



HAL
open science

Intérêt des programmes d'entraînement neuromusculaire dans la prévention des blessures de genou chez le sportif

Éric Quideçon

► **To cite this version:**

Éric Quideçon. Intérêt des programmes d'entraînement neuromusculaire dans la prévention des blessures de genou chez le sportif. Sciences du Vivant [q-bio]. 2020. dumas-03118516

HAL Id: dumas-03118516

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03118516>

Submitted on 22 Jan 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**AIX-MARSEILLE UNIVERSITÉ
ÉCOLE DES SCIENCES DE LA RÉADAPTATION
FORMATION EN MASSO-KINÉSITHÉRAPIE**

**INTÉRÊT DES PROGRAMMES
D'ENTRAÎNEMENT NEUROMUSCULAIRE
DANS LA PRÉVENTION DES BLESSURES DE
GENOU CHEZ LE SPORTIF**

QUIDEÇON Eric

Directeur de mémoire : Mme. HOARAU

Remerciements

Ce mémoire est l'aboutissement de plusieurs années d'études et représente un long travail. C'est pourquoi je tenais avant tout à remercier l'ensemble des personnes ayant contribué à l'élaboration de ce travail ainsi qu'à l'accomplissement de mes études.

Premièrement, je souhaite remercier ma directrice de mémoire, Mme HOARAU, pour l'aide qu'elle a pu m'apporter.

Je tiens également à remercier l'ensemble de l'équipe pédagogique de l'institut de formation en Masso-kinésithérapie de Marseille pour m'avoir permis et aidé à acquérir les outils nécessaires à la réussite de mes études.

J'adresse aussi mes remerciements à ma famille et mes proches pour leur soutien et leur aide tout au long de ces années d'études.

Pour finir j'adresse des derniers remerciements à mes amis et futurs confrères de promotion pour leurs conseils et leur présence durant ces années d'études.

Table des matières

1	Introduction	1
1.1	Description de la pathologie et rappels.....	1
1.2	Population, contexte et épidémiologie.....	5
1.3	Description du traitement	6
1.3.1	Le contrôle neuromusculaire	6
1.3.2	Les Programmes d'entraînement neuromusculaire	6
1.4	Les facteurs de risques de blessure, hypothèses théoriques	8
1.5	Importance de la revue de littérature	9
1.6	Objectif de la revue de littérature	10
2	Méthode.....	11
2.1	Critères d'éligibilité des études pour cette revue.....	11
2.1.1	Schéma d'étude	11
2.1.2	Population/Pathologie	12
2.1.3	Intervention	12
2.1.4	Comparateur	12
2.1.5	Critères de jugement.....	12
2.2	Méthodologie de recherche des études	12
2.2.1	Sources documentaires investiguées	12
2.2.2	Equation de recherche utilisée.....	13
2.3	Méthode d'extraction et d'analyse des données	13
2.3.1	Méthode de sélection des études	13
2.3.2	Evaluation de la qualité méthodologique des études sélectionnées	14
2.3.3	Extraction des données	14
2.3.4	Méthode de synthèse des résultats	14
3	Résultats	15
3.1	Description des études	15
3.1.1	Diagramme de flux.....	15
3.1.2	Etudes exclues	17
3.1.3	Synthèse des études incluses.....	18
3.2	Risques de biais des études incluses.....	25
3.3	Effets de l'intervention sur les critères de jugements de la revue	25
3.3.1	Tableau synthétique.....	25
4	Discussion	27

4.1	Analyse des principaux résultats	27
4.1.1	Concernant le critère de jugement principal	27
4.1.2	Concernant les critères de jugements secondaires	32
4.2	Applicabilité des résultats en pratique clinique	33
4.3	Qualité des preuves.....	35
4.4	Biais potentiels de la revue.....	36
5	Conclusion.....	37
5.1	Implication pour la pratique clinique.....	37
5.2	Implication pour la recherche	38
	Bibliographie.....	38
	Annexes.....	

1 Introduction

Le thème de ce mémoire est motivé par mon attrait pour la rééducation de pathologies chez le sportif et en particulier celle concernant l'atteinte des ligaments croisés du genou. En effet chez le sportif, la rééducation, en plus de rétablir un aspect fonctionnel, doit essayer de maximiser le retour des capacités à réaliser des performances sportives. Il est également motivé par l'importance que la prévention doit avoir dans notre pratique en tant que masseur-kinésithérapeute. Après avoir effectué des recherches, le moyen tendant à être le plus répandu ainsi que le plus simple et peu coûteux à mettre en place afin de prévenir ce genre d'atteinte s'est avéré être le programme d'entraînement neuromusculaire. Il en existe une multitude et il m'est donc paru intéressant de chercher à montrer leurs réels effets.

1.1 Description de la pathologie et rappels

Rappels anatomiques :

Le genou est considéré comme l'articulation intermédiaire du membre inférieur. Il doit assurer 2 rôles impératifs contradictoires que sont la stabilité et la mobilité. Il est constitué de 2 articulations (fémoro-tibiale et fémoro-patellaire) qui mettent en relation 3 os : le fémur par ses condyles fémoraux, le tibia par son plateau tibial et la patella par sa face postérieure. En ce qui concerne l'articulation fémoro-tibiale, elle présente des surfaces osseuses qui sont non congruentes. En effet les condyles fémoraux sont convexes alors qu'au niveau du plateau tibial, la surface articulaire interne est concave transversalement et dans le sens antéropostérieur et la surface articulaire externe est concave transversalement mais convexe dans le sens antéropostérieur. Cette géométrie osseuse non congruente n'est pas en faveur d'une bonne stabilité de genou et c'est pourquoi le bon fonctionnement des structures qui entourent l'articulation comme les muscles, les ligaments et les tissus mous est important. Néanmoins cette congruence est améliorée par la présence des ménisques. Ce sont des fibrocartilages en forme de croissant (en forme de C pour le médial et de O pour le latéral). Ils permettent de mieux répartir les pressions et ont un rôle de stabilisation de l'articulation et d'amortissement. De plus, les ménisques facilitent le glissement entre les pièces osseuses en jouant un rôle lubrifiant.

L'articulation fémoro-tibiale présente principalement 2 degrés de liberté. Il y a tout d'abord un premier degré avec le mouvement de flexion/extension balayant 160°. En flexion, les condyles roulent en début de flexion puis glissent sur les glènes et les ménisques sont repoussés en arrière. En extension, les ménisques sont poussés en avant par l'action des condyles et la tension des ailerons patellaires et du ligament méniscofémoral. Le deuxième degré est celui des rotations (interne et externe) autour de l'axe longitudinal du tibia balayant 70°. Ces rotations ne peuvent être effectuées qu'avec le genou fléchi. Du fait de la géométrie osseuse, lors des rotations, le condyle externe se déplace plus. Les ménisques suivent les condyles fémoraux lors des mouvements. On peut rajouter un troisième degré de liberté, celui dans le plan frontal de majoration du valgus/varus. Ces mouvements ne sont réalisables qu'en passif et dans des amplitudes réduites.

La réalisation de ces mouvements en actif en chaîne ouverte nécessite de nombreux muscles. La flexion est principalement réalisée par le biceps fémoral, le semi-tendineux, le semi-membraneux et le gracile. Elle est aidée par le poplité, les gastrocnémiens et le sartorius. L'extension est essentiellement réalisée par le quadriceps et elle est aidée par le tenseur du fascia lata via le tractus ilio tibial en fin de mouvement. La rotation interne est réalisée par le sartorius, le semi-tendineux, le semi membraneux, le gracile et le poplité. La rotation externe est réalisée par le long et le court biceps fémoral et le tenseur du fascia lata via le tractus ilio tibial.

Afin d'assurer la stabilité du genou, il y a également la présence de nombreux ligaments.

Le système ligamentaire du genou :

○ **Les ligaments collatéraux :**

○ **Le ligament collatéral tibial (figure 1)[1]:**

Il a pour origine la partie postéro-inférieure de l'épicondyle fémoral médial. Il se dirige en bas, en avant et en dehors. Il est long, aplati et constitué d'un plan superficiel (fémorotibial) et d'un plan profond (fémoroméniscal, tibioméniscal et tibiotal). Il se termine sur la face médiale du corps du tibia en arrière de la patte d'oie dans son quart supérieur. Il permet le contrôle du valgus.

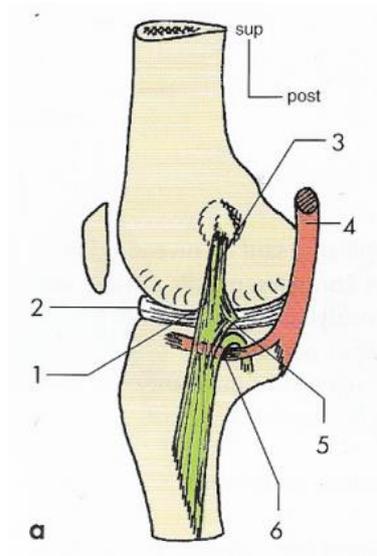


Figure 1. Vue médiale du genou

- 1. Faisceau fémorotibial
- 2. Ménisque médial
- 3. Faisceau fémoroméniscal
- 4. Tendon réfléchi du semi-membraneux
- 5. Faisceau tibioméniscal
- 6. Faisceau tibiotal

○ **Le ligament collatéral fibulaire (figure 2)[1] :**

Il a pour origine la partie postéro-inférieure de l'épicondyle fémoral latéral. Il se dirige en bas en arrière et en dedans. Il est cylindrique et se termine dans la concavité du biceps sur le versant postéro-latéral de la tête de la fibula. C'est le premier frein en varus et il limite la rotation externe à 30 ° de flexion. Il permet également un contrôle du varus.

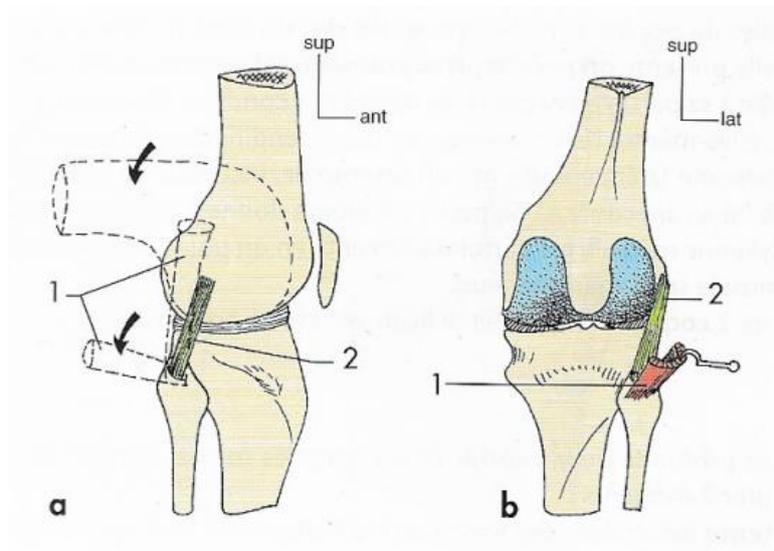


Figure 2. Vues Latérale (a) et postérieure (b) du genou

1. Biceps fémoral
2. Ligament collatéral fibulaire

○ **Le système de pivot central : Les ligaments croisés (figure 3)[1]**

Le ligament croisé antérieur a pour origine l'aire intercondyloire antérieure au niveau du tibia. Il est torsadé en 2 fascicules (antéro-médial et postéro-latéral) et se dirige en haut, en arrière et en dehors. Il se termine sur la partie postéro-supérieure de la face médiale du condyle latéral du fémur. C'est un frein à la translation antérieure du tibia. Il contrôle la laxité antéro-postérieure mais aussi la stabilité rotatoire. Le faisceau postéro-latéral assure la stabilité de la rotation interne tibiale[2]

Le ligament croisé postérieur a pour origine l'aire intercondyloire postérieure du tibia, il déborde également sur sa face postérieure. Il est lui aussi torsadé en 2 faisceaux (antéro-médial et postéro-latéral) et se dirige en haut, en avant et en dedans. Il est mieux vascularisé que le ligament croisé antérieur. Il se termine dans la partie antéro supérieure de la face latérale du condyle médial du fémur. Il absorbe 90% des contraintes contre la translation tibiale postérieure[2].

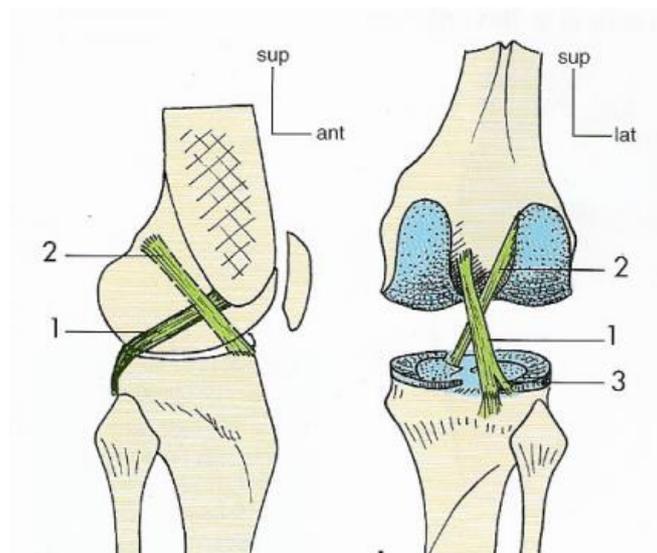


Figure 3. Vues sagittale (a) et frontale (b) du genou

1. Ligament croisé postérieur
2. Ligament croisé antérieur
3. Ligament méniscofémoral

Les entorses de genou représentent la plus grande majorité des cas rentrant dans le terme « blessure de genou ». Dans un rapport de 2012, la HAS les définit comme toutes les distensions ou les ruptures des ligaments du genou altérant la stabilité de l'articulation du genou. Elles peuvent être bénignes avec une simple distension des formations capsulo-ligamentaires ou graves avec une rupture de ces formations. Les entorses bénignes correspondent la plupart du temps à une atteinte des ligaments collatéraux. [3]

Le mécanisme des entorses comprend une composante de torsion, le membre inférieur étant en appui bloqué au sol. Il peut également y avoir une composante de valgus ou de varus. Dans la plupart des cas, elles surviennent dans le cadre de la pratique sportive, notamment dans les « sports de pivot ».

Pour une atteinte du ligament collatéral médial qui est le plus fréquemment atteint lors des traumatismes du genou avec atteintes des ligaments collatéraux, le mécanisme s'effectue en valgus, genou fléchi. L'évolution de l'entorse bénigne du ligament collatéral médial est souvent favorable. En fonction du mouvement à l'origine de l'atteinte on peut donc retrouver des prédominances dans les zones touchées. Un traumatisme en rotation interne pied fixé au sol (mauvaise réception de saut, changement de direction) ou en hyperextension (shoot dans le vide) entraîne le plus souvent une atteinte isolée du ligament croisé antérieur. Un traumatisme en varus-flexion-rotation interne entraîne une atteinte du plan ligamentaire externe, du ligament croisé antérieur et du ménisque externe. Un traumatisme en valgus-flexion-rotation externe entraîne une atteinte du plan ligamentaire interne, du ligament croisé antérieur et du ménisque interne. Un traumatisme direct antéro-postérieur sur le genou fléchi à 90 degrés entraîne une rupture isolée du ligament croisé postérieur.[4]

Le diagnostic est essentiellement clinique. Les examens complémentaires sont utilisés, notamment la radiographie pour éliminer des diagnostics différentiels. L'IRM peut avoir un rôle pronostique en visualisant le niveau de la rupture du ligament croisé antérieur. Ces atteintes peuvent s'accompagner de complications :

- immédiates : cutanées, atteinte nerveuse, vasculaire lors des traumatismes très importants au niveau du creux poplité.
- précoces : phlébite, syndrome douloureux régional complexe, raideur de genou, lésions méniscales ou cartilagineuses, arthrite septique postopératoire.
- tardives : laxité chronique de genou, lésions méniscales traumatiques, lésions cartilagineuses, lésions ligamentaires, arthrose de genou.

La laxité chronique est l'une des complications des entorses passées inaperçues, non ou mal traitées, ou secondaire aux échecs du traitement d'une entorse grave. Elle peut être découverte par une gêne fonctionnelle importante.

Le traitement de l'entorse de genou est fonction des lésions retrouvées et de la gravité de l'entorse. Il est de trois types :

- le traitement fonctionnel : immobilisation partielle antalgique associée à de la rééducation permettant la cicatrisation des ligaments et la marche avec reprise d'appui immédiate est possible.
- le traitement orthopédique par une immobilisation plâtrée qui doit être maintenue pendant 45 jours, afin de permettre la cicatrisation des lésions ligamentaires. Il est de moins en moins utilisé au profit du traitement fonctionnel.
- le traitement chirurgical : réparation ligamentaire visant à rétablir une continuité anatomique. Il existe plusieurs techniques. Elles utilisent toutes des auto-transplants pour la réparation du pivot central.

Ces traitements sont tous associés à une rééducation après diminution de l'œdème et de la douleur. La rééducation conditionne la réussite du traitement et a pour objectif la récupération des amplitudes articulaires du genou, de l'amyotrophie et de la reprogrammation neuromotrice. Les indications dépendent de la gravité de l'entorse, de l'âge du patient et du projet de vie du patient (reprise des activités sportives ou activités socioprofessionnelles). Le traitement fonctionnel est surtout employé pour toutes les entorses bénignes ou dans certains cas pour les entorses graves ou en préopératoire d'une intervention chirurgicale. Le traitement chirurgical n'est indiqué que dans certains cas d'entorse grave du pivot central, notamment chez la personne jeune souhaitant reprendre une activité sportive. La HAS, en 2008, a émis des recommandations sur la prise en charge thérapeutique des lésions isolées du ligament croisé antérieur [5]. L'indication d'une chirurgie est fondée sur le maître symptôme de l'instabilité fonctionnelle et les critères suivants : âge, type et niveau de l'activité sportive et professionnelle, ancienneté de la lésion, importance de la laxité, présence ou non de lésions cartilagineuses et méniscales.

Les experts ont retenu trois situations différentes :

- un patient présentant une instabilité fonctionnelle, jeune, ayant une activité sportive de pivot ou professionnelle à risque, justifie une reconstruction chirurgicale.
- un patient n'ayant pas d'instabilité fonctionnelle quel que soit son âge, n'ayant pas de demande sportive de pivot et n'ayant pas de lésion méniscale, ne justifie pas d'un traitement chirurgical, mais d'un traitement fonctionnel. Un suivi et une information éclairée quant au risque d'apparition d'instabilité amèneraient à discuter d'une intervention.
- un patient jeune, vu précocement, même s'il n'a pas eu le temps de développer une instabilité fonctionnelle, ayant une activité de pivot et présentant une laxité significative peut faire l'objet d'une reconstruction chirurgicale de principe.

1.2 Population, contexte et épidémiologie

Le "sport" comprend « toutes formes d'activités physiques qui, à travers une participation organisée ou non, ont pour objectif l'expression ou l'amélioration de la condition physique et psychique, le développement des relations sociales ou l'obtention de résultats en compétition de tous niveaux »[6]. C'est un concept mondialement répandu et qui englobe ainsi une multitude de participants de diverses populations. Il procure bienfaits et épanouissement et fait l'objet de campagne de prévention et de promotion de la santé mais il peut également engendrer un certain nombre de blessures. Le nombre de pratiquant ne cesse de s'accroître ce qui, par corrélation, augmente le nombre de blessures. Le Football en fait un parfait exemple. C'est le sport le plus pratiqué dans le monde [7], avec approximativement 265 millions de joueurs actifs participants au sport en 2006 [8]. C'est un sport considéré comme relativement sûr mais le nombre croissant de participants, en particulier dans le sexe féminin, mène à une augmentation du nombre des blessures. Plus spécifiquement, l'incidence reportée de blessures du ligament croisé antérieur s'est déplacée de 0.06 à 3.7 par 1000h active de jeu.[9], [10]. La déchirure du ligament croisé antérieur est une des blessures de genou les plus communes dans le sport. Elle apparaît souvent dans une multitude de sports comme le basketball, le football, le handball, le ski alpin et le tennis[11]. C'est également la cause principale de blessures chez les adolescents, comptant pour plus de 30% des blessures dans cette population dans de nombreux pays[12]–[14]. Pour les garçons, les plus hauts taux de blessures dans les sports d'équipes sont relevés dans le hockey, le rugby, le basketball, le football, la lutte, la course et le football américain. Pour les filles ils sont relevés dans le basketball, le football, le hockey, le handball, la course et le hockey sur gazon.[15] On peut également remarquer une différence inter-genre dans l'incidence de blessures de genou. En effet, les adolescentes féminines qui participent à des sports de pivots et de sauts ont un taux de blessure au ligament croisé antérieur 4 à 6 fois plus

important que les adolescents masculins participants aux mêmes sports [16]. Les joueuses de football féminin ont un risque jusqu'à 6 fois plus important de survenue de blessure de ligament croisé antérieur sans contact par rapport au joueurs masculins.[17] Et on reporte une incidence de blessure du ligament croisé antérieur de 2 à 8 fois supérieur chez les femmes par rapport aux hommes[11]. Cette différence inter-genre peut en partie être expliquée par les spécificités anatomiques liées au sexe, les différences hormonales ainsi que les disparités liées au sexe dans les facteurs neuromusculaires. Mais il y a également des différences entre les genres dans les mouvements et les modèles d'activation musculaire ce qui montre un risque plus élevé de blessure au LCA chez les femmes. De nombreuses études ont montré que les athlètes féminines effectuent des gestes sportifs comme les réceptions, les coupures ou les pivots avec une flexion de hanche et de genou moins importante, un valgus de genou augmenté, une rotation médiale de hanche augmentée, une rotation latérale tibiale augmentée, une rigidité de l'articulation de genou moindre résultant d'un ratio d'activité quadriceps sur ischio jambiers élevé comparé aux athlètes masculins[11]. Tous ces facteurs en faveur d'une différence et d'un risque accru pour les femmes de blessure au genou sont à coupler avec une augmentation constante de pratiquantes de sports. En effet ces dernières années de plus en plus de femmes et/ou filles se mettent à pratiquer un sport. Par exemple, aux Etats-Unis la participation féminine aux sports dans le secondaire a été multiplié par 10 dans les 30 dernières années[16].

1.3 Description du traitement

1.3.1 Le contrôle neuromusculaire

Un mouvement peut s'effectuer d'une multitude de façons. Ce sont ces différentes possibilités qui nous permettent d'adapter un mouvement aux différentes situations pouvant être rencontrées. Le cerveau et les autres composantes du système nerveux central donnent les commandes nécessaires aux muscles afin d'effectuer le mouvement optimal, c'est ce que l'on peut appeler le contrôle neuromusculaire.

Le contrôle neuro-musculaire correspond à l'activation des différents muscles nécessaires afin de maintenir l'intégrité et la stabilité des articulations de notre corps lors du mouvement. Il est aussi défini comme une réponse entraînée inconsciente d'un muscle à un signal concernant la stabilité dynamique d'une articulation. C'est le cas des mouvements de l'articulation de genou qui sont contrôlés à l'aide de ce mécanisme et qui nécessitent d'envoyer le bon message pour un mouvement déterminé. Le contrôle neuromusculaire est donc la capacité à produire un mouvement contrôlé grâce à une coordination de l'activation musculaire. Le but de ce contrôle étant la stabilité de l'articulation. La stabilité dynamique est la capacité à garder une articulation stable tout au long d'une activité physique. Cette stabilité permet de minimiser le stress mécanique exercé sur les différentes structures de notre corps. En effet, nos articulations sont censées demeurer stables durant l'exécution d'un mouvement grâce à l'association des structures passives que sont les os, les ligaments ou la capsule articulaire et des structures actives que sont les muscles (qu'ils aient un rôle de stabilisation ou de mobilisation). Ainsi, afin d'améliorer cette stabilisation de l'articulation et d'éviter des blessures, le contrôle neuro-musculaire doit être travaillé et amélioré en ciblant les muscles stabilisateurs de l'articulation à l'aide d'exercices spécifiques.

1.3.2 Les Programmes d'entraînement neuromusculaire

Le corps peut effectuer tous types de mouvements sans toutefois les réaliser le plus efficacement possible. Ceci pouvant entraîner une performance dans le geste moindre, de la fatigue articulaire et musculaire voire même des blessures. L'entraînement neuromusculaire vise à améliorer la

capacité du corps à générer un schéma d'activation musculaire rapide et efficace, à augmenter la stabilité dynamique des articulations et à réapprendre des schémas de mouvement et des aptitudes nécessaires aux activités quotidiennes mais aussi sportives. Les programmes d'entraînement neuromusculaire font ainsi appel à différents aspects de la fonction sensorimotrice et de la stabilisation fonctionnelle afin de parvenir à un objectif fonctionnel. Ces programmes sont basés sur des principes biomécaniques et neuromusculaires et ont pour objectifs d'améliorer le contrôle sensorimoteur et d'atteindre une stabilité fonctionnelle compensatoire. Ils se concentrent sur la qualité et l'efficacité du mouvement et le contrôle de l'articulation dans tous les plans de l'espace. L'alignement segmentaire du tronc et des articulations du membre inférieur est donc une notion importante dans ces programmes. Les exercices de ces programmes sont pour la plupart effectués en chaîne cinétique fermée en variant les positions afin d'obtenir une pression sur les surfaces articulaires basse et uniformément répartie grâce à la coactivation musculaire. Les programmes incluent de nombreux aspects de la fonction sensorimotrice comme la force, la coordination, l'équilibre et la proprioception mais il se peut que certains exercices ne se concentrent que sur l'un d'entre eux. L'objectif est d'acquérir un contrôle postural dans des situations identiques à celles que l'on peut rencontrer lors de la pratique de l'activité. L'entraînement neuromusculaire classique et le plus souvent retrouvé combine des exercices d'équilibre, de pliométrie, d'agilité, de renforcement et des exercices spécifiques au sport pratiqué :

- Les exercices d'équilibre ont une influence sur la proprioception et sur l'activité réflexe spinale. Ils semblent également améliorer la performance sportive[18]. On peut retrouver dans cette catégorie les exercices avec surface d'appui réduite ou encore en monopodal. Cela comprend également les exercices sur surfaces instables comme des plateformes d'équilibre, des mousses d'équilibre ou des demi-ballons. Les exercices sont souvent réalisés en évolution avec des décentrations extérieures en lien avec le sport pratiqué. Par exemple, envoyer/recevoir un ballon ou encore résister à des charges d'un autre individu.
- Le renforcement permet de développer les muscles en taille et en nombre de fibres musculaires mais permet avant cela de développer l'efficacité et la rapidité de leur utilisation par le cerveau. En effet le cerveau contrôle l'utilisation des muscles et des articulations et la répétitivité d'une tâche, qu'elle soit sportive ou non, permet une amélioration de ce geste. Il est essentiellement ciblé sur les muscles du membre inférieur et notamment le couple quadriceps/ischio-jambiers. On retrouve dans la plupart des programmes des exercices reprenant les différentes variantes de squat et de fentes. Ces exercices de renforcement sont réalisés en poids du corps. De nombreux programmes associent à ce renforcement des membres inférieurs de la tonification. L'intérêt est surtout porté au tonus du tronc avec des exercices axés sur le gainage dans diverses positions et sur le concept de « core stability ».
- La pliométrie correspond à l'utilisation de la capacité des muscles à emmagasiner de l'énergie et à la restituer de manière explosive. Dans les programmes elle est le plus souvent utilisée sous la forme de sauts et de réceptions dans le but d'améliorer la vitesse et la force d'un mouvement. On peut donc retrouver des exercices de sauts dans différentes directions, de différentes hauteurs, des enchainements de sauts, des sauts avec repères visuels variant longueur et direction ou encore des sauts avec différentes positions de départ et d'arrivée. Ici aussi les exercices peuvent être réalisés en bi ou monopodal. Certains programmes proposent également des exercices avec des tâches liés au sport comme par exemple un lancer/rattraper de balle/ballon au cours du saut.
- Le travail de l'agilité permet de diminuer le temps de réponse corticale pour recruter des muscles du membre inférieur[19]. Ce recrutement musculaire plus rapide permet donc une meilleure protection articulaire et influence également la performance. Il est souvent

retrouvé sous la forme de manœuvres de planté ou de coupure, avec des changements de directions brusques. On peut également retrouver des exercices à base de zig-zag ou de courses travaillant la coordination motrice des membres inférieurs en variant des paramètres de la course (par exemple avec fréquence rapide et foulée rapprochée). Les changements de direction et les arrêts peuvent être dictés oralement ou alors marqués par des cibles visuelles. Les exercices peuvent aussi être en lien avec la pratique comme par exemple avec des objets lancés à éviter ou un parcours face à des repères avec des directions brusques à prendre.

- Les exercices spécifiques au sport permettent la mise en situation réelle avec une application commune des différents paramètres évoqués ci-dessus. Ils permettent de combiner les paramètres dans les situations futures rencontrées. En effet comme dit plus haut, la répétitivité est nécessaire or ce sont les gestes spécifiques au sport qui seront effectués et sujets aux blessures d'où l'intérêt de travailler ces mouvements. Le but est donc de répéter des situations rencontrées lors de la pratique en travaillant le bon positionnement segmentaire et le bon recrutement musculaire. Par exemple, des exercices de tirs en sautant pour le handball, de tirs ou d'enchaînement de passe puis d'appels au football, des situations de un contre un avec élimination à effectuer pour les sports de balle ou encore des frappes suivies de course pour les sports de raquettes.

Les programmes ont des effets sur la performance, la biomécanique et sur les schémas d'activation musculaire. De nombreux programmes comprenant de l'entraînement neuromusculaire ont donc été développés par différentes organisations dans le but de prévenir les blessures et d'améliorer la performance. On peut citer parmi les plus connus le « FIFA11+ » développé par la Fédération Internationale de Football Amateur (FIFA) ou encore le « Footy First » développé par la Australian Football League (AFL).

1.4 Les facteurs de risques de blessure, hypothèses théoriques

De nombreuses études se sont intéressées aux paramètres entrant dans la survenue de blessures lors de pratiques sportives et plus particulièrement au sujet des atteintes du ligament croisé antérieur. Il en ressort ainsi une multitude de facteurs de risques potentiels. En ce qui concerne les blessures de genou, ces facteurs de risques peuvent être séparés en deux catégories. Tout d'abord les facteurs de risques extrinsèques, qui sont principalement constitués de l'environnement, avec des facteurs comme les conditions climatiques (pluie, intérieur, humidité) et la surface de jeu (humide ou sèche, artificielle ou naturelle, dure ou molle), et aussi de l'équipement avec le chaussage, le matériel spécifique au sport inadapté ou encore le port d'orthèse préventive [20], [21]. Puis les facteurs intrinsèques où l'on peut retrouver des différences inter-genre prononcées. En effet il a été montré que les femmes présentent des facteurs de risques plus prononcés. Sur le plan anatomique premièrement, les femmes ont un bassin plus large, des articulations plus petites, une échancrure intercondylienne plus petite et moins large (ratio de la largeur de l'échancrure et du diamètre et de l'aire de section transversale du LCA), une laxité articulaire et ligamentaire plus importante, une taille du ligament croisé antérieur inférieure, un angle Q plus marqué et plus généralement un indice de masse corporelle plus élevé [20]–[22]. Les facteurs génétiques peuvent être mis en relation avec les facteurs anatomiques (comme par exemple la taille de l'échancrure intercondylienne cité précédemment). On retrouve ensuite des facteurs hormonaux avec chez les femmes la fluctuation importante des œstrogènes et de la progestérone au cours du cycle menstruel. Pour finir on retrouve les facteurs de risque neuromusculaires et biomécaniques. En effet les femmes ont des schémas biomécaniques de mouvements différents. Lors de la réalisation de tâches sportives comme des réceptions, des sauts ou des pivots, elles présentent des angles de flexion

de tronc, de hanche et de genou plus faibles, une dorsiflexion de cheville plus importante, un déplacement latéral du tronc et une abduction de hanche combinés à des moments d'abduction de genou augmenté (valgus de genou dynamique), une rotation interne de hanche ainsi qu'une rotation externe de tibia [20], [21]. Concernant les facteurs neuromusculaires, les déficits en coordination neuromusculaire et en force des muscles stabilisateurs de genou tendent à augmenter le stress généré sur le ligament croisé antérieur[23], [24]. Les facteurs de risques comprennent donc les schémas d'activation musculaire moins efficaces, les forces de réaction au sol, la diminution du recrutement et de la force relative des ischio-jambiers par rapport au quadriceps, la fatigue musculaire entraînant une altération du contrôle neuromusculaire, une force du « core » diminuée et une proprioception déficitaire[20].

La survenue de blessures au genou peut donc être influencée par une multitude de paramètres cités précédemment. De plus, le genre féminin semble apporter un risque majeur dans cette incidence. Toutefois, même si des études ont montré la relation entre les différences anatomiques spécifiques au sexe et les blessures du LCA, ces différences restent néanmoins non modifiables. Il en est de même pour les paramètres hormonaux et environnementaux. Cependant, il a été montré que les facteurs de risques neuromusculaires sont modifiables avec des entraînements neuromusculaires et ils entraîneraient également une amélioration de la performance. C'est pourquoi les programmes d'entraînement neuromusculaire auraient leur place dans la prévention des blessures de genou chez les pratiquants de sport. Il faut toutefois apporter une nuance. Même si les blessures de LCA arrivent souvent dans des situations de non-contact et la plupart du temps dans des gestes de coupures ou de pivot et d'appui monopodal similaires, chaque sport est différent par ses gestes et par sa fatigue musculaire engendrée. Ainsi les demandes biomécaniques des différents sports ainsi que la fréquence de celles-ci doivent être prises en compte pour adapter au mieux les programmes à la pratique. Ces diversités rendent ainsi la réalisation d'un programme unique impossible mais encouragent à spécifier un programme à une pratique sportive donnée. L'hypothèse théorique de ce mémoire vise à montrer l'influence bénéfique préventive de programmes d'entraînement neuromusculaire dans la survenue de blessures au genou à travers leur action sur les facteurs de risques évoqués plus haut sur des populations données.

1.5 Importance de la revue de littérature

Une multitude de sports sont pratiqués dans le monde entier. Les pratiquants sont nombreux et le nombre de blessure potentielle est donc très élevé. En France, on pouvait compter, en 2016 dans l'ensemble des fédérations sportives, un nombre de 16 102 957 licenciés avec une part de licences féminines de 37.5%[25]. Cela représente donc une cible potentielle conséquente de personnes susceptibles de subir un jour une blessure au genou. Cette population conséquente est également à corréliser avec le coût entraîné par de telles blessures. En effet, une entorse qualifiée de bénigne ne demande « qu'un » traitement kinésithérapique et potentiellement un examen radiologique pour éliminer un diagnostic différentiel mais cela représente tout de même déjà un coût économique pour le système de soins ainsi qu'un coût en termes de temps avec une indisponibilité pour le pratiquant (pouvant avoir des conséquences sur le club). Un autre cas, plus grave, est celui de la rupture du ligament croisé antérieur. Les coûts générés sont plus conséquents puisque cette atteinte nécessite dans la plupart des cas chez les sportifs une opération de reconstruction du ligament atteint. Il y a donc des coûts engendrés par la rééducation préopératoire, par la chirurgie puis par la rééducation post-opératoire. Une étude a estimé le coût de reconstruction et de rééducation du ligament croisé antérieur aux Etats-Unis chez les athlètes féminines du niveau secondaire comme approchant les 700 millions de dollars

annuel [16]. Outre les enjeux financiers, pour un sportif, la rupture du ligament croisé antérieur reste un évènement particulièrement marquant. En effet, Il peut y avoir des répercussions sur l'individu. Evidemment l'atteinte anatomique de la zone touchée mais également l'atteinte de la forme physique générale et l'atteinte de l'aspect psychologique qu'il ne faut pas négliger. En effet c'est une blessure considérée comme grave entraînant un temps d'indisponibilité relativement long (environ 1 ans). Elle peut donc altérer la capacité à réintégrer la compétition au niveau antérieur. Aux vues des différentes conséquences et des coûts engendrés par de telles pathologies, si on les associe à une participation spécifique au sport élevée et à des taux de blessures élevés, cela entraîne une charge pour le système de santé publique qu'il est essentiel de réduire. C'est pourquoi le positionnement préventif semble tout aussi important que l'aspect curatif. Même si les protocoles chirurgicaux et de rééducation sont à ce jour très bien développés et efficaces, l'approche préventive semble préférable. Nous rentrons donc là dans le cadre d'une prévention primaire car « visant à diminuer l'incidence d'une maladie dans une population et donc à réduire, autant que faire se peut les risques d'apparition de nouveaux cas » mais aussi sélective car elle « s'exerce en direction de sous-groupe de population spécifique » [26]. Dans ce contexte, le masseur-kinésithérapeute (MK) y a un rôle particulièrement important. Tout d'abord par sa position, c'est un des rares professionnels de santé à être sur le bord des terrains lors des entraînements ou des matchs. Mais aussi dans le cadre d'une pratique en cabinet, il peut repérer les facteurs de risques chez des patients sportifs, les travailler directement ou avoir un rôle prophylactique en conseillant des programmes adaptés au patient en fonction de ses bilans. Le MK peut éduquer les sportifs mais aussi les entraîneurs, il a les compétences pour définir les exercices adaptés, veiller au suivi d'un programme et corriger les participants.

1.6 Objectif de la revue de littérature

La pratique de la kinésithérapie se doit de nos jours d'être basée sur des preuves. C'est le concept de l'EBP (Evidence Based Practice). C'est « une démarche qui utilise les meilleures données actuelles de la recherche clinique, l'expertise du clinicien et les choix individuels des patients afin d'améliorer leur qualité de vie ». Le clinicien se doit de s'informer du « degré de vraisemblance de ses méthodes, c'est à dire à leur degré de scientificité en se reposant sur des hypothèses physio-pathologiques, mais aussi de leur efficacité (rapport coût/ efficacité) et de leur reproductibilité »[27].

Ce mémoire est une revue systématique de la littérature. Elle consiste en « une synthèse de la littérature scientifique en réponse à une question précise. Elle utilise des méthodes explicites de recherche, de sélection et d'analyse des données. Les revues systématiques permettent aux professionnels de la santé d'accéder à une information valide et contribuent ainsi à orienter les décisions. »[28] De plus, la revue de littérature possède un niveau de preuve 1 qualifié d'élevé puisqu'elle correspond à des preuves scientifiques établies soit un grade A.[29] En d'autres termes, la revue de littérature permet un accès simplifié et facilité aux résultats de la littérature scientifique. Elle permet de synthétiser sur un thème donné et facilite l'extraction d'informations afin de les appliquer dans la pratique clinique.

Les blessures de genou dans le sport sont fréquentes et d'autant plus que la part de population pratiquant du sport est relativement conséquente. Ces blessures peuvent entraîner de nombreuses répercussions non négligeables. D'une part des répercussions physiques mais aussi psychologiques et économiques. Ce mémoire s'intéresse donc au versant préventif de l'atteinte. Il semble évident que le fait de prévenir ce type de blessures constitue un enjeu majeur. La

revue s'est donc intéressée aux facteurs de risque présents dans la survenue de ces blessures mais surtout au moyen de les diminuer. Il en est ressorti des techniques souvent retrouvées et appliquées : les programmes d'entraînement neuromusculaires. En effet de nombreuses études montrent leur efficacité sur ces facteurs de risques et plus largement sur la survenue de blessure au membre inférieur. L'objectif de cette revue est de chercher à montrer une efficacité potentielle de programmes spécifiquement détaillés sur des populations bien définies dans la réduction du risque de survenue de blessure au genou. Sachant qu'un programme unique est impossible à réaliser aux vues des spécificités propres à chaque sport. Le but est de pouvoir mettre à disposition des praticiens des programmes dont l'efficience a été démontrée ainsi que de décrire la population visée pour chacun de ces programmes.

Problématique : Quel est l'intérêt des programmes d'entraînement neuromusculaire dans la prévention des blessures de genou chez le sportif ?

2 Méthode

2.1 Critères d'éligibilité des études pour cette revue

2.1.1 Schéma d'étude

J'ai choisi de sélectionner des études thérapeutiques. Ces études ont pour but de prouver ou réfuter l'efficacité d'un traitement, qu'il soit d'ordre préventif ou curatif. Elles ont le plus souvent pour objectif de comparer un traitement ou une technique à ce qui est utilisé généralement afin de déterminer s'il existe un intérêt ou un avantage à l'employer. Cette revue cherche ainsi à prouver ou réfuter l'intérêt potentiel d'un programme d'entraînement neuromusculaire dans la prévention des blessures de genou.

J'ai pour ceci choisi de sélectionner uniquement un seul type d'étude :

Les essais contrôlés randomisés : Ils sont composés d'au moins deux groupes qu'ils vont comparer. Les participants de l'étude sont, après avoir été recrutés et vérifiés pour leur éligibilité à l'étude, aléatoirement répartis dans les différents groupes (c'est la randomisation). La similarité des populations est vérifiée. La randomisation permet une comparabilité initiale, elle limite les biais de sélection et permet une répartition homogène. L'intervention thérapeutique peut ainsi commencer avec, si possible, les sujets, les évaluateurs et les thérapeutes mis en aveugle (c'est-à-dire qu'ils ne connaissent pas le groupe du patient) afin de limiter au possible les biais. C'est ce qu'on appelle les simple, double ou triple aveugle. Ces essais peuvent être réalisés en parallèle (tous les participants d'un groupe reçoivent l'intervention A), en cross-over (les participants reçoivent l'intervention A puis B ou inversement) ou en cluster (des groupes préexistants de participants sont répartis aléatoirement et les participants d'un même groupe reçoivent la même intervention).

J'ai choisi de ne sélectionner uniquement que des essais contrôlés randomisés car ceux-ci représentent d'un point de vue scientifique le plus haut niveau de preuve. En effet les études cliniques n'ont pas la même qualité, la même puissance. Le niveau de preuve d'une étude se caractérise par sa capacité à répondre à une question posée et dépend fortement de la qualité de la méthodologie, de sa réalisation et de ses résultats. Ces éléments permettent de juger de la pertinence des conclusions tirées de cette étude.[29]

J'ai donc choisi d'inclure des essais contrôlés randomisés de forte puissance correspondant à un niveau de preuve 1 soit un grade de recommandation A (preuve scientifique établie) mais aussi des essais contrôlés randomisés de faible puissance correspondant à un niveau de preuve 2 soit un grade de recommandation B (présomption scientifique) afin d'obtenir un nombre plus

important d'essais traitant du sujet de cette revue tout en gardant un niveau de preuve élevé. L'annexe 1 montre les différents types d'études ainsi que le niveau de preuve correspondant.

2.1.2 Population/Pathologie

La population est composée de patients adolescents et adultes, de sexe féminin et masculin, ayant une pratique sportive encadrée. Les sports pratiqués et étudiés seront ceux présentant un risque d'entraîner une blessure au genou de type entorse ou rupture de ligaments. Cela comprend ainsi les sports de type « stop and go », de type pivot et aussi les sports d'équipe. Sont exclus les essais sur des patients présentant au moment de l'étude une rupture des ligaments croisés intervenue récemment. La revue se focalisant sur l'aspect préventif plutôt que sur l'aspect réhabilitation et risque de récurrence.

2.1.3 Intervention

Les interventions sont les programmes d'entraînement neuromusculaire. Ils peuvent être composés d'exercice d'équilibre, de proprioception, de renforcement, de tonification du tronc et de contrôle postural, ainsi que de pliométrie. Les programmes et leur composition en exercices peuvent varier en fonction des essais. Un contenu spécifique n'est pas retenu comme critère d'inclusion.

2.1.4 Comparateur

Les interventions sont soit comparées aux entraînements usuels pratiqués en fonction des sports effectués soit aucun comparateur précis n'est appliqué.

Les essais sont sous la forme d'un groupe recevant l'intervention associée à l'entraînement habituel comparé à un groupe recevant uniquement l'entraînement habituel ou sous la forme d'un groupe recevant uniquement l'intervention comparé à un groupe recevant uniquement l'entraînement habituel.

2.1.5 Critères de jugement

Le critère de jugement principal est l'incidence de blessure au genou. La gravité de la blessure est prise en compte (blessure avec atteinte du ligament croisé antérieur, blessure au genou sévère, blessure au genou aigue). Le taux de blessure est généralement noté en nombre de blessures par heures d'exposition.

Le critère de jugement secondaire est la modification des paramètres, des facteurs de risques entrants dans la survenue d'une blessure de genou.

2.2 Méthodologie de recherche des études

2.2.1 Sources documentaires investiguées

Afin de réaliser cette revue de littérature, il a fallu rechercher, répertorier, sélectionner et analyser de nombreux articles et essais cliniques correspondant à la thématique de la revue. Cette recherche a été effectuée en premier lieu dans la réalisation de la revue entre septembre et décembre 2019

Les bases de données électroniques investiguées pour la recherche d'articles sont les sites PubMed et PEDro (Physiotherapy Evidence Database). Certains articles sont également issus de bibliographie d'articles correspondant à la thématique recherchée.

2.2.2 Equation de recherche utilisée

L'équation de recherche permet de cibler les articles pouvant correspondre à la thématique de la revue de littérature. Il faut pour cela trouver les mots clés permettant d'obtenir un maximum de résultats de recherche tout en limitant les articles hors sujet.

Afin d'obtenir le maximum de résultats, je me suis aidé du site « HeTOP » (Health Terminology/Ontology Portal) qui permet d'obtenir pour un terme ses synonymes MESH (Medical Subject Headings). Le MESH étant le thésaurus de référence dans le domaine biomédical. Les mots clés trouvés ont ensuite été couplés aux opérateurs booléens AND et OR afin de réaliser différentes équations de recherche.

Les mots clés rentrés dans ce site afin d'obtenir les synonymes retenus pour l'équation de recherche sont :

Programme d'entraînement neuromusculaire : neuromuscular training, neuromuscular program,

Prévention : prevention, preventive

Blessure de genou : knee injury, knee injuries, lower leg injuries, acl injury, anterior cruciate ligament injury

Sportif : sports, players, athletes

L'ensemble des mots clés utilisés pour l'équation de recherche principale est disponible à l'annexe 2. Un exemple d'équation de recherche utilisé dans PubMed est présenté à l'annexe 3.

2.3 Méthode d'extraction et d'analyse des données

2.3.1 Méthode de sélection des études

Les études ont été sélectionnées après de multiples recherches effectuées à l'aide d'équations de recherche utilisant les différents mots clés comme énoncé précédemment. Ces recherches ont été effectuées sur les deux bases de données électroniques citées plus haut et les doublons ont ensuite été éliminés. La sélection des différents articles s'est déroulée selon plusieurs étapes afin de tendre vers un filtrage de plus en plus précis. Le premier filtre large se basait uniquement sur les titres des articles et les articles dont le titre évoquait explicitement un sujet différent de la thématique recherchée étaient exclus. Le deuxième filtre prenait en compte le résumé des articles présélectionnés afin d'obtenir plus précisément des articles en lien avec le sujet visé. Une fois ce deuxième filtre passé et le nombre d'articles réduits, j'ai pu appliquer des critères d'inclusion et d'exclusion afin d'obtenir une sélection finale d'articles pour la revue de littérature.

Les critères d'inclusion sont :

- Les essais cliniques contrôlés randomisés de forte et faible puissance.
- Les études avec des patients adolescents ou adultes pratiquants un sport dans une structure encadrée.
- Les études ayant pour critère de jugement l'incidence de blessure au genou ou la modification des paramètres facteurs de risque d'une atteinte au genou.

Les critères d'exclusion sont :

- Les études avec des patients ayant une atteinte au genou récente lors de la réalisation de l'essai.
- Les études ne présentant pas de programme d'entraînement neuromusculaire spécifique.
- Les études rédigées dans une autre langue que l'anglais ou le français.

- Les études se concentrant uniquement sur des régions anatomiques autre que le sujet recherché.
- Les études avec une qualité méthodologique trop faible.

2.3.2 Evaluation de la qualité méthodologique des études sélectionnées

Après avoir obtenu les articles respectant les critères d'inclusion, la qualité méthodologique des essais cliniques randomisés a été évaluée à l'aide de l'échelle « PEDro » (*Physiotherapy Evidence Database Scale*) disponible en annexe 4. Cette échelle permet d'évaluer la validité interne d'un essai clinique randomisé et de savoir s'ils ont des informations statistiques suffisantes pour pouvoir interpréter les résultats[30]. Elle est constituée de 11 items et attribue à l'article un score sur 10. Plus ce score est élevé, meilleure sera la qualité méthodologique de l'article[31]. Elle permet également de mettre en avant la présence de biais. Elle repère en particulier les biais d'attrition, les biais de sélection ainsi que les biais de suivi et d'évaluation.

J'ai ainsi déterminé le score PEDro pour chaque essai clinique randomisé et décidé arbitrairement de n'inclure dans la revue que les essais cliniques ayant obtenu un score PEDro supérieur ou égal à 5. Ce seuil de 5 m'a semblé le minimum requis afin d'obtenir des articles présentant un nombre de biais méthodologiques restreint.

2.3.3 Extraction des données

Après avoir effectué une lecture critique de chaque article inclus, j'ai synthétisé pour chacun des essais les informations importantes sous la forme d'un tableau selon le modèle ci-dessous :

Population	<i>Age Sexe Provenance Critères d'inclusion/ exclusion</i>
Intervention	<i>Descriptif de l'intervention, du programme, des exercices Durée Répétition Période de réalisation</i>
Comparateur	<i>Descriptif des exercices</i>
Critères de jugement	<i>Primaire et secondaire</i>
Résultats	

Afin de pouvoir réaliser l'analyse et la critique des résultats présentés dans chaque article, j'ai également effectué l'extraction des données supplémentaires suivantes :

- La taille de l'effet sous la forme de valeurs individuelles ou de moyennes.
- Les différences de moyennes, les écarts types, les ratios ainsi que les intervalles de confiance.
- Le seuil de significativité statistique « p ».
- L'applicabilité du résultat.
- la balance taille d'effet/contraintes.

La taille de l'effet et l'applicabilité permettent d'analyser la pertinence clinique d'un résultat.

2.3.4 Méthode de synthèse des résultats

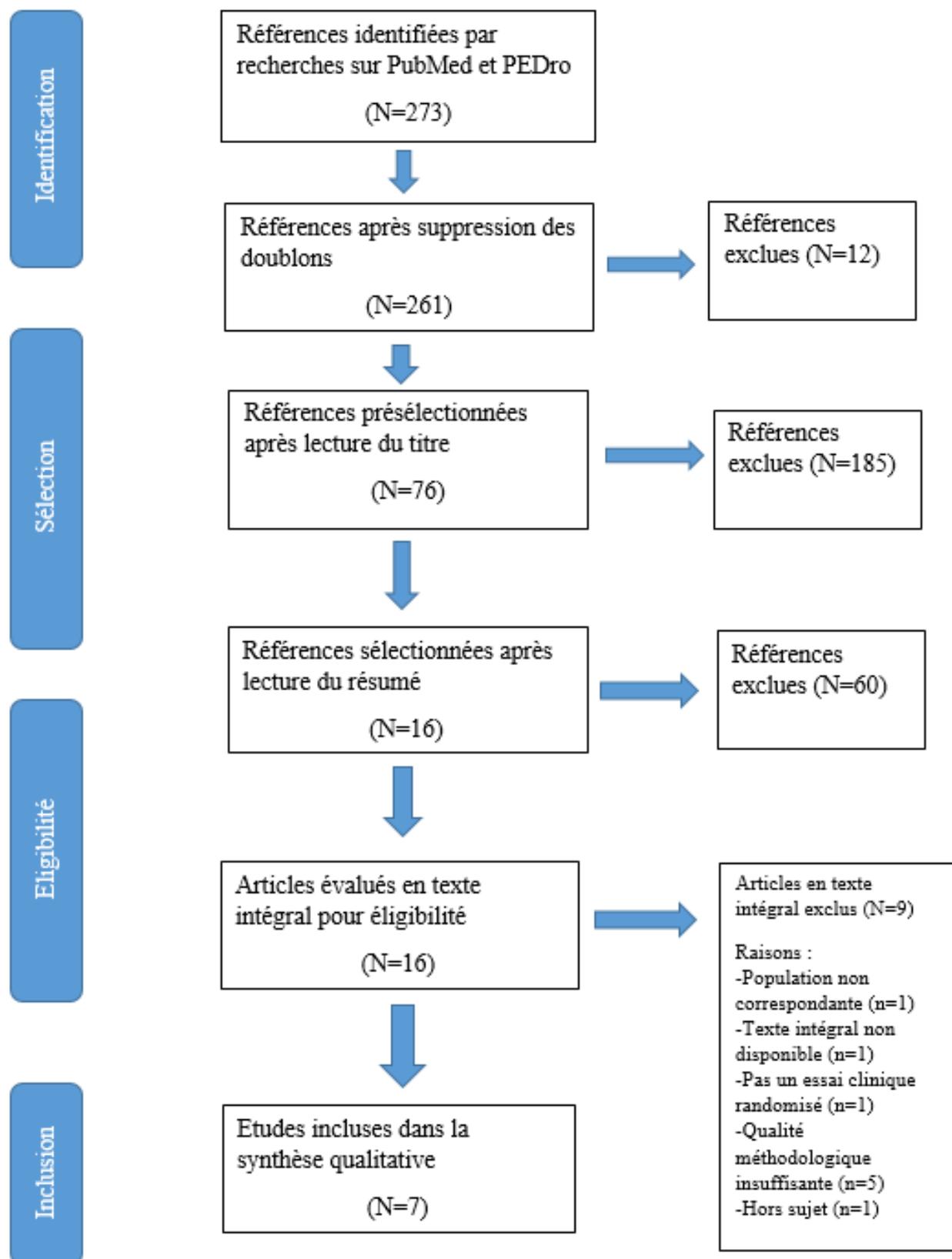
La méthode de synthèse des résultats est une méthode de type qualitative. Elle « rassemble les études, les superpose puis les analyse à nouveau afin d'obtenir de nouvelles idées conceptuelles, de nouvelles explications théoriques ou une nouvelle interprétation d'un phénomène. »[32] Le but initial de cette revue était de réaliser une synthèse commune des différents résultats obtenus dans les différentes études afin de les comparer mais cela s'est avéré impossible du fait de la diversité des populations, des sports pratiqués mais aussi des différences dans la composition des programmes d'entraînement. Les résultats sont donc synthétisés et comparés entre eux lorsque cela est possible sous forme de tableaux mais pas de manière globale et commune.

3 Résultats

3.1 Description des études

3.1.1 Diagramme de flux

La sélection des articles et ses paramètres permettant la rédaction de cette revue de littérature ont été détaillés dans la partie méthode. Le processus de sélection et le nombre d'articles inclus et exclus est synthétisé à travers le diagramme de flux suivant :



3.1.2 Etudes exclues

Les paramètres d'exclusions ont été présentés précédemment dans la partie méthode. Le tableau ci-dessous présente les études ayant été exclues ainsi que le motif d'exclusion propre à chacune :

Etude	Raison de l'exclusion
Achenbach et al, 2017 [33]	Qualité méthodologique insuffisante (score PEDro < 5)
Foss et al, 2018 [34]	
Gilchrist et al, 2008 [35]	
Lindblom et al, 2019 [36]	
Sasaki et al, 2019 [37]	
Steffen et al, 2013 [38]	Hors sujet (effets sur la performance, juge l'observance)
DiStefano et al, 2016 [39]	Population non correspondante au sujet de la revue (sujets militaires)
Myklebust et al, 2007 [40]	Texte intégral non disponible
Wingfield, 2013 [41]	Pas un essai clinique randomisé (Commentaire d'essai clinique)

3.1.3 Synthèse des études incluses

The effectiveness of a neuromuscular prevention strategy to reduce injuries in youth soccer: a cluster-randomised controlled trial, Emery *et al*, 2010 [42]

<p>Population</p>	<p><u>Nombre :</u> <u>Groupe Test :</u> (n=380) <u>Groupe témoin :</u> (n=364)</p> <p><u>Age :</u> <u>Groupe Test :</u> U13–15=46.6% U16–18=53.4% <u>Groupe témoin :</u> U13–15=48.9% U16–18=51.1%</p> <p><u>Sexe :</u> <u>Groupe Test :</u> Femme=42.4% Homme=57.6% <u>Groupe témoin :</u> Femme=69% Homme=31%</p> <p><u>Provenance :</u> Equipes jeunes de clubs de foot de Calgary jouant dans la saison en salle 2006/2007</p> <p><u>Critères d'inclusion :</u> Adolescents âgés entre 13 et 18 ans provenant d'une des équipes de la « Calgary Minor Soccer Association Club » au début de la saison 2006/2007 de soccer en salle.</p> <p><u>Critères d'exclusion :</u> Blessure dans les 6 semaines avant la réalisation de l'étude, des antécédents de maladie systémique ou de trouble neurologique empêchant la pleine participation au début de saison.</p>
<p>Intervention</p>	<p><u>Descriptif de l'intervention, du programme, des exercices/ Durée :</u> Echauffement identique au groupe controle (durée normale 15 min) comprenant du stretching aérobique statique et du « stretching dynamique » à réaliser en 5 min. Additionné à 10 min d'exercices d'entraînement neuromusculaire (renforcement, agilité et équilibre) :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Exercice excentrique des ischios-jambiers. -Exercice excentrique des quadriceps en marchant en fentes. -Exercice de renforcement abdominal de type core stability -Saut sur une jambe avec focus sur l'alignement et le core stability -Exercice d'équilibre en équipe -Exercice sur plateau d'équilibre <p>Ainsi qu'à un programme de 15 min d'équilibre à réaliser à la maison (avec un plateau d'équilibre « wobble board » de 16 pouces)</p> <p><u>Période de réalisation</u> Lors des séances d'entraînements</p>
<p>Comparateur</p>	<p><u>Descriptif des exercices</u> Un « entraînement standard » d'échauffement identique au groupe test comprenant du stretching aérobique statique et du « stretching dynamique » d'une durée de 15 min Un programme à réaliser à la maison composé uniquement d'étirements.</p>
<p>Critères de jugement</p>	<p>Blessure, types, et exposition quotidienne notés via un formulaire de reports de blessure. Les blessures ont été relevées et notées immédiatement par un thérapeute de l'étude lors de leur survenue en match et sous un délai d'une semaine lors de leur survenue hors match.</p>
<p>Résultats</p>	<p>Diminution de 38% de « tout type de blessure » et diminution de 43% de « blessure d'apparition aigue » dans le groupe test comparé au groupe témoin. Tendance à la réduction des blessures du membre inférieur, des entorses de cheville et des entorses de genou mais les résultats ne sont pas statistiquement significatifs. Le genre n'est pas un facteur de risque significatif pour n'importe quel type de définition de blessure. On peut cependant estimer un risque plus important d'entorse de cheville et d'entorse de genou pour le sexe féminin.</p>

Preventing Australian football injuries with a targeted neuromuscular control exercise programme: comparative injury rates from a training intervention delivered in a clustered randomised controlled trial, Finch *et al*, 2015 [43]

Population	<p><u>Nombre :</u> <u>Groupe Test :</u> (n=679) <u>Groupe témoin :</u> (n=885) L'auteur n'a pas pu afficher une répartition de référence des 2 groupes en termes d'âge et de niveau de jeu car il n'a obtenu ces informations que pour un sous-effectif de joueurs. <u>Age :</u> 18 ans et plus. <u>Sexe :</u> Homme. <u>Provenance :</u> Joueurs non-élite de clubs de « community Australian Football » de 2 états d'Australie. <u>Critères d'inclusion :</u> Licencié d'une des équipes participantes Au moins 18 ans Participation à au moins une session d'entraînement dans les 13 premières semaines du programme. <u>Critères d'exclusion :</u> Joueurs de moins de 18 ans Joueurs n'ayant participé à aucune session d'entraînement durant la présaison ou la saison</p>
Intervention	<p><u>Descriptif de l'intervention, du programme, des exercices :</u> Intervention faisant partie de l'entraînement habituel Exercices de mouvements basiques Exercices d'équilibre Exercices de sauts Exercices de changement de direction Exercices avec Swiss ball Exercices avec mini-trampoline (Voir <u>annexe 5</u> pour livret complet) <u>Durée :</u> Maximum 20min pour un entraînement de 1,5h. <u>Répétition :</u> 2 fois par semaine <u>Période de réalisation :</u> 8 semaines de présaison et 18 semaines durant la saison en 2007 ou 2008</p>
Comparateur	<p><u>Descriptif du programme :</u> Programme faisant partie de l'entraînement habituel Exercices de mouvements basiques Exercices de sprint généraux Exercices d'accélération/décélération Exercices de changement de direction/d'agilité (Voir <u>annexe 6</u> pour livret complet) <u>Durée :</u> Maximum 20min pour un entraînement de 1,5h. Le groupe contrôle n'a pas reçu d'instructions sur les réceptions, l'agilité, les techniques de changements de direction et les tâches d'équilibre.</p>
Critères de jugement	<p>Incidence de blessure, nombre de blessures, type de blessures, exposition (nombre de sessions d'entraînement participées, nombre de matchs joués, nombre d'heures jouées)</p>
Résultats	<p>Le taux d'incidence de blessure au genou ajusté par cluster n'était pas très significatif et indiquait que les taux de blessures au genou étaient inférieurs de 50% dans le groupe test, comparativement au groupe témoin. Les CI étaient importants d'où l'intérêt d'un ajustement par cluster. Pour chaque type de blessure, l'ajustement par cluster a conduit à des taux d'incidence de blessure plus petits en faveur de l'intervention.</p>

Exercices to prevent lower limb injuries in youth sports: cluster randomised controlled trial, Olsen *et al*, 2005 [44]

Population	<p><u>Nombre :</u> <u>Groupe Test :</u> (n=958) <u>Groupe témoin :</u> (n=879) <u>Age :</u> moyenne (écart type) <u>Groupe Test :</u> 16,3 (0,6) <u>Groupe témoin :</u> 16,2 (0,6) <u>Sexe :</u> <u>Groupe Test :</u> Filles = 808 ; Garçons = 150 <u>Groupe témoin :</u> Filles = 778 ; Garçons = 101 <u>Provenance :</u> Clubs des divisions de 16 et 17 ans de l'est et du centre de la Norvège, organisés par la Fédération Norvégienne de Handball. <u>Critères d'inclusion :</u> Joueur âgé entre 15 et 17 ans Joueur inscrit sur la liste du club par le coach <u>Critères d'exclusion :</u> Blessure majeure au commencement de l'étude</p>
Intervention	<p><u>Descriptif du programme :</u> Exercices d'échauffement Technique Equilibre Exercices de renforcement et puissance (Exercices détaillés en <u>annexe 7</u>) Les joueurs étaient encouragés à se concentrer sur la qualité de leur mouvement avec une attention portée sur le core stability et la position de la hanche et du genou en fonction du pied. <u>Durée :</u> 4-5 minutes pour chaque groupe d'exercices pour un total de 15 à 20 minutes. <u>Répétition/Période de réalisation :</u> Au début de chaque entraînement pendant 15 sessions consécutives puis 1 fois par semaine pour le reste de la saison.</p>
Comparateur	<p>Le groupe témoin a réalisé ses entraînements comme à l'habitude pendant toute la saison.</p>
Critères de jugement	<p>Blessure aigue au genou ou à la cheville Blessure au membre inférieur Exposition (entraînements et matchs)</p>
Résultats	<p>Il y a eu un nombre significativement moins important de joueurs blessés dans le groupe test comparé au groupe témoin en termes de blessure aigue au genou. Les blessures aiguës au genou ou à la cheville ne différaient significativement que pour les matchs.</p>

Neuromuscular training and the risk of leg injuries in female floorball players: cluster randomised controlled study, Pasanen *et al*, 2008 [45]

Population	<p><u>Nombre :</u> <u>Groupe Test :</u> (n=256) <u>Groupe témoin :</u> (n=201) <u>Age :</u> moyenne(écart-type) <u>Groupe Test :</u> 24,2 (5,0) <u>Groupe témoin :</u> 23,3 (4,8) <u>Sexe :</u> Femmes <u>Provenance :</u> Equipes de Floorball féminin finlandaises de ligue élite, première et seconde division. <u>Critères d'inclusion :</u> Joueuses membres officiels des équipes participantes. <u>Critères d'exclusion :</u> Joueuses ayant une blessure majeure au commencement de l'étude.</p>
Intervention	<p><u>Descriptif du programme :</u> Exercices de course (5-7min) Exercice d'équilibre et de contrôle corporel (5-7min) Exercice de plyométrie (5-7min) Exercices de renforcement (5-7min) pour le membre inférieur et core stability Etirements (5min) Descriptif détaillé en <u>annexe 8</u> <u>Durée</u> 20-30 min la session d'entraînement neuromusculaire <u>Répétition</u> Entraînements divisés en 4 périodes au cours de la saison : -2 périodes d'entraînement intensif avec programme neuromusculaire 2 à 3 fois par semaine durant le début de la saison et la pause de matchs de décembre. -2 périodes d'entraînement de maintenance avec programme neuromusculaire 1 fois par semaine durant le reste de la saison. <u>Période de réalisation</u> Pendant une saison du 1er septembre 2005 au 28 février 2006 Les sessions d'entraînement neuromusculaire ont été réalisées juste avant les exercices de floorball.</p>
Comparateur	<p>Les équipes du groupe contrôle ont réalisé leurs entraînements habituels tout au long de l'étude.</p>
Critères de jugement	<p>Blessure aigue du membre inférieur survenant dans des circonstances de non-contact (pas de contact avec une autre joueuse, crosse ou balle). Blessure du membre inférieur de tout type.</p>
Résultats	<p>Significativement moins de blessures du membre inf sans contact sont apparues dans le groupe test comparé au groupe témoin. Différence significative en faveur du groupe test pour le risque de blessures de tout type due à la diminution des blessures du membre inf sans contact. 6 ruptures de ligaments croisés antérieurs dans le groupe test dont 3 de type sans contact. 4 ruptures de ligaments croisés antérieurs dans le groupe contrôle dont 3 de type sans contact. Le ratio de taux d'incidence entre le groupe à haute observance et le groupe témoin pour les blessures sans contact au ligament du genou était de 0,32 (0,04 à 2,59, P = 0,284)</p>

Time-dependent postural control adaptations following a neuromuscular warm-up in female handball players: a randomized controlled trial, Steib *et al*, 2016 [46]

Population	<p><u>Nombre :</u> <u>Groupe Test :</u> (n=21) <u>Groupe témoin :</u> (n=20) <u>Age :</u> moyenne (écart-type) <u>Groupe Test :</u> 23,95 (6,27) <u>Groupe témoin :</u> 24,00 (5,59) <u>Sexe :</u> Femmes <u>Provenance :</u> 3 équipes locales de handball féminin de 4^e division (Allemagne). <u>Critères d'exclusion :</u> Toute blessure du membre inférieur (aigue ou de surutilisation) empêchant la participation normale à la compétition ou à l'entraînement au moment de l'étude.</p>
Intervention	<p><u>Descriptif de l'intervention :</u> Programme remplaçant l'échauffement habituel du groupe test. <u>Course</u> à faible intensité <u>Agilité :</u> course avec changements de direction (planter et couper). <u>Equilibre :</u> position monopodale (avec un défi croissant) <u>Renforcements :</u> planches et planches latérales avec élévation des hanches ou des jambes, squats avec élévation des orteils (sur 2 ou 1 jambe) ou fentes en marchant. <u>Plyométrie :</u> sauts (vertical ou latéral), bonds (courir avec de grands pas et des montées de genoux hautes) <u>Durée :</u> 15 minutes (total) 2 à 3 min pour la course 20-30 s par exercices, 2 à 3 séries de chaque catégorie d'exercices. <u>Répétition :</u> 3 fois par semaine <u>Période de réalisation :</u> Avant chaque session d'entraînement pendant 11 semaines.</p>
Comparateur	<p>Echauffement normal de routine de 15min Exercices répétés de course à intensité modérée suivis d'exercices d'échauffement non spécifiques au handball (sans composantes d'équilibre, de saut ou de renforcement).</p>
Critères de jugement	<p>L'équilibre statique (mesure de la rapidité de balancement du centre de pression pendant une tenue debout monopodale(vCOP)) et dynamique (distance maximale atteinte au « star excursion balance test » (SEBT)) Mesures effectuées aux semaines 0, 3, 6 et 9 et 11.</p>
Résultats	<p>Les mesures du SEBT du groupe test ont été améliorées pour toutes les directions. Dans le groupe contrôle se fut le cas uniquement pour les directions antérieure et latérale. On retrouve des améliorations significativement meilleures dans le groupe test en comparaison avec le groupe contrôle. Les premières améliorations significatives pour le groupe test ont été observées après la semaine 6. La moyenne de vCOP s'est significativement améliorée dans le groupe test et on note une tendance à l'amélioration dans le groupe contrôle. Les premières améliorations significatives pour le groupe test ont également été observées après la semaine 6.</p>

Prevention of acute knee injuries in adolescent female football players: cluster randomised controlled trial, Waldén *et al*, 2012 [47]

Population	<p><u>Nombre :</u> <u>Groupe Test :</u> (n=2479) <u>Groupe témoin :</u> (n=2085) <u>Age :</u> moyenne (écart-type) <u>Groupe Test :</u> 14,0 (1,2) <u>Groupe témoin :</u> 14,1 (1,2) <u>Sexe :</u> Femmes <u>Provenance/Critères d'inclusion :</u> U14 à U18 féminine de 8 districts régionaux de la « Swedish Football Association » localisés dans le centre et le sud de la Suède. <u>Critères d'exclusion :</u> Clubs ayant moins de 2 sessions d'entraînement par semaine. Clubs utilisant déjà un programme de prévention de blessure.</p>
Intervention	<p><u>Descriptif de l'intervention :</u> Programme d'échauffement neuromusculaire avec exercices travaillant le contrôle du genou et le core stability précédé par 5min de course à faible intensité : -Squat sur une jambe -Pont fessier -Squat sur 2 jambes -Planche -Fentes -Technique de saut/réception Les exercices sont subdivisés en 4 niveaux de difficulté progressive et d'un niveau en binôme. (Descriptif détaillé des différents exercices et niveau en <u>annexe 9</u>) <u>Durée :</u> 15 minutes <u>Répétition/Période de réalisation :</u> Exercices réalisés pendant l'échauffement à 2 sessions d'entraînement par semaine durant la saison entière.</p>
Comparateur	<p>Le groupe contrôle a joué et s'est entraîné comme à son habitude tout au long de la saison sans aucun changement.</p>
Critères de jugement	<p>Primaire : Taux de blessure du ligament croisé antérieur. Secondaire : Taux de blessure au genou sévère et de tout type de blessure aigüe au genou.</p>
Résultats	<p>Réduction statistiquement significative de 64% du taux de blessure de ligament croisé antérieur dans le groupe test comparé au groupe témoin. Pas de réduction significative des taux pour le critère de jugement secondaire. Les analyses ajustées de sous-groupes des joueurs observants ont montré une réduction statistiquement significative de 83% du taux de blessure de ligament croisé antérieur ainsi que des réductions significatives pour le critère de jugement secondaire dans le groupe test comparé au groupe témoin. Des analyses exploratoires des blessures de ligament croisé antérieur sans contact ont montré une diminution des taux en faveur du groupe test. Les diminutions étaient statistiquement significatives seulement pour les analyses ajustées de sous-groupe de joueurs observants.</p>

Effects of evidence-based prevention training on neuromuscular and biomechanical risk factors for ACL injury in adolescent female athletes: a randomised controlled trial, Zebis *et al*, 2015 [48]

Population	<p><u>Nombre :</u> <u>Groupe Test :</u> (n=20) <u>Groupe témoin :</u> (n=20)</p> <p><u>Age :</u> <u>Groupe Test :</u> 15,9 (0,4) <u>Groupe témoin :</u> 15,6 (0,5)</p> <p><u>Sexe :</u> Femmes</p> <p><u>Provenance :</u> Université de sports de football et de handball (année 2010/2011) à Copenhague, Danemark.</p> <p><u>Critères d'inclusion :</u> Etudiantes à temps plein de l'université des sports</p> <p><u>Critères d'exclusion :</u> Blessure musculo-squelettique entraînant une absence aux entraînements universitaires au début de l'essai.</p>
Intervention	<p><u>Descriptif de l'intervention</u> Positions et équilibre Course Changement de direction (side cutting) Sauts Réceptions</p> <p><u>Durée</u> 4-5min par type d'exercice, 3 exercices par sessions d'entraînement soit environ 15min au total.</p> <p><u>Répétition</u> 3 fois par semaine.</p> <p><u>Période de réalisation</u> Programme de prévention implémenté en tant qu'échauffement avant leur entraînement habituel durant 12 semaines.</p>
Comparateur	<p>Le groupe test a réalisé son échauffement puis entraînement normal habituel avant tout au long de l'essai.</p>
Critères de jugement	<p>Primaire : Pré-activité neuromusculaire du quadriceps (vaste latéral,VL) et du semi tendineux(ST), mesurée à l'EMG, durant un mouvement de coupure latérale standardisé (side cut).</p> <p>Secondaires :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pré-activité musculaire du ST, du VL et du biceps femoral (BF) au cours d'un side cut mesurée à l'EMG. - Angle du valgus de l'articulation du genou au contact initial et moment de valgus maximal mesuré à l'aide d'analyses 3D du mouvement. - Force des muscles ischio-jambiers mesurée avec un dynamomètre.
Résultats	<p>Différence intergroupe statistiquement significative dans la différence de pré-activité de VL-ST EMG.</p> <p>Différence de pré activation de VL-ST de 43% de l'EMGmax moins importante dans le groupe test comparé au groupe témoin. (95% CI 32% to 55%)</p> <p>Pré activation de VL inférieure de 23% dans le groupe test comparé au groupe témoin. (95% CI 10% to 36%, p<0.0008)</p> <p>Le groupe test a augmenté sa pré-activité ST de 18% de EMGmax, (95% CI -21% to -9%, p<0.0001) et sa pré-activité BF de 8% de EMGmax (95% CI -14% to -2%, p=0.01) en comparaison avec le groupe témoin.</p> <p>Pas de changements retrouvés pour le moment de valgus maximal ou l'angle de valgus au contact initial.</p> <p>Pas de différence intergroupe observée dans la force maximale de contraction volontaire des ischio-jambiers.</p>

3.2 Risques de biais des études incluses

L'évaluation du risque de biais des études incluses a été réalisée à l'aide de l'échelle PEDro permettant de scorer la qualité méthodologique de chaque étude. L'échelle est disponible en [annexe 4](#). Le tableau ci-dessous présente les résultats par items obtenus pour chaque article.

Études	Items											Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Emery et al.	✓	✓	✓	✓			✓		✓	✓	✓	7/10
Finch et al.	✓	✓						✓	✓	✓	✓	5/10
Olsen et al.	✓	✓		✓				✓	✓	✓	✓	6/10
Pasanen et al.	✓	✓						✓	✓	✓	✓	5/10
Steib et al.	✓	✓		✓				✓		✓	✓	5/10
Waldén et al.	✓	✓	✓	✓			✓		✓	✓	✓	7/10
Zebis et al.	✓	✓	✓	✓					✓	✓	✓	6/10

Le signe ✓ signifie que la réponse à l'item est positive. Une case vide signifie que la réponse à l'item est négative.
L'item 1 n'est pas pris en compte pour le calcul du score PEDro.

On peut ainsi retrouver les différents biais suivants correspondant à des réponses négatives à différents items :

Biais de sélection : Item 3 : assignation secrète ; Item 4 : groupes similaires au début de l'étude

Biais d'évaluation : Item 5 : sujets en aveugle ; Item 6 : thérapeutes en aveugle ; Item 7 : examinateurs en aveugle

Biais de suivi : Item 8 : mesures obtenues au moins 85% des sujets initialement répartis dans les groupes pour au moins un des critères de jugement essentiels.

Biais d'attrition : Item 9 : Les sujets ont reçu l'intervention ou le contrôle ou alors les données ont été analysées "en intention de traiter".

3.3 Effets de l'intervention sur les critères de jugements de la revue

3.3.1 Tableau synthétique

Auteurs	Critères de jugement	Résultats (Intervalle de confiance à 95%)	Seuil de significativité statistique p
Emery et al. [42]	Entorses de genou : -ratio des taux d'incidence de blessure (ajusté par cluster et pour les covariances)	0.38 (0.08 to 1.75)	P= 0.232
Finch et al. [43]	Blessure au genou : -ratio des taux d'incidence (non ajusté)	0.65 (0.42, 0.99)	P=0.046
	Blessure au genou : -ratio des taux d'incidence (ajusté par cluster)	0.50 (0.24, 1.05)	P=0.07

Olsen <i>et al.</i> [44]	-Blessure aigue de genou (risque relatif)	0.45 (0.25 to 0.81)	P=0.007
	-Blessure aux ligaments du genou (ratio de taux)	0.20 (0.06 to 0.70)	P=0.01
	-Blessure aux ménisques (ratio de taux)	0.27 (0.06 to 1.28)	P=0.1
Pasanen <i>et al.</i> [45]	Blessure aux ligaments du genou (ratio de taux d'incidence non ajusté)	0.49 (0.19 to 1.27)	P=0.143
	Blessure aux ligaments du genou (ratio de taux d'incidence ajusté)	0.49 (0.18 to 1.31)	P=0.155
	Blessure sans contact aux ligaments du genou (ratio de taux d'incidence entre le groupe à haute observance et le groupe témoin)	0.32 (0.04 to 2.59)	P=0.284
Steib <i>et al.</i> [46]	Equilibre dynamique (différence de moyenne calculée d'amélioration des scores SEBT)	T3= -1.67 (-4.30 to 0.96) T6= 0.79 (-1.33 to 2.91) T9= 2.14 (-0.89 to 5.17) T11= 2.03 (-1.46 to 5.52)	
	Equilibre statique (différence de moyenne calculée de rapidité de balancement du centre de pression en cm/s)	T3= -0.01 (-0.44 to 0.42) T6= -0.35 (-0.79 to 0.09) T9= -0.11 (-0.60 to 0.38) T11= -0.39 (-0.79 to 0.01)	
Waldén <i>et al.</i> [47]	Blessure du ligament croisé antérieur (ratio de taux)	0.36 (0.15 to 0.85)	P=0.02

	Blessure de genou sévère (ratio de taux)	0.70 (0.42 to 1.18)	P=0.18
	Blessure aigue de genou (ratio de taux)	0.92 (0.61 to 1.40)	P=0.71
	Blessure du ligament croisé antérieur (ratio de taux ajusté au sous-groupe de joueurs observants)	0.17 (0.05 to 0.57)	P=0.004
	Blessure de genou sévère (ratio de taux ajusté au sous-groupe de joueurs observants)	0.18 (0.07 to 0.45)	P<0.001
	Blessure aigue de genou (ratio de taux ajusté au sous-groupe de joueurs observants)	0.53 (0.30 to 0.94)	P=0.03
	Blessure du ligament croisé antérieur de type sans contact (ratio de taux ajusté au sous-groupe de joueurs observants)	0.26 (0.07 to 0.99)	P=0.049
Zebis et al. [48]	Différence de préactivité EMG VL-ST en % (test vs control)	-43% (-32% to -55%)	P<0.0001
	Préactivité de VL (test vs control)	-23% (-10% to -36%)	P<0.0008
	Préactivité (test vs control) de ST	+18% (+21% to +9%)	P<0.0001
	Préactivité de BF (test vs control)	+8% (+14% to +2%)	P=0.01

4 Discussion

4.1 Analyse des principaux résultats

Dans cette partie les résultats des différentes études présentés précédemment sont analysés et interprétés. Ils sont commentés par critère de jugement. Le risque de biais, l'hétérogénéité et l'interprétabilité des résultats sont également traités. Ainsi, lorsque cela est possible, les résultats sont comparés entre eux. A noter que, pour cette revue, le taux de significativité d'un résultat est fixé à $p=0.05$.

4.1.1 Concernant le critère de jugement principal

Le critère de jugement principal de cette revue est la survenue de blessure de genou. Plusieurs des études incluses évaluent l'intérêt et l'efficacité de différents programmes d'entraînement

neuromusculaire sur l'incidence de différents types et définitions de blessures de genou. Parmi les études incluses, 5 d'entre elles s'intéressent à l'effet d'un programme d'entraînement neuromusculaire sur la survenue de blessure de genou.

4.1.1.1 Concernant les blessures de genou (sans précision de la structure atteinte)

Parmi les études incluses dans la revue, 3 ont parmi leurs critères de jugement la survenue de blessure de genou sans précision de la structure atteinte.

L'étude de Finch *et al.*, [43] qui évalue chez des footballeurs hommes adultes l'efficacité d'un programme, basé sur des exercices d'équilibre, de saut, de changement de direction, de proprioception et de pliométrie, inclus dans l'entraînement habituel et d'une durée de 20 minutes pendant 26 semaines à raison de 2 fois par semaine montre une diminution de l'incidence de blessure au genou dans le groupe test comparativement au groupe témoin. En effet l'étude montre un ratio de taux d'incidence de 0.65 (0.42, 0.99) avec $P=0.046$, soit une différence significative selon le p mais l'intervalle de confiance étant très large (jusqu'à 0.99), la taille d'effet n'est alors pas assez importante pour avoir une conclusion positive sur ce programme dans ces conditions. De plus l'auteur nous donne également le ratio de taux ajusté par cluster. Celui-ci étant de 0.50 (0.24, 1.05) avec $p=0.07$. Le seuil de significativité est dépassé et l'intervalle de confiance nous montre un possible bénéfice comme un possible désavantage de l'intervention (la valeur 1 étant incluse dans l'intervalle). Ce ratio ajusté nous permet de réfuter l'intérêt préventif de ce programme avec ce type de modalité. Ces résultats peuvent être expliqués par la qualité méthodologique de l'article, en effet cette étude obtient un score de 5 sur l'échelle PEDro avec la présence de nombreux biais. Tout d'abord un biais de sélection avec une assignation qui n'était pas secrète et des groupes non similaires au début de l'étude, l'auteur n'étant pas en capacité de nous présenter la totalité des caractéristiques de bases des populations composant les groupes car il n'a pu obtenir qu'une partie de ces informations. Ainsi qu'un biais d'évaluation avec des sujets, des thérapeutes et des examinateurs qui n'ont pas été mis en aveugle. Ce biais est cependant difficile à éviter compte tenu de la nature de l'étude mais les thérapeutes et au moins les examinateurs auraient pu être mis en aveugle. L'enquête de présaison censée collecter les caractéristiques des joueurs n'a ainsi été complétée que par environ 50% des joueurs. L'étude présente également un manque d'information concernant la santé générale des joueurs au début de l'intervention ainsi que sur leurs antécédents de blessures. Enfin, la qualité de réalisation des exercices demandés pour l'intervention ainsi que l'assiduité au programme n'ont pas été formellement mesurés.

L'étude d'Olsen *et al.* [44] évaluant l'intérêt d'un programme composé d'exercices de technique, d'équilibre et de renforcement chez des jeunes handballeurs (filles et garçons) de 15 à 17 ans durant 20 min avant l'entraînement à raison de 1 fois par semaine sur toute une saison montre une diminution significative des blessures aiguës de genou dans le groupe test comparativement au groupe témoin. En effet l'étude obtient un risque relatif de 0.45 (0.25 to 0.81) avec un $p=0.007$. Le p montre donc que le résultat obtenu est bien significatif et l'intervalle de confiance ne comprend pas la valeur 1 donc l'effet du programme sur la survenue de blessures aiguës de genou est bien réel pour ce type de modalités. Toutefois la taille de l'effet n'est pas idéale. En effet 0.81 reste proche de la valeur 1 signifiant un effet nul et ces résultats bénéfiques seront à mettre en lien avec les coûts et contraintes engendrées par ce programme. Ces résultats peuvent s'expliquer par une qualité méthodologique moyenne avec la présence d'un biais de sélection puisque l'auteur n'a pas respecté une assignation secrète et d'un biais d'évaluation avec des sujets, thérapeutes et examinateurs qui n'ont pas été mis en aveugle. Là aussi les examinateurs ainsi que les thérapeutes auraient pu être mis en aveugle. La mise en

aveugle des sujets étant difficile dans cette configuration, c'est un paramètre que l'on peut néanmoins tolérer. L'étude montre ainsi un réel effet de ce programme sur une population de jeunes handballeurs mais le résultat reste à pondérer. En effet même si les groupes étaient significativement similaires au début de l'étude, les populations de base présentaient une part plus que majoritaire de filles dans chaque groupe ce qui peut prétendre à des résultats différents dans le cas où le sexe masculin serait plus représenté et l'extrapolation à une population homogène en genre reste peu précise.

L'étude de Waldén *et al.*, [47] qui évalue sur des footballeuses de 14 à 18 ans l'efficacité d'un programme constitué d'exercices d'équilibre, de renforcement, de sauts et réception implémenté comme échauffement de 15 minutes, 2 fois par semaine et durant toute la saison, montre une diminution du nombre de blessure de genou sévère dans le groupe test comparé au groupe témoin avec un ratio de taux à 0.70 (0.42 to 1.18), $p=0.18$, ainsi qu'une diminution du nombre de blessure aigue de genou avec un ratio de taux de 0.92 (0.61 to 1.40), $p=0.71$. Ces 2 résultats ne sont pas significatifs ($p>0.05$) et chacun des intervalles de confiance inclut la valeur 1. Ces résultats ne permettent donc pas de tirer de conclusions favorables au programme. En revanche, l'auteur donne également les résultats avec des ratios de taux ajustés au sous-groupe de joueuses observantes. On observe ainsi chez les joueuses ayant une bonne observance du programme une diminution significative de blessures de genou sévères avec un ratio de taux ajusté de 0.18 (0.07 to 0.45), $p<0.001$, et une diminution significative de blessures aiguës de genou avec un ratio de taux ajusté de 0.53 (0.30 to 0.94), $p=0.03$. Ces 2 résultats sont significatifs ($p<0.05$) et leur intervalle de confiance ne comprend pas la valeur 1. On peut donc conclure à une efficacité du programme pour ces modalités sur la prévention de blessure de genou aigue ou sévère. Cependant, si on s'intéresse aux tailles d'effet, seul l'effet sur la diminution de blessure de genou sévère semble cliniquement pertinent puisqu'il montre à travers son intervalle de confiance une diminution minimale assurée de 55%. En effet, selon l'intervalle de confiance, le ratio de blessures de genou aiguës peut atteindre la valeur de 0.94, signifiant une diminution de blessure aigue de 6%. Ce résultat est donc à mettre en confrontation avec les coûts et contraintes d'une implémentation de ce programme. De plus, la validité de ces résultats est renforcée par la qualité méthodologique de l'étude. L'article obtient un score PEDro de 7/10. Toutefois, l'étude présente un biais de suivi non négligeable puisqu'elle n'a pas obtenu des mesures pour au moins 85% des sujets initialement répartis. Ceci peut s'expliquer par le nombre élevé de sujets (+de 6000) initialement randomisés et la complexité de récupération de données sur une étude avec un échantillon d'une telle envergure mais ce biais montre une éventuelle surestimation de l'effet de ce programme. L'étude présente également un biais d'évaluation car les sujets et les thérapeutes n'ont pas été mis en aveugle mais les examinateurs l'ont été. L'étude n'a également pas réussi à recruter l'échantillon estimé d'après leurs calculs de taille d'échantillon nécessaire. Les exercices du programme ont été supervisés par les coachs au cours de la saison et la bonne réalisation de ceux-ci reste donc en partie incertaine. Ce sont également les coachs qui ont rempli les formulaires de participation des joueurs concernant leur observance et les auteurs n'ont donc pas été en mesure de valider les rapports des coachs. Enfin, les auteurs n'ont pas pu vérifier si les clubs du groupe témoin ont réalisé des exercices apparentés à ceux réalisés dans le groupe intervention au cours de leur entraînement habituel. Néanmoins ce dernier point tend en faveur d'une sous-estimation de l'effet du programme testé.

Pour résumer, le programme de Finch *et al.* [43] ne permet pas de diminuer la survenue de blessure au genou chez des footballeurs masculins adultes, le programme d'Olsen *et al.* [44] permet une réduction du risque de blessure aigue de genou d'au moins 19% chez des handballeurs adolescents (population mixte mais majoritairement féminine) et le programme

de Waldén et al [47] a un effet réducteur d'au moins 55% sur la survenue de blessures de genou sévères et d'au moins 6% sur la survenue de blessures de genou aiguës chez une population observante de joueuses de football de 14 à 18 ans mais ces derniers résultats pourraient être remis en question par une étude avec un meilleur suivi.

4.1.1.2 Concernant le critère de jugement principal (avec précision de la structure atteinte)

Parmi les études incluses dans cette revue, 4 d'entre elles ont une définition plus précise du type et de la structure atteinte lors de la survenue de blessure de genou. Les 4 s'intéressent aux blessures de ligaments du genou et 1 également aux blessures de ménisques.

L'étude d'Emery *et al.*[42] qui s'intéresse à l'effet sur le risque d'entorse de genou d'un programme inclus aux entraînements basé sur des exercices de renforcement, d'agilité et d'équilibre chez de jeunes joueurs de football en salle (population mixte) entre 13 et 18 ans, montre une diminution de la survenue d'entorses de genou dans le groupe test comparativement au groupe témoin avec un ratio de taux d'incidence de blessure (ajusté par cluster et pour les covariances) de 0.38 (0.08 to 1.75), $p=0.232$. Au vu de la valeur p , ce résultat n'est donc pas significatif et l'intervalle de confiance nous confirme l'impossibilité de tirer des conclusions de ce résultats. Ils peuvent néanmoins être expliqués par la présence de biais avec un score PEDro obtenu de 7. En effet l'étude présente un biais d'évaluation avec une non mise en aveugle des sujets et des thérapeutes ainsi qu'un biais de suivi avec des mesures obtenues pour moins de 85% des sujets initialement répartis. De plus, le programme est présenté comme visant à réduire le nombre de blessure du membre inférieur et n'est pas spécifiquement axé sur la réduction d'entorses de genou ce qui peut en partie expliquer des résultats non significatifs.

En plus d'évaluer son programme sur la survenue de blessures aiguës de genou, l'étude d'Olsen *et al.*[44] recherche également l'efficacité de celui-ci sur la survenue de blessures aux ligaments du genou ainsi qu'aux ménisques. L'auteur nous décrit ainsi une diminution du nombre de blessures aux ligaments de genou avec un ratio de taux de survenue de 0.20 (0.06 to 0.70), $p=0.01$, soit une diminution significative ($p<0.05$) d'après l'intervalle de confiance d'au moins 30%. Il décrit également une diminution du nombre de blessures aux ménisques avec un ratio de taux de survenue de 0.27 (0.06 to 1.28), $p=0.1$. Ce dernier résultat n'est quant à lui pas significatif et de plus l'intervalle comprend la valeur 1. Comme décrit plus haut, l'étude présente des biais de sélection et d'évaluation pondérant les résultats obtenus mais on peut toutefois présumer d'une efficacité de ce programme sur ces modalités, soit un effet en faveur d'une diminution du risque de blessures aux ligaments mais pas en faveur d'une diminution du risque de blessure aux ménisques. Ce résultat sur les ménisques peut être amené à évoluer avec une taille d'échantillon plus grande. En effet, l'évènement « survenue d'une blessure aux ménisques » étant rare, une taille d'échantillon plus conséquente permettrait probablement d'obtenir un résultat significatif afin de pouvoir tirer des conclusions sur l'efficacité ou non de ce programme sur la prévention d'apparition de blessures aux ménisques.

L'étude de Pasanen *et al.* [45] qui évalue l'intérêt chez des joueuses de floorball adultes d'un programme constitué d'exercices de course, d'équilibre, de pliométrie, de renforcement et d'étirements implémenté avant l'entraînement 1 à 3 fois par semaine tout au long de la saison, montre une diminution de blessures aux ligaments du genou avec un ratio de taux d'incidence non ajusté de 0.49 (0.19 to 1.27), $p=0.145$. Soit un résultat non significatif ($p>0.05$) et avec un

intervalle de confiance incluant la valeur 1. L'auteur nous donne également le ratio de taux ajusté qui est de 0.49 (0.18 to 1.31), $p=0.155$. Ici non plus le résultat présenté n'est pas significatif. Pour finir l'étude s'intéresse à la diminution du nombre de blessures sans contact aux ligaments du genou et montre un ratio de taux d'incidence entre le groupe à haute observance et le groupe témoin de 0.32 (0.04 to 2.59), $p=0.284$. On obtient donc un résultat une fois de plus non significatif avec un intervalle de confiance incluant la valeur 1. Ces 3 résultats non significatifs peuvent en partie être expliqués par la qualité méthodologique de cet essai. En effet cette étude obtient un score PEDro de 5/10 et présente de nombreux biais. Un biais de sélection avec le non-respect d'une assignation secrète et des groupes non similaires au début de l'étude ainsi qu'un biais d'évaluation avec des sujets, des thérapeutes et des examinateurs qui n'ont pas été mis en aveugle. La faible qualité méthodologique associée à la non-significativité des résultats obtenus ne permet donc pas de tirer de conclusions sur un quelconque effet préventif de ce programme sur ces critères de jugement.

L'étude de Waldén *et al.* [47] évalue également l'effet de son programme sur la diminution de blessure de ligament croisé antérieur avec un ratio de taux obtenu de 0.36 (0.15 to 0.85), $p=0.02$. Soit une diminution significative dans le groupe test d'au moins 15% comparativement au groupe témoin. De plus, l'auteur donne également un ratio de taux ajusté au sous-groupe de joueuses observantes pour la survenue de blessures de ligament croisé antérieur d'une valeur de 0.17 (0.05 to 0.57), $p=0.004$. Soit une diminution significative d'au moins 43% de survenue de blessure de ligament croisé antérieur chez des joueuses observantes au programme. L'auteur montre également une diminution de blessures du ligament croisé antérieur de type sans contact avec un ratio de taux ajusté au sous-groupe de joueuses observantes de 0.26 (0.07 to 0.99), $p=0.049$. Et donc une diminution significative d'au moins 1% du nombre de blessures du ligament croisé antérieur de type sans contact chez des joueuses observantes au programme. Ces différents résultats sont à pondérer car on note la présence de biais d'évaluation et de suivi et c'est surtout le cas pour le dernier résultat qui montre une taille d'effet relativement faible (1%).

Pour résumer, l'étude d'Emery *et al.* [42] ne permet pas de tirer de conclusion sur un effet préventif de leur programme sur la survenue d'entorses de genou. L'étude d'Olsen *et al.* [44] montre que leur programme permet une diminution d'au moins 30% de survenue de blessures aux ligaments du genou chez des handballeurs de 15 à 17 ans mais ne permet pas de tirer de conclusions sur l'effet de leur programme sur la survenue de blessures aux ménisques. L'étude de Pasanen *et al.* [45] ne permet de tirer aucune conclusion sur un éventuel effet préventif de leur programme que ce soit sur les blessures de ligaments du genou ou sur les blessures de ligaments du genou de type sans contact. Pour finir, l'étude de Waldén *et al.* [47] montre que leur programme permet chez des joueuses de football de 14 à 18 ans une diminution d'au moins 15% de blessures de ligament croisé antérieur et d'au moins 43% chez des joueuses ayant une bonne observance. En revanche il ne permet qu'une diminution d'au moins 1% de blessures de ligament croisé antérieur de type sans contact chez des joueuses observantes, résultat pouvant être surestimé par la présence de biais.

4.1.1.3 Synthèse concernant le critère de jugement principal

Les résultats obtenus et analysés précédemment montrent que seul deux programmes ont un réel effet préventif sur la survenue de blessure au genou et ceci uniquement sur une population jeune, soit entre 14 et 18 ans pour l'un et 15 et 17 ans l'autre. De plus la population et les sports pratiqués diffèrent. En effet l'essai de Olsen *et al.*, étudie un échantillon mixte pratiquant du handball et l'essai de Waldén *et al.*, étudie un échantillon uniquement féminin pratiquant du

football. Néanmoins, on peut remarquer des similarités entre les deux programmes. Ils sont tous deux implémentés tout au long d'une saison, tous deux ont lieu avant l'entraînement spécifique au sport et leur durée est proche. Leur composition est également semblable. Ils ont en communs des exercices d'équilibre avec décentrations internes et externes, de renforcement des membres inférieurs en chaîne fermée et également de pliométrie avec des exercices de sauts et réceptions. Malgré les biais remarqués, ces études prouvent les effets de leur programme. Celui de Olsen *et al*, diminue d'au moins 19% l'apparition de blessure aigüe de genou et d'au moins 30% l'apparition de blessure de ligament de genou. Celui de Waldén *et al*, diminue d'au moins 55% l'apparition de blessure de genou sévère, d'au moins 6% celle de genou aigüe chez les joueuses avec bonne observance, d'au moins 15% celle de blessure au ligament croisé antérieur, d'au moins 43% celle de blessure au ligament croisé antérieur chez les joueuses avec bonne observance et d'au moins 1% celle de blessure au ligament croisé sans contact chez les joueuses avec bonne observance.

4.1.2 Concernant les critères de jugements secondaires

Le critère de jugement secondaire de cette revue est la modification des paramètres facteurs de risques d'une blessure au genou. Parmi les études incluses dans cette revue, seulement deux ont parmi leurs critères de jugement l'influence d'un programme neuromusculaire sur des paramètres facteurs de risque de blessure au genou. Une des études s'intéresse à la notion d'équilibre alors que l'autre s'intéresse à la notion de préactivité musculaire.

L'étude de Steib *et al*, [46] s'intéresse à l'effet d'un programme sur l'équilibre dynamique et statique chez des joueuses de handball. Ce programme de 15 minutes est composé d'exercices de course, d'agilité, d'équilibre, de renforcement, de pliométrie et implémenté à la place de l'échauffement 3 fois par semaine durant 11 semaines. L'étude évalue l'équilibre statique à l'aide de la mesure de la rapidité de balancement du centre de pression et montre une amélioration des valeurs dans le groupe test comparé au groupe témoin avec les différences de moyenne d'amélioration calculées suivantes à différents temps : T3= -0.01 (-0.40 to 0.42) ; T6= -0.35 (-0.79 to 0.09) ; T9= -0.11 (-0.60 to 0.38) ; T11= -0.39 (-0.79 to 0.01). Cependant, si on observe plus précisément les intervalles de confiance, on peut remarquer que pour chaque résultat l'intervalle de confiance comprend la valeur 0. Le programme peut donc potentiellement avoir à la fois un effet bénéfique comme un effet néfaste sur l'équilibre statique. Même si l'auteur nous présente des résultats intra-groupes significatifs, les résultats inter groupe ne nous permettent pas d'affirmer l'efficacité de ce programme sur l'équilibre statique mais plutôt de la réfuter. Concernant l'équilibre dynamique, l'étude l'évalue à l'aide du score au test SEBT et montre une amélioration de l'équilibre dynamique dans le groupe test comparativement au groupe témoin à partir de T6 avec les différences de moyennes d'amélioration des scores SEBT suivantes : T3= -1.67 (-4.30 to 0.96) ; T6= 0.79 (-1.33 to 2.91) ; T9= 2.14 (-0.89 to 5.17) ; T11= 2.03 (-1.46 to 5.52). Là aussi les intervalles de confiance comprennent tous la valeur 0 synonyme d'amélioration nulle et même des valeurs négatives synonymes d'effet délétère du programme sur l'équilibre dynamique. Ces résultats ne nous permettent donc pas non plus d'affirmer un effet (qu'il soit négatif ou positif) de ce programme dans ces modalités sur l'équilibre dynamique. Ces résultats peuvent être expliqués par la qualité méthodologique basse de l'étude avec un score PEDro de 5/10 et la présence de biais de sélection avec le non-respect d'une assignation secrète, d'un biais d'évaluation avec la non mise en aveugle des sujets, des thérapeutes et des examinateurs ainsi que d'un biais d'attrition avec des patients sortis dont les données n'ont pas été analysées en « intention de traiter ». Des résultats plus probants pourraient néanmoins être retenus avec une étude réalisée avec un échantillon plus grand (n=41 dans cette étude), des données analysées en intention de traiter

pour les patients sortis, le respect d'une assignation secrète et également une durée d'implémentation du programme plus longue (11 semaines dans l'étude). Il faut également noter que les groupes intervention et témoin de chaque équipe ont effectué leur programme d'échauffement dans la même salle ce qui a pu influencer les résultats. Enfin, les auteurs ne sont pas parvenus à obtenir les données de chaque participant pour tous les moments de collecte ce qui peut diminuer le pouvoir statistiques de leurs analyses.

L'étude de Zebis *et al*, [48] s'intéresse quant à elle aux effets d'un programme chez des footballeuses et des handballeuses adolescentes sur la préactivité musculaire, sur le moment de valgus maximal ou l'angle de valgus au contact initial, et sur la force maximale de contraction volontaire des ischios jambiers. Ce programme de 15 minutes est constitué d'exercices de positions et d'équilibre, de course, de changement de direction (side cutting), de sauts et réceptions et est implémenté en tant qu'échauffement 3 fois par semaine durant 12 semaines. Il ne présente pas de changements sur le moment de valgus maximal ou l'angle de valgus au contact initial. Et on ne retrouve pas de différence intergroupe dans la force maximale de contraction volontaire des ischios jambiers. Toutefois il montre une différence intergroupe dans la différence de pré activité VL-ST de 43% de l'EMGmax (95% CI 32% to 55%), $p < 0.0001$, moins importante dans le groupe test comparé au groupe témoin. L'étude montre également une pré activité de VL inférieure de 23% (95% CI 10% to 36%, $p < 0.0008$) dans le groupe test par rapport au groupe témoin, une pré activité ST augmentée de 18% de EMGmax, (95% CI 9% to 21%, $p < 0.0001$) dans le groupe test comparé au groupe témoin et une pré activité BF augmentée de 8% de EMGmax (95% CI 2% to 14%, $p = 0.01$). Tous ces résultats sont bien significatifs et montrent donc que le programme pour ces modalités permet de diminuer la différence de préactivité entre le vaste latéral et le semi-tendineux d'au moins 32%, de diminuer la préactivité du vaste latéral d'au moins 10%, d'augmenter celle du semi-tendineux d'au moins 9% et celle du biceps fémoral d'au moins 2%. Ces résultats et en particulier ce dernier au vu de sa faible taille d'effet sont à pondérer tout d'abord par la qualité méthodologique de l'étude. Celle-ci obtient un score PEDro de 6/10 et présente un biais d'évaluation avec une non mise en aveugle des sujets, thérapeutes et examinateurs ainsi qu'un biais de suivi avec des données obtenues pour moins de 85% des sujets initialement répartis. Ces biais associés de plus à une taille d'échantillon contenue peuvent nous laisser penser à une probable surestimation des résultats et ceux dont la taille d'effet est restreinte devront être approfondis par des études qualitativement meilleures avec un échantillon plus conséquent.

Pour résumer, le programme de l'étude de Steib *et al*, ne présente pas d'intérêt préventif chez des handballeuses car il n'améliore pas l'équilibre statique et dynamique et le programme de Zebis *et al*, permet une diminution de la différence de préactivité entre le vaste latéral et le semi-tendineux d'au moins 32%, une diminution de la préactivité du vaste latéral d'au moins 10%, une augmentation de celle du semi-tendineux d'au moins 9% et de celle du biceps fémoral d'au moins 2% ce qui implique un intérêt préventif chez les joueuses adolescentes de football et handball car influençant favorablement le paramètre préactivité musculaire.

4.2 Applicabilité des résultats en pratique clinique

Dans cette partie, les résultats précédemment analysés et en particulier les effets des programmes sont mis en balance avec les coûts et contraintes éventuels d'une implémentation en pratique clinique. Seuls les programmes ayant un effet avéré sont retenus dans cette partie.

Le programme de l'étude d'Olsen *et al*, diminue d'au moins 19% l'apparition de blessure aigue de genou et d'au moins 30% l'apparition de blessure de ligament de genou soit deux tailles

d'effet non négligeables au vu de la gravité de telles blessures qui entraînent indisponibilité majeure (avec conséquences pour le joueur et le club) ainsi que coûts pour le système de soin. Il est implémenté sur des jeunes handballeurs de 15 à 17 ans (avec grande majorité de filles) donc peut être appliqué pour les deux genres et pour 2 à 3 catégories d'âge. Il nécessite d'être implémenté sur toute une saison à raison d'une fois par semaine. Il requiert également 20 minutes pour être réalisé ce qui représente un temps négligeable au vu de la durée d'un entraînement. Néanmoins, il faut également prendre en compte le temps en préambule de la saison pour enseigner le programme au staff de l'équipe ou à l'équipe puis celui de la vérification de la bonne application de celui-ci. Les contraintes concernant les sujets sont l'apprentissage de nouveaux exercices et la gestion d'entraînements d'une durée plus longue. Celle concernant les thérapeutes est le suivi de la bonne observance de ce programme. En ce qui concerne le matériel, ce programme ne nécessite que d'un plateau d'équilibre ou d'une mousse d'équilibre ce qui représente un investissement réduit pour un club. La balance effets/contraintes est donc en faveur de l'implémentation de ce programme avec pour essentielle contrainte la gestion de temps.

Le programme de l'étude de Waldén et al, diminue d'au moins 55% l'apparition de blessure de genou sévère, d'au moins 6% celle de genou aigue chez les joueuses avec bonne observance, d'au moins 15% celle de blessure au ligament croisé antérieur, d'au moins 43% celle de blessure au ligament croisé antérieur chez les joueuses avec bonne observance et d'au moins 1% celle de blessure au ligament croisé sans contact chez les joueuses avec bonne observance. Comme mentionné précédemment ce type de blessure peut entraîner indisponibilité majeure (avec conséquences pour le joueur et le club) ainsi que coûts pour le système de soin. Le programme est implémenté sur des footballeuses entre 14 et 18 ans donc peut être appliqué uniquement sur des sujets féminins mais peut l'être sur 4 à 5 catégories d'âge ce qui représente une population conséquente. Il dure 15 minutes et nécessite d'être appliqué pendant l'échauffement avant l'entraînement à raison de 2 fois par semaine sur toute une saison. Là aussi cela représente donc un temps négligeable comparé à la durée d'un entraînement. Il faut également prendre en compte le temps d'apprentissage de ce programme aux joueuses ou aux staffs et celui de la vérification de la bonne observance. La contrainte concernant les sujets est l'apprentissage de nouveaux exercices et celle concernant les thérapeutes est la gestion du suivi de la bonne observance au programme. En ce qui concerne le matériel, ce programme ne nécessite pas d'équipement particulier si ce n'est des ballons de football qui sont normalement déjà utilisés lors des entraînements. Ce programme a donc aussi pour essentielle contrainte la gestion du temps. Néanmoins, si on rapporte les tailles d'effet aux contraintes d'une implémentation de ce programme, on remarque que les tailles d'effet de diminution de blessures au ligament croisé sans contact chez les joueuses avec bonne observance (1%) et de diminution de blessures de genou aigue chez les joueuses avec bonne observance (6%) sont relativement faibles et il semble donc peu pertinent de mettre en place un tel programme pour obtenir un résultat si minime. En revanche les tailles d'effet de diminution de blessures de genou sévère (55%) et de diminution de blessures au ligament croisé antérieur chez les joueuses avec bonne observance (43%) nous confortent dans la pertinence à implémenter un tel programme. La taille d'effet de diminution de blessures au ligament croisé antérieur (15%) semble quant à elle se trouver proche de la limite dans la balance effets/contraintes ce qui renforce donc l'importance d'une bonne observance à ce programme. Pour résumer, ce programme est donc pertinent à implémenter au vu des faibles contraintes qu'il réclame dans un but de réduire le nombre de blessures de genou sévères ainsi que de réduire le nombre de blessures au ligament croisé antérieur mais les sujets, afin d'obtenir de tels résultats, doivent suivre une observance relativement bonne. Il ne semble également pas pertinent d'appliquer ce programme dans le but

unique de diminuer le nombre de blessures au ligament croisé sans contact et ceci même avec une observance très élevée.

Le programme de l'étude de Zebis et al, diminue la différence de préactivité entre le vaste latéral et le semi-tendineux (32%), diminue la préactivité du vaste latéral (10%), augmente celle du semi-tendineux (9%) et celle du biceps fémoral (2%). Il peut être appliqué sur une population uniquement féminine pratiquant le football ou le handball et pour 2 catégories d'âge. Il dure 15 minutes et doit être implémenté en tant qu'échauffement 3 fois par semaine et durant 12 semaines. Il ne requiert pas de temps supplémentaire puisqu'il remplace l'échauffement mais requiert un temps préalable d'apprentissage aux sujets ainsi qu'un temps de vérification de la réalisation pour les thérapeutes. Au niveau matériel, il nécessite des plateaux d'équilibre ainsi que des coussins d'équilibre. La diminution de différence de préactivité VL-ST montre une bonne taille d'effet cependant la diminution de préactivité VL et l'augmentation de préactivité ST sont à la limite de la pertinence en ce qui concerne la taille d'effet rapportée aux contraintes engendrées par la mise en place de ce programme. L'augmentation de préactivité du biceps fémoral a quant à elle une taille d'effet bien trop faible pour pouvoir indiquer un réel intérêt à l'application de ce programme. Ce programme est donc bien intéressant dans un but de diminuer la différence de préactivité VL-ST et par extrapolation pourrait influencer le risque de survenue de blessure de genou car ce paramètre est un facteur de risque. Mais n'étant pas le seul facteur intervenant, la question se pose sur l'intérêt d'appliquer ce programme dans le but unique de réduire le nombre de blessures de genou. Des études approfondies sur l'importance de ce facteur dans la survenue de blessures de genou permettraient de tirer de plus amples conclusions sur ce résultat.

4.3 Qualité des preuves

L'analyse de la qualité des preuves apportées par cette revue est inspirée du système de gradation des recommandations GRADE [49].

Qualité des preuves des résultats :

-Design de l'étude : Toutes les études incluses dans la revue sont des essais cliniques randomisés ce qui représente selon GRADE le plus haut type de preuve (high).

-Qualité de l'étude : Les études comportent plusieurs biais. Elles ont toutes un biais d'évaluation en rapport avec la non mise en aveugle des sujets, thérapeutes et examinateurs. Au vu de la difficulté dans ce contexte d'aveugler sujets et thérapeutes, ce biais est donc relevé mais pris en compte avec une grande modération. L'étude d'Olsen et al, comporte également un biais de sélection avec un non-respect d'une assignation secrète et les études de Waldén et al, et Zebis et al, comportent toutes deux un biais de suivi avec des mesures qui n'ont pas été obtenues pour au moins 85% des sujets initialement répartis. Ces biais sont quant à eux importants dans l'analyse des résultats et sont retenus pour l'évaluation de la qualité des preuves. Ils diminuent donc d'un rang le grade de qualité de preuve pour les études correspondantes.

-Cohérence : Les résultats obtenus ne montrent pas d'incohérence importante.

-Applicabilité en pratique clinique : Les études nécessitent d'être appliquées sur des critères de population stricts. En effet elles ne montrent des effets que sur des populations jeunes et sur 2 types de sport. De plus certains de ces programmes ne peuvent également être appliqués que sur un genre. Il y a des incertitudes sur l'application à d'autres populations et des études complémentaires sont donc nécessaires pour pouvoir étendre leur action au sexe opposé et à une étendue d'âge plus importante. Cela diminue donc également d'un rang le grade de qualité de preuve.

Les études d'Olsen et al, de Waldén et al, et de Zebis et al, sont donc abaissées de 2 rangs et obtiennent toutes un grade « bas », ce qui signifie que « des recherches plus poussées auront très probablement un impact important sur notre confiance dans l'estimation de l'effet et changeront probablement cette estimation ».

Qualité globale des preuves : La qualité globale des données probantes devant être jugée selon les résultats en fonction de la qualité des données probantes la plus faible et les études ayant toutes obtenues le même grade, elle est donc d'un niveau jugé « bas ».

Balance bénéfiques/inconvénients : En prenant en considération le niveau de preuve, la taille d'effet, les intervalles de confiance autour des résultats et l'applicabilité des programmes en pratique clinique, on peut catégoriser la balance comme tendant vers un « avantage net soit que l'intervention fait clairement plus de bien que de mal ».

Balance bénéfiques nets/coûts : En ce qui concerne les coûts, l'implémentation de ces programmes ne nécessite que peu de matériel d'équilibre et du matériel normalement déjà utilisé par les clubs. Le coût du matériel d'équilibre semble minime pour des clubs si on le rapporte aux coûts occasionnés par une blessure de genou entraînant l'indisponibilité du joueur. De plus on peut rajouter à cela le coût relativement élevé pour le système de soin d'une telle blessure. Par exemple le coût d'une opération du ligament croisé antérieur puis de sa rééducation ou alors celui de la rééducation d'une entorse de genou. La balance semble largement tendre en faveur d'une implémentation de ces programmes.

Recommandations

L'auteur de cette revue ne reporte aucune source potentielle de conflit d'intérêt à réaliser ces recommandations. De plus, aucun fond n'a été reçu pour conduire cette revue.

Cette revue montre qu'il existe des preuves de qualité basse des effets de programmes d'entraînement neuromusculaire sur la survenue de blessure de genou et des preuves de qualité basse des effets de ces programmes sur les paramètres facteurs de risque de blessure de genou chez une population adolescente pratiquant le football et le handball en club. La qualité globale des preuves est basse et il y a des avantages en faveur de ces programmes (moins de blessures de genou, moins de blessures aux ligaments du genou). Au vu des avantages nets et des faibles contraintes et coûts engendrés, je tends vers une recommandation à utiliser « probablement » des programmes d'entraînement neuromusculaire sur la population précédemment citée, reflétant des incertitudes en raison de la qualité des preuves.

4.4 Biais potentiels de la revue

Au cours de l'évaluation de cette revue de littérature, plusieurs biais ont été relevés.

- Premièrement, malgré le fait que les études présentent toutes un programme d'entraînement neuromusculaire, ces programmes diffèrent entre eux par leur composition (même si elle peut être proche) et leurs modalités d'application (durée, répétition, période d'implémentation). Ce qui rend la généralisation plus difficile et oblige à respecter des critères stricts lors des recommandations.
- Il y a également une différence entre les échantillons des études. En effet les sports pratiqués, ainsi que l'âge moyen et le sexe des populations varient entre les études. Ce qui limite également la généralisation des programmes aux autres populations et montre que les résultats obtenus sont valables à ce jour que pour les populations correspondantes. Des études complémentaires évaluant exactement les mêmes programmes sur une population différente sont nécessaires pour élargir leurs champs d'action.

- La revue n'inclue que des essais cliniques randomisés car ceux-ci correspondent au plus haut niveau de preuve scientifique mais cela limite donc fortement le nombre d'études incluses et cela exclue donc potentiellement des résultats probablement valables venant d'autres types d'étude.
- Un autre biais est le fait qu'il n'a été inclus que des articles donc le texte était rédigé en anglais ou en français. Bien que la grande majorité de la littérature soit rédigée en anglais, cela exclue la aussi d'éventuels résultats probants.
- De plus, le nombre d'articles inclus répondant au critère de jugement secondaire est restreint et ils n'évaluent pas le même facteur de risque. Cela limite donc le niveau de fiabilité des conclusions tirées de ces résultats.
- Il y a également un biais en rapport avec le critère de jugement principal. En effet le terme « blessure de genou » est large et laisse place à une multitude d'interprétation. Ainsi chaque étude y applique sa propre définition pour y évaluer son programme et cela rend la comparaison entre les résultats plus difficile. Il aurait été plus judicieux que les études évaluent toutes leur programme sur une définition commune de « blessure de genou ». Dans cette revue c'est partiellement le cas pour les résultats obtenus sur des blessures où la structure atteinte était précisée mais même dans ces cas des précisions peuvent encore être apportées (par exemple avec le degré d'atteinte).

Dans le but d'une évaluation plus précise et objective, la revue a été évaluée à l'aide de la grille « AMSTAR 2 » (A MeaSurement Tool to Assess systematic Reviews) [50]. C'est « une mise à jour de l'outil AMSTAR original qui permettait l'évaluation critique des revues systématiques », il comporte 16 questions (avec parfois des sous questions portant le total de questions à 18), dont 10 sont tirées de la version originale d'AMSTAR. Cette grille ne génère pas de note globale.[51]

La grille AMSTAR 2 complétée pour évaluer cette revue est présentée en annexe 10. Pour résumer les résultats obtenus, 3 items (soit 4 questions) sont non applicables car ils concernent la méta-analyse or ce mémoire est une revue qualitative et non quantitative et 1 sous question d'item n'est pas applicable car elle ne concerne que les essais non randomisés or cette revue n'inclue que des essais randomisés. La revue présente donc 7 réponses positives, 2 réponses partiellement positives et 4 réponses négatives. Il en ressort donc des biais liés à la non-justification poussée d'inclure uniquement des essais cliniques randomisés, au fait que cette revue a été rédigée et menée par un auteur unique et au fait de ne pas avoir mentionné les sources de financement de chaque étude.

5 Conclusion

5.1 Implication pour la pratique clinique

Certains programmes d'entraînement neuromusculaire ont montré leur efficacité dans la prévention des blessures de genou chez le sportif. Parmi les 7 études incluses dans cette revue, seulement 3 d'entre elles ont montré une réelle action bénéfique de leur programme sur le risque de blessure de genou. Afin que ceux-ci soient efficaces, il faut néanmoins les appliquer sur des populations strictement définies.

En effet, d'après les résultats, chez des jeunes handballeurs adolescents, il semble pertinent d'implémenter un programme avant l'entraînement d'au moins 20 minutes sur toute une saison à raison d'une fois par semaine minimum. Ce programme devra alors être composé d'exercices de technique, d'équilibre et de renforcement.

Chez des joueuses adolescentes de football féminin, un programme composé d'exercices d'équilibre, de renforcement, de sauts et réception implémenté comme échauffement de 15 minutes, 2 fois par semaine et durant toute la saison semble s'imposer.

Et enfin, pour abaisser le facteur de risque de différence de préactivité musculaire rentrant en jeu dans la survenue de blessure de genou chez des joueuses adolescentes de football et de handball, un programme composé d'exercices de positions et d'équilibre, de course, de changement de direction (side cutting), de sauts et réceptions et implémenté en tant qu'échauffement de 15 minutes au moins 3 fois par semaine sur une période de 12 semaines semble s'imposer. Il faut pour ce dernier noter que son efficacité n'est avérée que pour un des facteurs de risque de la blessure de genou.

En pratique, il est donc indispensable pour le masseur-kinésithérapeute de savoir reconnaître chez des patients les facteurs de risques et d'autant plus ceux pour lesquels il peut influencer. Il pourra ensuite disposer d'un panel de programmes efficaces afin de pouvoir enseigner au pratiquant celui qui lui est le plus adapté.

5.2 Implication pour la recherche

Les résultats apportés par ces études montrent les effets bénéfiques des programmes mais ceux-ci demandent à être confirmés par d'autres études avec un design similaire mais une pertinence clinique et une qualité méthodologique meilleure. Il serait intéressant également que de futures recherches évaluent les programmes sur des populations plus étendue, avec par exemple une efficacité sur une population adulte. D'autres études pourraient quant à elle s'intéresser à la population masculine, car de nombreuses études se focalisent sur des populations féminines. Enfin des études sur d'autres programmes qui pourraient avoir une taille d'effet plus importante sont également nécessaires. Le cas du programme FIFA11+ semble par exemple intéressant à étudier au vu de la grande population qu'il vise mais aussi de la puissance de la fédération qui le prône. En effet des études ont montré ses effets sur l'équilibre, la force et l'activité musculaire ou encore sur l'incidence des blessures chez le footballeur mais pas spécifiquement celles de genou [52], [53]. Il me semblerait donc intéressant de réaliser une revue systématique regroupant les essais cliniques randomisés avec des qualités méthodologiques élevées et des échantillons conséquents montrant les effets du FIFA11+ sur l'incidence de blessure de genou afin de pouvoir proposer ou non aux praticiens un programme mondialement représenté, simple, facile à mettre en place et prenant un temps restreint. Des recherches pourraient également être menées sur l'efficacité de ce programme sur des pratiquants de sports se rapprochant biomécaniquement du football afin d'éventuellement élargir son champ d'applicabilité déjà conséquent.

Bibliographie

- [1] « Anatomie de l'appareil locomoteur-Tome 1 Mem... | Elsevier Masson ». <https://www.elsevier-masson.fr/anatomie-de-lappareil-locomoteur-tome-1-membre-inferieur-9782294745027.html> (consulté le avr. 16, 2020).
- [2] O. Cantin, A. Peltier, et P. Neyret, « Anatomie et rôle des ligaments du genou », p. 47.
- [3] « Dispositifs de Compression/Contention médicale à usage individuel - Utilisation en Orthopédie/Rhumatologie/Traumatologie », *Haute Autorité de Santé*. https://www.has-sante.fr/jcms/c_1318289/fr/dispositifs-de-compression/contention-medicale-a-usage-individuel-utilisation-en-orthopedie/rhumatologie/traumatologie (consulté le avr. 13, 2020).

- [4] « FMPMC-PS - Orthopédie - Questions d'internat ». <http://www.chups.jussieu.fr/polys/orthopedie/polyortho/POLY.Chp.7.3.html> (consulté le avr. 20, 2020).
- [5] « Prise en charge thérapeutique des lésions méniscales et des lésions isolées du ligament croisé antérieur du genou chez l'adulte », *Haute Autorité de Santé*. https://www.has-sante.fr/jcms/c_680973/fr/prise-en-charge-therapeutique-des-lesions-meniscales-et-des-lesions-isolees-du-ligament-croise-anterieur-du-genou-chez-l-adulte (consulté le avr. 13, 2020).
- [6] « Conseil de l'Europe. Recommandation N° R (92) 13 sur la Charte sociale européenne du Sport ». <https://rm.coe.int/16804ca89a> (consulté le avr. 13, 2020).
- [7] A. J. Delfico et W. E. Garrett, « Mechanisms of injury of the anterior cruciate ligament in soccer players », *Clin. Sports Med.*, vol. 17, n° 4, p. 779-785, vii, oct. 1998, doi: 10.1016/s0278-5919(05)70118-6.
- [8] « bigcount.statspackage_7024.pdf ». Consulté le: avr. 13, 2020. [En ligne]. Disponible sur: https://www.fifa.com/mm/document/fifafacts/bcoffsurv/bigcount.statspackage_7024.pdf.
- [9] J. M. Bjordal, F. Arnly, B. Hannestad, et T. Strand, « Epidemiology of anterior cruciate ligament injuries in soccer », *Am. J. Sports Med.*, vol. 25, n° 3, p. 341-345, juin 1997, doi: 10.1177/036354659702500312.
- [10] P. Faunø et B. Wulff Jakobsen, « Mechanism of anterior cruciate ligament injuries in soccer », *Int. J. Sports Med.*, vol. 27, n° 1, p. 75-79, janv. 2006, doi: 10.1055/s-2005-837485.
- [11] M. Michaelidis et G. A. Koumantakis, « Effects of knee injury primary prevention programs on anterior cruciate ligament injury rates in female athletes in different sports: a systematic review », *Phys. Ther. Sport Off. J. Assoc. Chart. Physiother. Sports Med.*, vol. 15, n° 3, p. 200-210, août 2014, doi: 10.1016/j.ptsp.2013.12.002.
- [12] W. Pickett *et al.*, « Cross national study of injury and social determinants in adolescents », *Inj. Prev.*, vol. 11, n° 4, p. 213-218, août 2005, doi: 10.1136/ip.2004.007021.
- [13] C. Finch et E. Cassell, « The public health impact of injury during sport and active recreation », *J. Sci. Med. Sport*, vol. 9, n° 6, p. 490-497, déc. 2006, doi: 10.1016/j.jsams.2006.03.002.
- [14] C. A. Emery, « Risk factors for injury in child and adolescent sport: a systematic review of the literature », *Clin. J. Sport Med. Off. J. Can. Acad. Sport Med.*, vol. 13, n° 4, p. 256-268, juill. 2003, doi: 10.1097/00042752-200307000-00011.
- [15] D. Caine, N. Maffulli, et C. Caine, « Epidemiology of Injury in Child and Adolescent Sports: Injury Rates, Risk Factors, and Prevention », *Clin. Sports Med.*, vol. 27, p. 19-50, vii, févr. 2008, doi: 10.1016/j.csm.2007.10.008.
- [16] T. E. Hewett, G. D. Myer, et K. R. Ford, « Reducing knee and anterior cruciate ligament injuries among female athletes: a systematic review of neuromuscular training interventions », *J. Knee Surg.*, vol. 18, n° 1, p. 82-88, janv. 2005, doi: 10.1055/s-0030-1248163.
- [17] E. Arendt et R. Dick, « Knee injury patterns among men and women in collegiate basketball and soccer. NCAA data and review of literature », *Am. J. Sports Med.*, vol. 23, n° 6, p. 694-701, déc. 1995, doi: 10.1177/036354659502300611.
- [18] A. Zech, M. Hübscher, L. Vogt, W. Banzer, F. Hänsel, et K. Pfeifer, « Balance training for neuromuscular control and performance enhancement: a systematic review », *J. Athl. Train.*, vol. 45, n° 4, p. 392-403, août 2010, doi: 10.4085/1062-6050-45.4.392.
- [19] E. M. Wojtys, L. J. Huston, P. D. Taylor, et S. D. Bastian, « Neuromuscular adaptations in isokinetic, isotonic, and agility training programs », *Am. J. Sports Med.*, vol. 24, n° 2, p. 187-192, avr. 1996, doi: 10.1177/036354659602400212.

- [20] E. Alentorn-Geli *et al.*, « Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 1: Mechanisms of injury and underlying risk factors », *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc. Off. J. ESSKA*, vol. 17, n° 7, p. 705-729, juill. 2009, doi: 10.1007/s00167-009-0813-1.
- [21] S. D. Barber-Westin, F. R. Noyes, S. T. Smith, et T. M. Campbell, « Reducing the risk of noncontact anterior cruciate ligament injuries in the female athlete », *Phys. Sportsmed.*, vol. 37, n° 3, p. 49-61, oct. 2009, doi: 10.3810/psm.2009.10.1729.
- [22] J. H. Stevenson, C. S. Beattie, J. B. Schwartz, et B. D. Busconi, « Assessing the effectiveness of neuromuscular training programs in reducing the incidence of anterior cruciate ligament injuries in female athletes: a systematic review », *Am. J. Sports Med.*, vol. 43, n° 2, p. 482-490, févr. 2015, doi: 10.1177/0363546514523388.
- [23] L. Y. Griffin *et al.*, « Noncontact anterior cruciate ligament injuries: risk factors and prevention strategies », *J. Am. Acad. Orthop. Surg.*, vol. 8, n° 3, p. 141-150, juin 2000, doi: 10.5435/00124635-200005000-00001.
- [24] L. Y. Griffin *et al.*, « Understanding and preventing noncontact anterior cruciate ligament injuries: a review of the Hunt Valley II meeting, January 2005 », *Am. J. Sports Med.*, vol. 34, n° 9, p. 1512-1532, sept. 2006, doi: 10.1177/0363546506286866.
- [25] « Les chiffres clés du sport 2017 - ». <http://www.sports.gouv.fr/accueil-du-site/actualites/Les-chiffres-cles-du-sport-2017> (consulté le avr. 15, 2020).
- [26] « Santé / Prévention - Définition du concept de « Prévention en Santé Publique » | AP-HM ». <http://fr.ap-hm.fr/sante-prevention/definition-concept> (consulté le avr. 15, 2020).
- [27] « Kinésithérapie, une evidence based practice ? », *Ordre des masseurs-kinésithérapeutes*, mars 18, 2019. <http://www.ordremk.fr/actualites/patients/kinesitherapie-une-evidence-based-practice/> (consulté le avr. 16, 2020).
- [28] V. Zaugg, V. Savoldelli, B. Sabatier, et P. Durieux, « Améliorer les pratiques et l'organisation des soins : méthodologie des revues systématiques », *Sante Publique (Bucur.)*, vol. Vol. 26, n° 5, p. 655-667, déc. 2014.
- [29] « Niveau de preuve et gradation des recommandations de bonne pratique - État des lieux », *Haute Autorité de Santé*. https://www.has-sante.fr/jcms/c_1600564/fr/niveau-de-preuve-et-gradation-des-recommandations-de-bonne-pratique-etat-des-lieux (consulté le mars 18, 2020).
- [30] « Échelle PEDro (Français) », *PEDro*. <https://www.pedro.org.au/french/downloads/pedro-scale/> (consulté le mars 24, 2020).
- [31] « Statistiques de PEDro (Français) », *PEDro*. <https://www.pedro.org.au/french/downloads/pedro-statistics/> (consulté le mars 24, 2020).
- [32] « Etudes qualitatives et revues systématiques - LEPCAM ». https://lepcam.fr/index.php/les-etapes/id_quali/ (consulté le mars 24, 2020).
- [33] L. Achenbach *et al.*, « Neuromuscular exercises prevent severe knee injury in adolescent team handball players », *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc. Off. J. ESSKA*, vol. 26, n° 7, p. 1901-1908, juill. 2018, doi: 10.1007/s00167-017-4758-5.
- [34] K. D. B. Foss, S. Thomas, J. C. Khoury, G. D. Myer, et T. E. Hewett, « A School-Based Neuromuscular Training Program and Sport-Related Injury Incidence: A Prospective Randomized Controlled Clinical Trial », *J. Athl. Train.*, vol. 53, n° 1, p. 20-28, janv. 2018, doi: 10.4085/1062-6050-173-16.
- [35] J. Gilchrist *et al.*, « A randomized controlled trial to prevent noncontact anterior cruciate ligament injury in female collegiate soccer players », *Am. J. Sports Med.*, vol. 36, n° 8, p. 1476-1483, août 2008, doi: 10.1177/0363546508318188.
- [36] H. Lindblom, M. Waldén, S. Carlford, et M. Häggglund, « Limited positive effects on jump-landing technique in girls but not in boys after 8 weeks of injury prevention exercise

- training in youth football », *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc. Off. J. ESSKA*, sept. 2019, doi: 10.1007/s00167-019-05721-x.
- [37] S. Sasaki *et al.*, « Core-Muscle Training and Neuromuscular Control of the Lower Limb and Trunk », *J. Athl. Train.*, vol. 54, n° 9, p. 959-969, sept. 2019, doi: 10.4085/1062-6050-113-17.
- [38] K. Steffen *et al.*, « High adherence to a neuromuscular injury prevention programme (FIFA 11+) improves functional balance and reduces injury risk in Canadian youth female football players: a cluster randomised trial », *Br. J. Sports Med.*, vol. 47, n° 12, p. 794-802, août 2013, doi: 10.1136/bjsports-2012-091886.
- [39] L. J. DiStefano *et al.*, « The Effects of an Injury Prevention Program on Landing Biomechanics Over Time », *Am. J. Sports Med.*, vol. 44, n° 3, p. 767-776, mars 2016, doi: 10.1177/0363546515621270.
- [40] G. Myklebust, L. Engebretsen, I. H. Braekken, A. Skjøberg, O.-E. Olsen, et R. Bahr, « Prevention of noncontact anterior cruciate ligament injuries in elite and adolescent female team handball athletes », *Instr. Course Lect.*, vol. 56, p. 407-418, 2007.
- [41] K. Wingfield, « Neuromuscular training to prevent knee injuries in adolescent female soccer players », *Clin. J. Sport Med. Off. J. Can. Acad. Sport Med.*, vol. 23, n° 5, p. 407-408, sept. 2013, doi: 10.1097/01.jsm.0000433153.51313.6b.
- [42] C. A. Emery et W. H. Meeuwisse, « The effectiveness of a neuromuscular prevention strategy to reduce injuries in youth soccer: a cluster-randomised controlled trial », *Br. J. Sports Med.*, vol. 44, n° 8, p. 555-562, juin 2010, doi: 10.1136/bjism.2010.074377.
- [43] C. F. Finch *et al.*, « Preventing Australian football injuries with a targeted neuromuscular control exercise programme: comparative injury rates from a training intervention delivered in a clustered randomised controlled trial », *Inj. Prev. J. Int. Soc. Child Adolesc. Inj. Prev.*, vol. 22, n° 2, p. 123-128, avr. 2016, doi: 10.1136/injuryprev-2015-041667.
- [44] O.-E. Olsen, G. Myklebust, L. Engebretsen, I. Holme, et R. Bahr, « Exercises to prevent lower limb injuries in youth sports: cluster randomised controlled trial », *BMJ*, vol. 330, n° 7489, p. 449, févr. 2005, doi: 10.1136/bmj.38330.632801.8F.
- [45] K. Pasanen *et al.*, « Neuromuscular training and the risk of leg injuries in female floorball players: cluster randomised controlled study », *BMJ*, vol. 337, juill. 2008, doi: 10.1136/bmj.a295.
- [46] S. Steib, P. Zahn, C. Zu Eulenburg, K. Pfeifer, et A. Zech, « Time-dependent postural control adaptations following a neuromuscular warm-up in female handball players: a randomized controlled trial », *BMC Sports Sci. Med. Rehabil.*, vol. 8, p. 33, 2016, doi: 10.1186/s13102-016-0058-5.
- [47] M. Waldén, I. Atroshi, H. Magnusson, P. Wagner, et M. Hägglund, « Prevention of acute knee injuries in adolescent female football players: cluster randomised controlled trial », *BMJ*, vol. 344, p. e3042, mai 2012, doi: 10.1136/bmj.e3042.
- [48] M. K. Zebis *et al.*, « Effects of evidence-based prevention training on neuromuscular and biomechanical risk factors for ACL injury in adolescent female athletes: a randomised controlled trial », *Br. J. Sports Med.*, vol. 50, n° 9, p. 552-557, mai 2016, doi: 10.1136/bjsports-2015-094776.
- [49] « Grading quality of evidence and strength of recommendations », *BMJ*, vol. 328, n° 7454, p. 1490, juin 2004.
- [50] « AMSTAR - Assessing the Methodological Quality of Systematic Reviews ». <https://amstar.ca/Amstar-2.php> (consulté le avr. 08, 2020).
- [51] « AMSTAR 2 : un outil d'évaluation des revues systématiques d'études randomisées et d'études d'observation (non randomisées) ». <https://www.nccmt.ca/fr/referentiels-de-connaissances/interrogez-le-registre/307> (consulté le avr. 08, 2020).

- [52] K. Thorborg, K. K. Krommes, E. Esteve, M. B. Clausen, E. M. Bartels, et M. S. Rathleff, « 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 », *Br. J. Sports Med.*, vol. 51, n° 7, p. 562-571, avr. 2017, doi: 10.1136/bjsports-2016-097066.
- [53] N. C. Barengo, J. F. Meneses-Echávez, R. Ramírez-Vélez, D. D. Cohen, G. Tovar, et J. E. C. Bautista, « The impact of the FIFA 11+ training program on injury prevention in football players: a systematic review », *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 11, n° 11, p. 11986-12000, nov. 2014, doi: 10.3390/ijerph11111986.

Annexes

Annexe 1 : Grade des recommandations selon la Haute autorité de santé (HAS) [29]

Grade des recommandations	Niveau de preuve scientifique fourni par la littérature
A Preuve scientifique établie	Niveau 1 - essais comparatifs randomisés de forte puissance ; - méta-analyse d'essais comparatifs randomisés ; - analyse de décision fondée sur des études bien menées.
B Présomption scientifique	Niveau 2 - essais comparatifs randomisés de faible puissance ; - études comparatives non randomisées bien menées ; - études de cohortes.
C Faible niveau de preuve scientifique	Niveau 3 - études cas-témoins. Niveau 4 - études comparatives comportant des biais importants ; - études rétrospectives ; - séries de cas ; - études épidémiologiques descriptives (transversale, longitudinale).

Annexe 2 : Exemple de mots clés utilisés pour l'équation de recherche

training	"education"[Subheading] OR "education"[All Fields] OR "training"[All Fields] OR "education"[MeSH Terms] OR "training"[All Fields]
prevention	"prevention and control"[Subheading] OR ("prevention"[All Fields] AND "control"[All Fields]) OR "prevention and control"[All Fields] OR "prevention"[All Fields]
knee injury	"knee injuries"[MeSH Terms] OR ("knee"[All Fields] AND "injuries"[All Fields]) OR "knee injuries"[All Fields] OR ("knee"[All Fields] AND "injury"[All Fields]) OR "knee injury"[All Fields]
acl	"anterior cruciate ligament"[MeSH Terms] OR ("anterior"[All Fields] AND "cruciate"[All Fields] AND "ligament"[All Fields]) OR "anterior cruciate ligament"[All Fields] OR "acl"[All Fields]
knee injuries	"knee injuries"[MeSH Terms] OR ("knee"[All Fields] AND "injuries"[All Fields]) OR "knee injuries"[All Fields]
injuries	"injuries"[Subheading] OR "injuries"[All Fields] OR "wounds and injuries"[MeSH Terms] OR ("wounds"[All Fields] AND "injuries"[All Fields]) OR "wounds and injuries"[All Fields]
lower leg	"leg"[MeSH Terms] OR "leg"[All Fields] OR ("lower"[All Fields] AND "leg"[All Fields]) OR "lower leg"[All Fields]
acl injury	"anterior cruciate ligament injuries"[MeSH Terms] OR ("anterior"[All Fields] AND "cruciate"[All Fields] AND "ligament"[All Fields] AND "injuries"[All Fields]) OR "anterior cruciate ligament injuries"[All Fields] OR ("acl"[All Fields] AND "injury"[All Fields]) OR "acl injury"[All Fields]
anterior cruciate ligament injury	"anterior cruciate ligament injuries"[MeSH Terms] OR ("anterior"[All Fields] AND "cruciate"[All Fields] AND "ligament"[All Fields] AND "injuries"[All Fields]) OR "anterior cruciate ligament injuries"[All Fields] OR ("anterior"[All Fields] AND "cruciate"[All Fields] AND "ligament"[All Fields] AND "injury"[All Fields]) OR "anterior cruciate ligament injury"[All Fields]
sports	"sports"[MeSH Terms] OR "sports"[All Fields]
athletes	"athletes"[MeSH Terms] OR "athletes"[All Fields]

Annexe 3 : Exemple d'équation de recherche utilisée

((((neuromuscular[All Fields] AND ("education"[Subheading] OR "education"[All Fields] OR "training"[All Fields] OR "education"[MeSH Terms] OR "training"[All Fields])) OR (neuromuscular[All Fields] AND program[All Fields])) AND (("prevention and control"[Subheading] OR ("prevention"[All Fields] AND "control"[All Fields]) OR "prevention and control"[All Fields] OR "prevention"[All Fields]) OR preventive[All Fields])) AND (((("knee injuries"[MeSH Terms] OR ("knee"[All Fields] AND "injuries"[All Fields]) OR "knee injuries"[All Fields] OR ("knee"[All Fields] AND "injury"[All Fields]) OR "knee injury"[All Fields]) OR ("anterior cruciate ligament"[MeSH Terms] OR ("anterior"[All Fields] AND "cruciate"[All Fields] AND "ligament"[All Fields]) OR "anterior cruciate ligament"[All Fields] OR "acl"[All Fields])) OR ("knee injuries"[MeSH Terms] OR ("knee"[All Fields] AND "injuries"[All Fields]) OR "knee injuries"[All Fields])) OR (("leg"[MeSH Terms] OR "leg"[All Fields] OR ("lower"[All Fields] AND "leg"[All Fields]) OR "lower leg"[All Fields]) AND ("injuries"[Subheading] OR "injuries"[All Fields] OR "wounds and injuries"[MeSH Terms] OR ("wounds"[All Fields] AND "injuries"[All Fields]) OR "wounds and injuries"[All Fields])))) OR ("anterior cruciate ligament injuries"[MeSH Terms] OR ("anterior"[All Fields] AND "cruciate"[All Fields] AND "ligament"[All Fields] AND "injuries"[All Fields]) OR "anterior cruciate ligament injuries"[All Fields] OR ("acl"[All Fields] AND "injury"[All Fields]) OR "acl injury"[All Fields])) OR ("anterior cruciate ligament injuries"[MeSH Terms] OR ("anterior"[All Fields] AND "cruciate"[All Fields] AND "ligament"[All Fields] AND "injuries"[All Fields]) OR "anterior cruciate ligament injuries"[All Fields] OR ("anterior"[All Fields] AND "cruciate"[All Fields] AND "ligament"[All Fields] AND "injury"[All Fields]) OR "anterior cruciate ligament injury"[All Fields])))) AND (((("sports"[MeSH Terms] OR "sports"[All Fields]) OR players[All Fields]) OR ("athletes"[MeSH Terms] OR "athletes"[All Fields]))

Annexe 4 : Echelle PEDro

Échelle PEDro – Français

1. les critères d'éligibilité ont été précisés	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
2. les sujets ont été répartis aléatoirement dans les groupes (pour un essai croisé, l'ordre des traitements reçus par les sujets a été attribué aléatoirement)	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
3. la répartition a respecté une assignation secrète	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
4. les groupes étaient similaires au début de l'étude au regard des indicateurs pronostiques les plus importants	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
5. tous les sujets étaient "en aveugle"	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
6. tous les thérapeutes ayant administré le traitement étaient "en aveugle"	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
7. tous les examinateurs étaient "en aveugle" pour au moins un des critères de jugement essentiels	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
8. les mesures, pour au moins un des critères de jugement essentiels, ont été obtenues pour plus de 85% des sujets initialement répartis dans les groupes	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
9. tous les sujets pour lesquels les résultats étaient disponibles ont reçu le traitement ou ont suivi l'intervention contrôle conformément à leur répartition ou, quand cela n'a pas été le cas, les données d'au moins un des critères de jugement essentiels ont été analysées "en intention de traiter"	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
10. les résultats des comparaisons statistiques intergroupes sont indiqués pour au moins un des critères de jugement essentiels	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
11. pour au moins un des critères de jugement essentiels, l'étude indique à la fois l'estimation des effets et l'estimation de leur variabilité	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:

L'échelle PEDro est basée sur la liste Delphi développée par Verhagen et ses collègues au département d'épidémiologie de l'Université de Maastricht (Verhagen AP et al (1998). *The Delphi list: a criteria list for quality assessment of randomised clinical trials for conducting systematic reviews developed by Delphi consensus. Journal of Clinical Epidemiology, 51(12):1235-41*). Cette liste est basée sur un "consensus d'experts" et non, pour la majeure partie, sur des données empiriques. Deux items supplémentaires à la liste Delphi (critères 8 et 10 de l'échelle PEDro) ont été inclus dans l'échelle PEDro. Si plus de données empiriques apparaissent, il deviendra éventuellement possible de pondérer certains critères de manière à ce que le score de PEDro reflète l'importance de chacun des items.

L'objectif de l'échelle PEDro est d'aider l'utilisateur de la base de données PEDro à rapidement identifier quels sont les essais cliniques réellement ou potentiellement randomisés indexés dans PEDro (c'est-à-dire les essais contrôlés randomisés et les essais cliniques contrôlés, sans précision) qui sont susceptibles d'avoir une bonne validité interne (critères 2 à 9), et peuvent avoir suffisamment d'informations statistiques pour rendre leurs résultats interprétables (critères 10 à 11). Un critère supplémentaire (critère 1) qui est relatif à la validité "externe" (c'est "la généralisabilité" de l'essai ou son "applicabilité") a été retenu dans l'échelle PEDro pour prendre en compte toute la liste Delphi, mais ce critère n'est pas comptabilisé pour calculer le score PEDro cité sur le site Internet de PEDro.

L'échelle PEDro ne doit pas être utilisée pour mesurer la "validité" des conclusions d'une étude. En particulier, nous mettons en garde les utilisateurs de l'échelle PEDro sur le fait que les études qui montrent des effets significatifs du traitement et qui ont un score élevé sur l'échelle PEDro, ne signifie pas nécessairement que le traitement est cliniquement utile. Il faut considérer aussi si la taille de l'effet du traitement est suffisamment grande pour que cela vaille la peine cliniquement d'appliquer le traitement. De même, il faut évaluer si le rapport entre les effets positifs du traitement et ses effets négatifs est favorable. Enfin, la dimension coût-efficacité du traitement est à prendre compte pour effectuer un choix. L'échelle ne devrait pas être utilisée pour comparer la "qualité" des essais réalisés dans différents domaines de la physiothérapie, essentiellement parce qu'il n'est pas possible de satisfaire à tous les items de cette échelle dans certains domaines de la pratique kinésithérapique.

Dernière modification le 21 juin 1999. Traduction française le 1 juillet 2010

Précisions pour l'utilisation de l'échelle PEDro:

- Tous les critères **Les points sont attribués uniquement si le critère est clairement respecté.** Si, lors de la lecture de l'étude, on ne retrouve pas le critère explicitement rédigé, le point ne doit pas être attribué à ce critère.
- Critère 1 Ce critère est respecté si l'article décrit la source de recrutement des sujets et une liste de critères utilisée pour déterminer qui était éligible pour participer à l'étude.
- Critère 2 Une étude est considérée avoir utilisé une *répartition aléatoire* si l'article mentionne que la répartition entre les groupes a été faite au hasard. La méthode précise de répartition aléatoire n'a pas lieu d'être détaillée. Des procédures comme pile ou face ou le lancé de dés sont considérées comme des méthodes de répartition aléatoire. Les procédures quasi-aléatoires, telles que la répartition selon le numéro de dossier hospitalier ou la date de naissance, ou le fait de répartir alternativement les sujets dans les groupes, ne remplissent pas le critère.
- Critère 3 Une *assignation secrète* signifie que la personne qui a déterminé si un sujet répondait aux critères d'inclusion de l'étude ne devait pas, lorsque cette décision a été prise, savoir dans quel groupe le sujet serait admis. Un point est attribué pour ce critère, même s'il n'est pas précisé que l'assignation est secrète, lorsque l'article mentionne que la répartition a été réalisée par enveloppes opaques cachetées ou que la répartition a été réalisée par table de tirage au sort en contactant une personne à distance.
- Critère 4 Au minimum, lors d'études concernant des interventions thérapeutiques, l'article doit décrire au moins une mesure de la gravité de l'affection traitée et au moins une mesure (différente) sur l'un des critères de jugement essentiels en début d'étude. L'évaluateur de l'article doit s'assurer que les résultats des groupes n'ont pas de raison de différer de manière cliniquement significative du seul fait des différences observées au début de l'étude sur les variables pronostiques. Ce critère est respecté, même si les données au début de l'étude ne sont présentées que pour les sujets qui ont terminé l'étude.
- Critères 4, 7-11 Les *critères de jugement* essentiels sont ceux dont les résultats fournissent la principale mesure de l'efficacité (ou du manque d'efficacité) du traitement. Dans la plupart des études, plus d'une variable est utilisée pour mesurer les résultats.
- Critères 5-7 Être "*en aveugle*" signifie que la personne en question (sujet, thérapeute ou évaluateur) ne savait pas dans quel groupe le sujet avait été réparti. De plus, les sujets et les thérapeutes sont considérés être "*en aveugle*" uniquement s'il peut être attendu qu'ils ne sont pas à même de faire la distinction entre les traitements appliqués aux différents groupes. Dans les essais dans lesquels les critères de jugement essentiels sont autoévalués par le sujet (ex. échelle visuelle analogique, recueil journalier de la douleur), l'évaluateur est considéré être "*en aveugle*" si le sujet l'est aussi.
- Critère 8 Ce critère est respecté uniquement si l'article mentionne explicitement *à la fois* le nombre de sujets initialement répartis dans les groupes *et* le nombre de sujets auprès de qui les mesures ont été obtenues pour les critères de jugement essentiels. Pour les essais dans lesquels les résultats sont mesurés à plusieurs reprises dans le temps, un critère de jugement essentiel doit avoir été mesuré pour plus de 85% des sujets à l'une de ces reprises.
- Critère 9 Une *analyse en intention de traiter* signifie que, lorsque les sujets n'ont pas reçu le traitement (ou n'ont pas suivi l'intervention contrôle) qui leur avait été attribué, et lorsque leurs résultats sont disponibles, l'analyse est effectuée comme si les sujets avaient reçu le traitement (ou avaient suivi l'intervention contrôle) comme attribué. Ce critère est respecté, même sans mention d'une analyse en intention de traiter si l'article mentionne explicitement que tous les sujets ont reçu le traitement ou ont suivi l'intervention contrôle comme attribué.
- Critère 10 Une comparaison statistique *intergroupe* implique une comparaison statistique d'un groupe par rapport à un autre. Selon le plan expérimental de l'étude, cela peut impliquer la comparaison de deux traitements ou plus, ou la comparaison d'un traitement avec une intervention contrôle. L'analyse peut être une simple comparaison des résultats mesurés après administration des traitements, ou une comparaison du changement dans un groupe au changement dans un autre (quand une analyse factorielle de variance a été utilisée pour analyser les données, ceci est souvent indiqué sous la forme d'une interaction groupe x temps). La comparaison peut prendre la forme d'un test sous hypothèses (qui produit une valeur "p", décrivant la probabilité que les groupes diffèrent uniquement du fait du hasard) ou prendre la forme d'une estimation (par exemple: différence de moyennes ou de médianes, différence entre proportions, nombre nécessaire de sujets à traiter, risque relatif ou rapport de risque instantané dit "hazard ratio") et de son intervalle de confiance.
- Critère 11 Une *estimation de l'effet* est une mesure de la taille de l'effet du traitement. L'effet du traitement peut être décrit soit par une différence entre les groupes, soit par le résultat au sein (de chacun) de tous les groupes. Les *estimations de la variabilité* incluent les écarts-types, les erreurs standards, les intervalles de confiance, les intervalles interquartiles (ou autres quantiles) et les étendues. Les estimations de l'effet et/ou de la variabilité peuvent être fournies sous forme graphique (par exemple, les écarts-types peuvent être représentés sous forme de barres d'erreurs dans une figure) à la condition expresse que le graphique soit clairement légendé (par exemple, qu'il soit explicite que ces barres d'erreurs représentent des écarts-type ou des erreurs-standard). S'il s'agit de résultats classés par catégories, ce critère est considéré respecté si le nombre de sujets de chaque catégorie est précisé pour chacun des groupes.

Annexe 5 : Programme groupe Intervention PAFIX de l'étude de Finch et al. Livret disponible au lien suivant :

https://bjsm.bmj.com/content/bjsports/suppl/2013/09/18/bjsports-2013-092816.DC1/bjsports-2013-092816supp_appendix2.pdf

Annexe 6 : Livret groupe contrôle de l'étude de Finch et al. disponible au lien suivant :

https://bjsm.bmj.com/content/bjsports/suppl/2013/09/18/bjsports-2013-092816.DC1/bjsports-2013-092816supp_appendix1.pdf

Annexe 7 : Programme d'exercices de l'étude Olsen et al.

Box 2: Programme of warm-up exercises used to prevent injuries

Warm-up exercises

(30 seconds and one repetition each)

Jogging end to end

Backward running with sidesteps

Forward running with knee lifts and heel kicks

Sideways running with crossovers ("carioca")

Sideways running with arms lifted ("parade")

Forward running with trunk rotations

Forward running with intermittent stops

Speed run

Technique

(One exercise during each training session; 4 minutes and 5×30 seconds each)

Planting and cutting movements

Jump shot landings

Balance

(On a balance mat or wobble board, one exercise during each training session; 4 minutes and 2×90 seconds each)

Passing the ball (two leg stance)

Squats (one or two leg stance)

Passing the ball (one leg stance)

Bouncing the ball with eyes closed

Pushing each other off balance

Strength and power

(2 minutes and 3×10 repetitions each)

One quadriceps exercise:

Squats to 80° of knee flexion

Bounding strides (*Sprunglauf*)

Forward jumps

Jump shot—two legged landing

"Nordic hamstring lowers" (2 minutes and 3×10 repetitions each)

Annexe 8 : Programme d'exercices de l'étude de Pasanen et al.

Neuromuscular training programme

Running exercises (5-7 minutes)

Each training session starts with two minutes' jogging (20 m distance back and forth), then three to four minutes of eight running technique exercises, which are listed below (1 or 2 repetitions each of 20 m distance). The running exercise session ends with a speed run (2-3 repetitions of 20 m distance)

- Carioca running
- Sideways gallop
- Zigzag running forward
- Zigzag running backwards
- Skipping
- Walking lunges × 4-8 steps and slow forward running
- Slow alternate bounding
- Combination hops (right-right-left-left-right-right)

Balance and body control exercises (5-7 minutes): one of three exercises

Squat technique with stick (either double or single leg)

- Double leg—2-3×10-15 repetitions
- Single leg (right and left)—2-3×8-10 for right leg and 8-10 repetitions for left leg

Balance exercise with medicine ball

- Single leg (right and left)—2-3×4-6 for right leg and 4-6 throws for left leg

Balance board exercise (double or single leg)

- Double leg: with or without stick or ball—2-3×20-30 seconds
- Single leg (right and left): with or without stick or ball—2-3×20-30 seconds for right leg and 20-30 seconds for left leg

Plyometrics (5-7 minutes): one of three exercises

Forward jumps (double or single leg)

- Double leg jumps—2-3×3-5 repetitions
- Single leg hops (right and left)—2-3×3-5 for right leg and 3-5 repetitions for left leg

Jumps in place

- Three alternative exercises (lateral skate leap, split squat jump, or cycled split squat jump)—2-3×8-12 repetitions

Jumps over stick or sticks (double or single leg)

- Double leg: three alternative exercises (backward and forward jumps, lateral jumps, or three dimensional jumps)—2-3×8-12 repetitions
- Single leg (right and left): three alternative exercises (backward and forward hops, lateral hops, or three dimensional hops)—2-3×4-8 for right leg and 4-8 repetitions for left leg

Strengthening exercises (5-7 minutes): one exercise for lower legs and one for core stability

Double leg squat with partner on back—2-3×8-12 repetitions

Single leg split squat (right and left)—2-3×4-8 for right leg and 4-8 repetitions for left leg

Nordic hamstrings—2-3×4-8 repetitions

Isometric side and front bridge (right side and front and left side)—2-3×10-30 seconds for right side, 10-30 seconds for front, and 10-30 seconds for left side

Cross curl-up (right and left)—2-3×10-20 for right side and 10-20 repetitions for left side

Stretching exercises (5 minutes): for players with limits on low back function and flexibility

The exercises were introduced during the first two weeks of training. After that the players were advised to carry out the exercises in their own time

Seated hip and low back neutral zone exercise—2-3×20 seconds

Hamstring stretch (right and left)—1-2×20 seconds for right and 20 seconds for left

Kneeling hip flexor stretch (right and left)—1-2×20 seconds for right and 20 seconds for left

Annexe 9 : Programme d'exercices de l'étude de Waldén et al.

Table 1 | Details of neuromuscular warm-up programme used in intervention group

Exercise	Instructions	Repetitions/duration
One legged knee squat:	Slow movement with smooth turn, horizontal pelvis and non-supporting foot in front of body with slightly flexed hip and knee	
Level A	Hands on hips	3x8-15 reps
Level B	Hold ball over head with straight arms	3x8-15 reps
Level C	Hands on hips; mark with non-supporting foot just above ground at 12-02-04-06 o'clock positions	3x5 reps
Level D	Bend down while holding ball and let ball touch ground outside supporting foot; make diagonal movement upwards and raise ball over head with straight arms on contralateral side	3x8-15 reps
Pair exercise	Teammate stands slightly oblique in front of you and ball is pressed between lateral sides of feet of non-supporting legs	3x5-10 reps
Pelvic lift:	Supine position; lift pelvis from ground while keeping back straight	
Level A	Both feet on ground and hands across chest	3x8-15 reps
Level B	One foot on ground and contralateral leg flexed in hip and knee 90° with both hands on knee	3x8-15 reps
Level C	One foot on football and contralateral leg flexed in hip and knee 90° with arms on ground alongside body	3x8-15 reps
Level D	One foot on ground and other in air; keep upper arms on ground with elbows flexed 90°; push away supporting foot and land on contralateral foot	3x8-15 reps
Pair exercise	Teammate stands with flexed knees and supports heel of one of your feet in her hands; hands across chest and lift pelvis	3x8-15 reps
Two legged knee squat:	Slow movement with smooth turn, back in straight position and feet shoulder-wide apart with soles in contact with ground	
Level A	Hold ball in front of body with straight arms	3x8-15 reps
Level B	Hands on hips	3x8-15 reps
Level C	Hold ball over head with straight arms	3x8-15 reps
Level D	Same as level C but continue movement and rise up on toes after returning to starting position and stay briefly in that position	3x8-15 reps
Pair exercise	Teammate stands next to you approximately 1 m away, facing opposite directions; hold ball between you with one hand and other hand on hip; apply slight pressure on ball while performing knee squat	3x8-15 reps
The bench:	Lift body and keep it in straight line	
Level A	Prone position; support on knees and on lower arms with elbows kept under shoulders	15-30 sec
Level B	Same as level A but with support on tip of feet	15-30 sec
Level C	Same as level B, but move foot to side and back to starting position; alternate sides	15-30 sec
Level D	Lie sideways with support on foot and lower arm with elbow kept under shoulder and other hand on hip; lift hip off ground and stay briefly in that position with good control before slowly returning to starting position	5-10 reps
Pair exercise	Teammate stands behind you and holds your feet or lower legs; lift the body and walk forward by using hands on ground	15-30 sec
The lunge:	Take deep step with marked knee lift and soft landing; rear knee should not touch ground	
Level A	Hands on hips; move forward with each step	3x8-15 reps
Level B	Hold ball in front of body with straight arms; rotate upper body while stepping forward and position ball laterally of front leg; move forward with each step and alternate sides	3x8-15 reps
Level C	Hold ball over head with straight arms; perform forward lunge and push back with front leg and return to starting position	3x8-15 reps
Level D	Hold ball in front of body with straight arms; perform sideways lunge and return to starting position	3x8-15 reps
Pair-exercise	Teammate stands in front of you 5-10 m away; perform forward lunge while making throw-in with ball	3x8-15 reps
Jump/landing:	Make jump with soft landing; stay briefly in landing position	
Level A	Stand on one leg with knee slightly bent and hands on hips; make short forward jump and land on same foot; jump backwards to starting position	3x8-15 reps
Level B	Stand on two legs shoulder-wide apart with hands on back; make sideways jump and land on one foot; alternate sides	3x8-15 reps
Level C	Take a few quick steps on same spot and make short jump straight forward landing on one foot	3x5 reps
Level D	Same as level C, but change direction and jump to one side (90° turn); alternate sides	3x5 reps
Pair exercise	Teammate stands in front of you approximately 5 m away; make two legged jump while heading football and land on two legs	3x8-15 reps

Annexe 10 : Grille « AMSTAR 2 » complétée pour cette revue

<p>1. Did the research questions and inclusion criteria for the review include the components of PICO?</p>		
<p>For Yes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Population <input checked="" type="checkbox"/> Intervention <input checked="" type="checkbox"/> Comparator group <input checked="" type="checkbox"/> Outcome 	<p>Optional (recommended)</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Timeframe for follow-up 	<ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No
<p>2. Did the report of the review contain an explicit statement that the review methods were established prior to the conduct of the review and did the report justify any significant deviations from the protocol?</p>		
<p>For Partial Yes: The authors state that they had a written protocol or guide that included ALL the following:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> review question(s) <input checked="" type="checkbox"/> a search strategy <input checked="" type="checkbox"/> inclusion/exclusion criteria <input checked="" type="checkbox"/> a risk of bias assessment 	<p>For Yes: As for partial yes, plus the protocol should be registered and should also have specified:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> a meta-analysis/synthesis plan, if appropriate, <i>and</i> <input type="checkbox"/> a plan for investigating causes of heterogeneity <input type="checkbox"/> justification for any deviations from the protocol 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> Partial Yes <input type="checkbox"/> No
<p>3. Did the review authors explain their selection of the study designs for inclusion in the review?</p>		
<p>For Yes, the review should satisfy ONE of the following:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> <i>Explanation for</i> including only RCTs <input type="checkbox"/> OR <i>Explanation for</i> including only NRSI <input type="checkbox"/> OR <i>Explanation for</i> including both RCTs and NRSI 		
<p>4. Did the review authors use a comprehensive literature search strategy?</p>		
<p>For Partial Yes (all the following):</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> searched at least 2 databases (relevant to research question) <input checked="" type="checkbox"/> provided key word and/or search strategy <input checked="" type="checkbox"/> justified publication restrictions (e.g. language) 	<p>For Yes, should also have (all the following):</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> searched the reference lists / bibliographies of included studies <input checked="" type="checkbox"/> searched trial/study registries <input type="checkbox"/> included/consulted content experts in the field <input type="checkbox"/> where relevant, searched for grey literature <input type="checkbox"/> conducted search within 24 months of completion of the review 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> Partial Yes <input type="checkbox"/> No
<p>5. Did the review authors perform study selection in duplicate?</p>		
<p>For Yes, either ONE of the following:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> at least two reviewers independently agreed on selection of eligible studies and achieved consensus on which studies to include <input type="checkbox"/> OR two reviewers selected a sample of eligible studies <u>and</u> achieved good agreement (at least 80 percent), with the remainder selected by one reviewer. 		

<p>6. Did the review authors perform data extraction in duplicate?</p>		
<p>For Yes, either ONE of the following:</p>		
<input type="checkbox"/> at least two reviewers achieved consensus on which data to extract from included studies	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	
<input type="checkbox"/> OR two reviewers extracted data from a sample of eligible studies <u>and</u> achieved good agreement (at least 80 percent), with the remainder extracted by one reviewer.		
<p>7. Did the review authors provide a list of excluded studies and justify the exclusions?</p>		
<p>For Partial Yes:</p> <input checked="" type="checkbox"/> provided a list of all potentially relevant studies that were read in full-text form but excluded from the review	<p>For Yes, must also have:</p> <input checked="" type="checkbox"/> Justified the exclusion from the review of each potentially relevant study	<input checked="" type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Partial Yes <input type="checkbox"/> No
<p>8. Did the review authors describe the included studies in adequate detail?</p>		
<p>For Partial Yes (ALL the following):</p> <input checked="" type="checkbox"/> described populations <input checked="" type="checkbox"/> described interventions <input checked="" type="checkbox"/> described comparators <input checked="" type="checkbox"/> described outcomes <input checked="" type="checkbox"/> described research designs	<p>For Yes, should also have ALL the following:</p> <input checked="" type="checkbox"/> described population in detail <input checked="" type="checkbox"/> described intervention in detail (including doses where relevant) <input checked="" type="checkbox"/> described comparator in detail (including doses where relevant) <input checked="" type="checkbox"/> described study's setting <input checked="" type="checkbox"/> timeframe for follow-up	<input checked="" type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Partial Yes <input type="checkbox"/> No
<p>9. Did the review authors use a satisfactory technique for assessing the risk of bias (RoB) in individual studies that were included in the review?</p>		
<p>RCTs</p>		
<p>For Partial Yes, must have assessed RoB from</p> <input checked="" type="checkbox"/> un concealed allocation, <i>and</i> <input checked="" type="checkbox"/> lack of blinding of patients and assessors when assessing outcomes (unnecessary for objective outcomes such as all-cause mortality)	<p>For Yes, must also have assessed RoB from:</p> <input checked="" type="checkbox"/> allocation sequence that was not truly random, <i>and</i> <input checked="" type="checkbox"/> selection of the reported result from among multiple measurements or analyses of a specified outcome	<input checked="" type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Partial Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Includes only NRSI
<p>NRSI</p>		
<p>For Partial Yes, must have assessed RoB:</p> <input type="checkbox"/> from confounding, <i>and</i> <input type="checkbox"/> from selection bias	<p>For Yes, must also have assessed RoB:</p> <input type="checkbox"/> methods used to ascertain exposures and outcomes, <i>and</i> <input type="checkbox"/> selection of the reported result from among multiple measurements or analyses of a specified outcome	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Partial Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Includes only RCTs
<p>10. Did the review authors report on the sources of funding for the studies included in the review?</p>		
<p>For Yes</p> <input type="checkbox"/> Must have reported on the sources of funding for individual studies included in the review. Note: Reporting that the reviewers looked for this information but it was not reported by study authors also qualifies		
		<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No

11. If meta-analysis was performed did the review authors use appropriate methods for statistical combination of results?

RCTs

For Yes:

- The authors justified combining the data in a meta-analysis Yes
- AND they used an appropriate weighted technique to combine study results and adjusted for heterogeneity if present. No
- AND investigated the causes of any heterogeneity No meta-analysis conducted

For NRSI

For Yes:

- The authors justified combining the data in a meta-analysis Yes
- AND they used an appropriate weighted technique to combine study results, adjusting for heterogeneity if present No
- AND they statistically combined effect estimates from NRSI that were adjusted for confounding, rather than combining raw data, or justified combining raw data when adjusted effect estimates were not available No meta-analysis conducted
- AND they reported separate summary estimates for RCTs and NRSI separately when both were included in the review

12. If meta-analysis was performed, did the review authors assess the potential impact of RoB in individual studies on the results of the meta-analysis or other evidence synthesis?

For Yes:

- included only low risk of bias RCTs Yes
- OR, if the pooled estimate was based on RCTs and/or NRSI at variable RoB, the authors performed analyses to investigate possible impact of RoB on summary estimates of effect. No
- No meta-analysis conducted

13. Did the review authors account for RoB in individual studies when interpreting/ discussing the results of the review?

For Yes:

- included only low risk of bias RCTs Yes
- OR, if RCTs with moderate or high RoB, or NRSI were included the review provided a discussion of the likely impact of RoB on the results No

14. Did the review authors provide a satisfactory explanation for, and discussion of, any heterogeneity observed in the results of the review?

For Yes:

- There was no significant heterogeneity in the results Yes
- OR if heterogeneity was present the authors performed an investigation of sources of any heterogeneity in the results and discussed the impact of this on the results of the review No

15. If they performed quantitative synthesis did the review authors carry out an adequate investigation of publication bias (small study bias) and discuss its likely impact on the results of the review?

For Yes:

- performed graphical or statistical tests for publication bias and discussed the likelihood and magnitude of impact of publication bias Yes
- No meta-analysis conducted No

16. Did the review authors report any potential sources of conflict of interest, including any funding they received for conducting the review?

For Yes:

- The authors reported no competing interests OR Yes
- The authors described their funding sources and how they managed potential conflicts of interest No

Résumé

Contexte : Les blessures de genou sont des atteintes fréquentes dans une multitude de disciplines sportives. Cette incidence est d'autant plus grande que le nombre de pratiquant est élevé. Même si certaines peuvent rester bénignes et entraînent peu de conséquences, les atteintes plus graves peuvent avoir des répercussions physiquement invalidantes mais aussi psychologiques et économiques importantes. C'est pourquoi la prévention de ces blessures est essentielle.

Objectif : Le but est de montrer l'effet de programmes d'entraînement neuromusculaire sur la survenue de blessure de genou et ses facteurs de risques chez le sportif et de préciser leurs conditions d'applicabilité.

Méthode : Une recherche de littérature a été effectuée sur les bases de données PubMed et PEDro de septembre à décembre 2019. Les essais cliniques ont été inclus selon des critères précis et leur qualité méthodologique a été évaluée à l'aide de l'échelle PEDro.

Résultats : 7 études ont répondu aux critères d'inclusion. 5 études s'intéressaient à l'effet sur la survenue de blessure de genou et 2 autres étudiaient l'effet sur les facteurs de risques. Seulement 3 programmes ont montré un intérêt, 2 en diminuant le nombre de blessure de genou et 1 autre en améliorant le facteur de risque « préactivité musculaire ». Les autres études n'ont pas présenté de résultats permettant de montrer un effet des programmes présentés sur la survenue de blessure de genou.

Conclusion : Pour prévenir la survenue de blessure au genou chez des jeunes handballeurs adolescents, un programme de 20 minutes composé d'exercices de technique, d'équilibre et de renforcement avant l'entraînement toute la saison et une fois par semaine semble intéressant. Chez des joueuses adolescentes de football féminin, un programme d'échauffement de 15 minutes composé d'exercices d'équilibre, de renforcement, de sauts et réception, 2 fois par semaine sur toute la saison semble pertinent. Pour améliorer le facteur de risque concernant la préactivité musculaire chez des joueuses adolescentes de football et de handball, un programme d'échauffement de 15 minutes composé d'exercices de positions et d'équilibre, de course, de changement de direction, de sauts et réceptions, réalisé au moins 3 fois par semaine sur 12 semaines semble pertinent. Des études complémentaires sont nécessaires.

Mots-clés : Blessure de genou ; programme d'entraînement neuromusculaire ; prévention ; sportifs

Abstract

Background : Knee injuries are common in various sports. Rates are high as the number of participants is high. Even if some may remain benign and have few consequences, severe injuries can have physically disabling repercussions, but also important psychological and economic ones. Preventing these injuries is essential.

Purpose : The aim of this review is to show the effect of neuromuscular training programs on knee injury incidence and its risk factors in athletes and to specify their conditions of applicability.

Methods : A literature search was performed between september and december 2019 using PubMed and PEDro databases. Clinical trials were included according to specific criteria and their methodological quality was assessed using PEDro scale.

Results : 7 studies met the inclusion criteria. 5 studies were on the effect on knee injuries incidence and 2 others were on the effect on risk factors. Only 3 programs showed interest, 2 in reducing the number of knee injuries and 1 in improving the risk factor « muscle activity ». Other studies did not present results allowing to show an effect of the programs on knee injury incidence.

Conclusion : To prevent knee injury incidence in young adolescent handball players, a 20-minute program of technique, balance and strengthening exercises before training throughout the season and once a week seems relevant. For adolescent female football players, a 15-minute warm-up program consisting of balance exercises, strengthening exercises, jumps and landing, twice a week for the entire season seems appropriate. To improve the risk factor « muscle pre-activity » in adolescent football and handball players, a 15-minute warm-up program consisting of position and balance exercises, running, change of direction, jumps and receptions, performed at least 3 times a week over 12 weeks seem relevant. Additional studies are required.

Key words : Knee injuries ; neuromuscular training program ; prevention ; Athletes