



HAL
open science

Efficacité des échauffements neuromusculaires en prévention d'une rupture du ligament croisé antérieur chez la footballeuse

Marie Rizzuto

► **To cite this version:**

Marie Rizzuto. Efficacité des échauffements neuromusculaires en prévention d'une rupture du ligament croisé antérieur chez la footballeuse. Médecine humaine et pathologie. 2020. dumas-03118531

HAL Id: dumas-03118531

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03118531>

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**

**EFFICACITÉ DES ECHAUFFEMENTS
NEUROMUSCULAIRES EN PRÉVENTION
D'UNE RUPTURE DU LIGAMENT CROISÉ
ANTÉRIEUR CHEZ LA FOOTBALLEUSE**

RIZZUTO Marie

Directeur de mémoire : M. MATTON

REMERCIEMENTS

Je souhaiterais remercier mon directeur de mémoire, Monsieur Maxime Matton, qui a toujours été à l'écoute et disponible pour m'aider à sa rédaction.

Je voudrais remercier mes parents, qui m'ont toujours soutenue dans les bons et les mauvais moments. Grâce à leur aide et leur dévouement, ils me permettent de réaliser le métier de mes rêves, et de vivre au quotidien la meilleure vie. Merci du fond du cœur.

Je remercie mon compagnon, Mathieu Hoarau, pour la patience dont il a fait preuve à mes côtés pendant la rédaction de mon mémoire. Merci pour tout l'amour que tu me donnes.

Je souhaiterais remercier mes meilleures amies, Estelle, Elisa et Marie, qui ont répondu à toutes mes questions et mes craintes pour l'écriture du mémoire. Merci pour tous ces moments incroyables que nous avons partagés, et qu'il nous reste encore à vivre. Je voudrais remercier mes meilleures amies de longue date Carla et Eva, mes alliées dans ma vie depuis des années. Merci à tous mes amis avec qui je profite des bonheurs de la vie.

Merci à toutes les personnes qui m'ont aidé pour la relecture du mémoire. Merci à tout le personnel de l'IFMK, les enseignants pour leur investissement, les équipes de nettoyage pour la propreté irréprochable, les secrétaires pour leur travail, et les appariteurs Patrick et Eric qui ont égayé ma scolarité.

TABLE DES MATIERES

1	Introduction.....	1
1.1	Expériences personnelles	1
1.2	Description de la population concernée et de sa pathologie	1
1.2.1	Généralités sur le football féminin.....	1
1.2.2	Quelques chiffres sur les risques de rupture du LCA chez les joueuses.....	1
1.2.3	Mécanismes de rupture du LCA sans contact au football	2
1.3	Anatomie	3
1.3.1	L'articulation du genou.....	3
1.3.2	Le ligament croisé antérieur du genou.....	6
1.3.3	Biomécanique du LCA.....	8
1.4	Les facteurs de risque de rupture du LCA chez la femme	8
1.4.1	Facteurs intrinsèques	8
1.4.2	Facteurs extrinsèques.....	13
1.5	Examens cliniques de diagnostic de rupture du LCA.....	14
1.6	L'évolution d'une rupture du LCA	15
1.7	Description des protocoles.....	16
1.8	Pertinence de la prévention	17
1.9	Objectifs de la revue de littérature	18
2	Méthode.....	18
2.1	Critères d'éligibilités.....	18
2.2	Méthodologie de recherches d'études	19
2.3	Extraction et analyse des données.....	20
3	Résultats.....	22
3.1	Description des études.....	22
3.1.1	Diagramme de flux	22
3.1.2	Caractéristiques des études incluses.....	24
3.1.3	Caractéristiques des études exclues	28
3.2	Risques de biais des études incluses	30
3.3	Effets de l'intervention.....	33
4	Discussion.....	39
4.1	Analyse des principaux résultats	39
4.2	Applicabilité des résultats dans la pratique	42
4.3	Qualité des preuves.....	43
4.4	Biais potentiels de la revue	44
5	Conclusion	45
6	Bibliographie	46

1 Introduction

1.1 Expériences personnelles

J'ai choisi de réaliser mon mémoire sur la prévention de rupture du ligament croisé antérieur (LCA) chez les femmes footballeuses pour diverses raisons.

J'ai eu l'occasion de pouvoir travailler à l'Orange Vélodrome pour les matchs de l'Olympique de Marseille (OM), ce qui m'a permis d'assister à toutes les rencontres de la saison 2018-2019 pour mon plus grand plaisir. Ayant un père fan de l'OM, j'ai grandi dans cette ambiance de supporter, en allant au stade ou simplement en tant que téléspectatrice. Je ne pratique pas le football en club, mais j'ai eu l'occasion lors d'un week-end sportif de jouer au cécifoot (foot à l'aveugle). Mes amies et moi avons tant aimé que nous avons gagné la compétition !

La rupture des ligaments croisés est l'une des blessures les plus fréquentes dans ce sport. Elle met à l'arrêt les joueurs et joueuses pendant plusieurs mois. Les conséquences dans leur carrière professionnelle peuvent être graves. Des protocoles de prévention sont connus et appliqués dans ce milieu professionnel. Dans ce mémoire, je veux étudier et démontrer leur réelle efficacité sur la rupture du LCA et les blessures du genou chez la footballeuse.

1.2 Description de la population concernée et de sa pathologie

1.2.1 Généralités sur le football féminin

L'année 2019 a été un tournant pour le football féminin. L'intérêt populaire pour ce sport s'est démocratisé à la suite de la victoire de l'équipe de France masculine de football à la Coupe du Monde 2018. Même si nos joueuses n'ont pas réussi le même exploit que leurs confrères, l'Olympique Lyonnais féminin, en 2019, a quant à lui remporté la célèbre Ligue des Champions féminine de l'UEFA, pour la 4^{ème} année consécutive.

Malheureusement, ce sport est également connu pour ses blessures fréquentes comme la rupture du ligament croisé antérieur du genou. C'est un traumatisme grave pour la sportive, car ses conséquences peuvent être irréversibles : opération de reconstruction du LCA, temps de guérison long, baisse des performances physiques et sportives, risques de récives accrus, perte de confiance, coûts liés aux soins ... Des séquelles qui peuvent amener une femme à arrêter sa carrière sportive. Les traitements préventifs de cette lésion ont donc une place majeure dans la pratique de ce sport.

1.2.2 Quelques chiffres sur les risques de rupture du LCA chez les joueuses

Courir, sauter, accélérer, éviter, tacler, tirer, réceptionner, pivoter... Tous ces gestes techniques caractéristiques du football sont générateurs de blessures potentiellement graves aussi bien au niveau physique qu'au niveau de la carrière d'un(e) joueur(se). Les blessures au genou représentent entre 11 et 16% des blessures totales recensées par l'UEFA au cours de la saison 2016-2017, et environ 30% chez les footballeuses adolescentes [1]. Lors d'un match, 70% des lésions du LCA chez les femmes surviennent sans contact avec un obstacle pendant

un match [2] [3]. En comparaison, 54% [4] des blessures toutes confondues pendant un match résultent d'un contact avec une autre personne. Ce pourcentage peut aller jusqu'à 84% selon Junge [5]. Cette différence est probablement due à la particularité du mécanisme lésionnel du LCA.

Au football, les femmes ont 2 à 3 fois plus de risques d'avoir une lésion du LCA que les hommes[6].

Certains postes exposent à de plus grands risques de rupture du LCA : chez les hommes comme chez les femmes, plus de 69% des joueurs blessés sont des défenseurs [7].

1.2.3 Mécanismes de rupture du LCA sans contact au football

La rupture du ligament croisé antérieur est la conséquence d'une entorse grave du genou. Elle résulte d'un ensemble de facteurs polyarticulaires et multidirectionnels, mais aussi d'erreurs humaines comme un défaut d'anticipation ou une fatigue ignorée. La majorité des lésions se font sur la jambe d'appui dominante [8]. Les situations de rupture du LCA sont similaires chez les hommes et chez les femmes. Cependant, ces dernières ont un plus grand risque de rupture à cause de facteurs comme leur anatomie, le cycle hormonal ainsi que les facteurs biomécaniques et neuromusculaires.

Au football [2], il existe 2 mécanismes lésionnels distincts : le sans-contact et le contact.

Les situations sans-contact les plus fréquentes sont la décélération brutale, les mouvements pivots, les changements vifs de direction, et la mauvaise réception d'un saut.

Lors de la décélération associée à un changement de direction, le membre inférieur est en chaîne cinétique fermée. Le pied est fixé au sol en pronation, le tibia en position de rotation interne, tandis que le genou part vers l'extension (0-20° de flexion) en valgus. Cette combinaison provoque un mouvement de torsion excessive du genou, les limites articulaires et ligamentaires sont dépassées ; le LCA se rompt.

Boden [9] a analysé 27 ruptures du LCA sans contact. Le mécanisme mis en évidence est un genou proche de l'extension associé à un valgus. Les rotations aussi bien interne et externe du genou sont mises en cause [10] [11].

De plus, la contraction excentrique du quadriceps est puissante et ajoute de la tension sur le LCA qui retient le glissement antérieur du tibia.

Il existe une multitude de positions augmentant les risques de rupture du LCA selon les situations de jeu. Les mouvements les plus fréquemment retrouvés sont un valgus augmenté, un genou proche de l'extension et un tibia en rotation. Les capacités de stabilité antéro-postérieure et rotatoire du LCA ne peuvent plus freiner les mouvements extrêmes.

1.3 Anatomie

1.3.1 L'articulation du genou

Le genou est l'articulation du membre inférieur située entre la hanche et la cheville. C'est une articulation à 2 degrés de liberté permettant la flexion/extension, ainsi que des rotations uniquement en flexion. Ses deux rôles, principaux et contradictoires, sont la stabilité et la mobilité. En tant qu'articulation intermédiaire, elle est responsable du raccourcissement du membre inférieur. [12]

Elle met en présence trois os : le fémur, le tibia et la patella.

Le genou est composé de deux articulations : la fémoro-tibiale et la fémoro-patellaire.

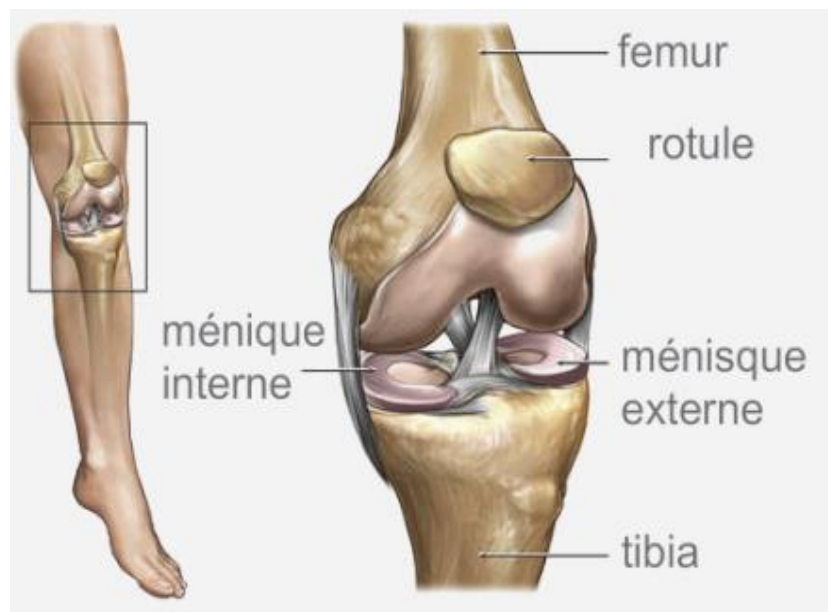


Figure 1. Vue antérieure du genou (Chirurgie Orthopédique Nice)

- *L'articulation fémoro-tibiale*

C'est une articulation entre l'extrémité inférieure du fémur, qui sont les condyles ; et l'extrémité supérieure du tibia, qui sont les glènes. C'est une articulation de type bicondyalaire à 2 degrés de liberté.

Le fémur : Le condyle fémoral interne est plus étroit et plus long que le condyle fémoral externe lequel est plus large et moins long. Chaque condyle décrit une forme de spirale dont l'axe, déjeté en arrière, décroît d'avant en arrière. Entre les deux condyles se creuse une gorge trochléenne pour s'articuler avec la patella en avant ; et se continue en arrière avec la fosse intercondylienne.

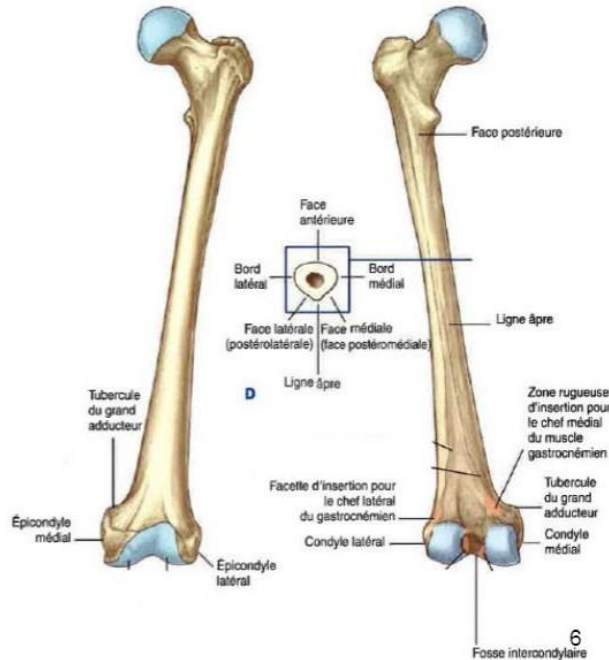


Figure 2. Vue antérieure et postérieure du fémur (Docplayer)

Le tibia : Les glènes tibiales sont deux gouttières ovalaires concaves séparées par une crête antéro-postérieure. La glène interne est concave selon les axes transversal et antéro-postérieur, ce qui permet une bonne congruence avec le condyle fémoral interne. La glène externe est concave transversalement, mais convexe dans le sens antéro-postérieur.

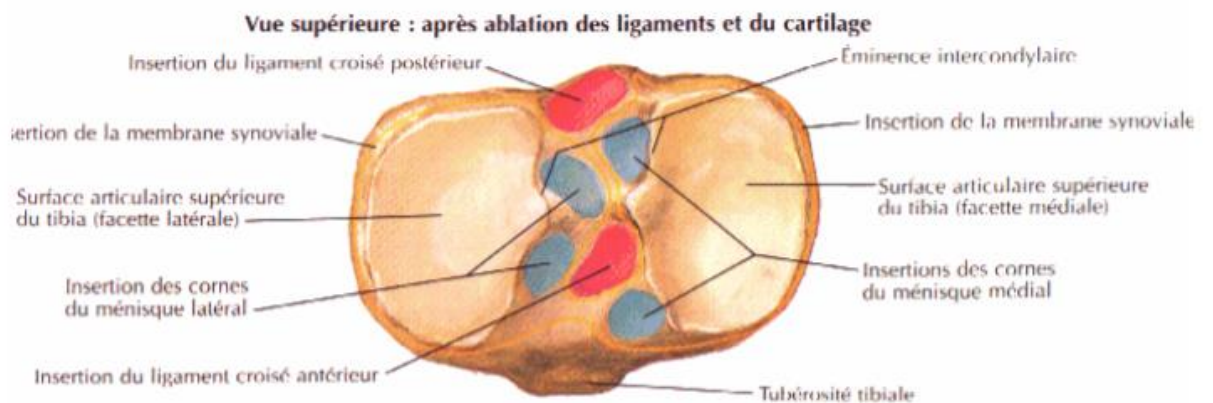


Figure 3. Vue supérieure du plateau tibial (IRBMS)

Les ménisques : Le fémur et le tibia s'articulent entre eux grâce aux ménisques. Ce sont des fibrocartilages en forme de croissant, imitant les surfaces osseuses correspondantes, et attachés au tibia par deux freins méniscaux. Ils sont triangulaires à la coupe. Le ménisque médial est donc long et étroit, avec un axe en avant et en dehors, et présente une forme de « C ». Le ménisque latéral est plus large et plus court, son axe est sagittal, et présente globalement une forme de « O ».

Vue supérieure du genou - Aspect normal

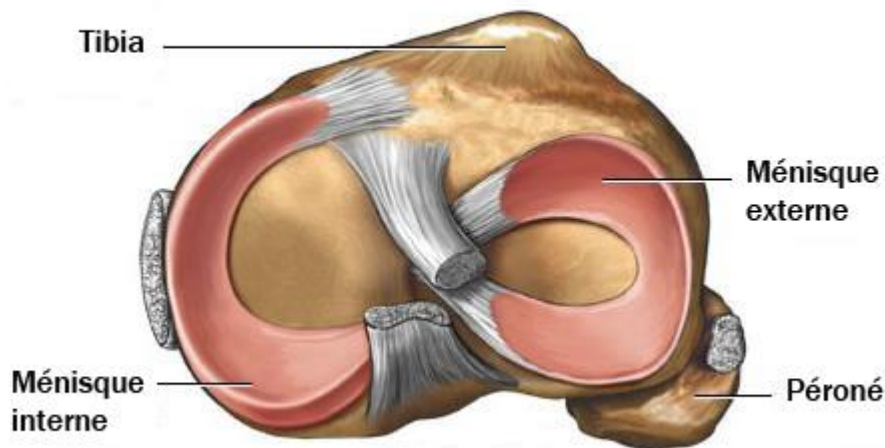


Figure 4. Vue supérieure des ménisques du genou (Santé Orthopédique)

La capsule : C'est un manchon fibreux enveloppant l'extrémité inférieure du fémur et l'extrémité supérieure du tibia. Elle les maintient au contact l'une de l'autre et constitue les parois non osseuses de la cavité articulaire. Elle est doublée sur sa face profonde par la synoviale [13].

Sur le fémur, elle s'insère en avant au-dessus de la fossette supratrochléaire où elle forme le cul-de-sac subquadricepsal, sur les côtés elle longe les joues trochléaires, et en arrière elle contourne les cartilages condyliques pour finir par se réunir dans la fosse intercondylienne. Dans sa partie postérieure, la capsule s'épaissit et forme les coques condyliennes sous l'insertion des gastrocnémiens.

Sur le tibia, la capsule s'insère en avant et sur les côtés externes des surfaces articulaires. En interne, elle remonte en avant du ligament croisé antérieur mais ne s'interpose pas entre les deux ligaments croisés, cet espace s'appelle la fente interligamentaire. Les ligaments croisés peuvent être considérés comme des épaissements de la capsule de part cette proximité, même s'ils restent des moyens d'unions distincts de celle-ci. La synoviale est appelée « tente des croisés » dans cette fente [12].

Les ligaments collatéraux : C'est un système ligamentaire puissant pour assurer la stabilité du genou en extension. Ils renforcent la capsule articulaire d'un point de vue anatomique et biomécanique.

Le ligament collatéral tibial a pour origine le condyle médial du fémur et se termine sur l'extrémité supérieure du tibia. En son milieu, des fibres ligamentaires se mélangent avec la capsule et la renforce. Il est oblique en avant et en bas. C'est le ligament le plus touché lors

des entorses car il contrôle le valgus physiologique, genou tendu. En flexion, il limite la rotation médiale exagérée.

Le ligament collatéral fibulaire s'insère sur la partie postéro-inférieure de l'épicondyle fémoral latéral, et s'étend jusqu'à la tête de la fibula dans la concavité de l'insertion du biceps fémoral. Les ligaments collatéraux sont tendus lorsque l'articulation fémoro-tibiale est en extension, ce qui restreint les rotations longitudinales. La stabilité transversale est également assurée par la limitation des bâillements. La flexion de genou détend les ligaments par rapprochement de leurs insertions et libère les rotations. Ils seront alors mis sous tension lors des rotations excessives.

Les ligaments croisés : C'est le système de pivot central du genou.

Le ligament croisé antérieur sera détaillé dans le paragraphe 1.3.2.

Le ligament croisé postérieur s'étend de l'aire intercondyloire postérieure du tibia jusqu'à la face axiale antéro-supérieure du condyle médial fémoral. Il a un trajet oblique en haut, en avant et en dedans. Il a pour rôle de limiter le tiroir postérieur du tibia sous le fémur.

- *L'articulation fémoro-patellaire*

C'est une articulation trochléaire à 1 degré de liberté. La face postérieure de la patella coulisse dans la trochlée fémorale lors des mouvements de flexion et d'extension de genou. Elle est recouverte d'un cartilage épais pour supporter les tensions du quadriceps en flexion. Il existe un mouvement de translation horizontale lors des rotations. La patella est un os sésamoïde particulier. Elle fait partie de l'appareil extenseur antérieur du genou. Le tendon quadricipital s'insère sur sa face antéro-supérieure et continue jusqu'à sa face inférieure pour se mélanger au ligament patellaire qui la relie au tibia. Elle permet au quadriceps d'augmenter la puissance de son bras de levier tout en assurant une surface de glissement plus efficace qu'une bourse synoviale. De plus, elle est maintenue dans son axe sagittal par les rétinaculum et ailerons latéraux [12] [13].

1.3.2 Le ligament croisé antérieur du genou

Le ligament croisé antérieur du genou est situé en plein centre de l'articulation fémoro-tibiale. Son insertion tibiale s'effectue entre les deux cornes antérieures des deux ménisques sur le plateau tibial. Sa terminaison fémorale se situe sur la partie postéro-médiale du condyle latéral. Son trajet est oblique en haut, en arrière et en dehors. [13]

D'aspect général, le ligament s'enroule sur lui-même en forme de torsade. On lui décrit deux faisceaux principaux :

- Le faisceau antéro-interne : le plus long, le plus visible vu de face, et le plus exposé aux traumatismes ;
- Le faisceau postéro-externe : le plus résistant lors des ruptures partielles.

Ces différents faisceaux impliquent que toutes les fibres du LCA n'ont pas la même longueur ni la même orientation, ainsi elles ne seront pas toutes tendues simultanément quelle que soit la position articulaire. Il peut donc avoir un rôle protecteur en permanence.

Le LCA est en rapport étroit avec le ligament croisé postérieur (LCP). Ils sont en contact par leur bord axial, le LCA passant en dehors du LCP. Ils se croisent dans le plan frontal et le plan sagittal pendant la flexion et l'extension de genou, et sont constamment parallèles dans le plan transversal. Ils glissent l'un sur l'autre lors des mouvements du genou. Les deux ligaments croisés sont intra-synoviaux, le LCA étant le seul intra-capsulaire.

Le système ligamentaire est très important au niveau de genou du fait de son caractère portant et de sa non-congruence des surfaces articulaires. Les ligaments croisés et les ligaments collatéraux du genou ont des trajets similaires. Le LCA est parallèle au ligament collatéral tibial et croise le ligament collatéral fibulaire, et inversement pour le LCP. Cette particularité atteste d'un travail synergique et complémentaire des ligaments entre eux, dans le but de protéger encore une fois le genou des mouvements extrêmes.

► **3-21**

Ligaments croisés en vues sagittale (a) et frontale (b).

1. LCP
2. LCA
3. Ligament méniscolfémoral

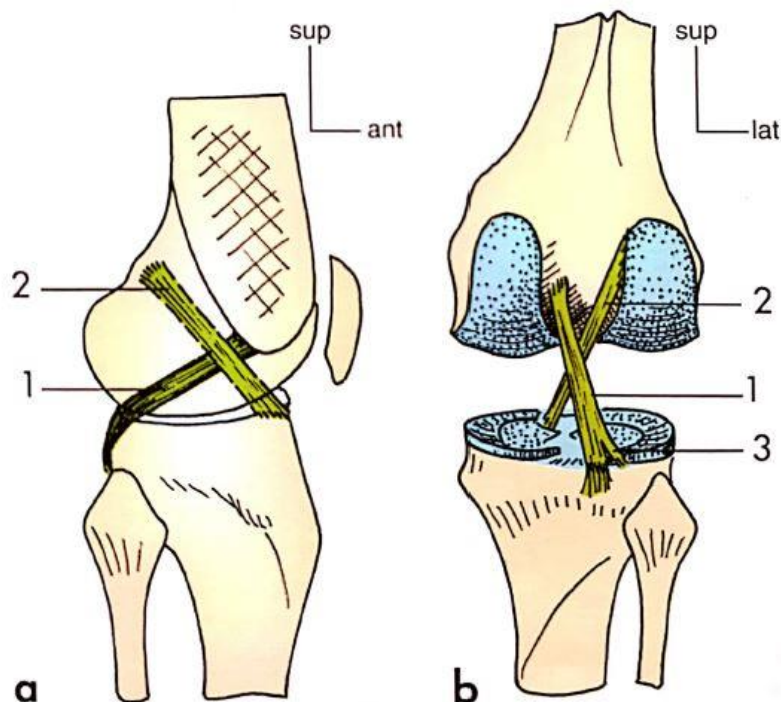


Figure 5. Vue sagittale et postérieure des ligaments croisés du genou (Anatomie de l'appareil locomoteur, Michel Dufour)

1.3.3 Biomécanique du LCA

Les ligaments croisés font partis des moyens d'union du fémur avec le tibia. Ils sont très peu extensibles, non élastiques, et ont une résistance proportionnelle à leur épaisseur. Situés en plein centre du genou, ils sont le pivot central de l'articulation [13] [14].

Globalement, les ligaments croisés assurent la stabilité antéro-postérieure et rotatoire du genou.

Le principal rôle du LCA est de limiter le glissement antérieur excessif et anormal du tibia sous le fémur, appelé tiroir antérieur.

Lors de la flexion, le condyle fémoral roule d'abord sur le plateau tibial. Le LCA se détend dans un premier temps, mais les fibres restées en tension vont ramener en avant le condyle fémoral en le faisant glisser. Une rupture du ligament ne déclenche plus de glissement des condyles qui continuent à rouler vers l'arrière, et le tibia se retrouve avancé par rapport au fémur. La synchronisation de ces deux actions est primordiale pour avoir des mouvements harmonieux. La flexion va progressivement horizontaliser le LCA et le détendre sauf pour le faisceau antéro-médial qui reste tendu. A 90°, les ligaments sont détendus et les rotations sont libérées. La rotation interne est possible, mais elle est contrôlée par le LCA qui arrête la torsion lors de sa mise en tension.

Genou verrouillé, toutes les fibres du LCA sont tendues. La rotation médiale est bloquée car la torsion du tibia sous le fémur induirait simultanément un éloignement des insertions et un enroulement des ligaments croisés sur eux-mêmes. La tension ajoutée serait trop importante pour le LCA qui ne peut pas se déformer. Il est le seul à limiter ce mouvement, le ligament collatéral tibial ayant tendance à se détendre par rapprochement de ses insertions. Pour la rotation latérale, à l'inverse ce sont les ligaments collatéraux qui bloquent le mouvement par éloignement de leurs insertions.

1.4 Les facteurs de risque de rupture du LCA chez la femme

Les facteurs de risques évoqués ci-dessous concernent les ruptures du LCA sans contact, qui représentent la majorité des blessures comme nous avons pu le dire auparavant. On les classe en deux catégories : les intrinsèques et les extrinsèques. La plupart de ces facteurs ne sont pas modifiables même s'ils sont identifiés. L'influence que nous pouvons avoir sur les autres facteurs ne permet pas de supprimer totalement ce risque pour autant.

Il ne faut pas oublier qu'une blessure est souvent due au hasard, à un concours de circonstances. La réduction de la gravité d'une blessure, grâce à la maîtrise et la connaissance de la prévention, est déjà un bel effort lorsqu'elle est inévitable.

1.4.1 Facteurs intrinsèques

Ce sont des critères liés aux caractéristiques de l'individu lui-même. La connaissance de ces facteurs aide à développer des stratégies de prévention pour éviter ou limiter les lésions graves en ayant un meilleur contrôle neuromoteur. Les facteurs de risques présentés sont le rassemblement de plusieurs études [11] [15] [16] [17].

On peut les regrouper en trois grandes parties : anatomique, hormonale, et neuro-musculaire.

Anatomique :

La taille de l'échancrure intercondylienne, zone d'insertion fémorale du LCA, serait un facteur de prédisposition de rupture du ligament. L'hypothèse est que plus l'échancrure serait réduite, plus la taille du LCA serait petite, plus le LCA résisterait faiblement lors de tensions augmentées. Uhorchak [18] rapporte dans son étude que les femmes ayant une échancrure de moins de 13 mm aurait 16,8 fois de plus de risques de blessures. D'après Shelbourne [19], la corrélation entre taille de l'échancrure et taille du LCA est correcte, cependant ce n'est pas un facteur de risque car les femmes ont naturellement une échancrure plus petite que les hommes. D'autres études [20] [21] ne montrent pas de lien entre la taille de l'échancrure intercondylienne et la résistance amoindrie du LCA.

L'angulation entre le tendon quadricipital et le ligament patellaire est aussi mis en cause. L'angle Q est lié au valgus physiologique, il est proportionnel à la déformation surtout chez les femmes. Les études de Shambaugh [22] et Haycock [23] montrent que les femmes avec un plus grand angle Q ont significativement plus de rupture du LCA que les autres. Or, cette mesure statique n'est pas prédictive de la lésion car d'autres facteurs neuromusculaires entrent en jeu lors de la phase dynamique [24].



Figure 6. Angle Q (casi-acms)

Les femmes ont une laxité articulaire généralisée plus importante que les hommes, surtout dans le milieu sportif. L'hyperextension du genou dans le plan sagittal est un marqueur de laxité. Boden [9] démontre dans son étude que les patients ayant eu une lésion du LCA présentait un récurvatum de genou de 10°, une flexion de hanche supérieure à 90° et une souplesse des ischio-jambiers (IJ) permettant de toucher les paumes de mains au sol. Uhorchak [18] reporte qu'une femme laxo aurait 2,7 fois plus de risques de se rompre le LCA par rapport à une femme non laxo [25]. Le plan frontal est également touché par la laxité, la présence d'un valgus augmenté ajoute des contraintes sur le LCA et le fragilise.

La souplesse musculaire est mise en cause également dans les facteurs de risque de rupture du LCA. Boden [9] atteste que les sportifs blessés au LCA avaient significativement des ischio-jambiers plus souples par rapport au groupe témoin. Les hommes et les femmes ne sont pas comparables sur le plan de la souplesse après la puberté. Les hommes deviennent plus raides tandis que les femmes au contraire sont plus souples. Le "sit and reach test" évaluant la flexibilité du rachis lombaire et la souplesse des ischio-jambiers est diminué chez les hommes et augmenté chez les femmes après la puberté, en comparaison de leurs résultats avant la puberté [26]. La souplesse des ischio-jambiers serait responsable d'une baisse du contrôle dynamique du genou à cause du retard d'activation de co-contraction IJ/quadriceps ne protégeant plus l'articulation en temps voulu.

Le LCA est le protecteur du tiroir antérieur du genou, la présence d'une translation tibiale antérieure exagérée physiologique serait un risque de rupture du ligament. Uhorchak [18] trouve que les femmes qui possèdent une laxité antéro-postérieure augmentée ont 2,7 fois plus de risques de souffrir de rupture que celles qui ont une laxité antéro-postérieure dans la norme. Il considère que la laxité antéro-postérieure est augmentée si elle est égale ou dépasse la moyenne de plus de 1 DS (déviation standard) [11].

L'indice de masse corporelle (IMC) est potentiellement un indicateur de risque de rupture du LCA, chez les filles majoritairement. A la puberté, les modifications corporelles comme la croissance et la prise de poids engendrent une augmentation de l'IMC en même temps qu'une augmentation des blessures aux genoux chez les filles [27]. L'étude de Buehler-Yund [28] sur des enfants de 5 à 12 ans jouant au football démontre que les blessures aux genoux concernent autant les garçons que les filles. Les filles âgées de plus de 11 ans ont significativement un taux plus élevé de blessures par rapport aux plus jeunes. Ils estiment qu'à partir de 12 ans, les filles ont un risque de traumatismes au genou plus important que les garçons. Ce taux croît avec l'âge.

Hormonale :

Les hormones sexuelles de la femme ont un impact sur toutes les structures anatomiques du corps. Elles ont une action sur la force musculaire, les capacités aérobiques et anaérobiques des muscles et la laxité ligamentaire [11] [15]. Les variations hormonales du cycle menstruel pourraient provoquer des périodes propices aux lésions ligamentaires. Plusieurs études ont remarqué que les femmes auraient plus de rupture du LCA lors de la phase pré-ovulatoire particulièrement par rapport à l'ensemble du cycle menstruel [17]. Cependant, d'autres études [29] démontrent que c'est la période post-ovulation, appelée phase lutéale, qui enregistre un plus grand nombre de rupture du LCA. Il n'y a aucune certitude établie à ce jour.

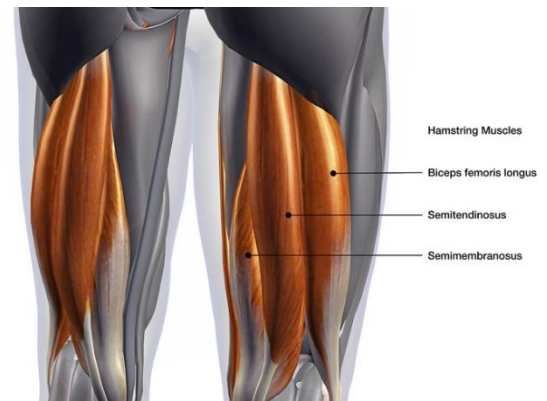
Neuromusculaire :

Le contrôle neuromusculaire est primordial pour assurer la sécurité d'une articulation. La contraction des muscles agit en tout premier lieu pour stabiliser activement l'articulation, on parle de ligament actif. Lorsque le déséquilibre surpasse la capacité musculaire, ce sont les ligaments qui sont le deuxième rempart de protection de l'articulation. L'inégalité des hommes et des femmes est encore une fois présente. Les femmes ont un contrôle neuromusculaire moins performant que les hommes, et leur différence de stratégies neuromusculaires accroît le risque de lésion ligamentaire [11] [15].

Le quadriceps est considéré comme un antagoniste du LCA. Par son insertion du tendon patellaire, sa contraction amène la tubérosité tibiale antérieure vers l'avant. Dans les 30 à 45 premiers degrés de flexion du genou, la contraction isolée du quadriceps en chaîne cinétique ouverte pourrait produire une force plus importante que celle capable de léser le LCA [30] [31] [32]. L'étude d'Arms [33] démontre qu'une contraction du quadriceps jusqu'à 45 degrés de flexion mettrait en contrainte le LCA, mais les contraintes diminuaient au-delà de

60°. Beynon [34] atteste que le LCA est mis en tension par la contraction du quadriceps à 30° de flexion, mais pas à 90° in vivo. Il rapporte également que la contrainte du LCA augmente entre 15 et 30°, et diminue à partir de 60° de flexion.

Les IJ sont des agonistes du LCA, leur contraction tire le tibia en arrière et limite donc le glissement antérieur. Solomonow [35] a étudié la relation synergique des IJ et du LCA lors de la stabilisation de l'articulation. Il reporte qu'un stress appliqué directement sur le LCA va inhiber le quadriceps et exciter immédiatement les IJ. Cette réponse mécanique est retrouvée chez les sujets sains, mais également les sujets ayant déjà eu une lésion du LCA par entorse. C'est un réflexe attestant du rôle précoce des IJ dans la stabilisation et la protection de l'articulation du genou. Ainsi, un défaut de contraction par une faiblesse musculaire ou un retard d'activation, amène à un sous-recrutement des IJ par rapport au quadriceps dans le couple de co-contraction. Ce déséquilibre ne protège plus l'articulation et les contraintes mécaniques sont exercées sur le LCA, augmentant son risque lésionnel. *Figure 7. Les ischio-jambiers (running-care)*



Des études ont été réalisées pour apprécier le niveau d'activation des groupes musculaires chez les hommes et les femmes [36] [37] [38] [39] [40]. Le principe est de reproduire des situations à risques pour le LCA, tout en enregistrant l'activité musculaire du quadriceps et des IJ pour mettre en évidence les temps d'activation et les forces générées des muscles.

La plus récente des études [37] a été effectuée sur 40 étudiants (20 femmes et 20 hommes) pratiquant le football universitaire à haut niveau. On a demandé aux sujets d'effectuer un mouvement de changement de direction (d'un angle de 60°) après une course de quelques pas puis après un saut d'une hauteur de 30 cm avec réception sur le pied dominant. L'électromyogramme enregistre l'activité musculaire des différents chefs du quadriceps et des IJ au moment de l'impact du pied au sol, et donne le ratio quadriceps/IJ. Les résultats montrent qu'il n'y a pas de différence d'activation des IJ entre les hommes et les femmes. Les autres études similaires concluent au même résultat. Cependant, on remarque que les femmes n'ont pas la capacité d'activer leurs IJ au même niveau que leurs quadriceps, contrairement aux hommes. Le ratio quadriceps/IJ est significativement plus élevé chez les femmes.

La mesure du ratio quadriceps/IJ permet d'identifier la prédominance d'un groupe musculaire par rapport à l'autre. Plus le ratio est élevé, plus les forces de cisaillement antérieures sont importantes, et plus le LCA est susceptible de se rompre. L'augmentation du ratio peut être due à une activation plus importante du quadriceps et/ou à une baisse d'activation des IJ. Des études [41] [42] se sont penchées sur l'influence de la fatigue sur les forces musculaires. Les résultats ne montrent pas de différence d'activation sur le quadriceps avant et après l'épreuve de fatigue. L'hypothèse est que l'augmentation du ratio quadriceps/IJ est produite par la baisse d'activation des IJ, afin de garder un mouvement efficace tout en économisant de l'énergie. Une inhibition des IJ serait un moyen compensatoire pour transférer la force sur le quadriceps (le muscle principal du mouvement) afin de lui maintenir une activité musculaire constante. La performance du geste sportif est préservée au détriment

de la protection de l'articulation qui n'est plus assurée avant même que la fatigue musculaire apparaisse.

De Luca [43] émet l'hypothèse selon laquelle l'activation de plusieurs groupes musculaires agonistes-antagonistes est réalisée par un contrôle commun central. Ce mécanisme considérerait les différents muscles comme une seule entité motrice. On obtiendrait une activation des IJ au même niveau que le quadriceps, entraînant une diminution du ratio quadriceps/IJ et des forces de cisaillement antérieur sur le LCA. Ce contrôle commun serait mieux organisé chez l'homme que chez la femme. [11]

Une étude réalisée par Fleming [44] s'est intéressée à l'implication du triceps sural dans le cisaillement antéro-postérieur. Les gastrocnémiens s'insèrent au-dessus des coques condyliennes et ont pour action de fléchir le genou. On peut supposer qu'une contraction importante a un effet de glissement postérieur du fémur sur le tibia, et génère indirectement un glissement antérieur du tibia. Les résultats montrent qu'une contraction du quadriceps associée à une contraction des gastrocnémiens augmente la force de cisaillement antérieure à 5° et 15° de flexion de genou par rapport à la contraction isolée du quadriceps. La force de cisaillement antérieure lors de la co-contraction IJ/gastrocnémiens est supérieure à celle réalisée par la contraction isolée des IJ à 15° et 30° de flexion.

Le triceps sural joue un rôle d'antagoniste du LCA, seul et associé au quadriceps ou aux IJ. Les exercices de flexion de genou pour renforcer les IJ sont donc à contrôler car ils peuvent avoir un effet néfaste sur le ligament selon l'angle de flexion à cause du recrutement des gastrocnémiens.



Figure 8. *Musculature du membre inférieur (eps-cours.vinci)*

Nous avons vu précédemment que la présence d'un valgus statique fréquent chez les femmes ne pouvait pas être comparé à un facteur de risque lors d'un mouvement dynamique. Cependant, des études [45] [46] [47] [48] [49] ont mis en évidence l'apparition d'un valgus dynamique lors de gestes sportifs spécifiques comme la réception d'un saut chez les femmes principalement.

L'hypothèse est que l'affaissement du genou en interne en charge serait dû à un défaut d'activation des muscles internes qui n'arrivent pas à limiter l'abduction du tibia sous le fémur, tandis ce que les muscles externes favorisent ce mouvement. Palmieri-Smith [50] a demandé à 11 femmes et 10 hommes sportifs amateurs de réaliser 3 sauts d'une longueur de 100 cm sur leur jambe dominante uniquement. La réception unipodale est comparable à la décélération brutale lors d'une course. La contraction des différents groupes musculaires est recueillie par électromyogramme. Les mesures relevées permettent de comparer le ratio quadriceps/IJ en externe, en interne, et la différence des deux pendant son valgus de pointe. Il existe un gradient décroissant de force du compartiment externe au compartiment interne. Le rapport d'activation des muscles internes par rapport à l'activation des muscles externes est significativement plus bas chez les femmes que chez les hommes. En comparant analytiquement les mesures des différents chefs des muscles, le vaste médial a une

contraction plus faible par rapport au vaste latéral du quadriceps, et les IJ médiaux sont également plus faibles par rapport au biceps fémoral. Il y a donc un déséquilibre musculaire latéral chez la femme ; ces différences n'étant pas retrouvées chez l'homme. L'étude reporte que le valgus de pointe, prenant en compte la taille et le poids de l'individu, est plus élevé chez la femme que chez l'homme. Le déséquilibre musculaire entre le compartiment interne et externe est donc responsable du valgus dynamique marqué chez la femme qui augmente les contraintes sur les ligaments. L'étude de Hewett [25] vient renforcer cette hypothèse. Sur les 205 athlètes féminines pratiquant des sports à risques (football, volleyball et basketball), les femmes qui avaient présenté un valgus de pointe de 8 degrés de plus que les autres ont été victimes d'une rupture du LCA, avec un moment de valgus 2,5 fois plus important.

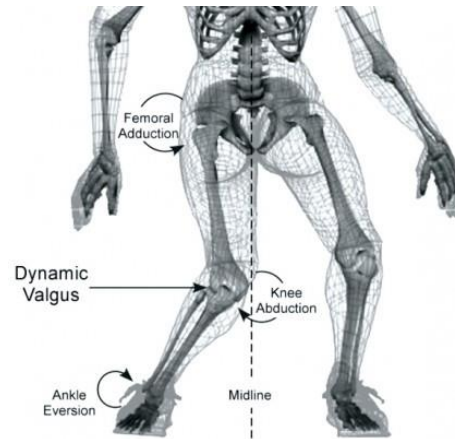


Figure 9. Valgus dynamique du genou (kinéacti)

L'étude de l'angulation du valgus dynamique, associée à une analyse de la force musculaire du quadriceps et des IJ, serait un très bon élément prédictif du risque de rupture du LCA.

On remarque une position commune du tibia mettant en contrainte le LCA, c'est la combinaison d'une translation antérieure, d'un valgus et d'une rotation. C'est la stratégie la plus souvent adoptée par les sportives pour maintenir leur niveau de performance dans leur sport. L'identification des facteurs de risques neuromusculaires, leurs analyses et leurs compréhensions est la base pour développer des exercices de prévention de rupture du LCA. Il est rare qu'un seul de ces facteurs soit la cause d'une blessure, et l'absence de contrôle sur la plupart des facteurs rend la maîtrise des risques d'autant plus difficile. Pour autant, grâce aux protocoles de prévention qui en découlent, une femme peut transformer une blessure grave en une lésion partielle, et une lésion partielle en une absence de blessure.

1.4.2 Facteurs extrinsèques

Ils sont souvent propres aux conditions de pratique du sport, ou à l'environnement.

Un terrain de football sec et chaud [51], des chaussures à crampons irréguliers [52], un temps dégradé [53], la situation de jeu comme l'entraînement et la compétition [54] ou encore le poste de jeu [7], sont des facteurs de risques de rupture du ligament croisé antérieur.

1.5 Examens cliniques de diagnostic de rupture du LCA

Le diagnostic d'une rupture du LCA est clinique. L'anamnèse est primordiale dans tout diagnostic réalisé par un kinésithérapeute. On va se renseigner particulièrement sur :

- Les circonstances du traumatisme : après un contact contre un obstacle, shoot dans le vide, atterrissage d'un saut, changement brusque de direction... Ces informations nous indiqueront le mécanisme traumatique (hyperextension, cisaillement, rotation excessive) ;
- La présence d'un craquement, claquement ou d'une déchirure pendant l'accident ;
- La sensation de dérobage et d'instabilité du genou.

Les signes cliniques majoritairement rencontrés sont la douleur, le gonflement intra-articulaire, et l'instabilité rotatoire. L'intensité de ces signes n'est pas corrélée avec la gravité de l'entorse. L'épanchement synovial est caractéristique de la rupture du LCA, on l'apprécie par la technique du choc rotulien. Il correspond le plus souvent à de l'hémarthrose mais seule une ponction articulaire peut le déterminer. Un déficit de flexion de genou et/ou un flexum antalgique peuvent être présents à cause de la douleur et du gonflement.

Le test de Lachman-Trillat est considéré comme le test pathognomonique de rupture du LCA. Il est facilement reproductible et fiable, ce qui lui vaut une grande spécificité. Il est réalisable très rapidement après la blessure. La présence de faux négatifs est probablement causée par les lésions associées réalisant des blocages articulaires indépendamment de l'état du LCA.



Figure 10. Test du Lachman-Trillat (slideplayer)

Le sujet est allongé en décubitus dorsal et doit être relâché. Le genou est fléchi à 20°. Le kiné est positionné du côté homolatéral. D'une main il maintient le fémur et de l'autre il empoume l'extrémité supérieure du tibia par sa face interne, le pouce sur la tubérosité tibiale antérieure, et imprime un mouvement de translation antérieure du tibia. Un arrêt mou et un déplacement excessif du tibia sous le fémur sont les signes de rupture du ligament.

Le test est indolore, la présence d'une douleur manifeste une lésion méniscale associée. Il faut être attentif au relâchement musculaire des IJ car leur contraction donnerait un résultat faussement négatif. L'examen comparatif au côté sain élimine un résultat faux positif sur un genou hyperlaxe. [14]

Le test du tiroir antérieur permet de diagnostiquer une rupture du LCA associée à une lésion capsulaire ou ligamentaire. Le principe du test est identique à celui du Lachman-Trillat. Le sujet est allongé, genou fléchi entre 60° et 90° et le kinésithérapeute s'assoit sur le pied du patient pour le bloquer. Avec ses mains il va réaliser une translation tibiale antérieure, ou autrement dit un tiroir antérieur en cas de rupture du LCA.

Il existe plusieurs tests dynamiques qui mettent en évidence le ressaut rotatoire du genou, signe d'instabilité et de mauvais pronostic pour l'intégrité de l'articulation. Leurs réalisations

sont cependant délicates car ils peuvent être source de douleur et de crainte. En complémentarité, l'examen paraclinique réalisé est l'IRM.

1.6 L'évolution d'une rupture du LCA

La rupture du LCA est une blessure grave, qui empire avec le temps. Les parties déchirées du ligament se rétractent et empêchent la cicatrisation normale, il n'est pas assez bien vascularisé et ne possède pas de cellules de régénération. Dans la majorité des cas, des lésions sont associées comme les ménisques, le ligament collatéral tibial, le cartilage ; ces lésions peuvent provoquer à long terme un risque d'arthrose précoce [55]. Le traitement d'une rupture partielle du LCA dépend des symptômes. Une absence d'instabilité, un genou sec après quelques semaines sont des indices de bon pronostic. Cependant pour les sportifs, l'intervention chirurgicale est fortement conseillée à cause des risques trop élevés d'aggravation de la lésion par la pratique des pivots et des sauts. La suture du LCA a été abandonnée par les chirurgiens par manque d'efficacité. Les ligamentoplasties par arthroscopie réalisées à ce jour sont les greffes autologues, c'est-à-dire provenant du sujet lui-même. Il n'y a pas une opération meilleure que les autres concernant la qualité du greffon, il y a des avantages et inconvénients dans chaque situation. Le principal objectif est d'être le plus adapté au patient.

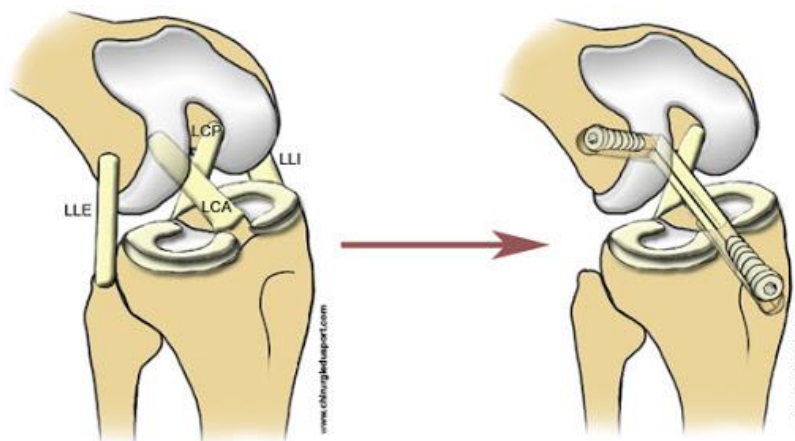


Figure 11. Ligamentoplastie intra-articulaire (Chirurgie du sport)

Le DIDT est très fréquemment utilisé. L'opération consiste à prélever une partie du gracile et du semi-tendineux (un des chefs médiaux des ischio-jambiers), à les enrouler sur eux-mêmes en tresse, à les tendre pour ensuite les positionner à la place du LCA. Les systèmes de fixation à l'os sont variables, les vis en hydroxyapatite sont fréquentes. L'avantage de cette opération est un épanchement intra-articulaire moins important.

Une variante de cette opération est de DT4. Le semi-tendineux est le seul muscle prélevé, il est tressé sur lui-même et replié en 4. L'avantage est le nombre minimal de muscles requis pour réaliser cette intervention.

Le Kenneth-Jones (KJ), renommé également Os-Tendon-Os, est la plus ancienne des trois citées. Son nouveau nom prend tout simplement origine de la technique utilisée. Le greffon est une continuité d'un bout de patella, du tendon patellaire et d'un bout de tubérosité tibiale. On remarque une fonte plus importante du quadriceps causée par le prélèvement musculaire. Cette méthode n'est pas souvent utilisée chez les footballeurs.

Des interventions extra-articulaires peuvent venir renforcer ou remplacer le greffon latéralement.

La rééducation de ces opérations est longue, il faut compter entre 6 et 9 mois en moyenne pour reprendre la pratique du football. Evidemment, la reprise ne peut pas se faire à équivalence du niveau de jeu pré-blessure, elle doit être progressive pour limiter les risques de récurrence. Le retour au sport se fait sous certaines conditions :

- La disparition des douleurs et du gonflement ;
- Une amplitude articulaire retrouvée ;
- Une récupération musculaire identique au côté sain ;
- La stabilité retrouvée ;
- La motivation du sujet ;
- Les accords des professionnels de santé.

Ces critères de reprise du sport ont pour but de diminuer les risques de récurrences pour protéger le sportif.

1.7 Description des protocoles

Les protocoles de prévention sont basés sur les facteurs de risques modifiables, soit essentiellement les facteurs neuromusculaires. Ils vont être tous constitués de renforcements musculaires, d'activation ciblée, de correction de position dans les gestes techniques, et de proprioception. Les circuits sont réalisés comme des exercices d'échauffement d'une vingtaine de minutes avant leurs entraînements techniques de football.

L'étude de Soligard [56] combine le PEP Programme et le Fifa 11+ Programme dans son protocole de prévention. Il comprend 3 grandes parties :

- 5 exercices de courses pendant 8 minutes ;
- 6 exercices de renforcement, pliométrie et équilibre (gainage en planche, gainage latéral en planche, le nordique IJ inférieurs, l'équilibre unipodal, les squats, les sauts) pendant 10 minutes ;
- 3 exercices de courses pendant 2 minutes.

Les exercices de la deuxième partie ont 3 niveaux de difficulté. Le nombre de répétitions est donné dans l'annexe 1. L'ensemble de cet échauffement dure environ 20 minutes, et est réalisé par les équipes à chaque entraînement, entre 2 et 5 fois par semaine, pendant la saison sportive de 8 mois.

L'étude de Walden [57] propose un échauffement neuromusculaire sur le contrôle du genou et la stabilité du tronc avec 6 exercices :

- Des squats unipodaux ;
- Des squats bipodaux ;
- Des ponts fessiers ;
- Du gainage en planche ;
- Des fentes ;
- Des techniques analytiques de saut.

Il y a quatre niveaux de difficulté pour chaque exercice en progression. Les exercices sont détaillés dans l'annexe 2. Le circuit dure en moyenne 15 minutes, précédé de 5 minutes de course à pied à faible allure pour échauffer. Il est réalisé 2 fois par semaine pendant toute la saison sportive de 7 mois.

L'étude de Gilchrist [58] utilise le PEP programme (annexe 3), un échauffement neuromusculaire comprenant plusieurs types d'exercices variés :

- De la course ;
- Des étirements des muscles des membres inférieurs ;
- Du renforcement du bas du corps ;
- De la pliométrie ;
- De l'équilibre avec des mouvements spécifiques du football.

L'échauffement est réalisé pendant 20 minutes, 3 fois par semaine avant l'entraînement intensif spécifique, pendant la saison sportive qui dure 12 semaines.

L'étude de Mandelbaum [59] exécute également le PEP programme pour proposer un échauffement neuromusculaire comprenant des exercices de course, d'étirements et de renforcements des muscles des membres inférieurs, de pliométrie, et des techniques d'agilité dans les mouvements propre au football. Les exercices sont exécutés pendant 20 minutes, ils sont décrits dans l'annexe 4.

1.8 Pertinence de la prévention

Le football féminin connaît un vrai essor de popularité dans le monde. De l'amateur au professionnel, des jeunes filles jusqu'aux adultes, la France est passée de 35 000 à plus de 158 000 licenciées en l'espace de 20 ans, selon les statistiques de la Fédération Française de Football en 2019. Les femmes étant naturellement plus exposées aux blessures, il en va de soi que les ruptures du LCA sont d'autant plus nombreuses qu'avant. Les femmes doivent réduire leur vulnérabilité en prenant en compte les moyens mis en œuvre pour les aider.

Il y a un réel intérêt pour les footballeuses d'éviter cette lésion irréversible, l'une des plus graves dans ce sport. Les protocoles de prévention ont une place sérieuse dans le monde professionnel du football. La Fifa applique depuis une dizaine d'années son emblématique « Fifa 11+ » et suit de très près les blessures des joueurs et joueuses en réalisant en permanence des statistiques. Le « PEP Programme » du Santa Monica Sports Research Foundation applique les mêmes principes. Chacun d'eux a enregistré une baisse de 20 à 40% des blessures sur leurs joueurs depuis la mise en place de ce type d'échauffement neuromusculaire. En comparant et évaluant leurs efficacités, il serait pertinent pour tous les clubs de football de les appliquer.

1.9 Objectifs de la revue de littérature

L'objectif de ma revue de littérature est de synthétiser les données actuelles de la recherche en lien avec ma question clinique. Elle est basée sur le modèle PICO :

Patients : Femmes, licenciées dans une équipe de football

Intervention : Echauffement neuromusculaire spécifique à visée préventive

Comparateur : Echauffement habituellement exécuté par les clubs

Outcome (critère de jugement) : réduction du nombre de rupture du LCA au cours de la saison

2 Méthode

2.1 Critères d'éligibilités

Les types d'études les plus fréquemment utilisés pour une question thérapeutique sont les essais cliniques randomisés. Les études de Soligard, Walden et Gilchrist en font parties. L'article de Mandelbaum est une étude de cohorte, car c'est un modèle plus adapté pour réaliser un suivi à long terme sur deux ans.

J'ai choisi une population uniquement féminine, des adolescentes pratiquant le football en club, car le risque de rupture du LCA augmente dès la fin de la puberté. Une prévention précoce est plus bénéfique et pertinente pour les femmes.

L'intervention souhaitée est la mise en place d'un protocole de prévention sous forme d'échauffement neuromusculaire comprenant les objectifs de renforcement musculaire, de la pliométrie, de la proprioception et du contrôle neuromusculaire. Les quatre protocoles ne sont pas exactement identiques mais ils incluent tous les objectifs évoqués précédemment. Certains exercices sont communs aux trois études.

Le critère de jugement principal est l'évaluation du nombre de rupture du LCA, et la comparaison des résultats entre les groupes d'intervention et les groupes contrôles pour en déduire l'impact du protocole de prévention sur les risques de rupture du LCA. Seule l'étude de Soligard est plus générale et évalue le nombre de blessures au genou sans distinction. J'ai inclus cette étude car une comparaison de trois articles permettrait difficilement d'attester de l'efficacité des protocoles de prévention. Les femmes footballeuses sont beaucoup moins nombreuses que les footballeurs, il y a donc moins d'articles à leur sujet, malgré les blessures plus fréquentes en terme de proportion. De plus, il est intéressant de savoir si ces échauffements neuromusculaires permettent d'éviter toutes les blessures au genou, ou seulement celles du LCA. Soligard était la seule étude comparable aux autres articles sélectionnés à partir de mes équations de recherche.

2.2 Méthodologie de recherches d'études

J'ai utilisé les bases de recherches Pubmed, Pedro, Cochrane et Kinédoc. Pour chacune d'entre elles, j'ai formulé une question clinique assez large de manière à inclure un maximum d'article. J'ai trouvé 3 articles provenant de la littérature grise.

Equation de recherche PubMed :

J'ai utilisé les opérateurs booléens AND et OR entre mes mots-clés pour la formulation de l'équation de recherche. J'ai obtenu 384 essais cliniques. La lecture des titres m'a permis d'éliminer la majeure partie des articles utilisant les traitements préventifs pour analyser les indices biomécaniques. J'ai sélectionné 21 articles correspondant à mon sujet. Par la lecture de l'abstract et principalement par la catégorie « résultats », j'ai conservé 8 articles ayant pour critère de jugement le nombre de rupture de LCA. En finalité, j'ai conservé 3 articles éligibles à ma revue de littérature.

		OR ↻	OR ↻	OR ↻
	Synonyme 1	Synonyme 2	Synonyme 3	Synonyme 4
AND ↻	PATIENTS	Female	Woman	-
AND ↻	INTERVENTION	Prevention	-	-
AND ↻	COMPARATEUR	-	-	-
AND ↻	OUTCOME	Knee injury	Knee injuries	Anterior cruciate ligament injury Anterior cruciate ligament injuries

Equation de recherche Cochrane :

J'ai réalisé une recherche simple sur Cochrane Library en sélectionnant « title abstract keyword » (mot-clé dans titre et abstract). J'ai sélectionné l'onglet Trial (essai) pour avoir des essais cliniques. Ma formulation était « acl female ». J'ai trouvé 1017 articles au total. Mon équation de recherche est vaste avec un grand nombre de résultats. Malgré d'autres formulations plus précises, je ne retrouvais pas la totalité de mes articles sélectionnés.

En additionnant toutes les sources de données présentes (PubMed, Embase, CT.gov et ICTRP), on comptait 1 187 résultats, il y avait donc 170 articles ayant deux sources de données. En enlevant PubMed comme source de données unique, j'ai automatiquement supprimé la plupart des doublons, et j'ai obtenu alors 467 articles provenant de CT.gov, Embase et ICTRP. Parmi ces articles, il y en avait 170 qui provenaient encore de PubMed. C'était donc la

deuxième suppression de doublons. Après avoir effectué ce tri, il me restait 297 articles. La lecture du titre m'a permis de sélectionner 9 articles correspondants à mon sujet. 2 articles étaient inaccessibles malgré mes tentatives, 1 article était un doublon sous un autre nom d'une étude sélectionnée par Pubmed, les 6 autres articles ne correspondaient pas à mon critère de jugement. Tous les articles provenant de Cochrane ont été exclus.

Equation de recherche Pedro :

J'ai fait une recherche simple sur Pedro avec la formulation « prevention acl » dans la catégorie des essais cliniques. J'ai obtenu 18 articles, tous ayant comme source PubMed. Je n'ai pas conservé ces doublons.

Equation de recherche Kinédoc :

J'ai tapé le terme « prévention LCA » pour rechercher des essais cliniques. Parmi les 28 articles sortis, aucun ne correspondait à mon sujet.

2.3 Extraction et analyse des données

La majorité des résultats n'étaient pas dans ma thématique dès la lecture du titre, l'exclusion de ces articles fut donc rapide. Par ce principe, j'ai enregistré 21 articles sur le site Pubmed concernant la prévention des lésions du LCA chez les footballeuses. Pour le site Cochrane, à l'aide des bases de données Embase, CT.gov et ICTRP, j'ai sélectionné 9 articles par leur titre. Pour Pedro, tous les articles indiquaient leur présence sur le site PubMed, ils correspondaient à des doublons, je n'ai gardé aucun article. Pour le site Kinédoc, aucun article n'était en lien avec mon sujet. Parmi les 3 articles trouvés grâce à la littérature grise, 2 d'entre eux ne correspondaient pas à mon critère de jugement principal.

A partir de mes 33 articles enregistrés, j'ai lu les résumés pour sélectionner ceux qui correspondaient à mon modèle PICO. En premier, j'ai lu la catégorie « Participants » pour avoir la bonne population. Ensuite, j'ai regardé la partie « Résultats » car cette catégorie me permettait de déterminer si un article correspondait à mon critère de jugement principal. En dernier, je lisais la partie « Intervention » pour vérifier si le protocole de prévention appliqué correspondait à mes objectifs.

Il est vrai que dans l'ordre de lecture d'un abstract, la catégorie « Résultats » arrive après la catégorie « Intervention », ayant enregistré des articles qui avaient tous comme traitement préventif un entraînement neuromusculaire, l'intervention était quasi identique dans tous les articles. Je pouvais donc exclure plus rapidement un article en regardant la catégorie « Résultats » en premier lieu. J'ai inclus quatre articles à ma revue de littérature.

La plupart des études que j'ai exclue utilisait les protocoles de prévention pour évaluer l'évolution des indices neuromusculaires, comme par exemple l'augmentation de la flexion de hanche et de genou lors de la réception d'un saut, et ainsi supposer d'une diminution probable des risques de rupture du LCA. Or, pour ma revue de littérature je cherchais à déterminer

l'efficacité d'un protocole de prévention sur les nombres de ruptures du LCA observées. Il serait tout de même intéressant de coupler ces deux hypothèses.

La lecture d'un article est également stratégique. L'introduction parle de généralités à propos du thème de l'étude. C'est à partir de la catégorie « Méthode » que nous allons extraire les informations principales :

- La sélection des participants (épidémiologie, critères d'exclusion et d'inclusion ...)
- L'intervention (type de traitement, exercices proposés, durée de l'étude ...)
- La méthode de recueil des informations (personnes en aveugle, collecte des données)
- Le critère de jugement principal (et les éventuels critères de jugements secondaires)
- La méthode statistique d'analyse de la qualité des résultats obtenus

Ensuite, nous traitons la partie « Résultats ». C'est la partie rédactionnelle mettant en commun tous les résultats des tableaux, du taux de participation, c'est un rassemblement des données statistiques. Cette catégorie nous renseigne sur l'efficacité de notre traitement d'après notre critère de jugement principal.

La partie « Discussion » est un regroupement d'informations concernant toute l'étude. Il peut y être informé des limites et biais de l'étude, des comparaisons des résultats d'autres études. Elle comprend du spin par les auteurs sur l'interprétation des résultats.

J'ai évalué la qualité méthodologique de mes essais cliniques randomisés avec l'échelle Pedro (tableau 1). La valeur du score Pedro ne reflète pas précisément la qualité d'une étude, il faut regarder en détail les items qui ne sont pas validés.

Tableau 1. Résultats des évaluations de la qualité méthodologique des études par l'échelle Pedro

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	TOTAL
SOLIGARD 2008	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	5/10
WALDEN 2012	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	7/10
GILCHRIST 2008	Non	Oui	Non	Oui	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	7/10

Notes : Critères de l'échelle Pedro : Q1. Critères d'inclusion spécifiés ; Q2. Assignment aléatoire ; Q3. Assignment secrète ; Q4. Groupes similaires avant l'étude ; Q5. Sujets en aveugle ; Q6. Thérapeutes en aveugle ; Q7. Examineurs en aveugle ; Q8. Obtention des mesures supérieur à 85% ; Q9. Analyse des « en intention de traiter » ; Q10. Comparaisons statistiques entre les groupes ; Q11. Estimation de l'effet et de sa variabilité. Le premier item Q1 ne compte pas dans le score final.

J'ai utilisé l'échelle New-Ottawa Scale pour évaluer la qualité méthodologique de l'étude de cohorte (tableau 2).

Tableau 2. Résultats de l'évaluation de la qualité méthodologique par l'échelle New-Ottawa Scale

Question	Réponse
Représentativité du groupe exposé	<i>Groupe de volontaires</i>
Sélection du groupe contrôle	<i>Similaire au groupe exposé*</i>
Détermination de l'exposition	<i>Attesté par l'entraîneur</i>
Preuve du résultat attendu absent au début de l'étude	<i>Non</i>
Comparabilité des groupes sur l'analyse des résultats	<i>Groupe contrôle blessure LCA*</i>
Evaluation du critère de jugement	<i>Collecteur de données*</i>
Durée du suivi pertinente pour collecte des résultats	<i>Oui*</i>
Adéquation du suivi des sujets	<i>0 – 3.75% de perdus de vue*</i>
Score	5 étoiles sur 9
<i>Notes : La présence d'étoile est un marqueur qualitatif des critères méthodologiques.</i>	

Les réponses détaillées et les biais déduits sont développés dans la partie 3.2.

3 Résultats

3.1 Description des études

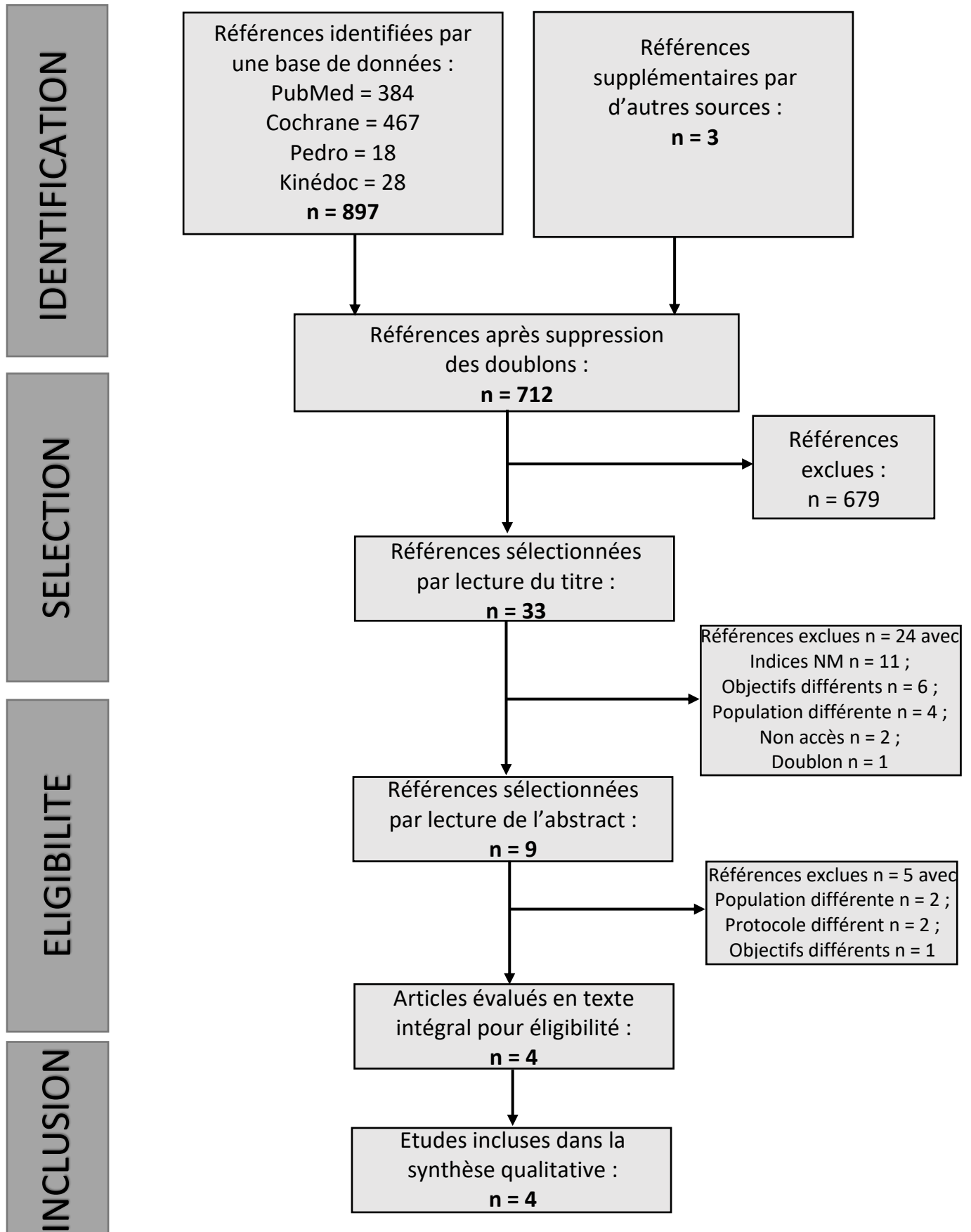
3.1.1 Diagramme de flux

Le diagramme de flux est un graphique illustrant les étapes de sélection de données, en utilisant des entrées et des sorties. C'est un modèle qui correspond entièrement à notre acheminement d'inclusion des articles.

Sur les 712 articles initiaux, je n'ai conservé que 4 articles. Il y a eu trois grandes phases d'exclusion :

- La majeure partie des articles non sélectionnés ne correspondait pas à mon sujet dès la lecture du titre ;
- Parmi les articles sélectionnés, 24 ont été exclus après la lecture de l'abstract, pour diverses raisons détaillées dans les tableaux 3, 4 et 5 ;
- Les dernières études ont été exclues pour cause de non-différenciation des critères nous intéressants.

DIAGRAMME DE FLUX



3.1.2 Caractéristiques des études incluses

Chaque étude est représentée sous forme d'un tableau descriptif regroupant les informations principales.

SOLIGARD 2008

Schéma d'étude	Essai clinique randomisé
Participants	<p>Sujets : 1892 joueuses de football en club Lieu : au centre, au sud et à l'est de la Norvège</p> <p>Morphotype : Age : de 13 à 17 ans (âge moyen : 15,4 ans)</p> <p>Critères d'inclusion des clubs : pratiquer au moins 2 fois par semaine des entraînements de football, et 15 à 30 matchs pendant la saison.</p> <p>Critères d'exclusion : non précisés</p>
Intervention	<p>Mise en place d'un échauffement neuromusculaire composé d'exercices de course, de renforcement, de pliométrie et de proprioception, réalisé au début des entraînements de football 2 à 5 fois par semaine. (Annexe 1)</p> <p>Groupe d'intervention : 1055 joueuses de 52 équipes Réalisation du protocole de prévention</p> <p>Groupe contrôle : 837 joueuses de 41 équipes Réalisation des échauffements classiques habituellement réalisés</p>
Résultats	<p>Critère de jugement principal : Nombre de blessures totales au membre inférieur</p> <p>Critères de jugement secondaires : Nombre de blessures totales sur toutes les parties du corps</p> <p>Groupe intervention : 33 blessures au genou</p> <p>Groupe contrôle : 47 blessures au genou</p>

WALDEN 2012

Schéma d'étude	Essai clinique randomisé
Participants	<p>Sujets : 4564 femmes de 12 à 17 ans, jouant dans des clubs de football Lieu : Suède</p> <p>Morphotype : Age : 14 ± 1,2 ans Taille : 163,6 ± 6,7 cm Poids : 53,3 ± 8,5 kg</p> <p>Critères d'inclusion :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Clubs se situant dans le centre et au sud de la Suède - Clubs féminins de football de U14 à U18, dont les joueuses ont entre 12 et 17 ans. <p>Critères d'exclusion :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Clubs ne répondant pas à l'invitation - Clubs refusant de participer à l'étude - Clubs ayant moins de 2 entraînements par semaine - Clubs utilisant déjà un protocole de prévention
Intervention	<p>Mise en place d'un échauffement neuromusculaire 5 minutes de course à faible allure, puis 15 minutes de renforcement des membres inférieurs et du tronc comprenant 6 exercices en progression, réalisé 2 fois par semaine durant toute la saison sportive. (Annexe 2)</p> <p>Groupe d'intervention : 2479 joueuses, réparties dans 184 équipes de 121 clubs. Réalisation de l'échauffement neuromusculaire décrit au-dessus.</p> <p>Groupe contrôle : 2085 joueuses, répartis dans 157 équipes de 109 clubs. Réalisation de leur échauffement habituel sans changement.</p> <p>Temps de jeu et absences par joueuse comptabilisés par l'entraîneur et envoyés mensuellement aux examinateurs.</p>
Résultats	<p>Critère de jugement principal : le nombre de rupture du LCA</p> <p>Critères de jugements secondaires : le nombre de blessures graves au genou ; le nombre de blessures aigües au genou</p>

Résultats (suite)	<p>Groupe d'intervention : 7 ruptures du LCA au total dont :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 6 totales et 1 partielle - 5 sans contact et 2 avec contact <p>Groupe contrôle : 14 ruptures du LCA au total dont :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 11 totales et 3 partielles - 8 sans contact et 6 avec contact
--------------------------	--

GILCHRIST 2008

Schéma d'étude	Essai clinique randomisé
Participants	<p>Sujets : 1435 femmes, jouant en Division 1 de NCAA de football Lieu : Amérique</p> <p>Morphotype : Age : 19,88 ans en moyenne Taille : 166 cm en moyenne Poids : 62 kg en moyenne</p> <p>Critères d'inclusion : non précisés Critères d'exclusion : non précisés</p>
Intervention	<p>Mise en place d'un échauffement neuromusculaire inspiré du PEP programme comprenant des exercices de course, d'étirements, de renforcement, de pliométrie et d'agilité, d'une durée d'une vingtaine de minutes. (Annexe 3)</p> <p>Groupe d'intervention : 583 joueuses, réparties dans 26 équipes Réalisation de l'échauffement neuromusculaire du PEP programme</p> <p>Groupe contrôle : 852 joueuses, réparties dans 35 équipes Réalisation de l'échauffement classique habituel</p>
Résultats	<p>Critère de jugement principal : Nombre de ruptures du LCA sans contact</p> <p>Groupe d'intervention :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 7 blessures du LCA, dont 2 sans contact <p>Groupe contrôle :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 18 blessures du LCA, dont 10 sans contact

MANDELBAUM 2005

Schéma d'étude	Etude de cohorte
Participants	<p>Sujets : 2946 femmes la première année, 2757 femmes la deuxième année jouant dans un club de football</p> <p>Lieu : Californie</p> <p>Age : de 14 à 18 ans.</p> <p>Sélection des équipes : Volontariat, similitude en âge et niveau de jeu des deux groupes</p> <p>Critères d'inclusion et d'exclusion : âge des femmes ; niveau de jeu</p>
Intervention	<p>Mise en place d'un échauffement neuromusculaire inspiré du PEP programme comprenant des exercices de course, d'étirements, de renforcement, de pliométrie et d'agilité, d'une durée d'une vingtaine de minutes. (Annexe 4)</p> <p><u>1^{ère} année :</u></p> <p>Groupe d'intervention : 1041 femmes de 52 équipes Réalisation de l'échauffement neuromusculaire ci-dessus</p> <p>Groupe contrôle : 1905 femmes de 95 équipes Réalisation de l'échauffement habituel</p> <p><u>2^{ème} année :</u></p> <p>Groupe d'intervention : 844 femmes de 45 équipes Réalisation de l'échauffement neuromusculaire ci-dessus</p> <p>Groupe contrôle : 1913 femmes de 112 équipes Réalisation de l'échauffement habituel</p>
Résultats	<p>Critère de jugement principal : Nombre de ruptures du LCA</p> <p><u>1^{ère} année :</u></p> <p>Groupe d'intervention : 2 blessures du LCA Groupe contrôle : 32 blessures du LCA</p> <p><u>2^{ème} année :</u></p> <p>Groupe d'intervention : 4 blessures du LCA Groupe contrôle : 35 blessures du LCA</p>

3.1.3 Caractéristiques des études exclues

Les tableaux 3, 4 et 5 ci-dessous synthétisent les articles sélectionnés en fonction de la base de données. Je les ai exclus pour les raisons mentionnées.

Tableau 3. Caractéristiques des études exclues de Cochrane

<i>Etudes</i>	<i>Critères d'exclusion</i>
<i>Yarsiasat 2019</i>	Non accès
<i>Gilchrist 2005</i>	Non accès
<i>Hewett 2015</i>	Mesure des indices neuromusculaires
<i>Fox 2018</i>	Mesure des indices neuromusculaires
<i>Thompson 2017</i>	Mesure des indices neuromusculaires
<i>Walden 2012</i>	Doublon
<i>Peeler 2014</i>	Objectifs différents
<i>Macznik 2019</i>	Pas de distinction des footballeuses (population différente)
<i>Harris 2012</i>	Mesure des indices neuromusculaires

Tableau 4. Caractéristiques des études exclues de la littérature grise

<i>Etudes</i>	<i>Critères d'exclusion</i>
<i>Renecker 2019</i>	Pas de distinction des hommes et des femmes ; Objectifs différents
<i>Decker 2016</i>	Mesures des indices neuromusculaires

Tableau 5. Caractéristiques des études exclues de PubMed

Etudes	Critères d'exclusion
Taylor 2018	Mesures des indices neuromusculaires
Vescovi 2009	Amélioration des performances (objectifs différents)
Hägglund 2015	Mesure des indices neuromusculaires
Finch 2008	Pas de distinction des hommes et des femmes
Foss 2018	Pas de distinction des blessures du LCA (objectifs différents)
Pfeiffer 2006	Echauffement comprenant uniquement de la pliométrie
Knobloch 2005	Mesure des indices neuromusculaires
Olsen 2005	Population de handball
Söderman 2000	Echauffement non comparable
Lindblom 2014	Taux d'adhésion au protocole (objectifs différents)
Tranaeus 2014	Population hommes et femmes ; Pas de distinction des blessures du LCA
Hägglund 2009	Comparaison d'études (objectifs différents)
Celebrini 2014	Mesures des indices neuromusculaires
Zebis 2015	Mesures des indices neuromusculaires
Noyes 2013	Mesures des indices neuromusculaires
Kiani 2010	Pas de distinction statistique des ruptures du LCA (objectifs différents)
Hägglund 2013	Taux d'adhésion au protocole (objectifs différents)
Labella 2011	Pas de distinction des footballeuses dans les résultats (population différente)

On remarque qu'un protocole de prévention peut être exploité pour diverses raisons. La rupture du LCA étant d'origine plurifactorielle, il n'existe aucun échauffement neuromusculaire parfait, mais il se doit d'être le plus complet et pertinent possible. L'étude de Pfeiffer [60] en atteste : il démontre un manque d'efficacité de prévention de rupture du LCA de son protocole composé uniquement d'exercices de pliométrie.

Les exercices musculaires des échauffements ne sont pas les seuls éléments à prendre en compte dans la baisse du nombre de ruptures du LCA. La motivation, la rigueur, la concentration, sont des facteurs psychologiques qui renforcent l'efficacité des protocoles de prévention.

3.2 Risques de biais des études incluses

Les biais d'une étude sont des erreurs méthodologiques pouvant modifier les résultats obtenus lors de l'analyse des critères de jugement. Ils peuvent être présents tout au long de l'étude.

Les tableaux 1 et 2 regroupent les résultats des évaluations de la validité interne des essais cliniques randomisés.

Tableau 1. Résultats des évaluations de la qualité méthodologique des études par l'échelle Pedro

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	SCORE
SOLIGARD 2008	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	5/10
WALDEN 2012	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	7/10
GILCHRIST 2008	Non	Oui	Non	Oui	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	7/10

Notes : Critères de l'échelle Pedro : Q1. Critères d'inclusion spécifiés ; Q2. Assignment aléatoire ; Q3. Assignment secrète ; Q4. Groupes similaires avant l'étude ; Q5. Sujets en aveugle ; Q6. Thérapeutes en aveugle ; Q7. Examineurs en aveugle ; Q8. Obtention des mesures supérieur à 85% ; Q9. Analyse des « en intention de traiter » ; Q10. Comparaisons statistiques entre les groupes ; Q11. Estimation de l'effet et de sa variabilité. Le premier item Q1 ne compte pas dans le score final.

Certaines études ne décrivent pas leurs critères d'inclusion ou d'exclusion. C'est un biais de sélection car nous ne pouvons pas évaluer si les groupes sont similaires entre eux au départ, ce qui peut compromettre les résultats. La complexité vient du fait qu'on ne peut pas exclure une joueuse de son équipe car elle ne correspond pas aux critères d'inclusion de l'étude ; il y aurait probablement peu d'équipes participantes à cause de ce principe. L'âge moyen des joueuses est souvent le point commun pour la sélection préalable des équipes. Le consentement des adolescentes et de leurs parents rentre également en compte. Malgré ce manque d'information, on remarque que le poids, la taille, le niveau de jeu, sont des éléments tous similaires dans les études incluses. On pourrait alors supposer que ce biais de sélection présent dans tous les articles n'aurait que peu d'influence sur les résultats.

Aucune des quatre études n'a de sujets et de thérapeutes en aveugle, ce qui est évident du fait de la réalisation d'un entraînement différent. La connaissance indirecte de l'affectation au groupe d'intervention est un biais d'évaluation. Les joueuses et les entraîneurs ont tendance à être plus motivés et assidus dans l'application de l'échauffement neuromusculaire s'ils en sont informés. On appelle ce phénomène « l'effet Hawthorne ». C'est un biais de performance.

Un biais de suivi est avéré lorsque moins de 85% des sujets n'ont pas reçu le traitement.

Les biais d'attrition ont un impact sur la démonstration statistique des résultats. L'analyse « en intention de traiter » permet de réduire cette influence en considérant les équipes randomisées exclues comme si elles avaient participé à l'étude dans sa totalité. L'avantage de cette analyse est d'obtenir des résultats statistiquement plus proches de la réalité. L'inconvénient est le manque de données réellement effectuées.

L'étude de Soligard ne donne pas d'information sur les conditions de réalisation de l'assignation. Si les groupes sont similaires en terme d'âge, nous ne savons pas s'ils étaient identiques au début de l'étude. Les sujets et thérapeutes ne sont pas en aveugle, mais les statisticiens analysants les résultats sont indépendants de l'étude. Cependant, la fréquence d'entraînements et les expositions pendant les matchs ne diffèrent pas entre les deux groupes. Le taux d'abandon est élevé à plus de 25%, mais l'analyse « en intention de traiter » évalue toutes les données recueillies des équipes exclues. Les comparaisons statistiques et leurs variations nous permettent d'interpréter les résultats.

Synthèse des biais de l'étude de Soligard :

- Biais de sélection
- Biais d'évaluation
- Biais de performance probable de la part des joueuses
- Biais de suivi

L'étude de Walden est plus complète dans ces informations. Leur critère d'inclusion des participantes est l'âge (entre 12 et 17 ans), leurs critères d'exclusion des équipes de football sont la mise en place antérieure d'un programme de prévention, le nombre inférieur à deux entraînements par semaine, et les non-réponses ou refus de participation. La répartition aléatoire a été faite par ordinateur, et un des auteurs a communiqué à l'aveugle l'assignation des clubs. Il est précisé que « les joueuses des deux groupes sont similaires en terme de caractéristiques de base ». Les entraîneurs, les sujets et les thérapeutes ne sont pas en aveugle, mais les examinateurs analysants les résultats le sont. Le taux d'abandon est de 21%, ce qui donne un taux de participation à 79%. 61 équipes au total ont été perdues de vue, soit environ 20% des sujets n'ont pas reçu le traitement. Les comparaisons statistiques inter-groupes et les valeurs de l'effets sont indiquées.

Synthèse des biais de l'étude de Walden :

- Biais d'évaluation
- Biais de performance probable de la part des joueuses
- Biais de suivi

L'étude de Gilchrist ne précise pas ses critères d'éligibilités. L'assignation secrète des groupes n'est pas indiquée. Les examinateurs ont d'abord voulu utiliser une analyse « traitement reçu » car ils s'intéressaient à « documenter l'efficacité plutôt que l'efficience », mais les données recueillies n'étaient pas assez nombreuses pour les interpréter. Ils ont finalement décidé d'utiliser le modèle d'analyse « en intention de traiter », bien que les informations

collectées des études randomisées exclues soient peu nombreuses. La durée de l'étude a été un peu plus courte que les autres études sélectionnées.

Synthèse des biais retrouvés pour l'étude de Gilchrist :

- Biais de sélection
- Biais d'évaluation
- Biais de performance probable des joueuses

Le tableau 2 synthétise les résultats de l'échelle New-Ottawa pour l'étude de cohorte de Mandelbaum.

Tableau 2. Résultats de l'évaluation de la qualité méthodologique par l'échelle New-Ottawa Scale

Question	Réponse
Représentativité du groupe exposé	<i>Groupe de volontaires</i>
Sélection du groupe contrôle	<i>Similaire au groupe exposé*</i>
Détermination de l'exposition	<i>Attesté par l'entraîneur</i>
Preuve du résultat attendu absent au début de l'étude	<i>Non</i>
Comparabilité des groupes sur l'analyse des résultats	<i>Groupe contrôle blessure LCA*</i>
Evaluation du critère de jugement	<i>Collecteur de données*</i>
Durée du suivi pertinente pour collecte des résultats	<i>Oui*</i>
Adéquation du suivi des sujets	<i>0 – 3.75% de perdus de vue*</i>
Score	5 étoiles sur 9
<i>Notes : La présence d'étoile est un marqueur qualitatif des critères méthodologiques.</i>	

L'étude de Mandelbaum a recruté ses équipes sur la base du volontariat. Les entraîneurs transmettent les résultats (le nombre de rupture du LCA sans contact) à l'aide d'une fiche de renseignements préétablie, et l'envoient au coordinateur du projet par courriel électronique ou fax. De plus, la deuxième année, de nouveaux groupes intègrent l'étude pour remplacer les équipes ne correspondant plus au critère de l'âge. Même si les équipes incluses en cours d'étude ressemblent aux caractéristiques en âge et niveau de jeu, il y a alors des différences intra-groupes entre joueuses pratiquant depuis un an l'échauffement neuromusculaire et les nouvelles joueuses. Les participantes sachant pertinemment qu'elles appartiennent au groupe d'intervention, il y a un effet motivant dans la réalisation de l'échauffement.

Synthèse des biais pour l'étude de Mandelbaum :

- Biais de sélection
- Biais d'évaluation
- Biais de performance probable

Nous remarquons que les quatre études ont globalement les mêmes biais. On pourrait supposer que l'interprétation des résultats va être similaires dans chacune d'elles.

3.3 Effets de l'intervention

L'efficacité d'un protocole de prévention de la rupture du LCA se démontre par le nombre d'entorses graves du genou obtenues à la fin de la période étudiée. C'est le critère de jugement principal de toutes les études incluses.

Walden évalue également en critère de jugement secondaire le nombre de blessures aiguës et graves au genou. Les valeurs statistiques utilisées pour présenter les résultats sont différentes, les études sont hétérogènes et ne peuvent être regroupées pour être comparées.

On considère un résultat statistiquement significatif lorsque l'intervalle de confiance (IC) est compris entre 0 et 0,99, et une valeur de P inférieure ou égale à 5%. Au-delà, les résultats obtenus peuvent être dus au hasard, le traitement préventif n'est pas efficace.

L'étude de Soligard a mis en place un échauffement neuromusculaire composé d'exercices en progression de courses et d'activation musculaire dans le groupe intervention, comparé à un échauffement classique dans le groupe contrôle. Les résultats obtenus dans le tableau 6 sont les blessures du membre inférieur, nous nous intéresserons à la partie du genou. Les analyses « en intention de traiter » ont été faites par les logiciels Stata version 10.0 et Cox Regression pour les critères de jugement primaire et secondaire.

Tableau 6. Résultats statistiques de l'étude de Soligard

	Intervention group (n=1055)	Control group (n=837)	Intracluster correlation coefficient*	Inflation factor*	NNT	Rate ratio (95% CI)†	P value
All injuries	135 (13.0)	166 (19.8)	0.096	2.86	15	0.68 (0.48 to 0.98)	0.041
Match injuries	96 (9.1)	114 (13.6)	0.045	1.87	22	0.72 (0.52 to 1.00)	0.051
Training injuries	50 (4.7)	63 (7.5)	0.044	1.86	36	0.68 (0.41 to 1.11)	0.120
Lower extremity injuries	121 (11.5)	143 (17.1)	0.088	2.70	18	0.71 (0.49 to 1.03)	0.072
Knee injuries	33 (3.1)	47 (5.6)	0.028	1.54	40	0.62 (0.36 to 1.05)	0.079
Ankle injuries	45 (4.3)	49 (5.9)	0.026	1.50	63	0.81 (0.50 to 1.30)	0.378
Acute injuries	112 (10.6)	130 (15.5)	0.070	2.35	20	0.74 (0.51 to 1.08)	0.110
Overuse injuries	27 (2.6)	48 (5.7)	0.040	1.76	32	0.47 (0.26 to 0.85)	0.012
Severe injuries	45 (4.3)	72 (8.6)	0.028	1.54	23	0.55 (0.36 to 0.83)	0.005

NNT=number needed to treat.

*Generalised estimating equation model with clubs as cluster unit.

†Cox model calculated according to method of Lin and Wei,²⁵ which takes cluster randomisation into account.

Résultats obtenus :

- 33 blessures au genou (3,1% des joueuses) dans le groupe intervention
- 47 blessures au genou (5,6% des joueuses) dans le groupe contrôle
- Rapport de taux : 0,62
- IC = [0,36 ; 1,05]
- P = 0,079

Il y a 38% de blessures au genou en moins dans le groupe intervention, cependant cette diminution n'est pas significativement due aux échauffements neuromusculaires.

En interprétant tous les résultats, on démontre une diminution significative :

- De toutes les blessures de 32%
- Des blessures de fatigue de 53%
- Des blessures sévères de 45%

L'intérêt d'étudier toutes les blessures du membre inférieur est de voir l'efficacité des protocoles de prévention sur l'ensemble du corps. Les échauffements neuromusculaires sont efficaces sur les blessures graves et de fatigue de tout le membre inférieur. L'étude présente une validité interne moyenne et plusieurs biais, de plus elle ne s'intéresse pas particulièrement aux lésions du genou. Il est moyennement pertinent d'utiliser ces résultats pour démontrer une efficacité du traitement.

L'étude de Walden compare un échauffement neuromusculaire spécifique dans le groupe intervention par rapport à un échauffement classique habituellement réalisé par les clubs contrôles. Elle ne s'est intéressée qu'aux lésions du LCA, le type de lésions et les circonstances de jeu. Le logiciel analysant les données est le Cox Regression basé sur un modèle « en intention de traiter ». Les résultats sont présents dans le tableau 7.

Tableau 7. Résultats statistiques de l'étude de Walden

Injuries	Intervention group (n=2479 players)	Control group (n=2085 players)	Rate ratio (95% CI)*	P value
Anterior cruciate ligament injury	7 (0.28)	14 (0.67)	0.36 (0.15 to 0.85)	0.02
Severe knee injury	26 (1.05)	31 (1.49)	0.70 (0.42 to 1.18)	0.18
Any acute knee injury	48 (1.94)	44 (2.11)	0.92 (0.61 to 1.40)	0.71

*Rate ratios from unadjusted analyses, stratified by district, using Cox regression with robust variance estimation to account for correlation of outcomes within each club.²⁶

Résultats obtenus pour le critère de jugement principal :

- 7 ruptures du LCA dans le groupe intervention
- 14 ruptures du LCA dans le groupe contrôle
- Rapport de taux : 0,36
- IC = [0,15 ; 0,85]
- P = 0,02

Il y a une réduction significative de 64% du nombre de rupture du LCA dans le groupe intervention.

La variation du risque absolu est de -0,07 et son IC [-0,13 ; 0,001] pour 1000 heures de jeu en faveur du groupe d'intervention.

En revanche, en utilisant un modèle d'analyse ajusté des sous-groupes participants, Walden trouve une diminution significative de 83% de nombre de rupture du LCA :

- Rapport de taux : 0,17
- IC [0,05 ; 0,57]
- P = 0,004

Résultats obtenus pour le critère de jugement secondaire :

- P = 0,71 pour les blessures aiguës
- P = 0,18 pour les blessures graves

Il n'y a pas de diminution significative des blessures aiguës et graves au genou dans le groupe intervention.

La diminution de 64% des risques de ruptures du LCA prouve significativement l'efficacité de l'échauffement neuromusculaire dans la prévention de la rupture du LCA chez les joueuses dans cette étude.

Avec une bonne validité interne et des résultats démontrés statistiquement, l'interprétation et l'utilisation de ces résultats sont pertinentes.

L'étude de Gilchrist a mis en place l'échauffement neuromusculaire du « PEP Programme » dans son groupe d'intervention, en comparaison avec les échauffements habituels des groupes contrôles. Les examinateurs ont utilisé le logiciel SAS système version 8.2 pour analyser les données. Les résultats sont regroupés dans le tableau 8.

Tableau 8. Résultats statistiques de l'étude de Gilchrist

	Intervention		Control		z	P Value
	n	Rate per 1000 AE	n	Rate per 1000 AE		
Total (practice + game + other ^b)						
All knee injuries	40	1.136	58	1.096	0.17	.863
ACL	7	0.199	18	0.340	-1.29	.198
Noncontact ACL	2	0.057	10	0.189	-1.84	.066
Practice						
All knee injuries	8	0.301	19	0.469	-1.11	.265
ACL	0	0.000	6	0.148	-2.45	.014
Noncontact ACL	0	0.000	3	0.074	-1.73	.083
Game						
All knee injuries	29	3.372	37	2.982	0.49	.624
ACL	7	0.814	12	0.967	-0.37	.712
Noncontact ACL	2	0.233	7	0.564	-1.23	.218
History of past ACL injury						
All knee injuries	7	0.199	16	0.302	-0.97	.331
ACL	1	0.028	7	0.132	-1.81	.071
Noncontact ACL	0	0.000	4	0.076	-2.00	.046
No history of ACL injury						
All knee injuries	33	0.937	41	0.775	0.80	.425
ACL	6	0.170	10	0.189	-0.20	.839
Noncontact ACL	2	0.057	6	0.113	-0.92	.356
Early in season (weeks 0-5)						
All knee injuries	27	1.190	38	1.165	0.08	.933
ACL	7	0.309	13	0.399	-0.56	.575
Noncontact ACL	2	0.088	7	0.215	-1.24	.216
Late in season (weeks 6-11)						
All knee injuries	13	1.037	20	0.996	0.11	.911
ACL	0	0.000	5	0.249	-2.24	.025
Noncontact ACL	0	0.000	3	0.149	-1.73	.083

^aAE, athlete exposure; ACL, anterior cruciate ligament.

^bOther" includes fitness and conditioning activities performed outside of practices and games.

Sur l'ensemble des ruptures du LCA enregistrées :

- 7 sont présentes dans le groupe intervention
- 18 dans le groupe contrôle
- $P = 0,198$

Le taux d'exposition par athlète du groupe intervention est 41% plus faible que le groupe contrôle, cependant il n'est pas significativement prouvé par l'effet du traitement.

Pour les ruptures sans contact au total, on obtient :

- 2 lésions dans le groupe intervention
- 10 lésions dans le groupe contrôle
- $P = 0,066$

On remarque une baisse de 69% non significative des lésions dans le groupe intervention.

Résultats obtenus pendant les entraînements :

- 0 rupture dans le groupe intervention
- 6 ruptures dans le groupe contrôle
- $P = 0,014$

On démontre une baisse significative du nombre de rupture du LCA pendant les entraînements. On ne peut pas affirmer d'une diminution significative lors des matches.

Chez les joueuses avec un antécédent de blessure au LCA :

- 0 lésion dans le groupe intervention
- 4 lésions dans le groupe contrôle
- $P = 0,046$

Il y a une baisse significative des ruptures sans contact chez les joueuses ayant des antécédents de lésion du LCA grâce aux échauffements neuromusculaires ; les joueuses sans blessures anciennes n'ont pas de réduction significative de rupture du LCA.

A partir de la moitié de la saison, on enregistre :

- 0 rupture dans le groupe intervention
- 5 ruptures dans le groupe contrôle
- $P = 0,025$

On remarque une baisse significative du nombre de ruptures de LCA à partir de la moitié de la saison, de la 6^{ème} à la 11^{ème} semaine.

L'étude de Gilchrist démontre statistiquement un effet bénéfique du protocole de prévention de la rupture du LCA pendant les entraînements, à partir de 6 semaines, et sur les ruptures sans contact pour les joueuses ayant déjà subi une lésion au LCA.

Les modalités d'exécution de l'étude sont correctes, la présence de biais a pu influencer certaines valeurs qui ne sont pas statistiquement significatives de l'efficacité de l'échauffement neuromusculaire.

L'étude de Mandelbaum a étudié pendant deux ans l'influence du PEP programme sur le nombre de ruptures de LCA des footballeuses. L'analyse des résultats a été réalisé par le logiciel SAS système version 8.2. Les résultats sont représentés dans les tableaux 9 et 10.

L'étude prouve statistiquement une efficacité des échauffements neuromusculaires sur le nombre de rupture de LCA sur les deux années et par joueuses.

Résultats totaux la première année :

- 2 ruptures du LCA dans le groupe intervention, avec un taux d'incidence de 0,05
- 32 ruptures du LCA dans le groupe contrôle, avec un taux d'incidence de 0,47
- Risque relatif : 0,114
- P = 0,0001

On calcule une diminution statistique de 89% de rupture du LCA en faveur du groupe intervention. Le PEP programme est efficace.

Résultats totaux la deuxième année :

- 4 ruptures du LCA dans le groupe intervention, le taux d'incidence est de 0,13
- 35 ruptures du LCA dans le groupe contrôle, avec un taux d'incidence de 0,51
- Risque relatif : 0,259
- P = 0,0047

On remarque une diminution significative de 74% de rupture du LCA dans le groupe intervention la deuxième année.

Tableau 9. Résultats statistiques totaux de l'étude de Mandelbaum

	Total No. Exposures	No. ACL Tears	Incidence Rate ^a	Relative Risk	P
Year 1: 2000					
Trained	37 476	2	0.05	0.114	.0001
Untrained	68 580	32	0.47		
Total	106 056	34			
Year 2: 2001					
Trained	30 384	4	0.13	0.259	.0047
Untrained	68 868	35	0.51		
Total	99 252	39			
Overall:					
2001 and 2002 combined					
Trained	67 860	6	0.09	0.181	<.0001
Untrained	137 448	67	0.49		
Total	205 308	73			

^aRate based on injuries per 1000 athlete exposures.

Résultats par joueuse la première année :

- 2 sur 1041 joueuses du groupe intervention ont subi une rupture du LCA
- 32 sur 1905 joueuses du groupe contrôle ont eu une rupture du LCA
- Risque relatif : 0,114
- IC = [0,03 ; 0,48]
- P = 0,0001

On peut attester une diminution significative de 88% de rupture du LCA des joueuses réalisant le PEP Programme la première année.

Résultats par joueuse la deuxième année :

- 4 joueuses sur 844 ont souffert d'une rupture du LCA dans le groupe intervention
- Sur les 1913 footballeuses du groupe contrôle, 35 joueuses ont eu une rupture du LCA
- Risque relatif : 0,259
- IC = [0,09 ; 0,73]
- P = 0,0045

On remarque une diminution significative de 74% du nombre de rupture du LCA par joueuse en faveur du groupe intervention la deuxième année.

Tableau 10. Résultats statistiques par joueuse de l'étude de Mandelbaum

	No. Subjects	No. ACL Tears	Resultant Rate per Player ^a	Relative Risk	P
Year 1: 2000					
Trained	1041	2	1.9	0.114	.0001
Untrained	1905	32	16.8		
Total	2943	34			
Year 2: 2001					
Trained	844	4	4.74	0.259	.0045
Untrained	1913	35	18.3		
Total	2757	39			
Overall: 2001 and 2002 combined					
Trained	1885	6	3.18	0.1814	<.001
Untrained	3818	67	17.6		
Total	5703	73			
Overall decrease in ACL injury for year 2000 $(16.8 - 1.9)/16.8 \times 100 = 88\%$					
Overall decrease in ACL injury for year 2001 $(18.3 - 4.74)/18.3 \times 100 = 74\%$					

^aRate based on injuries per 1000 players.

Les risques relatifs de l'étude sont faibles et éloignés du chiffre 1 ainsi que les intervalles de confiance. La taille de l'effet du traitement est importante.

Mandelbaum démontre statistiquement l'efficacité en tout point de l'échauffement neuromusculaire du PEP Programme par la réduction importante du nombre de ruptures du LCA.

Les tailles d'effets ne sont pas toutes disponibles ni calculables à l'aide des données que nous fournissent les études. Le risque relatif est une bonne estimation de la taille d'effet, mais il n'est renseigné que pour l'étude de Mandelbaum. Nous ne pouvons pas conclure pour l'ensemble des articles, nous devons nous limiter à l'interprétation des résultats.

4 Discussion

4.1 Analyse des principaux résultats

Toutes les études incluses dans cette revue ont mis en place des échauffements neuromusculaires d'une vingtaine de minutes dans le but de réduire les blessures au genou, particulièrement la lésion du LCA chez la footballeuse au cours de la saison sportive. La variété des exercices améliore le contrôle neuromusculaire par la modification des indices neuromusculaires. Gilchrist et Mandelbaum ont réalisé le PEP Programme. En parallèle, Walden et Soligard ont conçu leurs propres entraînements avec des objectifs et des techniques similaires. Les groupes contrôles réalisaient les échauffements habituels non préventifs.

Certaines études détaillent la distinction des types de blessures du LCA et des circonstances de jeu : avec ou sans contact, rupture partielle ou totale, entraînements ou matchs ... D'autres sont plus générales sur les blessures du genou. Pour autant, le but principal commun à toutes est de trouver un échauffement neuromusculaire capable de prévenir les blessures des joueuses. Les intérêts sont humains, pour préserver la santé des footballeuses ; sportifs, pour garder une équipe performante au complet ; financiers, pour les coûts médicaux engendrés ; et futurs, par l'arrêt d'une carrière potentiellement professionnelle.

Les échauffements neuromusculaires se sont révélés efficaces à divers niveaux. Ils ont permis de diminuer significativement le nombre de lésions du LCA chez la footballeuse. Cette blessure est grave pour une jeune adolescente sportive.

L'article de Soligard étudie l'efficacité d'un protocole de prévention sur les blessures du membre inférieur chez les footballeuses. Il s'avère que le protocole protège les joueuses de football des blessures du membre inférieur, ainsi que des blessures graves et de fatigue. Concernant le genou, on ne démontre pas de diminution significative des lésions dans le groupe intervention. Toutefois, la réalisation de l'étude a présenté plusieurs biais pouvant compromettre la véracité clinique des résultats.

Le protocole de prévention de Walden est composé d'exercices de renforcement, de proprioception, de pliométrie et de préparation des gestes techniques. L'objectif principal est la diminution significative par rapport au groupe contrôle du nombre de blessures du LCA. On observe que l'échauffement neuromusculaire a permis de réduire de 64% le risque de rupture du LCA dans le groupe intervention. Les risques de blessures aiguës et sévères au genou restent inchangés. Walden possède une bonne qualité méthodologique, même si des biais existent. Les résultats obtenus par cette étude sont cliniquement pertinents pour être exploités.

L'étude de Gilchrist a mis en place le PEP Programme comprenant des exercices de renforcement, d'étirement, d'équilibre et de pliométrie. Les résultats rapportent le nombre de blessures du genou et de lésions totales du LCA, y compris les lésions sans contacts, quelles que soient les situations. Le protocole de prévention a diminué significativement les lésions du LCA pendant les entraînements : aucune joueuse ne s'est blessée dans le groupe intervention. Les échauffements se sont révélés plus efficaces à partir de 6 semaines de pratique, soit le temps nécessaire pour une intégration neuromusculaire par le corps. Les échauffements ont limité le risque de récurrence de lésion du LCA. Le programme a donc un effet protecteur chez les joueuses ayant déjà eu une blessure du LCA. Le PEP Programme est significativement efficace. La réalisation méthodologique de l'étude est bonne et les biais présents sont mineurs. Les résultats peuvent être comparables à ceux observés sur le terrain.

L'étude de Mandelbaum a suivi pendant deux ans des clubs féminins de football utilisant le PEP Programme. La première année, le risque d'incidence de rupture du LCA par joueuse a diminué de 88%, avec une baisse totale de 89% sur l'ensemble des expositions des équipes. La deuxième année, on remarque une baisse globale de 74% du risque de LCA par rapport au groupe contrôle. On peut considérer que le traitement est efficace à long terme. Sur cette même période, la diminution du pourcentage est probablement corrélée avec l'inclusion d'équipes plus jeunes remplaçant les plus anciennes. Il y a donc des différences intra-groupes d'expériences de pratique de l'échauffement neuromusculaire dans le groupe intervention. Pour autant, la taille d'effet à l'aide du risque relatif, nous permet d'affirmer l'efficacité importante du protocole de prévention pendant les deux années. L'exploitation de ces résultats est pertinente pour l'application du protocole de prévention en pratique.

Les études révèlent que les protocoles de prévention sont efficaces pour prévenir la rupture du LCA chez la footballeuse.

La proportion de femmes jouant au football est nettement inférieure à celle des hommes. Cette différence se ressent également dans le nombre d'articles les concernant, seulement trois études cherchent à démontrer l'efficacité des protocoles de prévention de rupture du LCA chez les footballeuses. Ce faible nombre peut s'expliquer par le fait que les protocoles ont déjà été évalués chez les hommes auparavant. Il y a donc moins d'intérêt à prouver leurs efficacités une nouvelle fois chez les femmes. Plusieurs auteurs évaluent plutôt l'évolution des indices neuromusculaires ; ce qui est complémentaire à mon travail de recherche. On remarque une évolution et un accroissement de l'attention portée aux footballeuses dans la recherche scientifique ces dernières années, en lien avec la recrudescence de sportives.

En proportion, les blessures chez les femmes sont largement supérieures, et ce dès la puberté. La prévention est obligatoire pour éviter les blessures inhérentes à la pratique de ce sport. Le PEP Programme est le protocole ayant eu les meilleurs résultats sur la diminution des risques de rupture du LCA dans ma revue de littérature.

La combinaison course + étirements + renforcements + pliométrie + proprioception en échauffement neuromusculaire permet une activation musculaire globale et une meilleure protection de l'articulation du genou. Le programme 11+ de Fifa possède une combinaison de course lente + renforcements + pliométrie + course rapide, et a réduit d'un tiers le nombre de blessures totales, et près de la moitié des blessures graves chez ses joueuses. L'étude de Pfeiffer [60] a réalisé une combinaison uniquement composée de pliométrie à exécuter en fin d'entraînement. Il constate que le nombre de blessures a augmenté dans ses groupes. Les protocoles doivent donc être diversifiés et réalisés en échauffement pour respecter et protéger les temps de jeu suivants. Si la prévention se limitait à un contexte musculaire, les taux d'efficacité des protocoles de prévention s'élèveraient à 100%.

Tout comme la rupture du LCA est plurifactorielle, la prévention se doit elle aussi de l'être. Hägglund [61] a évalué l'impact de l'adhésion aux échauffements neuromusculaires des joueuses sur l'efficacité des protocoles de prévention. Le groupe avec le plus haut niveau de conformité à l'échauffement neuromusculaire a diminué de 88% son risque de rupture du LCA par rapport au groupe de faible conformité au même échauffement neuromusculaire. L'intérêt et la rigueur portés par les joueuses ont une influence majeure sur l'efficacité des échauffements. La prévention est un élément difficile à prendre en considération chez les joueurs du fait de réaliser des exercices pour éviter l'apparition d'une blessure. L'efficacité est évaluée par l'absence de résultats visibles. Noyes [62] introduit la notion d'augmentation des performances athlétiques. L'amélioration des indices neuromusculaires grâce aux échauffements donnerait plus de confiance aux joueurs, et leur permettrait de progresser de niveau de jeu en pleine sécurité. L'ajout d'un gain de performance physique complète les objectifs des protocoles de prévention. Aux yeux des sportifs, ils en sont valorisés. On remarque toute la complexité pour créer un protocole de prévention le plus complet possible.

La lésion du LCA est aussi fréquente que redoutée pour ses lourdes conséquences. Le ligament ne cicatrise pas spontanément et une instabilité du genou peut apparaître. La rupture du LCA est souvent associée à des lésions méniscales, ligamentaires et/ou cartilagineuses. Environ 47% des femmes opérées du LCA présentaient une lésion des ménisques [63] [64]. La lésion du ménisque médial, ou « ramp lesion », est la plus observée. Le recours à la ligamentoplastie et sa rééducation éloignent le sportif des terrains entre 6 à 9 mois. Les joueurs ont une baisse de niveau, ce qui entraîne une perte de confiance en eux lors du retour au jeu. Un retour précoce ou à un niveau trop élevé pour le genou opéré augmente les facteurs de risque de la récurrence de rupture du LCA, et compromet ainsi fortement l'avenir du sportif.

En 2014, la Fifa a recensé 4,8 millions de licenciées féminines au football à travers le monde. Ces sept dernières années, la France a connu une hausse de plus de 114% de licenciées, avec 196 000 femmes inscrites en 2019. Le football féminin est en plein essor, et est considéré comme l'avenir du football. Les femmes ont mis du temps à trouver leur place dans ce sport et encore maintenant, le football féminin n'est pas équivalent au football masculin. Cet écart est créé dès le plus jeune âge : les garçons jouent au football pendant que les filles dansent !

Or, les enfants n'ont pas instinctivement cette notion de sport en fonction du sexe. Les hommes et les femmes sont différents au sens anatomique. Les femmes ne peuvent peut-être pas atteindre le même niveau de force que les hommes (pour des raisons intrinsèques que nous avons vu), mais l'entraînement et la pratique permettent à tous de progresser.

Les joueuses professionnelles sont considérées comme moins agressives, plus techniques et plus fairplay dans leur manière de jouer. Pourtant, à poste équivalent dans le championnat de France, les footballeuses professionnelles ont un salaire cent fois moins élevé que les hommes ; une différence astronomique pour le même travail. L'une des sources de revenus des joueurs et joueuses sont les droits télévisés lors des diffusions des matchs de football. Les rencontres féminines sont tout d'abord moins diffusées que celles des hommes, et leurs prestations sont moins rémunérées à diffusion équivalente. La société entretient l'écart et l'injustice, même si les mentalités commencent doucement à évoluer. La crise sanitaire du COVID-19 met à mal l'économie du football féminin et l'avenir de nos professionnelles. C'est une situation à surmonter pour pouvoir ancrer la force des femmes footballeuses.

4.2 Applicabilité des résultats dans la pratique

Les échauffements neuromusculaires ont prouvé leur grande efficacité dans la prévention de la rupture du LCA chez les footballeuses, c'est un atout majeur pour les entraîneurs de les mettre en place. L'efficacité des protocoles a été prouvée dans des conditions semblables à n'importe quel club de football, on peut espérer retrouver les mêmes résultats en pratique. La santé des joueuses est primordiale. Les deux protocoles majoritairement utilisés, le PEP Programme et le 11+, sont reproductibles grâce à leur facilité d'accès et leur description détaillée dans les articles. L'apparition significative des effets commencent dès la 6^{ème} semaine et limitent les risques pendant toute la durée d'exécution. Ils sont accessibles à tous niveaux, avec des exercices en progression pour pouvoir s'adapter à chaque sportive. Ils sont réalisables sans matériel particulier, donc sans frais supplémentaire. Ils possèdent la même durée qu'un échauffement classique et laissent la place à l'entraînement spécifique footballistique ; il n'y a donc pas de séances supplémentaires à organiser, ni de perte de temps de jeu. Les joueuses progressent avec assurance et l'équipe peut s'élever à des hauts niveaux de compétition, le but d'une équipe étant d'être la plus performante possible. Des adolescentes pourraient acquérir le statut professionnel qu'elles espèrent grâce à l'absence de blessure et le gain personnel de performance engendré. Une blessure grave peut empêcher de retrouver son haut niveau de jeu et mettre fin à une carrière malgré une rééducation bien menée. L'absence à long terme d'une joueuse est un coût financier pour la personne blessée ainsi que pour le club. Toutes ces situations mettent en lumière l'intérêt de remplacer des échauffements classiques par les protocoles de prévention concernant quasiment 200 000 femmes dans notre pays.

Notre but en tant que masseur-kinésithérapeute est de partager notre savoir afin de préserver la santé de la population. Nous allons traiter des patients pour la majeure partie du temps lorsque la blessure est avérée. Même si nous ne pouvons pas remplacer un entraîneur lors de sa séance avec son équipe, nous pouvons réduire les risques de récurrences en réalisant une rééducation bien menée. La connaissance des facteurs de risques et les exercices les réduisant

sont un atout dans notre pratique. L'augmentation de joueuses implique l'augmentation de blessures, nous devons nous informer des moyens les plus efficaces pour aider au mieux nos futures patientes. Nous pourrions évidemment agir au plus proche d'elles en travaillant avec un club de football. De plus, ce sport est l'un des plus pratiqués par les hommes. Les protocoles de prévention étant identiques chez les hommes et les femmes, s'informer des traitements préventifs aidera une partie de nos patients masculins blessés pendant leur loisir.

4.3 Qualité des preuves

L'évaluation d'une étude comprend sa validité interne et la qualité des résultats qu'elle démontre. Je me base sur le tableau de « qualité des preuves pour une étude » par la Haute Autorité de Santé pour juger le niveau de preuve de mes quatre études.

NIVEAU DE PREUVE	DESCRIPTION
FORT	Le protocole est adapté pour répondre au mieux à la question ; La réalisation est effectuée sans biais majeur ; L'analyse statistique est adaptée aux objectifs ; La puissance est suffisante.
INTERMEDIAIRE	Le protocole est adapté pour répondre au mieux à la question ; Puissance nettement suffisante (effectif insuffisant ou puissance <i>a posteriori</i> insuffisante) ; Et/ou des anomalies mineures.
FAIBLE	Autres types d'études.

Toutes les études ont réalisé le même type de protocole de prévention pour corriger les facteurs de risques neuromusculaires intrinsèques des femmes, en comparaison avec les échauffements musculaires standards.

Toutes mes études sont considérées de Grade B selon le Grade de recommandation de la Haute Autorité de Santé : Soligard, Walden et Gilchrist sont des essais comparatifs randomisés de faible puissance, et Mandelbaum est une étude de cohorte.

L'étude de Soligard est évaluée à 5/10 sur l'échelle Pedro, avec la présence des critères d'éligibilités. La validité interne de l'étude est médiocre. Les méthodes statistiques sont adaptées aux résultats obtenus, certaines données sont absentes. Divers biais sont présents avec une influence probable sur les résultats. La qualité scientifique de cette étude pourrait compromettre l'interprétation de ses résultats. J'évaluerais le niveau de preuve de cette étude à « intermédiaire ».

Walden possède un score de 7/10 sur l'échelle Pedro, et précise ses critères d'éligibilités. La validité interne est bonne et les méthodes statistiques également. Les résultats statistiques sont significatifs, avec une démonstration de l'efficacité du protocole de prévention. Nous ne

pouvons tout de même pas calculer la taille d'effet. Des biais ont été présents lors de la réalisation de l'étude, pouvant « sous-estimer l'effet préventif trouvé » d'après les auteurs. Je considère le niveau de preuve de cette étude à « intermédiaire ».

Gilchrist est évalué à 7/10 sur l'échelle Pedro, mais il y a une absence des critères d'éligibilités. La validité interne de l'étude est correcte. La méthode statistique est indiquée, toutefois les auteurs expliquent à certains passages la complexité d'analyse des résultats obtenus. Le protocole de prévention n'est pas statistiquement significatif en tout point, même s'il reste efficace dans certaines conditions. Plusieurs biais sont présents. J'évaluerais le niveau de preuve de cette étude à « intermédiaire », l'utilisation de ses résultats est possible.

Mandelbaum est une étude de cohorte, sa validité interne est notée 5 étoiles sur l'échelle New-Ottawa Scale. La méthode statistique est complète, et prouve une efficacité significative excellente du PEP Programme. Les biais présents sont principalement de sélection. Le niveau de preuve pour cette étude pourrait être considéré comme « fort ».

La qualité des preuves de ma revue de littérature dépend de la qualité de mes études. Les quatre études présentes dans ma revue sont de grade B, trois d'entre elles ont un niveau de preuve intermédiaire et une seule possède un niveau de preuve fort. En se basant sur le grade de recommandation de la Haute Autorité de Santé, ma revue de littérature a un grade B de présomption scientifique.

4.4 Biais potentiels de la revue

Etant donné la singularité et la spécificité de ma recherche, il est probable que toutes les études n'aient pas été publiées ou médiatisées, et ne soient pas rendues librement disponibles. J'ai choisi des études qui peuvent dater de plus de 10 ans car peu d'entre elles ont été publiées ces dernières années. Le faible nombre d'articles s'intéressant à l'efficacité des protocoles de prévention chez les footballeuses m'a convaincu d'en sélectionner un dont le critère de jugement, plus vaste, n'est pas tout à fait identique aux trois autres. Les analyses des résultats des études ne sont pas toutes similaires, j'ai interprété chaque résultat indépendamment. La catégorie « Résultats » de ma revue est l'élément où j'ai rencontré le plus de difficulté pour l'expliquer par rapport aux autres parties.

Il n'est pas possible d'évaluer le biais de publication de ma revue, car je compare moins de dix articles. Les sources de financement et de soutien des études sont précisées, pour ma revue systématique je n'ai bénéficié d'aucun financement ni de soutien. Je n'ai aucun intérêt personnel à démontrer l'efficacité des protocoles de prévention chez les footballeuses, je ne pratique pas cette discipline et n'ai jamais eu ce type de blessure.

5 Conclusion

Les protocoles de prévention sont essentiels à une bonne pratique du football. Chez les femmes, ils ont permis de réduire entre 64% [57] et 88% [59] le risque de rupture du LCA. Chez les hommes, la diminution est de 77% [65]. Si les femmes restent tout de même supérieures en nombre de blessures malgré l'efficacité des protocoles, il y aurait une part de risques non modifiables plus importante chez elles. Une blessure est toujours causée par un ensemble de facteurs de risques présents « à l'instant T », lorsque la balance protection – fragilité est déstabilisée du côté faible. L'objectif des protocoles de prévention est de creuser l'écart dans cette balance en renforçant la protection de l'articulation. Les situations à risques auront moins de chance de déséquilibrer cette harmonie.

De nos jours, les clubs professionnels ont adopté les échauffements neuromusculaires depuis des années, mais les clubs amateurs ont encore un temps de retard. L'explosion d'inscriptions féminines dès le plus jeune âge a précipité certaines équipes à se former, au risque pour les entraîneurs de ne pas avoir pu préparer des échauffements adaptés. Une pratique du sport en sécurité peut éviter des accidents graves et irréversibles chez des adolescentes en pleine croissance.

En France, pour la majorité des collèges et lycées publiques, il n'existe pas d'équipes officielles pour ces établissements. Le temps consacré au sport est limité, et les échauffements sont la partie la plus rapidement exécutée pour laisser place aux matchs. Les protocoles aussi facilement applicables que des échauffements ordinaires ont entièrement leur place dans le milieu scolaire.

Eviter l'apparition d'une blessure, c'est également limiter sa récurrence. En santé publique, la prévention sera toujours plus économique qu'une prise en charge chirurgicale suivie d'une longue rééducation. L'expérience d'une rupture du LCA est traumatisante, autant pour le corps que pour le mental des joueurs. Une étude [66] a montré que le football est l'un des sports les plus à risques de récurrence de rupture du LCA reconstruit avec une fréquence de 20,6%. Ce fort risque est en partie expliqué par un retour trop précoce au jeu, un niveau de reprise trop élevé, ou encore une rééducation mal menée. L'intervention chirurgicale est l'un des moyens les plus efficaces pour les footballeurs afin de pouvoir retrouver les terrains de football. Il faut prendre conscience en tant que masseur-kinésithérapeute de l'importance de notre qualité de travail. La rééducation d'une opération du LCA comprend des techniques interdites qu'il faut connaître et maîtriser. Nous avons le devoir de protéger nos patients grâce à notre savoir. L'avantage de notre métier est de pouvoir intervenir dans toutes les phases de la prévention. L'adaptation est un principe fondamental dans la pratique clinique. La recherche scientifique est un outil à notre disposition pour nous informer des données actuelles de la science en constante évolution.

« Mieux vaut prévenir que guérir ».

6 Bibliographie

- [1] del Coso J, Herrero H, Salinero JJ. Injuries in Spanish female soccer players. *Journal of Sport and Health Science* 2018;7:183–90. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2016.09.002>.
- [2] Silvers HJ, Mandelbaum BR. Prevention of anterior cruciate ligament injury in the female athlete. *British Journal of Sports Medicine* 2007;41:i52. <https://doi.org/10.1136/bjism.2007.037200>.
- [3] Mandelbaum BR, Putukian M. Medical concerns and specificities in female soccer players. *Science and Sports* 1999;14:254–60. [https://doi.org/10.1016/S0765-1597\(00\)88245-3](https://doi.org/10.1016/S0765-1597(00)88245-3).
- [4] Dick R, Ferrara MS, Agel J, Courson R, Marshall SW, Hanley MJ, et al. D1. Dick R, Ferrara MS, Agel J, Courson R, Marshall SW, Hanley MJ, et al. Descriptive epidemiology of collegiate men’s football injuries: National collegiate athletic association injury surveillance system, 1988-1989 through 2003-2004. *J Athl Train.* 2007; *Journal of Athletic Training* 2007;42:221–33.
- [5] Junge A, Dvorak J. Injuries in female football players in top-level international tournaments. *British Journal of Sports Medicine* 2007;41:i3. <https://doi.org/10.1136/bjism.2007.036020>.
- [6] Waldén M, Hägglund M, Werner J, Ekstrand J. The epidemiology of anterior cruciate ligament injury in football (soccer): A review of the literature from a gender-related perspective. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 2011;19:3–10. <https://doi.org/10.1007/s00167-010-1172-7>.
- [7] Bjordal JM, Arnøy F, Hannestad B, Strand T. Epidemiology of anterior cruciate ligament injuries in soccer. *American Journal of Sports Medicine* 1997;25:341–5. <https://doi.org/10.1177/036354659702500312>.
- [8] Brophy R, Silvers HJ, Gonzales T, Mandelbaum BR. Gender influences: The role of leg dominance in ACL injury among soccer players. *British Journal of Sports Medicine* 2010;44:694–7. <https://doi.org/10.1136/bjism.2008.051243>.
- [9] Boden BP, Dean CS, Feagin JA, Garrett WE. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. *Orthopedics* 2000;23:573–8. <https://doi.org/10.3928/0147-7447-20000601-15>.
- [10] Shimokochi Y, Shultz SJ. Mechanisms of noncontact anterior cruciate ligament injury. *Journal of Athletic Training* 2008;43:396–408. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-43.4.396>.
- [11] Maitrepierre G. Prévention de la rupture du ligament croisé antérieur chez le sportif revue de la littérature 2010.
- [12] Dufour M. Anatomie de l’appareil locomoteur, Tome 1 Membre inférieur. 2015.
- [13] A. I. Kapandji. Anatomie Fonctionnelle II Membre inférieur ; 6ème édition. 2009.
- [14] Jacques R, Gérard S. Les lésions isolées récentes dy ligament croisé antérieur, données actuelles. 1996.
- [15] Hewett TE, Myer GD, Ford KR. Anterior cruciate ligament injuries in female athletes: Part 1, mechanisms and risk factors. *American Journal of Sports Medicine* 2006;34:299–311. <https://doi.org/10.1177/0363546505284183>.
- [16] Acevedo RJ, Rivera-Vega A, Miranda G, Micheo W. Anterior cruciate ligament injury: Identification of risk factors and prevention strategies. *Current Sports Medicine Reports* 2014;13:186–91. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000053>.
- [17] Laible C, Sherman OH. Risk factors and prevention strategies of non-contact anterior cruciate ligament injuries. *Bulletin of the Hospital for Joint Diseases* 2014;72:70–5.

- [18] Uhorchak JM, Scoville CR, Williams GN, Arciero RA, St. Pierre P, Taylor DC. Risk Factors Associated with Noncontact Injury of the Anterior Cruciate Ligament. A Prospective Four-Year Evaluation of 859 West Point Cadets. *American Journal of Sports Medicine*, vol. 31, American Orthopaedic Society for Sports Medicine; 2003, p. 831–42. <https://doi.org/10.1177/03635465030310061801>.
- [19] Shelbourne KD, Davis TJ, Klootwyk TE. The relationship between intercondylar notch width of the femur and the incidence of anterior cruciate ligament tears: A prospective study. *American Journal of Sports Medicine* 1998;26:402–8. <https://doi.org/10.1177/03635465980260031001>.
- [20] Laprade RF, Burnett QM. Femoral Intercondylar Notch Stenosis and Correlation to Anterior Cruciate Ligament Injuries: A Prospective Study. *The American Journal of Sports Medicine* 1994;22:198–203. <https://doi.org/10.1177/036354659402200208>.
- [21] Hutchinson MR, Ireland ML. Knee injuries in female athletes. *Sports Medicine (Auckland, NZ)* 1995;19:288–302. <https://doi.org/10.2165/00007256-199519040-00006>.
- [22] Shambaugh JP, Klein A, Herbert JH. Structural measures as predictors of injury in basketball players. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1991;23:522–7. <https://doi.org/10.1249/00005768-199105000-00003>.
- [23] Haycock CE, Gillette J v. Susceptibility of women athletes to injury. Myths vs reality. *JAMA* 1976;236:163–5.
- [24] Gray J, Taunton JE, McKenzie DC, Clement DB, McConkey JP, Davidson RG. A survey of injuries to the anterior cruciate ligament of the knee in female basketball players. *International Journal of Sports Medicine* 1985;6:314–6. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1025861>.
- [25] Hewett TE, Myer GD, Ford KR, Heidt RS, Colosimo AJ, McLean SG, et al. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: A prospective study. *American Journal of Sports Medicine* 2005;33:492–501. <https://doi.org/10.1177/0363546504269591>.
- [26] Part 1 Growth, Maturation, and Physical Performance. n.d.
- [27] Myer GD, Ford KR, Divine JG, Wall EJ, Kahanov L, Hewett TE. Longitudinal assessment of noncontact anterior cruciate ligament injury risk factors during maturation in a female athlete: A case report. *Journal of Athletic Training* 2009;44:101–9. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-44.1.101>.
- [28] Yund CB. A Longitudinal Study of Injury Rates and Risk Factors in 5 to 12 Year Old Soccer Players. University of Cincinnati; 1999.
- [29] Myklebust G, Engebretsen L, Brækken IH, Skjøfberg A, Olsen OE, Bahr R. Prevention of anterior cruciate ligament injuries in female team handball players: A prospective intervention study over three seasons. *Clinical Journal of Sport Medicine* 2003;13:71–8. <https://doi.org/10.1097/00042752-200303000-00002>.
- [30] Fleming BC, Ohlén G, Renström PA, Peura GD, Beynon BD, Badger GJ. The effects of compressive load and knee joint torque on peak anterior cruciate ligament strains. *American Journal of Sports Medicine*, vol. 31, American Orthopaedic Society for Sports Medicine; 2003, p. 701–7. <https://doi.org/10.1177/03635465030310051101>.
- [31] Lloyd DG. Rationale for training programs to reduce anterior cruciate ligament injuries in Australian football. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* 2001;31:645–54; discussion 661. <https://doi.org/10.2519/jospt.2001.31.11.645>.

- [32] Li G, Rudy TW, Sakane M, Kanamori A, Ma CB, Woo SLY. The importance of quadriceps and hamstring muscle loading on knee kinematics and in-situ forces in the ACL. *Journal of Biomechanics* 1999;32:395–400. [https://doi.org/10.1016/S0021-9290\(98\)00181-X](https://doi.org/10.1016/S0021-9290(98)00181-X).
- [33] Arms SW, Pope MH, Johnson RJ, Fischer RA, Arvidsson I, Eriksson E. The biomechanics of anterior cruciate ligament rehabilitation and reconstruction. *American Journal of Sports Medicine* 1984;12:8–18. <https://doi.org/10.1177/036354658401200102>.
- [34] Beynnon BD, Fleming BC. Anterior cruciate ligament strain in-vivo: A review of previous work. *Journal of Biomechanics* 1998;31:519–25. [https://doi.org/10.1016/S0021-9290\(98\)00044-X](https://doi.org/10.1016/S0021-9290(98)00044-X).
- [35] Solomonow M, Baratta R, Zhou BH, Shoji H, Bose W, Beck C, et al. The synergistic action of the anterior cruciate ligament and thigh muscles in maintaining joint stability. *The American Journal of Sports Medicine* 1987;15:207–13. <https://doi.org/10.1177/036354658701500302>.
- [36] Chappell JD, Creighton RA, Giuliani C, Yu B, Garrett WE. Kinematics and electromyography of landing preparation in vertical stop-jump: risks for noncontact anterior cruciate ligament injury. *The American Journal of Sports Medicine* 2007;35:235–41. <https://doi.org/10.1177/0363546506294077>.
- [37] Hanson AM, Padua DA, Troy Blackburn J, Prentice WE, Hirth CJ. Muscle activation during side-step cutting maneuvers in male and female soccer athletes. *Journal of Athletic Training* 2008;43:133–43. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-43.2.133>.
- [38] Padua DA, Garcia CR, Arnold BL, Granata KP. Gender differences in leg stiffness and stiffness recruitment strategy during two-legged hopping. *Journal of Motor Behavior* 2005;37:111–26. <https://doi.org/10.3200/JMBR.37.2.111-126>.
- [39] Yu B, Lin CF, Garrett WE. Lower extremity biomechanics during the landing of a stop-jump task. *Clinical Biomechanics* 2006;21:297–305. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2005.11.003>.
- [40] Padua DA, Arnold BL, Perrin DH, Gansneder BM, Carcia CR, Granata KP. Fatigue, vertical leg stiffness, and stiffness control strategies in males and females. *Journal of Athletic Training* 2006;41:294–304.
- [41] Kellis E, Kouvelioti V. Agonist versus antagonist muscle fatigue effects on thigh muscle activity and vertical ground reaction during drop landing. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 2009;19:55–64. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2007.08.002>.
- [42] Malinzak RA, Colby SM, Kirkendall DT, Yu B, Garrett WE. A comparison of knee joint motion patterns between men and women in selected athletic tasks. *Clinical Biomechanics* 2001;16:438–45. [https://doi.org/10.1016/S0268-0033\(01\)00019-5](https://doi.org/10.1016/S0268-0033(01)00019-5).
- [43] de Luca CJ, Mambrito B. Voluntary control of motor units in human antagonist muscles: Coactivation and reciprocal activation. *Journal of Neurophysiology* 1987;58:525–42. <https://doi.org/10.1152/jn.1987.58.3.525>.
- [44] Fleming BC, Renstrom PA, Ohlen G, Johnson RJ, Peura GD, Beynnon BD, et al. The gastrocnemius muscle is an antagonist of the anterior cruciate ligament. *Journal of Orthopaedic Research : Official Publication of the Orthopaedic Research Society* 2001;19:1178–84. [https://doi.org/10.1016/S0736-0266\(01\)00057-2](https://doi.org/10.1016/S0736-0266(01)00057-2).
- [45] ben Hamida F, Mourali S, ben Lakhdar Z, Hadjsalah M. Influence des facteurs intrinsèques anatomiques dans la rupture du ligament croisé antérieur : étude anatomoradiologique comparative. *Journal de Traumatologie Du Sport* 2008;25:144–7. <https://doi.org/10.1016/j.jts.2008.05.006>.

- [46] Besier TF, Lloyd DG, Ackland TR. Muscle Activation Strategies at the Knee. *Medicine & Science in Sport & Exercise* 2003;35:119–27. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000043608.79537.ab>.
- [47] McLean SG, Huang X, van den Bogert AJ. Association between lower extremity posture at contact and peak knee valgus moment during sidestepping: Implications for ACL injury. *Clinical Biomechanics* 2005;20:863–70. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2005.05.007>.
- [48] Myer GD, Ford KR, Hewett TE. The effects of gender on quadriceps muscle activation strategies during a maneuver that mimics a high ACL injury risk position. *Journal of Electromyography and Kinesiology: Official Journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology* 2005;15:181–9. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2004.08.006>.
- [49] Rozzi SL, Lephart SM, Gear WS, Fu FH. Knee joint laxity and neuromuscular characteristics of male and female soccer and basketball players. *The American Journal of Sports Medicine* 1999;27:312–9. <https://doi.org/10.1177/03635465990270030801>.
- [50] Palmieri-Smith RM, McLean SG, Ashton-Miller JA, Wojtys EM. Association of quadriceps and hamstrings cocontraction patterns with knee joint loading. *Journal of Athletic Training* 2009;44:256–63. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-44.3.256>.
- [51] Olsen OE, Myklebust G, Engebretsen L, Holme I, Bahr R. Relationship between floor type and risk of ACL injury in team handball. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 2003;13:299–304. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0838.2003.00329.x>.
- [52] Lambson RB, Barnhill BS, Higgins RW. Football cleat design and its effect on anterior cruciate ligament injuries: A three-year prospective study. *American Journal of Sports Medicine* 1996;24:155–9. <https://doi.org/10.1177/036354659602400206>.
- [53] Pfeifer CE, Beattie PF, Sacko RS, Hand A. RISK FACTORS ASSOCIATED WITH NON-CONTACT ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT INJURY: A SYSTEMATIC REVIEW. *International Journal of Sports Physical Therapy* 2018;13:575–87. <https://doi.org/10.26603/ijsp20180575>.
- [54] Myklebust G, Steffen K. Prevention of ACL injuries: how, when and who? *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy: Official Journal of the ESSKA* 2009;17:857–8. <https://doi.org/10.1007/s00167-009-0826-9>.
- [55] Ruano JS, Sitler MR, Driban JB. Prevalence of radiographic knee osteoarthritis after anterior cruciate ligament reconstruction, with or without meniscectomy: An evidence-based practice article. *Journal of Athletic Training* 2017;52:606–9. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-51.2.14>.
- [56] Soligard T, Myklebust G, Steffen K, Holme I, Silvers H, Bizzini M, et al. Comprehensive warm-up programme to prevent injuries in young female footballers: Cluster randomised controlled trial. *BMJ (Online)* 2009;338:95–9. <https://doi.org/10.1136/bmj.a2469>.
- [57] Waldén M, Atroshi I, Magnusson H, Wagner P, Häggglund M. Prevention of acute knee injuries in adolescent female football players: Cluster randomised controlled trial. *BMJ (Online)* 2012;344. <https://doi.org/10.1136/bmj.e3042>.
- [58] Gilchrist J, Mandelbaum BR, Melancon H, Ryan GW, Silvers HJ, Griffin LY, et al. A randomized controlled trial to prevent noncontact anterior cruciate ligament injury in female collegiate soccer players. *American Journal of Sports Medicine* 2008;36:1476–83. <https://doi.org/10.1177/0363546508318188>.

- [59] Mandelbaum BR, Silvers HJ, Watanabe DS, Knarr JF, Thomas SD, Griffin LY, et al. Effectiveness of a neuromuscular and proprioceptive training program in preventing anterior cruciate ligament injuries in female athletes: 2-Year follow-up. *American Journal of Sports Medicine* 2005;33:1003–10. <https://doi.org/10.1177/0363546504272261>.
- [60] Pfeiffer RP, Shea KG, Roberts D, Grandstrand S, Bond L. Lack of effect of a knee ligament injury prevention program on the incidence of noncontact anterior cruciate ligament injury. *Journal of Bone and Joint Surgery - Series A* 2006;88:1769–74. <https://doi.org/10.2106/JBJS.E.00616>.
- [61] Hägglund M, Atroshi I, Wagner P, Waldén M. Superior compliance with a neuromuscular training programme is associated with fewer ACL injuries and fewer acute knee injuries in female adolescent football players: secondary analysis of an RCT. *British Journal of Sports Medicine* 2013;47:974–9. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092644>.
- [62] Noyes FR, Barber-Westin SD, Smith STT, Campbell T. A training program to improve neuromuscular and performance indices in female high school soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2013;27:340–51. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31825423d9>.
- [63] Gaillard R, Magnussen R, Batailler C, Neyret P, Lustig S, Servien E. Lésions méniscales associées aux ruptures du ligament croisé antérieur : existe-t-il une prédisposition anatomique ? *Revue de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique* 2017;103:S249. <https://doi.org/10.1016/j.rcot.2017.09.316>.
- [64] Dupont JY, Scellier C, Chaudières D. Intra-articular lesions in ruptures of the anterior cruciate ligament. Preliminary report. *Science and Sports* 1986;1:187–200. [https://doi.org/10.1016/S0765-1597\(86\)80001-6](https://doi.org/10.1016/S0765-1597(86)80001-6).
- [65] Silvers-Granelli HJ, Bizzini M, Arundale A, Mandelbaum BR, Snyder-Mackler L. Does the FIFA 11+ Injury Prevention Program Reduce the Incidence of ACL Injury in Male Soccer Players? *Clinical Orthopaedics and Related Research* 2017;475:2447–55. <https://doi.org/10.1007/s11999-017-5342-5>.
- [66] Laboute E, Savalli L, Puig P, Trouve P, Sabot G, Monnier G, et al. Analyse de la reprise du sport et des ruptures itératives chez le sportif compétiteur pour 298 ligaments croisés antérieurs opérés avec le tendon rotulien ou les ischiojambiers. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine* 2010;53:598–614. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2010.10.002>.

ANNEXES

ANNEXE 1

Exercise	Repetitions
I. Running exercises, 8 minutes (opening warm up, in pairs; course consists of 6-10 pairs of parallel cones):	
Running, straight ahead	2
Running, hip out	2
Running, hip in	2
Running, circling	2
Running and jumping	2
Running, quick run	2
II. Strength, plyometrics, balance, 10 minutes (one of three exercise progression levels each training session):	
The plank:	
Level 1: both legs	3×20-30 seconds
Level 2: alternate legs	3×20-30 seconds
Level 3: one leg lift	3×20-30 seconds
Side plank:	
Level 1: static	3×20-30 seconds (each side)
Level 2: dynamic	3×20-30 seconds (each side)
Level 3: with leg lift	3×20-30 seconds (each side)
Nordic hamstring lower:	
Level 1	3-5
Level 2	7-10
Level 3	12-15
Single leg balance:	
Level 1: holding ball	2×30 seconds (each leg)
Level 2: throwing ball with partner	2×30 seconds (each leg)
Level 3: testing partner	2×30 seconds (each leg)
Squats:	
Level 1: with heels raised	2×30 seconds
Level 2: walking lunges	2×30 seconds
Level 3: one leg squats	2×10 (each leg)
Jumping:	
Level 1: vertical jumps	2×30 seconds
Level 2: lateral jumps	2×30 seconds
Level 3: box jumps	2×30 seconds
III. Running exercises, 2 minutes (final warm up)	
Running over pitch	2
Bounding run	2
Running and cutting	2

ANNEXE 2

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 3

1. Warm-up (50 yards each):
 - A. Jog line to line of soccer field (cone to cone)
 - B. Shuttle run (side to side)
 - C. Backward running
 2. Stretching (30 s × 2 reps each):
 - A. Calf stretch
 - B. Quadricep stretch
 - C. Figure 4 hamstring stretch
 - D. Inner thigh stretch
 - E. Hip flexor stretch
 3. Strengthening:
 - A. Walking lunges (20 yards × 2 sets)
 - B. Russian hamstring (3 sets × 10 reps)
 - C. Single toe-raises (30 reps on each side)
 4. Plyometrics (20 reps each):
 - A. Lateral hops over 2 to 6 inch cone
 - B. Forward/backward hops over 2 to 6 inch cone
 - C. Single leg hops over 2 to 6 inch cone
 - D. Vertical jumps with headers
 - E. Scissors jump
 5. Agilities:
 - A. Shuttle run with forward/backward running (40 yards)
 - B. Diagonal runs (40 yards)
 - C. Bounding run (45–50 yards)
-

ANNEXE 4

Exercise	Distance	Repetitions/ Time
1. Warm-up		
Jog line to line	50 yd	1
Shuttle run	50 yd	1
Backward running	50 yd	1
2. Stretching		
Calf stretch	NA	2 × 30 s
Quadriiceps stretch	NA	2 × 30 s
Hamstring stretch	NA	2 × 30 s
Inner thigh stretch	NA	2 × 30 s
Hip flexor stretch	NA	2 × 30 s
3. Strengthening		
Walking lunges	20 yd	2 passes
Russian hamstring	NA	30 s
Single-toe raises	NA	30, bilaterally
4. Plyometrics		
Lateral hops	2- to 6-in cone	30 s
Forward hops	2- to 6-in cone	30 s
Single-legged hops	2- to 6-in cone	30 s
Vertical jumps	NA	30 s
Scissors jumps	NA	30 s
5. Agilities		
Shuttle run	40 yd	1
Diagonal run	40 yd	1
Bounding run	45-50 yd	1

RÉSUMÉ

Introduction : La rupture du ligament croisé antérieur est la blessure la plus connue dans le monde du football, les femmes y sont particulièrement exposées avec un risque 2 à 3 fois plus élevé que les hommes dès la puberté. Les filles sont de plus en plus nombreuses à s'inscrire dans des clubs de football. La prévention est fondamentale pour respecter les joueuses et le sport.

Objectif : L'objectif de cette revue de littérature est d'évaluer l'efficacité des échauffements neuromusculaires sur la réduction du nombre de ruptures du ligament croisé antérieur chez les footballeuses adolescentes.

Méthodologie de recherche : 4 études ont été sélectionnées à l'aide des bases de données Pubmed, Cochrane, Pedro, Kinédoc et la littérature grise. Les échauffements neuromusculaires sont composés d'exercices de course, de renforcement, de proprioception et de gestes techniques. Les participantes sont des jeunes filles âgées de 12 à 19 ans jouant dans des clubs de football.

Résultats et analyse : Les protocoles de prévention permettent une diminution significative du nombre des blessures du ligament croisé antérieur entre 64% et 88%. Il existe une baisse significative du risque chez les joueuses ayant déjà subi une lésion au ligament. La prévention est plus efficace à partir de la 6^{ème} semaine. Les risques sont significativement diminués lors des entraînements. Il n'y a pas d'amélioration des risques de blessures graves et aiguës ou du genou.

Discussion : Les différentes études nous permettent d'identifier les situations de jeu où les protocoles de prévention se révèlent efficaces. Les échauffements neuromusculaires sont un ensemble d'exercices spécifiques agissant sur les facteurs de risques intrinsèques des femmes, responsables en grande partie de leur vulnérabilité aux blessures. La prévention permet aux joueuses de bénéficier à long terme d'une protection de leur articulation tout en se concentrant sur les gestes techniques. Les masseurs-kinésithérapeutes jouent un rôle dans la prévention auprès des patients, en mettant en place ces protocoles et en limitant les risques de récurrences de rupture du ligament croisé antérieur.

Mots-clés : Prévention – Echauffements neuromusculaires – Rupture – Ligament croisé antérieur – Football – Femmes

ABSTRACT

Introduction : The rupture of the anterior cruciate ligament is the most well-known injury in the world of football, women are particularly exposed to it with a risk 2 to 3 times higher than men as early as puberty. More and more girls are joining football clubs. Prevention is fundamental to respect women players and the sport.

Objective : The objective of this literature review is to evaluate the efficacy of neuromuscular warm-ups on reducing the number of anterior cruciate ligament ruptures in adolescent female footballers.

Method : 4 studies were selected using the Pubmed, Cochrane, Pedro, Kinedoc and grey literature databases. Neuromuscular warm-ups are composed of running, strengthening, proprioception and technical gestures exercises. Participants are girls aged 12 to 19 years old playing in football clubs.

Results and analysis : The prevention protocols allow a significant reduction in the number of ACL ruptures between 64% and 88%. There is a significant decrease in risk in players who have already suffered a ligament injury. Prevention is most effective from the 6th week onwards. The risks are significantly reduced during training. There is no improvement in the risk of serious and acute knee or knee injuries.

Discussion : The various studies allow us to identify gambling situations where prevention protocols are proving effective. Neuromuscular warm-ups are a set of specific exercises that act on women's intrinsic risk factors, which are largely responsible for their vulnerability to injury. Prevention allows women players to benefit from long-term protection of their joints while focusing on technical gestures. The physiotherapists play a role in prevention with the patients, by setting up these protocols and limiting the risks of recurrence of anterior cruciate ligament rupture.

Keywords : Prevention – Neuromuscular warm-up – Rupture – Anterior cruciate ligament – Soccer – Female