueur à encaisser des charges de travail élevées. L'une des limites de cette étude est la faible probabilité de survenue des blessures, avec seulement 182 blessures pour 17 778 jours d'observation en U19 et 372 blessures pour 26 672 jours d'observation en U21. Ces résultats correspondent à une probabilité quotidienne de subir une blessure de 1,02 % en U19 et de 1,15 % en U21. Ces faibles probabilités peuvent expliquer, en partie, l'absence d'association statistique chez les U19 puisque la faible occurrence d'un évènement réduit la probabilité de trouver une association entre cet évènement et un facteur indépendant (Bahr et Holme, 2003). Une autre limite de cette étude concerne les praticiens qui enregistraient les données. Si ces praticiens ont utilisé les résultats de la charge de travail pour protéger certains joueurs avec une charge très élevée ou très faible, ce comportement a pu affecter les résultats de l'étude. Cette limite peut expliquer, en partie, les différences de résultats entre les U19 et les U21. Chez les U19, la charge de travail était analysée de manière hebdomadaire, avec pour objectif d'atteindre une charge hebdomadaire de 2500 UA. La charge de travail pouvait alors être régulée lors de la semaine suivante. En U21, les données de charge de travail n'étaient pas utilisées par les praticiens pour réguler la charge de travail.

Malgré ces limites, cette étude présente également des points forts intéressants. Tout d'abord, à notre connaissance, il s'agit de la première étude menée en centre de formation analysant les associations entre de multiples combinaisons de charge de travail interne et l'incidence des blessures.

Avec 122 joueurs suivis et 200 joueurs-saisons, la cohorte de cette étude était large en comparaison avec les autres études sur la même thématique. Il s'agit, à notre connaissance, de la première étude longitudinale concernant les jeunes joueurs de haut niveau, menée sur une période aussi longue (5 saisons complètes). Les joueurs suivis étaient des joueurs issus d'un centre de formation. Cette population permettait un très bon contrôle de la charge, sans aucune donnée manquante, et un très bon contrôle des activités extérieures, puisque la plupart des joueurs vivaient au sein du centre de formation, ce qui permet d'avoir un très bon niveau de confiance dans les données de charge de travail enregistrées.

Conclusion

En conclusion, les résultats de cette étude indiquent qu'une charge de travail interne calculée à l'aide de la sRPE n'était pas associée à l'incidence des blessures chez les U19. Chez les U21, les charges absolues cumulées sur 3 semaines et 4 semaines étaient associées à une augmentation de l'incidence des blessures. Ces résultats indiquent que les praticiens évoluant

au sein de centres de formation peuvent suivre la charge de travail interne et utiliser la sRPE pour potentiellement réduire l'incidence des blessures. D'autres études sont nécessaires dans ces catégories d'âge pour analyser ces associations.

Discussion générale

L'objectif principal de cette thèse était d'évaluer les associations entre la charge de travail et l'incidence des blessures dans le football de haut niveau. Cet objectif soulevait plusieurs problématiques autour desquelles ce travail de thèse a été articulé :

- Quel est le niveau d'évidence scientifique de l'association entre charge de travail et performance dans le football de haut niveau ?
- Quel est le niveau d'évidence scientifique de l'association entre charge de travail et incidence des blessures dans le football de haut niveau ?
- Existe-t-il un niveau de charge de travail pour optimiser les performances tout en limitant le niveau de risque de blessure des joueurs de football de haut niveau ?

La revue de littérature, menée dans la première partie de cette thèse, a permis d'identifier le cadre théorique et la méthodologie recommandée pour répondre à ces questions. En partant de ces recommandations, et selon la méthodologie d'Harbour et Miller (2001), les différentes études publiées et visant à identifier les associations entre la charge de travail et l'incidence des blessures ou le niveau de performance dans le football de haut niveau, ont été évaluées pour identifier leurs niveaux d'évidence scientifique. Ce travail a permis de mettre en lumière les limites méthodologiques de ces études et les précautions nécessaires lors de l'interprétation des résultats qui y sont présentés. Aucune étude du plus haut niveau d'évidence scientifique (étude randomisée contrôlée de niveau 1) n'a été menée pour étudier les relations entre la charge de travail et le niveau de performance ou l'incidence des blessures. Plusieurs études ayant évalué les associations entre la charge de travail et le niveau de performance n'utilisaient pas des outils de suivi de la charge de travail dont les niveaux de reproductibilité et de validité étaient satisfaisants, ou des outils de mesure de la performance dont le niveau de fiabilité ou l'association avec les performances lors d'un match de football n'étaient pas démontrés. Certaines études ayant évalué les associations entre la charge de travail et l'incidence des blessures ne respectaient pas les recommandations établies par consensus (Fuller et al., 2006) pour définir la blessure et mener une étude de cohorte dans le football, ce qui doit pousser à la prudence lors de l'interprétation des résultats et sur les conclusions qui peuvent être tirées de ces travaux.

L'ensemble des études menées dans le football sur la charge de travail étaient des études de cohorte, menées sur des échantillons de tailles réduites, et sur des périodes réduites. La puissance statistique de ces études et les tailles d'échantillon nécessaires n'ont été calculées que dans une étude (Malone et al., 2018) sur les 27 études répertoriées dont la qualité

méthodologique a été analysée. Bahr et Holme (2003) estiment que 200 blessures sont nécessaires pour identifier une association dans une étude de cohorte. Parmi les 27 études répertoriées, une seule comptait plus de 200 blessures (Brink et al., 2010), avec 206 blessures enregistrées. Ainsi, les conclusions, applications pratiques, et la généralisation des résultats qui peuvent être tirées de ces études sont limitées par ces biais méthodologiques et les petits groupes observés.

Avec 8 blessures pour 1000h de pratique, l'incidence des blessures dans le football de haut niveau est très élevée (Drawer et Fuller, 2002 ; Ekstrand et al., 2013). L'identification des facteurs associés aux blessures ainsi que celle des mécanismes de survenue des blessures est une étape importante préalable à la mise en place de stratégies préventives, selon le modèle de van Mechelen et al. (1992). Le niveau d'évidence scientifique des études (entre 2- et 2++ selon les études) concernant les associations entre la charge de travail et l'incidence des blessures ne permet pas de tirer de conclusions concernant ces associations, mais doit encourager à mener des études de cohortes larges, utilisant des outils de mesure fiables et la méthodologie recommandée pour les études de cohorte sur les blessures dans le football définie par consensus (Fuller et al., 2006). Les praticiens considèrent la prévention des blessures comme l'un des principaux objectifs de la gestion de la charge, comme le montre l'enquête d'Akenhead et Nassis (2016). Il semble exister un décalage entre la pratique et le niveau d'évidence scientifique des associations entre la charge de travail et l'incidence des blessures dans le football.

Au regard de ce décalage, et de ce faible niveau d'évidence scientifique, la deuxième partie de cette thèse avait pour objectif de mettre en place des études de cohorte prospectives, dans le football de haut niveau, pour identifier les associations entre la charge de travail mesurée à l'aide d'une échelle de perception de l'effort (sRPE) et l'incidence des blessures.

Avec 130 joueurs de haut niveau, participant à des compétitions européennes, et suivis durant une saison, les deux premières études menées sont, à notre connaissance, les études de cohorte les plus larges conduites dans le football de haut niveau concernant les associations entre la charge de travail et l'incidence des blessures sans contact. Les principaux résultats de ces deux études ont permis d'identifier des associations entre les indicateurs de charge de travail obtenus à l'aide de la sRPE et l'incidence des blessures dans cette population. La première étude a identifié des associations entre une charge de travail absolue élevée sur 3 semaines (>8319 UA ; RR = 1,46 ; IC 95% : 1,08 à 1,98) ou 4 semaines (>10629 UA ; RR = 1,59 ; IC 95% : 1,18 à 2,15) et une augmentation de l'incidence des blessures, mais également, une association entre

des variations importantes de la charge d'une semaine à l'autre, ou des ratios de charge aiguë : chronique éloignés de 1, et l'incidence des blessures.

La deuxième étude de cette thèse a mis en lumière une association entre une augmentation de la monotonie sur 4 semaines (RR=0,72 ; IC95% : 0,58 à 0,90, p=0,004) et une diminution de l'incidence des blessures ce qui signifie qu'une charge quotidienne régulière est associée à une diminution de l'incidence des blessures. Cette étude a également mis en évidence une association entre une augmentation de la contrainte sur 4 semaines (RR=1,50 ; IC 95% : 1,14 à 1,97 ; p=0,004) et une augmentation de l'incidence des blessures. Ce résultat signifie qu'une charge de travail élevée et régulière sur une période de 4 semaines est associée à l'incidence des blessures dans le football professionnel.

Ces deux études ont plusieurs limites. La qualité méthodologique de ces études, selon la grille utilisée pour mesurer la qualité méthodologique des études de la revue de littérature de cette thèse (von Elm et al., 2007), était de 73% pour la première étude concernant la charge absolue et les ratios de charge, et de 68% pour la deuxième étude concernant les associations entre la contrainte, la monotonie et l'incidence des blessures. Ces deux études de cohorte sont des études de niveau d'évidence 2+. Contrairement à plusieurs des études répertoriées dans la revue de littérature, ces études présentent des tailles d'échantillon de joueurs et de blessures importantes. Deux cent trente-sept blessures ont été enregistrées, ce qui est supérieur aux 200 blessures recommandées pour évaluer des associations entre un facteur et l'incidence des blessures (Bahr, 2003). Les calculs de puissance statistique indiquent que l'échantillon permettait d'obtenir une puissance statistique de 0,80 pour détecter un risque relatif de 1,38. Les principales limites méthodologiques de ces deux études concernent l'absence de contrôle des facteurs associés à l'incidence des blessures pouvant provoquer des biais de confusion lors de l'analyse de l'association entre la charge de travail et l'incidence des blessures. Toutefois, l'objectif de ces études était de savoir si la sRPE pouvait être un outil utile aux praticiens, pour la prévention des blessures dans le football professionnel. En pratique, les outils de suivi sont utilisés sans contrôle des facteurs associés, et il semblait intéressant de savoir si dans cette utilisation quotidienne, la sRPE pouvait donner une indication du niveau de risque des joueurs suivis. Ces deux études de cohorte, permettent d'identifier certains facteurs associés à la blessure, en démontrant que ces facteurs, analysés de manière isolée, ne permettent pas de prédire le risque de blessure. Ces deux premières études doivent encourager les praticiens à utiliser la sRPE comme outil de suivi et de gestion de la charge de travail interne des joueurs dans le cadre de la prévention des blessures.

La période de formation du jeune joueur est essentielle au développement des qualités des joueurs, et les effets d'un antécédent de blessure sur les risques de blessures pour la suite de la carrière du joueur ont été démontrés (Arnason et al., 2004b ; Hägglund et al., 2013). A partir de ce constat, il apparaît essentiel d'explorer le rôle de la charge de travail sur les aspects de développement et de prévention des blessures des jeunes joueurs de football en centre de formation. La troisième étude de cette thèse concernait les associations entre la charge de travail interne mesurée à l'aide de la sRPE et l'incidence des blessures globale et sans contact chez les jeunes joueurs de football évoluant en centre de formation de club professionnel. Dans cette étude, des associations entre une charge de travail élevée sur 3 semaines (RR=1,39 ; p=0,026) ou 4 semaines (RR=1,40 ; p=0,019) ont été identifiées dans la catégorie U21, alors qu'aucune association entre charge de travail et incidence des blessures n'a été identifiée dans la catégorie U19. Cette étude présentait un score méthodologique de 77 %, soit un niveau d'évidence 2++, mais présentait également des limites méthodologiques. La puissance statistique dans cette étude n'a pas été calculée et les joueurs étaient issus du même club. Le calcul d'une puissance statistique a posteriori étant fortement influencée par les résultats de l'étude réalisée, celui-ci n'a pas été réalisé (McCall et al., 2018b). Le suivi pendant plusieurs saisons des mêmes joueurs peut être considéré comme un biais, puisque chaque nouvelle blessure était considérée comme un événement indépendant alors qu'elle pouvait être subie par un joueur ayant déjà subi une blessure auparavant. La blessure étant multifactorielle, un joueur blessé à plusieurs reprises peut influencer les résultats de l'étude. Plusieurs explications concernant l'absence d'association entre la charge de travail mesurée à l'aide la sRPE et les blessures chez les U19 peuvent être proposées. Il est possible que l'outil utilisé ne soit pas assez sensible aux variations de charge de travail des joueurs dans cette catégorie d'âge, ce qui pourrait expliquer l'absence d'association. Il est également possible que, malgré les explications et la sensibilisation à l'importance du suivi de la charge de travail, les joueurs n'aient pas toujours donné une note en adéquation avec leur perception réelle de l'effort lors de la séance réalisée.

Malgré ces limites, cette étude est intéressante. Il s'agit, à notre connaissance, de l'étude la plus large menée au sein d'un centre de formation sur les associations entre charge de travail et blessures et les résultats doivent encourager à explorer les associations entre la charge de travail, l'amélioration des performances et l'incidence des blessures chez les jeunes joueurs de haut niveau.

Dans les trois études menées, seule l'incidence des blessures a été utilisée comme variable dépendante. Il a été proposé que pour réaliser un suivi épidémiologique des blessures, et établir

un niveau de risque de blessures, l'incidence seule n'était pas suffisante, puisqu'elle ne reflète pas la sévérité des blessures subies (Bahr et al., 2018).

En effet, si seule l'incidence est prise en compte, alors la différence d'impact entre une contusion au genou provoquant en moyenne une absence de 5 jours (Ekstrand et al., 2013) et une entorse ligamentaire du genou provoquant une absence moyenne de 23 jours (Ekstrand et al., 2013) ou une rupture du ligament croisé antérieur, provoquant en moyenne une absence de 200 jours (Bahr et al., 2018) n'est pas prise en compte.

Or, selon la blessure et sa sévérité, l'impact négatif au niveau des performances de l'équipe, la santé du joueur, et l'impact financier ne sont pas les mêmes (Drawer et Fuller, 2002).

Pour remédier à cette limite méthodologique, plusieurs auteurs (Bahr et al., 2018 ; Fuller, 2017) proposent de mesurer la charge liée à la blessure (« injury burden »), qui se caractérise par le nombre de jours d'absence liés aux blessures pour 1000h de pratique.

Cette charge de blessure se calcule de la manière suivante :

Charge de blessure =

(nombre de jours d'absence liés à une blessure / nombre d'heure d'exposition) x 1000

Cette charge de blessure permet de coupler le nombre de blessures subies, le nombre de jours d'absence liées aux blessures et donc, de refléter l'impact des blessures dans le football, en normalisant cet impact pour 1000h de pratique (Bahr et al., 2018 ; Fuller, 2017). La prise en compte de cette charge associée aux blessures aurait pu être un indicateur intéressant et devra être pris en compte dans les prochaines études sur les relations entre charge de travail et blessures dans le football.

Les résultats principaux de cette thèse, et en particulier de la première étude menée, ont également permis de mettre en lumière que la blessure, de nature multifactorielle, ne peut pas être prédite par la charge de travail. Lors de l'analyse de la charge de travail dans le cadre de la prévention des blessures, il semble essentiel d'avoir conscience de la faible capacité prédictive de la charge de travail, malgré son association avec l'incidence des blessures dans le football professionnel et en centre de formation. Cette absence de capacité prédictive de la charge de travail peut influencer la prise de décision des praticiens. Alors qu'une gestion de la charge de travail doit être encouragée pour éviter les variations de charge importante ou les charges trop élevées, l'absence de capacité prédictive signifie qu'un entraîneur peut décider de faire jouer un joueur, malgré une charge élevée, si le match est important. Cela signifie également que le

staff ou le préparateur physique peut décider de faire subir une charge élevée sur une période de temps prolongée à un joueur s'il estime que le risque encouru est plus faible que le bénéfice potentiel lié à cette augmentation de la charge de travail. A l'image des analyses financières, dans lesquelles les prises de décision sont guidées par des indices, telles que le ratio de Sharpe, permettant d'établir le lien entre l'augmentation de la performance attendue, la rentabilité attendue, et l'augmentation du niveau de risque, la volatilité par exemple (Sharpe et al., 1994), les prises de décisions concernant la participation à une séance, un match, ou la mise en place d'un programme en football doivent être guidées par des relations entre l'augmentation du niveau de performance attendue (de l'équipe ou du joueur) et l'augmentation du niveau de risque associée à la décision.

Le rapport entre l'énergie à déployer, le risque de blessure encouru, et les bénéfices potentiels doivent être au centre de la prise de décision de l'entraîneur ou du staff lors de la gestion de la charge de travail. Ainsi, un diagramme, tel que proposé dans la figure 20, pourrait être mis en place lors de la réflexion et de la prise de décision concernant la gestion de la charge de travail d'une équipe ou d'un joueur. Ce diagramme permet d'illustrer le bénéfice potentiel selon le risque encouru et l'énergie à déployer pour atteindre ce bénéfice. Plus le triangle dessiné pointe vers les bénéfices potentiels (cas de la figure 20c), plus il indique que le risque encouru et l'énergie à déployer peuvent être considérés comme acceptables.

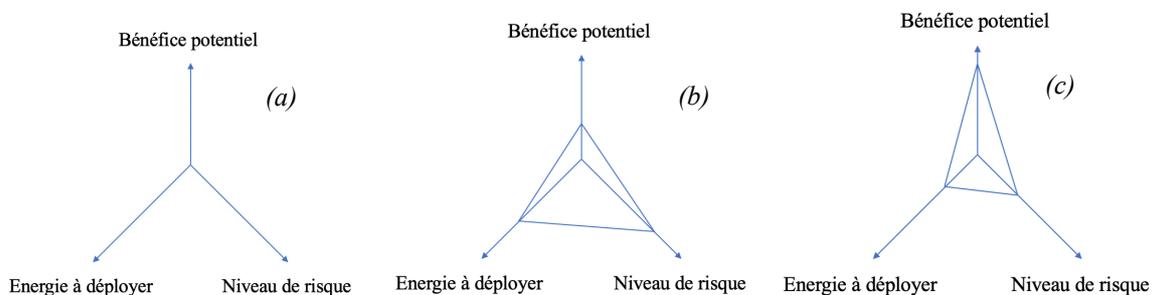


Figure 20 : *Figure d'aide à la prise de décision pour le staff, établissant le rapport entre les bénéfices potentiels, l'énergie à déployer et le niveau de risque de la stratégie mise en place.*

Les trois études menées dans cette thèse ont montré que l'utilisation d'un outil simple, rapide et gratuit, une échelle de perception de l'effort (sRPE), pouvait être un outil utile à la prévention des blessures. La sRPE, dont l'utilisation dans le football a été validée (Impellizzeri et al., 2004), permet d'obtenir une information globale sur la charge de travail subie par le joueur, et cette thèse a permis de démontrer que cet outil pouvait être utile à la prise de décision. Alors que de nombreuses technologies sont proposées dans le cadre de la gestion de la charge de

travail ou de la prévention des blessures, il est essentiel, pour les personnes en charge de la prévention ou de la gestion de la charge, d'identifier lesquelles de ces solutions peuvent apporter des informations fiables et utiles à la prise de décision ou influencer les pratiques. Dans cette optique, l'utilisation de la sRPE, un outil fiable, permettant d'obtenir une représentation globale de la charge de travail interne, et associé aux blessures, peut représenter une solution intéressante.

L'absence de capacité prédictive de la charge de travail indique également que cette dernière doit être considérée au sein d'un modèle multifactoriel de manière à mieux identifier les mécanismes amenant à la blessure. Plusieurs auteurs ont proposé des modèles de prévention des blessures, complexes et dynamiques, basés sur les interactions entre les différents facteurs associés à la blessure (Bittencourt et al., 2016 ; Meeuwisse et al., 2007). La figure 20 est une proposition d'adaptation du modèle de Bittencourt et al. (2016) avec quelques hypothèses d'interactions entre la charge de travail et d'autres facteurs qui ont été associés à l'incidence des blessures dans la littérature scientifique. Des études ont démontré des associations entre le type d'entraîneur (Ekstrand et al., 2018), la mise en place d'un programme de renforcement musculaire préventif (Arnason et al., 2008), le niveau de condition physique, et en particulier le niveau de force des joueurs (Timmins et al., 2016), la fatigue (Ekstrand et al., 2011b), l'anxiété (Ivarsson et Johnson, 2010) et l'incidence des blessures. Après avoir évalué le niveau d'évidence scientifique de l'association de chacun de ces facteurs et de l'incidence des blessures, l'objectif futur serait d'étudier les interactions entre ces facteurs et l'effet de ces interactions sur l'incidence des blessures. La compréhension de la place des différents facteurs et des interactions entre les facteurs doit permettre d'affiner les modèles de prévention des blessures.

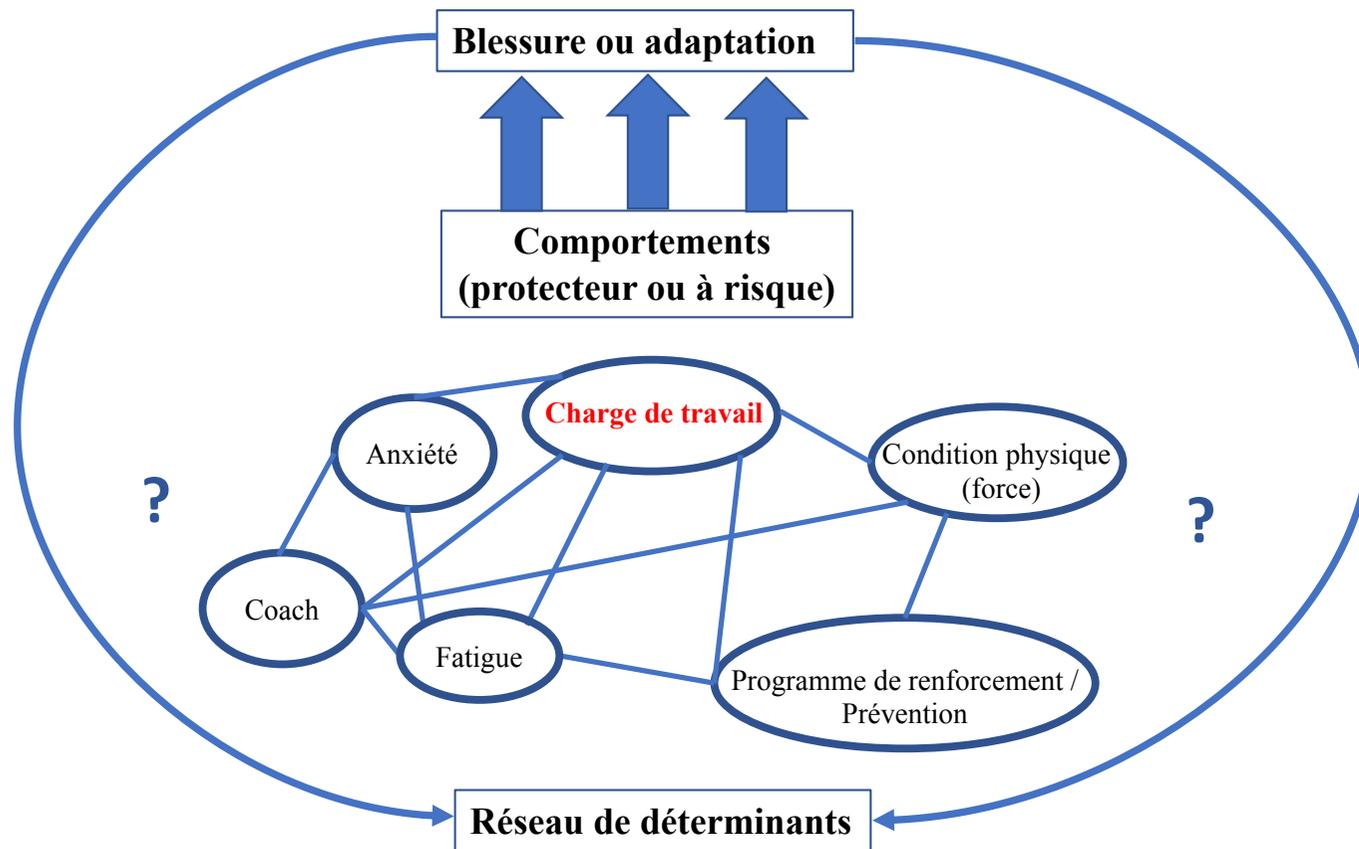


Figure 21 : Adaptations du modèle dynamique de la prévention des blessures de Bittencourt et al. (2016) au football et à la place de la charge de travail dans la prévention des blessures dans le football.

Conclusion

L'objectif de cette thèse était d'identifier les associations entre la charge de travail et l'incidence des blessures, et dans le football de haut niveau.

Pour cela, deux études de cohorte prospectives ont été menées chez les joueurs de football professionnel participant à des compétitions européennes, et une étude de cohorte prospective a été menée en centre de formation d'un club de football professionnel.

Les deux études menées dans le football professionnel ont montré des associations entre la charge de travail interne mesurée à l'aide de la sRPE et l'incidence des blessures. De manière générale, ces études ont permis d'identifier qu'une charge de travail élevée, subie sur une période de temps longue (3 ou 4 semaines) était associée à l'incidence des blessures sans contact, et que des variations de la charge quotidienne (monotonie), hebdomadaire (variations hebdomadaires), où des pics de charge (ratio de charge aigüe : chronique) étaient associés à l'incidence des blessures.

L'utilisation de la sRPE pour réaliser un suivi de la charge de travail à visée préventive peut être recommandée dans le football professionnel. Il est recommandé de favoriser une charge de travail régulière dans le cadre de la prévention des blessures dans le football professionnel. Les résultats de ces études ont également démontré l'incapacité de la charge de travail, analysée de manière isolée, à prédire la blessure. La charge de travail interne, mesurée à l'aide de la sRPE est un outil préventif, mais non prédictif de la blessure et la place de la sRPE dans la prise de décision pour prévenir les blessures ne doit pas être surestimée.

Chez les jeunes joueurs de haut niveau évoluant en centre de formation, une association entre la charge de travail interne mesurée à l'aide de la sRPE a été identifiée chez les joueurs de la catégorie U21. Une charge élevée subie sur 4 semaines était associée à une augmentation de l'incidence des blessures. Aucune association n'a été identifiée chez les U19. Ce résultat pourrait être expliqué par une puissance statistique trop faible, ou un manque de sensibilité de la sRPE au sein des joueurs de cette catégorie.

La charge de travail est aujourd'hui associée à l'incidence des blessures, mais aucune étude n'a cherché à évaluer le lien de causalité entre charge de travail et blessures, ce qui limite les applications pratiques et les recommandations de gestion de la charge de travail. Les résultats de cette thèse doivent encourager le suivi de la charge de travail interne mesurée à l'aide de la sRPE chez les praticiens, et la mise en place de nouvelles études permettant d'améliorer le niveau d'évidence scientifique de ces relations et la compréhension des mécanismes potentiels de l'association entre charge de travail et incidence des blessures dans le football de haut niveau. Dans une société inondée par l'information, il apparaît essentiel de pouvoir discriminer les informations utiles du bruit. La prise en compte du bruit amène à une perte de temps et

d'énergie, et est en cela néfaste à la performance. Avant la mise en place d'une récolte d'informations ou de données, les praticiens doivent se demander quel sera l'impact de ces informations sur leur prise de décision et si ces informations amèneront à des modifications de leurs pratiques. Pour répondre à cette question, le niveau de fiabilité de l'outil utilisé doit être évalué, et le niveau de réponse apporté par l'outil en rapport avec les questions soulevées par la pratique doit être évalué de manière à optimiser le temps, l'argent dépensé et l'énergie déployée dans la récolte et l'analyse d'informations. L'objectif de cette thèse était de déterminer si la sRPE pouvait être un outil utile à la prise de décision. En ce sens, les niveaux d'évidence scientifique des études analysées dans la revue de littérature de cette thèse, et des études menées, concernant les associations de la sRPE avec le niveau de performance et l'incidence des blessures sont encourageants, montrant un potentiel réel de la sRPE dans l'aide à la prise de décision.

Perspectives

Dans la revue de littérature de cette thèse, l'absence de données épidémiologiques issues d'études de cohortes larges chez les jeunes joueurs évoluant en centre de formation a été mise en évidence. Il a été démontré dans plusieurs études (Dupont et al., 2010 ; Bengtsson et al., 2013 ; 2018) que l'incidence des blessures était augmentée lorsque 2 à 3 matchs étaient joués par semaine en comparaison avec un calendrier normal avec un match par semaine. La mise en place en 2013 d'une compétition européenne (Youth League) pour les catégories U19 des meilleurs clubs européens est à l'origine de semaines lors desquelles plusieurs matchs sont joués avec des périodes de récupération restreintes. L'effet de cette compétition sur l'incidence des blessures dans cette catégorie d'âge n'a jamais été évalué. Il serait intéressant d'évaluer l'effet de ces matchs séparés par des périodes de récupération courtes sur l'incidence des blessures en U19.

Ce travail de thèse a permis d'identifier des associations entre la charge de travail et l'incidence des blessures dans le football de haut niveau (professionnel et centre de formation). Cependant, un facteur associé ne peut être considéré comme un facteur de risque que si le lien de causalité entre le facteur et l'incidence des blessures est établi. Pour établir ce lien de causalité, des études randomisées contrôlées du niveau d'évidence scientifique le plus élevé selon les critères d'Harbour et Miller (2001) sont nécessaires. La mise en place de ces études randomisées contrôlées paraît difficile, puisqu'elles nécessitent de modifier volontairement la charge de travail entre deux groupes, selon des seuils de risques identifiés dans les études de cohorte réalisées, alors que tous les autres facteurs associés à la blessure sont contrôlés. Toutefois, des études où la charge de travail est suivie et contrôlée pour correspondre aux recommandations identifiées dans les études de cohorte, et un groupe dans lequel la charge de travail n'est pas contrôlée, pourraient être imaginées pour évaluer les effets du contrôle de la charge de travail sur l'incidence des blessures. Comme pour les études de cohorte, ces études devraient comprendre des groupes de sujets larges et issus de différentes équipes, dans différents clubs. L'étude des interactions entre la charge de travail et les autres facteurs associés à la blessure pourrait permettre de comprendre les mécanismes à l'origine de la blessure et donc, la manière dont la charge de travail peut causer la blessure. Une charge de travail importante est associée à l'incidence des blessures, les modèles complexes dynamiques reposent sur la récursivité du modèle : la présence d'un facteur associé à la blessure lors de la pratique, sans survenue de blessure, provoque une adaptation du joueur et modifie le futur risque de blessure de ce joueur. Une étude menée dans le football australien a montré que l'exposition répétée à des charges de travail élevées réduisait le risque de survenue des blessures lors de nouvelles expositions à des niveaux de charge de travail élevés (Colby et al., 2018). Des études menées dans le football

australien ont montré que lors de la première année au niveau professionnel, la première blessure dans la saison survenait plus rapidement que chez les joueurs plus expérimentés (Fortington et al., 2016). L'une des hypothèses pourrait être que l'écart entre la charge de travail d'un joueur en centre de formation et un joueur professionnel est trop important. Dès lors, il serait intéressant d'évaluer les effets d'une charge de travail importante lors de la période de formation du joueur sur le niveau de risque de blessure lorsque ce joueur devient professionnel. La charge de travail optimale en formation deviendrait alors le compromis entre le niveau de risque de blessure, le niveau de charge permettant une optimisation de développement des qualités du joueur, et le niveau de charge optimal permettant à ce joueur d'encaisser les charges de travail au niveau professionnel et de diminuer le risque de blessure lors de son passage en professionnel.

A notre connaissance, chez les joueurs en formation, il n'existe aujourd'hui aucune recommandation sur la gestion de la charge de travail lors du pic de croissance. Une étude a démontré une association de l'incidence des blessures lors de cette période (van der Sluis et al., 2014), mais la faible validité des équations utilisées dans cette étude pour estimer le pic de croissance limite les conclusions qui peuvent en être tirées (Malina et al., 2014). Des études visant à évaluer les associations entre le pic de croissance et l'incidence des blessures, et à établir les interactions entre le pic de croissance et la charge de travail dans la survenue des blessures pourraient être mises en place.

Les prochaines études concernant l'association entre les facteurs associés à la blessure et l'incidence des blessures devront utiliser un modèle dynamique complexe dans lequel la charge de travail sera placée selon ses interactions avec les autres facteurs associés. Aucune des interactions décrites dans la figure 21 n'est, à notre connaissance, démontrée scientifiquement. L'étude de ces interactions semble être une perspective intéressante pour les futures études de prévention des blessures dans le football de haut niveau.

Références

1. Abt G., Benson A.C. (2018) The validity and inter-device variability of the Apple Watch for measuring maximal heart rate. *Journal of Sports Sciences*, 36, 1447-1452.
2. Achten J., Jeukendrup A.E. (2003) Heart rate monitoring : Applications and limitations. *Sports Medicine*, 33, 517-538.
3. Agence Nationale d'accréditation et d'évaluation en Santé, pour la Haute Autorité de Santé (2003) Principes méthodologiques pour la gestion des risques en établissement de santé.
4. Akenhead R., and Nassis G.P. (2016) Training Load and Player Monitoring in High-Level Football: Current Practice and Perceptions. *International Journal of sports Physiology and Performance*, 11, 587-793.
5. Akubat I., Patel E., Barrett S., Abt G. (2012) Methods of monitoring the training and match load and their relationship to changes in fitness in professional youth soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 30, 1473-1480.
6. Alexiou H., Coutts A.J. (2008) A comparison of methods used for quantifying internal training load in women soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 3, 320-330.
7. American College of Sports Medicine (1978) Quantity and quality of exercise for developing and maintaining fitness in healthy adults. *The Physician and Sports Medicine*, 6, 39-41.
8. American College of Sports Medicine (1990) American College of Sports Medicine position stand. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness in healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22, 265-274.
9. American college of Sports Medicine position stand (1998) American College of Sports Medicine position stand. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in

- healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30, 975-991.
10. Andrzejewski M., Chmura J., Pluta B., Strzelczyk R., Kasprzak A. (2013) Analysis of sprinting activities of professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27, 2134-2140.
 11. Arnason A., Gudmundsson A., Dahl H.A., Johannsson E. (1996) Soccer injuries in Iceland. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 6, 40-45.
 12. Arnason A., Sigurdsson S.B., Gudmundsson A., Holme I., Engebretsen L., Bahr R. (2004a) Physical fitness, injuries and team performance in soccer. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36, 278-285.
 13. Arnason A., Sigurdsson S.B., Gudmundsson A., Holme I., Engebretsen L., Bahr R. (2004b) Risk factors for injuries in football. *The American Journal of Sports Medicine*, 32, 5S-16S.
 14. Arnason A, Andersen TE, Holme I, Engebretsen L, Bahr R (2008). Prevention of hamstring strains in elite soccer : an intervention study. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 18, 40-48.
 15. Askling C., Karlsson J., Thorstensson A. (2003) Hamstring injury occurrence in elite soccer players after preseason strength training with eccentric overload. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 13, 244–50.
 16. Bacon C.S., Mauger A.R. (2017) Prediction of overuse injuries in professional U18-U21 footballers using metrics of training distance and intensity. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31, 3067-3076.
 17. Bahr R., Holme I. (2003) Risk factors for sports injuries – A methodological approach. *British Journal of Sports Medicine*, 37, 384-392.
 18. Bahr R., Krosshaug T. (2005) Understanding injury mechanisms: a key component of preventing injuries in sport. *British Journal of Sports Medicine*, 39, 324-329.
 19. Bahr R. (2016) Why screening tests to predict injury do not work – and probably never

- will...: a critical review. *British Journal of Sports Medicine*, 50, 776-780.
20. Bahr R., Clarsen B., Ekstrand J. (2018) Why we should focus on the burden of injuries and illnesses, not just their incidence. *British Journal of Sports Medicine*, 52, 1018-1021.
 21. Bangsbo J., Lindquist F. (1992) Comparison of various exercise test with endurance performance during soccer in professional players. *International Journal of Sports Medicine*, 13, 125-132.
 22. Bangsbo J., Mohr M., Krstrup P. (2006) Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Journal of Sports Sciences*, 24, 665-674.
 23. 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, 37-51.
 24. Banister, E. W. (1991) Modeling elite athletic performance. In H. Green, J. McDougall and H. Wenger (Eds.), *Physiological testing of elite athletes* (pp. 403 – 424). Champaign, IL: Human Kinetics.
 25. Bass A.L. (1967) Injuries of the lower limb in football: Injuries of the leg in football and ballet. *The Royal Society of Medicine Journal*, 60, 527-530.
 26. Beato M., Devereux G., Stiff A. (2018) Validity and reliability of global positioning system units (STATSports Viper) for measuring distance and peak speed in sports. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32, 2831-2837.
 27. Bengtsson H., Ekstrand J., Hägglund M. (2013) Muscle injury rate in professional football increase with fixture congestion: an 11-year follow-up of the UEFA Champions League injury study. *British Journal of Sports Medicine*, 47, 743-747.
 28. Bengtsson H., Ekstrand J., Walden M., Hägglund M. (2018) Muscle injury rate in professional football is higher in matches played within 5 days since the previous match: a 14-year prospective study with more than 130 000 match observations. *British Journal of Sports Medicine*, 52, 1116-1122.

29. Bilsborough J.C., Greenway K., Opar D., Livingstone S., Cordy J., Coutts A.J. (2014) The accuracy and precision of DXA for assessing body composition in team sport athletes. *Journal of Sports Sciences*, 32, 1821-1828.
30. Bittencourt N.F.N, Meeuwisse W.H., Mendonça L.D., Nettel-Aguirre A., Ocarino J.M., Fonseca S.T. (2016) Complex systems approach for sports injuries: moving from risk factor identification to injury pattern recognition-narrative review and new concept. *British Journal of Sports medicine*, 50, 1309-1314.
31. Bjerneboe J., Bahr R., Andersen T.E. (2014) Gradual increase in the risk of match injury in Norwegian male professional football: A 6-year prospective study. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 24, 189-196.
32. Blanch P., Gabbett T.J. (2016) Has the athlete trained enough to return to play safely? The acute:chronic workload ratio permits clinicians to quantify a player's risk of subsequent injury. *British Journal of Sports Medicine*, 50, 471-475.
33. Borg G., Hassmen P., Lagerström M. (1987) Perceived exertion related to heart rate and blood lactate during arm and leg exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 65, 679-685.
34. Borg G. (1990) Psychophysical scaling with applications in physical work and the perceived exertion. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 16, 55-58.
35. Borg E., Borg G. (2002) A comparison of AME and CR100 for scaling perceived exertion. *Acta physiologica*, 109, 157-175.
36. Borresen J., Lambert M.I. (2009) The quantification of training load, the training response and the effect of performance. *Sports Medicine*, 39, 779-795.
37. Bourdon P.C., Cardinal M., Murray A., Gatin P., Kellmann M., Varley M.C., Gabbett T.J., Coutts A.J., Burgess D.J., Gregson W., Cable T. (2017). Monitoring athlete training loads: Consensus statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12, 161-170.
38. Bourne M.N., Opar D.A., Williams M.D., Shield A.J. (2015) Eccentric knee flexor strength and risk of hamstring injuries in rugby union: A prospective study. *American*

Journal of Sports Medicine, 43, 2663-2670.

39. Bowen L., Gross A.S., Gimpel M., Li F.X. (2017) Accumulated workloads and the acute:chronic workload ratio relate to injury risk in elite youth football players. *British Journal of Sports Medicine*, 51, 452-459.
40. Bradley P.S., Sheldon W., Wooster B., Olsen P., Boanas P., Krstrup P. (2009) High-intensity running in English FA Premier League soccer matches. *Journal of Sports Sciences*, 27, 159-168.
41. Brink M.S., Visscher C., Arends S., Zwerver J., Post W.J., Lemmink K.A.P.M. (2010) Monitoring stress and recovery: new insights for the prevention of injuries and illnesses in elite youth soccer players. *British Journal of Sports Medicine*, 44, 809-815.
42. Brooks J.H.M., Fuller C.W. (2006) The influence of methodological issues on the results and conclusions from epidemiological studies of sports injuries: Illustrative examples. *Sports Medicine*, 36, 459-462.
43. Buchheit M., Mendez-Villanueva A. (2013) Reliability and stability of anthropometric and performance measures in highly-trained young soccer players: effect of age and maturation. *Journal of Sports Sciences*, 31, 1332-1343.
44. Buchheit M., Allen A., Poon T.K., Modonutti M., Gregson W., Di Salvo V. (2014) Integrating different tracking systems in football: multiple camera semi-automatic system, local position measurement and GPS technologies. *Journal of Sports Sciences*, 32, 1844-1857.
45. Bush M.D., Archer D.T., Hogg R., Bradley P.S. (2015) Factors influencing physical and technical variability in the English Premier League. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10, 865-872.
46. Busso T., Carasso C., Lacour J.R. (1991) Adequacy of a systems structure in the modeling of training effects on performance. *Journal of Applied Physiology*, 71, 2044-2049.
47. Campos-Vazquez M.A., Toscano-Bendala F.J., Mora-Ferrera J.C., Suarez-Arrones L.J. (2016) Relationship between internal load indicators and changes on intermittent

- performance after the pre-season in professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31, 1477-85.
48. Carey D.L., Crossley K.M., Whiteley R., Mosler A. (2018) Modeling training loads and injuries: The dangers of discretization. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 50, 2267-2276.
49. Carling C., Bloomfield J., Nelsen J., Reilly T. (2008) The role of motion analysis in elite soccer: Contemporary performance measurement techniques and work rate data. *Sports Medicine*, 38, 839-862.
50. Carling C., Orhant E. (2010) Variation in body composition in professional soccer players: inter- and intra-seasonal changes and the effects of exposure time and player position. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24, 1332-1339.
51. Carling C., Le Gall F., Dupont G. (2012a) Analysis of repeated high-intensity running performance in professional soccer. *Journal of Sports Sciences*, 30, 325-336.
52. Carling C., Le Gall F., Dupont G. (2012b) Are physical performance and injury risk in a professional soccer team in match-play affected over a prolonged period of fixture congestion? *International Journal of Sports Medicine*, 33, 36-42.
53. Carling C., Bradley P., McCall A., Dupont G. (2016a) Match-to-match variability in high-speed running activity in a professional soccer team. *Journal of Sports Sciences*, 34, 2215-2223;
54. Carling C., McCall A., Le Gall F., Dupont G. (2016b) The impact of short periods of match congestion in injury risk and patterns in an elite football club. *British Journal of Sports Medicine*, 50, 764-768.
55. Caspersen C.J., Powell K.E., Christenson G.M. (1985) Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Reports*, 100, 126-131.
56. Castagna C., Impellizzeri F.M., Chaouachi A., Bordon C., Manzi V. (2011) Effect of training intensity distribution on aerobic fitness variables in elite soccer players: a case study. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25, 66-71.

57. Castagna C., Impellizzeri F.M., Chaouachi A., Manzi V. (2013) Preseason variations in aerobic fitness and performance in elite-standard soccer players: a team study. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27, 2959-2965.
58. Cazorla G., Petitbois C., Bosquet L., Léger L. (2001) Lactate et exercice : Mythes et réalité. *STAPS*, 54, 63-71.
59. Centre national de ressources textuelles et lexicales, 2012 : <http://www.cnrtl.fr/definition/quantification>
60. Colby M.J., Dawson B., Heasman J., Rogalski B., Gabbett T.J. (2014) Accelerometer and GPS-derived running load and injury risk in elite Australian Footballers. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 28, 2244-2252.
61. Cormack S.J., Newton R.U., McGuigan R., Doyle T.L. (2008) Reliability of measures obtained during single and repeated countermovement jumps. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 3, 131-144.
62. Croisier J.L., Ganteaume S., Binet J., Genty M. (2008) Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players: A prospective study. *The American Journal of Sports Medicine*, 36, 1569-1475.
63. Dauty M., Collon S. (2011) Incidence of injuries in French professional soccer players. *International Journal of Sports Medicine*, 32, 965-969.
64. Davis J.A. (1995) Direct determination of aerobic power. Physiological assessment of human fitness, 9-17. Champaign, IL: Human Kinetics.
65. Deehan D.J., Bell K., McCaskie A.W. (2007) Adolescent musculoskeletal injuries in a football academy. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 89, 5-8.
66. Dellal A., Logo-Peñas C., Rey E., Chamari K., Orhant E. (2015) The effects of a congested fixture period on physical performance, technical activity and injury rate during matches in professional soccer team. *British Journal of Sports Medicine*, 49, 390-394.

67. Dictionnaire de l'Académie Française (2011), 9^{ème} édition : <https://www.dictionnaire-academie.fr/article/A9R2710>
68. Dictionnaire Larousse Médical : https://www.larousse.fr/encyclopedie/medical/condition_physique/12132
69. Di Salvo V., Adam C., McNeill B., Cardinale M. (2006) Validation of Prozone: A new video-based performance analysis system. *International Journal of Performance Analysis*, 6, 108-119.
70. Di Salvo V., Pigozzi F., González-Haro C., Laughlin M.S., De Witt J.K. (2013) Match performance comparison in top English soccer leagues. *International Journal of Sports Medicine*, 34, 526-532.
71. Downs S.H., Black N. (1998) The feasibility of creating a checklist for the assessment of the methodological quality both of randomized and non-randomised studies of health care interventions. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 52, 377-384.
72. Drawer S., Fuller C.W. (2002). Evaluating the level of injury in English professional football using a risk based assessment process. *British Journal of Sports Medicine*, 36, 446-451.
73. Du Plessis S., & Maennig W. (2011) The 2010 FIFA World Cup high-frequency data economics: Effects on international tourism and awareness for South Africa. *Development Southern Africa*. Development Southern Africa, 28, 349-365.
74. Dupont G., Millet G.P., Guinhouya C., Berthoin S. (2005) Relationship between oxygen uptake kinetics and performance in repeated running sprints. *European Journal of Applied Physiology*, 95, 27-34.
75. Dupont G., Nedelec M., McCall A., McCormack D., Berthoin S., Wisløff U. (2010) Effect of 2 soccer matches in a week on physical performance injury rate. *The American Journal of Sports Medicine*, 38, 9, 1752-1758.
76. Duthie G., Pyne D., Hooper S. (2003) The reliability of video based time motion analysis. *Journal of Human Movement Science*, 44, 259-272.

77. Edwards, S. (1993) High performance training and racing. In S. Edwards (Ed.), *The heart rate monitor book* (pp. 113 – 123). Sacramento, CA: Feet Fleet Press.
78. Ehrmann F.E., Duncan C.S., Sindhusake D., Franzsen W.N., Greene D.A. (2016) GPS and injury prevention in professional soccer. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30, 360-367.
79. Eirale C., Hamilton B., Bisciotti G., Grantham J., Chalabi H. (2012) Injury epidemiology in a national football team of the Middle East. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 22, 323-329.
80. Eirale C., Farooq A., Smiley F.A., Tol J.L., Chalabi H. (2013) Epidemiology of football injuries in Asia: A prospective study in Qatar. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 16; 113-117.
81. Ekstrand J., Troop H. (1990) The incidence of Ankle sprains in soccer. *The American Orthopaedic Foot and Ankle Society*, 11, 41-44.
82. Ekstrand J., Walden M., Hägglund M. (2004) A congested football calendar and the wellbeing of players: correlation between match exposure of European footballers before the World Cup 2002 and their injuries and performance during that World Cup. *British Journal of Sports Medicine*, 38, 493-497.
83. Ekstrand J., Hägglund M., Walden M. (2011a) Injury incidence and injury patterns in professional football – the UEFA injury study. *British Journal of Sports Medicine*, 45, 553-558.
84. Ekstrand J., Hägglund M., Walden M. (2011b) Epidemiology of muscle injuries in professional football (soccer). *The American Journal of Sports Medicine*, 39, 1226-1232.
85. Ekstrand J., Hägglund M., Kristenson K., Magnusson H., Walden 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.
86. Ekstrand J., Walden 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*, 50, 731-737.
87. Ergün M., Denerel N., Binnet M.S., Ertat K.A. (2013) Injuries in elite youth football players: a prospective three-year study. *Acta Orthopaedica et Traumatologica Turcica*, 47, 339-346.
 88. Fanchini M., Ferraresi I., Modena R., Schena F., Coutts A.J., Impellizzeri F.M. (2016) Use of CR100 scale for session rating of perceived exertion in soccer and its interchangeability with the CR10. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11, 388-392.
 89. Fanchini M., Rampinini E., Riggio M., Coutts A.J. Pecci C., McCall A. (2018) Despite association, the acute:chronic workload ratio does not predict non-contact injury in elite footballers. *Science and Medicine in Football*, 2, 108-114.
 90. Faude O., Koch T., Meyer T. (2012) Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *Journal of Sports Sciences*, 30, 625-631.
 91. Fessi M.S., Zarrouk N., Di Salvo V., Filetti C., Barker A.R., Moalla W. (2016) Effects of tapering on physical match activities in professional soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 34, 2189-2194.
 92. FIFA (2015) Circular no. 1494 Approval of Electronic Performance and Tracking System (EPTS) devices, 8 Juillet 2015. [https://resources.fifa.com/mm/document/affederation/administration/02/66/27/59/circularno.1494-approvalofelectronicperformanceandtrackingsystem\(epts\)devices_neutral.pdf](https://resources.fifa.com/mm/document/affederation/administration/02/66/27/59/circularno.1494-approvalofelectronicperformanceandtrackingsystem(epts)devices_neutral.pdf)
 93. FIFA (2018) FIFA World Cup Russia : Global Broadcast and audience summary. <https://resources.fifa.com/image/upload/2018-fifa-world-cup-russia-global-broadcast-and-audience-executive-summary.pdf?cloudid=njqsntrvdvqv8ho1dag5>
 94. Fitz-Clarke J.R., Morton R.H. Banister E.W. (1991) Optimizing athletic performance by influence curves. *Journal of Applied Physiology*, 71, 1151-1158.
 95. Fitzpatrick J.F., Hick K.M., Hayes P.R. (2018) Dose-response relationship between

- training load and changes in aerobic fitness in professional youth soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 19, 1-6.
96. Fortington L.V., Berry J., Buttifant D., Ullah S., Diamantopoulou K., Finch C.F. (2016) Shorter time to first injury in first year professional football players: A cross-club comparison in the Australian Football League. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 19, 18-23.
97. Foster C. (1998) Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30, 1164-1168.
98. Foster C., Florhaud J.A., Franklin J., Gottschall L., Hrovantin L.A., Parker S., Doleshal P., Dodge C. (2001) A new approach to monitoring exercise training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15, 109-115.
99. Freckleton G., Pizzari T. (2013) Risk factors for hamstring muscle strain injury in sport: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 47, 351-358.
100. Fuller C., Drawer S. (2004) The application of risk management in sport. *Sports Medicine*, 34, 349-356.
101. Fuller C.W., Ekstrand J., Junge A., Andersen T.E., Bahr R., Dvorak J., Hägglund, M., McCrory P., Meeuwisse W.H. (2006) Consensus statement on injury definitions and data collection procedures in studies of football (soccer) injuries. *British Journal of Sports Medicine*, 40, 193-201.
102. Fuller C.W. (2017) A kinetic model describing injury-burden in team sports. *Sports Medicine*, 47, 2641-2647.
103. Gabbett T.J. (2010) The development and application of an injury prediction model for noncontact, soft-tissue injuries in elite collision sport athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24, 2593-2603.
104. Gabbett T.J., Jenkins D.G. (2011) Relationship between training load and injury in professional rugby league players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 14, 204-209.

105. Gabbett T.J. (2015) Relationship between accelerometer load, collisions and repeated high-intensity effort activity in rugby league players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29, 3424-3431.
106. Gabbett T.J. (2016) The training-injury prevention paradox: should athletes be training smarter and harder? *British Journal of Sports Medicine*, 50, 273-280.
107. Galea S., Riddle M., Kaplan G.A. (2010) Causal thinking and complex system approaches in epidemiology. *International Journal of Epidemiology*, 39, 97-106.
108. Garber C.E., Blissmer B., Deschens M.R., Franklin B.A., Lamonte M.J., Lee I.M., Nieman D.C., Swain D.P., American College of Sports Medicine (2011) American college of sports medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43, 1334-1359.
109. Gatin P.B., McLean O.C., Breed R.V., Spittle M. (2014) Tackle and impact detection in elite Australian football using wearable microsensor technology. *Journal of Sports Sciences*, 32, 947-953.
110. Gil-Rey E., Lezaun A., Los Arcos A. (2015) Quantification of the perceived training load and its relationship with changes in physical fitness performance in junior soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 33, 2125-2132.
111. Green B., Pizzari T. (2017) Calf muscle strain injuries in sport: a systematic review of risk factors for injury. *British Journal of Sports Medicine*, 51, 1189-1194.
112. Haddad M., Chaouachi A., Castagna C., Wong D.P. Chamari K. (2012) The convergent validity between two objective methods for quantifying training load in young taekwondo athletes. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 26, 206-209.
113. Häggglund M., Waldén M., Ekstrand J. (2003) Exposure and injury risk in Swedish elite football: a comparison between seasons 1982 and 2001. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 13, 364-370.

114. Hägglund M., Walden M., Ekstrand J. (2005) Injury incidence and distribution in elite football—a prospective study of the Danish and the Swedish top divisions. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 15, 21-28.
115. Hägglund M., Walden M., Ekstrand J. (2013a) Risk factors for lower extremity muscle injury in professional soccer: the UEFA injury study. *The American Journal of Sports Medicine*, 41, 327-335.
116. Hägglund M., Walden M., Magnusson H., Kristenson K., Bengtsson H., Ekstrand J. (2013b). Injuries affect team performance negatively in professional football: an 11-year follow-up of the UEFA Champions League injury study. *British Journal of Sports Medicine*, 47, 738– 742.
117. Harbour R., Miller J. (2001) A new system for grading recommendations in evidence based guidelines. *British Medical Journal*, 323, 334-336.
118. Harøy J., Clarsen B., Wiger E.G., Øyen M.G., Serner A., Thorborg K., Hölmich P., Andersen T.E., Bahr R. (2018) The adductor strengthening programme prevents groin problems among male football players: a cluster-randomised controlled trial. *British Journal of Sports Medicine*, 53, 150-157.
119. Haugen T., Buchheit M. (2016) Sprint running performance monitoring: Methodological and practical considerations. *Sports Medicine*, 46, 641-656.
120. Hawkins R.D., Fuller C.W. (1998) An examination of the frequency and severity of injuries and incidents at three levels of professional football. *British Journal of Sports Medicine*, 32, 326-332.
121. Hawkins R.D., Fuller C.W. (1999) A prospective epidemiological study of injuries in four English professional football clubs. *British Journal of Sports Medicine*, 33, 196-203.
122. Hawkins R.D., Hulse M.A., Wilkinson C., Hodson A., Gibson M. (2001) The association football medical research programme: an audit of injuries in professional football. *British Journal of Sports Medicine*, 35, 43-47.

123. Heck H., Mader A., Hess G., Mücke S., Müller R., Hollmann W. (1985) Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. *International Journal of Sports Medicine*, 6, 117-130.
124. Hecksteden A., Kraushaar J., Scharhag-Rosenberg F. (2015) Individual response to exercise training – A statistical perspective. *Journal of Applied Physiology*, 118, 1450-1459.
125. Heishman A.D., Daub B.D., Miller R.M., Freitas E.D.S., Frantz B.A., Bemben M.G. (2018) Countermovement jump reliability performed with and without an arm swing in NCAA division 1 intercollegiate basketball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, publié en ligne : 21 Aout 2018.
126. Hill-Haas S.V., Dawson B., Impellizzeri F.M., Coutts A.J. (2011) Physiology of small-sided games training in football: A systematic review. *Sports Medicine*, 41, 199-220.
127. Hoff J. (2005) Training and testing physical capacities for elite soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 23, 573-582.
128. Hopkins W.G. (1991) Quantification of training in competitive sports: Methods and applications. *Sports Medicine*, 12, 161-183.
129. Hopkins W.G. (2000a) Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Medicine*, 30, 1-15.
130. Hopkins, W.G. (2000b) Precision of measurement. In: A New view of Statistics, 2000. Available at : <http://sportscience.sportsci.org/resource/stats/index.html>
131. Hopkins W.G., Marshall S.W., Batterham A.M., Hanin J. (2009) Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41, 3-13.
132. Hoppe M.W., Baumgart C., Polglaze T., Freiwald J. (2018) Validity and reliability of GPS and LPS for measuring distances covered and sprint mechanical properties in team sports. *PlosOne*, Publié en ligne : 13, e0192708.

133. Huijgen B.C.H, Elferink-Gemser M.T., Post W., Visscher C. (2010) Development of dribbling in talented youth soccer players aged 12-19 years: A longitudinal study. *Journal of Sports Sciences*, 28, 689-698.
134. Hulin B.T., Gabbett T.J., Blanch P., Chapman P., Bailey D., Orchard J.W. (2014) Spikes in acute workload are associated with increased injury risk in elite cricket fast bowlers. *British Journal of Sports Medicine*, 48, 708-712.
135. Hulin B.T., Gabbett T.J., Caputi P., Lawson D.W., Sampson J.A. (2016) Low chronic workload and the acute:chronic workload ratio are more predictive of injury than between-match recovery time: a two-season prospective cohort study in elite rugby league players. *British Journal of Sports Medicine*, 50, 1008-1012.
136. Impellizzeri F. M., Rampinini E., Coutts A.J., Sassi A., Marcora S. (2004) Use of RPE-based training load in soccer. *Medicine and Science in Sports & Exercise*, 36, 1042-1047.
137. Impellizzeri F.M., Rampinini E., Marcora S. (2005) Physiological assessment of aerobic training in soccer. *Journal of Sports Sciences*, 23, 583-592.
138. INSEE (2016) Taux d'incidence (date de publication : 13/10/2016) :
<https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1060>
139. Ivarsson A., Johnson U. (2010). Psychological factors as predictors of injuries among senior soccer players. A prospective study. *Journal of Sports Science and Medicine*, (9), 347–352.
140. Jaspers A., Kuyvenhoven J.P., Staes F., Frencken W.G.P., Helsen W., Brink M.S. (2018) Examination of the external and internal load indicators' association with overuse injuries in professional soccer players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21, 579-585.
141. Jones C.M., Griffiths P.C., Mellalieu S.D. (2017) Training load and fatigue marker associations with injury and illness: A systematic review of longitudinal studies. *Sports Medicine*, 47, 943-974.

142. Junge A., Dvorak J. (2000) Influence of definition and data collection on the incidence of injuries un football. *The American Journal of Sports Medicine*, 28, 40-46.
143. Karvonen J., Vuorimaa T. (1988) Heart rate and exercise intensity during sports activities: Practical applications. *Sports Medicine*, 5, 303-312.
144. Krstrup P., Mohr M., Amstrup T., Rysgaard T., Johansen J., Steensberg A., Pedersen P.K., Bangsbo J. (2003) The Yo-Yo intermittent recovery test: Physiological response, reliability, and validity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35, 697-705.
145. Krstrup P., Nielsen J.J., Krstrup B.R., Christensen J.F., Pedersen H., Randers M.B., Aagaard P., Petersen A.M., Nybo L., Bangsbo J., (2009) Recreational soccer is an effective health-promoting activity for untrained men. *British Journal of Sports Medicine*, 43, 825-831.
146. Lalkhen A.G., McCluskey A. (2008) Clinical tests: sensitivity and specificity. *Continuing education in anaesthesia critical care & pain*, 8, 221-223.
147. Legall F., Carling C., Reilly T., Vandewalle H., Church J., Rochcongar P. (2006) Incidence of injuries in elite French youth soccer players: a 10-season study. *The American Journal of Sports Medicine*, 34, 928-938.
148. Léger L., Boucher R. (1980) An indirect continuous running multistage field test: The Université de Montréal Track Test. *Canadian Journal of Applied Sport Sciences*, 5, 77-84.
149. Léger L., Thivierge M. (1988) Heart rate monitors: Validity, stability, and functionality. *The Physician and Sportsmedicine*, 16, 143–151.
150. Levinger I., Goodman C., Hare D.L., Jerums G., Toia D., Selig S. (2009) The reliability of the 1RM strength test for untrained middle-aged individuals. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12, 310-316.
151. Leviton L.C., Trujillo M.D. (2016) Interaction of theory and practice to assess external validity. *Evaluation Review*, 41, 436-471.

152. Los Arcos A., Yanci J., Mendiguchia J., Gorostiaga E.M. (2014) Rating of muscular and respiratory perceived exertion in professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28, 3280-8.
153. Los Arcos A., Martinez-Santos R., Yanci J., Mendiguchia J., Méndez-Villanueva A. (2015) Negative associations between perceived training load, volume and changes in physical fitness in professional soccer players. *Journal of Sports Science and Medicine*, 14, 394-401.
154. Los Arcos A., Martínez-Santos R., Yanci J., Méndez-Villanueva A. (2017) Monitoring perceived respiratory and muscular exertion and physical fitness in young professional soccer players during a 32-week period. *Kinesiology*, 49, 153-160.
155. Lu D., Howle K., Waterson A., Duncan C., Duffield R. (2017) Workload profiles prior to injury in professional soccer players. *Science and Medicine in Football*, 1, 237-243.
156. Lüthje P.N., Belt K.M., Kaukonen H.P., Kokko K.H., Lehtipuu T.P., Lehtonen A., Myllyniemi J., Rasilainen P., Tolvanen E., Virtanen H., Walden M. (1996) Epidemiology and traumatology of injuries in elite soccer: a prospective study in Finland. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 6, 180-185.
157. Lyman S., Fleisig G., Andrews J.R., Osinski E.D. (2002) Effect of pitch type, pitch count, and pitching mechanics on risk of elbow and shoulder pain in youth baseball pitchers. *The American Journal of Sports Medicine*, 30, 463-468.
158. Macfarlane D.J. (2001) Automated Metabolic gas analysis systems : A review. *Sports Medicine*, 31, 841-861.
159. Maffiuletti N.A., 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*, 27, 346-353.
160. Malina R.M., Koziel S.M. (2014) Validation of maturity offset in a longitudinal sample of Polish boys. *Journal of Sports Sciences*, 32, 424-437.
161. Mallo J., Dellal A. (2012) Injury risk in professional football players with

special reference to the playing position and training periodization. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 52, 631-638.

162. Malone J.J., Lovell R., Varley M.C., Coutts A.J. (2017) Unpacking the black box: Applications and considerations for using GPS devices in sport. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12, S218-S226.
163. Malone S., Owen A., Newton M., Mendes B., Collins K.D., Gabbett T. J. (2017) The acute:chronic workload ratio in relation to injury risk in professional soccer. *Journal of Science & Medicine in Sport*, 20, 561-565.
164. Malone S., Owen A., Mendes B., Hugues B., Collins K., Gabbett T.J. (2018) High-speed running and sprinting as an injury risk factor in soccer: Can well-developed physical qualities reduce the risk? *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21, 257-262.
165. Manzi V., Bovenzi A., Impellizzeri F.M., Carminati I, Castagna C. (2013) Individual training-load and aerobic fitness variables in premiership soccer players during the precompetitive season. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27, 631-636.
166. McCall A., Carling C., Nedelec M., Davison M., Le Gall F., Berthoin S., Dupont G. (2015a) Risk factors, testing and preventative strategies for non-contact injuries in professional football: current perceptions and practices of 44 teams from various premier leagues. *British Journal of Sports Medicine*, 49, 583-589.
167. McCall A., Carling C., Davison M., Nédélec M., Le Gall F., Berthoin S., Dupont G. (2015b) 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.
168. McCall A., Fanchini M., Coutts A.J. (2017) Prediction: The modern-day sport-science and sports-medicine “quest for the holy grail”. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12, 704-706.

169. McCall A., Jones M., Gelis L., Duncan C., Ehrmann F., Dupont G., Duffield R. (2018a) Monitoring loads and non-contact injury during the transition from club to National team prior to an international football tournament: A case study of the 2014 FIFA World Cup and 2015 Asia Cup. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21, 800-804.
170. McCall A., Dupont G., Ekstrand J. (2018b) Internal workload and non-contact injury: a one-season study of five teams from the UEFA Elite Club Injury Study. *British Journal of Sports Medicine*, 52, 1517-1522.
171. Meeuwisse W.H. (1994) Assessing causation in sport injury: a multifactorial model. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 4, 166-170.
172. Meeuwisse W.H., Tyreman H., Hagel B., Emery C. (2007) A dynamic model of etiology in sport injury: The recursive nature of risk and causation. *Clinical Journal of Sports Medicine*, 17, 215-219.
173. Mendez-Villanueva A., Buchheit M. (2013) Football-specific fitness testing: adding value or confirming the evidence? *Journal of Sports Sciences*, 31, 1503-1508.
174. Ministère des Sports (2011) Les chiffres-clés du sport, Décembre 2011.
http://www.sports.gouv.fr/IMG/archives/pdf/Chiffres-Cles_du_Sport_-_dec-2011-2.pdf
175. Moher D., Hopewell S., Schulz K.F., Montori V., Gøtzche P.C., Devereaux P.J., Elbourne D., Egger M., Altman D.G. (2010) CONSORT 2010 Explanation and Elaboration: updated guidelines for reporting parallel group randomized trials. *British Medical Journal*, 340, c:689.
176. Mohr M., Krstrup P., Bangsbo J. (2003) Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of Sports Sciences*, 21, 519-528.
177. Mohr M., Krstrup P. (2013) Yo-Yo intermittent recovery test performances within an entire football league during a full season. *Journal of Sports Sciences*, 32, 315-327.

178. Morgan W.P. (1994) Physical components of effort sense. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26, 1071-1077.
179. Morgan B.E., Oberlander M.A. (2001) An examination of injuries in Major League Soccer: The inaugural season. *The American Journal of Sports Medicine*, 29, 426-430.
180. Morton R.H., Fitz-Clarke J.R., Banister E.W. (1990) Modeling human performance in running. *Journal of Applied Physiology*, 69, 1171-1177.
181. Mujika I. (1998) The influence of training characteristics and tapering on the adaptation in highly trained individuals: A review. *International Journal of Sports Medicine*, 19, 439-446.
182. Mujika E., Padilla S. (2000) Detraining: Loss of training-induced physiological and performance adaptations. Part 1: Short term insufficient training stimulus. *Sports Medicine*, 30, 79-87.
183. Murray N.B., Gabbett T.J., Townshend A.D., Blanch P. (2017) Calculating acute:chronic workload ratios using exponentially weighted moving averages provides a more sensitive indicator of injury likelihood than rolling averages. *British Journal of Sports Medicine*, 51, 749-754.
184. Nassis G.P., Gabbett T.J. (2017) Is Workload associated with injuries and performance in elite football? A call for action. *British Journal of Sports Medicine*, 51, 486-487.
185. Nédélec 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, 1517-1523.
186. Nédélec M., McCall A., Carling C., Legall F., Berthoin S., Dupont G. (2012) Recovery in soccer : Part I – Post-Match fatigue and time course of recovery. *Sports Medicine*, 42, 997-1015.
187. Nielsen A.B., Yde J. (1989) Epidemiology and traumatology of injuries in soccer. *The American Journal of Sports Medicine*, 17, 803-807.

188. Nilsson T., Östenberg A.H., Alricsson M. (2016) Injury profile among elite male youth soccer players in a Swedish first league. *Journal of Exercise Rehabilitation*, 12, 83-89.
189. Nikolaidis P.T., Clemente F.M., van der Linden C.M.I., Rosemann T., Knechtle B. (2018) Validity and reliability of 10-Hz global positioning system to assess in-line movement and change of direction. *Frontiers in physiology*, 9, 228.
190. Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Thème de santé > Facteurs de risque. https://www.who.int/topics/risk_factors/fr/
191. Owen A.L., Forsyth J.J., Wong D.P., Dellal A., Connelly S.P., Chamari K. (2015) Heart rate-based training intensity and its impact of injury incidence among elite-level professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29, 1705-1712.
192. Page P. (2014) Beyond statistical significance: Clinical interpretation of rehabilitation research literature. *The International Journal of Sports Physical Therapy*, 9, 726-736.
193. Parry L., Drust B. (2006) Is injury the major cause of elite soccer players being unavailable to train and play during the competitive season? *Physical Therapy in Sport*, 7, 58-64.
194. Pearson K., (1904) On the theory of contingency and its relation to association and normal correlation. *Mathematical Contributions to the theory of evolution. London, Dulau and Co.*
195. Peterson L., Junge A., Chomiak J., Graf-Bauman T., Dvorak J. (2000) Incidence of football injuries and complaints in different age groups and skill-level groups. *The American Journal of Sports Medicine*, 28, 51-57.
196. Pfirrmann D., Herbst M., Ingelfinder P., Simon P., Tug S. (2016) Analysis of injury incidences in male professional adult and elite youth soccer players: a systematic review. *Journal of Athletic Training*, 51, 410-424.

197. Pluim B.M., Raftery M., Budgett R., Engebretsen L. (2016) How much is too much? (Part 2) International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of illness. *British Journal of Sports Medicine*, 50, 1043-1052.
198. Pol R., Hristovski R., Medina D., Balague N. (2018) From microscopic to macroscopic sports injuries. Applying the complex dynamic systems approach to sports medicine: a narrative review. *British Journal of Sports Medicine*, publié en ligne: 19 Avril 2018.
199. Quatman C.E., Quatman C.C., Hewett T.E. (2009) Prediction and prevention of musculoskeletal injury: a paradigm shift in methodology. *British Journal of Sports Medicine*, 43, 1100-1107.
200. Rago V., Brito J., Figueiredo P., Carvalho T., Fernandes T., Fonseca P., Rebelo A. (2018) Countermovement jump analysis using different portable devices: Implications of field testing. *Sports (Basel)*, 6, 91.
201. Rampinini E., Impellizzeri F.M., Castagna C., Coutts A.J., Wisløff U. (2009) Technical performance during soccer matches of the Italian Serie A league: Effect of fatigue and competitive level. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12, 227-233.
202. Raya-González J., Nakamura F.Y., Castillo D., Yanci J., Fanchini M. (2019) Determining the relationship between internal load markers and non-contact injuries in young elite soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, publié en ligne avant parution : 18, 1-5.
203. Read P.J., Oliver J.L., De Ste Croix M.B.A., Myer G.D., Lloyd R.S. (2018) An audit of injuries in six English professional soccer academies. *Journal of Sports Sciences*, 36, 1542-1548.
204. Redwood-Brown A., O'Donoghue P.G., Nevill A.M., Saward C., Dyer N., Sunderland C. (2018) Effect of the situational variables on the physical activity profiles of elite soccer players in different score line states. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 28, 2515-2528.
205. Reilly T., George K., Marfell-Jones M., Scott M., Sutton L., Wallace J.A. (2009)

How well do skinfold equations predict percent body fat in elite soccer players?
International Journal of Sports Medicine, 30, 607-613.

206. Reilly T., Thomas V.A. (1976) A motion analysis of work-rate in different positional roles in professional football match-play. *Human Movement Study*, 97.
207. Renshaw A., Goodwin P.C. (2016) Injury incidence in a Premier League youth soccer academy using the consensus statement: a prospective cohort study. *British Medical Journal Open Sport & exercise medicine*, 2: e000132.
208. Rickles D., Hawe P., Shiell A. (2007) A simple guide to chaos and complexity. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 61, 933-937.
209. Roberts S., Trewartha G., Stokes, K. (2006) A comparison of time-motion analysis methods for field-based sports. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1, 388-399.
210. Rossi A., Pappalardo L., Cintia P., Iaia F.M., Fernández J., Medina D. (2018) Effective injury forecasting in soccer with GPS training data and machine learning. PLoS ONE, publié en ligne : 13, e0201264.
211. Rowell A.E., Aughey R.J., Hopkins W.G., Esmeaeili A., Lazarus B., Cormack S.J. (2018) Effects of training and competition load on neuromuscular recovery, testosterone, cortisol and match performance during a season of professional football. *Frontiers in Physiology*, eCollection 2018, 668.
212. Salgueiro Da Silva, M. A., Seixas, T. M. (2017). The role of data range in linear regression. *The Physics Teacher*, 55, 371–372.
213. Saw A.E., Main L.C., Gatin P.B. (2016) Monitoring the athlete training response: subjective self-reported measures trump commonly used objective measures: a systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 50, 281-291.
214. Scott B.R., Lockie R.G., Knight T.J., Clark A.C., de Jonge X.A.K.J (2013) A comparison of methods to quantify the in-season training load of professional soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8, 195-202.

215. Scott M.T.U., Scott T.J.U., Kelly V.G. (2016) The validity and reliability of global positioning systems in team sport: A brief review. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 30, 1470-1490.
216. Sedgwick P. (2013a) Logistic regression. *British Medical Journal*, 347, f4488.
217. Sedgwick P. (2013b) Multiple linear regression. *British Medical Journal*, 347, f4373.
218. Sedgwick P. (2013c) Simple linear regression. *British Medical Journal*, 346, f2340.
219. Sedgwick P. (2014) Poisson regression. *British Medical Journal*, 349, g6150.
220. Sharpe W.F. (1994) The Sharpe Ratio. *The Journal of Portfolio Management*, 21, 49-58.
221. Shea B.J., Grimshaw J.M., Well G.A., Boers M., Andersson N., Hamel C., Porter A.C., Tugwell P., Moher D., Bouter L.M. (2007) Development of AMSTAR: a measurement tool to assess the methodological quality of systematic reviews. *Biomed Central Medical Research Methodology*, 2007, 15, 10.
222. Silva J.R., Magalhães J.F., Ascensão A.A., Oliveira E.M., Seabra A.F., Rebelo A.N. (2011) Individual match playing time during the season affects fitness-related parameters of male professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25, 2729-2739.
223. Stevens S.S. (1966) Matching functions between loudness and ten other continua. *Perception and Psychophysics*, 1, 5-8.
224. Soligard T., Schwelnus M., Alonso J.M., Bahr R., Clarsen B., Dijkstra H.P., Gabbett T.J., Gleeson M., Hägglund M., Hutchinson M.R., Van Rensburg C.J., Khan K., Meeusen R., Orchard J.W., Pluim B.M., Raftery M., Budgett R., Engebretsen L. (2016) How much is too much (Part 1) International Olympic committee consensus statement on load in sport and risk of injury. *British Journal of Sports Medicine*, 50, 1030-1041.

225. Taylor K.L., Cronin J., Gill N.D., Chapman D.W., Sheppard J. (2010) Sources of variability in iso-inertial jump assessments. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5, 546-558.
226. Taylor K.L., Chapman D.W., Cronin J.B., Newton M.J., Gill N. (2012) Fatigue monitoring in high performance sport: a survey of current trends. *Journal of Australian Strength & Conditioning*, 20, 12-23.
227. Terbizan D.J., Dolezal B.A., Albano C. (2002) Validity of seven commercially available heart rate monitors. *Measurement in physical education and exercise science*, 6, 243-247.
228. Thomas A., Dawson B., Goodman C. (2006) The Yo-Yo test: Reliability and association with a 20-m shuttle run and VO_{2max} . *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1, 137-149.
229. Thorborg K., Krommes K.K., Esteve E., Clausen M.B., Bartels E.M., Rathless M.S. (2017) Effect of specific exercise-based football injury prevention programmes on the overall injury rate in football: a systematic review and meta-analysis of the FIFA 11 and 11+ programmes. *British Journal of Sports Medicine*, 51, 562-571.
230. Thorpe R.T., Strudwick A.J., Buccheit M., Atkinson G., Drust B., Gregson W. (2015) Monitoring fatigue during the in-season competitive phase in elite soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10, 958-964.
231. Timmins R.G., Bourne M.N., Shield A.J., Williams M.D., Lorenzen C., Opar D.A. (2016) Short biceps femoris fascicles and eccentric knee flexor and eccentric knee flexor weakness increase the risk of hamstring injury in elite football (soccer): a prospective cohort study. *British Journal of Sports Medicine*, 50, 1524-1535.
232. Tourny C., Sangnier S., Cotte T., Langlois R., Coquart J. (2014) Epidemiologic study of young soccer player's injuries in U12 to U20. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 54, 526-535.
233. Van der Sluis A., Elferink-Gemser M.T., Coelho-e-Silva M.J., Nijboer J.A., Brink M.S., Visscher C. (2014) Sport injuries aligned to peak height velocity in talented

- pubertal soccer players. *International Journal of Sports Medicine*, 35, 351-355.
234. Van Dyk N., Bahr R., Burnett A.F., Whiteley R., Bakken A., Mosler A., Farooq A., Witvrouw E. (2017) A comprehensive strength testing protocol offers no clinical value in predicting risk of hamstring injury: a prospective cohort study of 413 professional football players. *British Journal of Sports Medicine*, 51, 1695-1702.
235. van Mechelen, Hlobil H., Kemper H.C.G. (1992) Incidence, severity, aetiology and prevention of sports injuries: A review of concepts. *Sports Medicine*, 14, 82-99.
236. Viera, A.J. (2008) Odds ratios and risk ratios: What's the difference and why does it matter? *Southern Medical Journal*, 101, 730-734.
237. von Elm E., Altman D.G., Egger M., Pocock S.J., Gøtzsche P.C., Vandembroucke J.P. (2007) The strengthening the reporting of observational studies in Epidemiology (STROBE) statement: guidelines for reporting observational studies. *The Lancet*, 370, 1453-1457.
238. Waldén M., Hägglund M., Ekstrand J. (2005a) Injuries in Swedish elite football – a prospective study on injury definitions, risk for injury and injury pattern during 2001. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 15, 118-125.
239. Waldén M., Hägglund M., Ekstrand J. (2005b) UEFA Champions League study: a prospective study of injuries in professional football during the 2001-2002 season. *British Journal of Sports Medicine*, 39, 542-546.
240. Weltman A., Snead D., Stein P., Seip P., Seip R., Schurrer R., Rutt R., Weltman J. (1990) Reliability and validity of a continuous incremental treadmill protocol for the determination of lactate threshold, fixed blood lactate concentrations, and VO₂max. *International Journal of Sports Medicine*, 11, 26-32.
241. Whiteley, R. (2016). Screening and likelihood ratio infographic. *British Journal of Sports Medicine*, 50, 837-838.
242. Windt J., Gabbett T.J. (2017) How do training and competition workloads relate to injury? The workload-injury aetiology model. *British Journal of Sports Medicine*, 51, 428-435.

243. Windt J., Ekstrand J., Khan K.K., McCall A., Zumbo B.D. (2018) Does player unavailability affect football teams' match physical outputs? A two-season study of the UEFA champions league. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21, 525-532.
244. Witte T.H., Wilson A.M. (2004) Accuracy of non-differential GPS for the determination of speed over ground. *Journal of Biomechanics*, 37, 1891-1898.