



HAL
open science

Les facteurs de risque de rupture du ligament croisé antérieur chez la femme pratiquant des sports à pivot collectifs

Margot Aumont

► **To cite this version:**

Margot Aumont. Les facteurs de risque de rupture du ligament croisé antérieur chez la femme pratiquant des sports à pivot collectifs. Médecine humaine et pathologie. 2020. dumas-03071618

HAL Id: dumas-03071618

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03071618>

Submitted on 16 Dec 2020

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.

Les facteurs de risque de rupture du ligament croisé antérieur chez la femme pratiquant des sports à pivot collectifs

AUMONT Margot

Directeur de mémoire : Mme CHAULLET Karine

REMERCIEMENTS

À Madame Chaullet, mon maître de mémoire, pour ses conseils avisés et sa bienveillance

Au Centre Saint Victor, pour avoir conforté mon envie d'être kinésithérapeute

Au Cabinet De Laleu, père et fils, pour leur vision du métier et leur façon de travailler

À tous les membres du Cabinet Les Calanques, pour ce dernier stage, riche en savoir et en bonne humeur

À mes parents pour leur patience et les nombreux synonymes trouvés pour éviter les redondances

À mes frères pour leur précieuse aide de dernière minute

À mes belles-sœurs pour l'anglais

À Vincent pour son soutien

À mes copines pour leur bonne humeur et leur autodérision

ABRÉVIATIONS

MK : masso-kinésithérapeute
PEC : prise en charge
FDR : facteur de risque
LCA : ligament croisé antérieur
H : homme
F : femme

DD : décubitus dorsal
DL : décubitus latéral
PL : postéro-latéral
AM : antéro-médial

RR : risque relatif
OR : Odd Ratio
NOS : New Castle Ottawa Scale
IC : intervalle de confiance

MI : membre inférieur
Q : quadriceps
VM : vaste médial
VL : vaste latéral
DF : droit fémoral
IJ : ischio-jambiers
D-T : demi tendineux
ST : semi-tendineux
BF : biceps fémoral

DVJ : Drop vertical jump
LO : loading phase
PR : preparatory phase

Table des matières

Introduction.....	1
I- Contexte.....	1
II- Facteurs de risque.....	4
a- Facteurs intrinsèques.....	4
b- Facteurs extrinsèques.....	6
III- Anatomie.....	7
a- L'articulation.....	7
b- Le LCA.....	8
IV- Hypothèses.....	14
V- Pertinence.....	14
a- Intérêt de la revue pour le masso-kinésithérapeute.....	14
b- Intérêt de la revue pour le sportif.....	15
VI- Objectifs.....	15
Méthodologie.....	16
VII- Méthode.....	16
a- Sources de recherche.....	16
b- Types d'études.....	16
c- Modèle PICO.....	18
d- Équation de recherche.....	18
e- Sélection des études.....	19
f- Méthode d'extraction des données.....	19
g- Analyse des données.....	19
h- Synthèse des résultats.....	21
Résultats.....	22
VIII- Description des études.....	22
a- Diagramme de flux.....	22
b- Études exclues.....	23
c- Études incluses.....	25
IX- Risques de biais.....	32
a- Grille NOS.....	32
b- Les biais.....	33
X- Résultats.....	36
a- Présentation des résultats de chaque étude.....	36
b- Critère de jugement principal.....	41
Discussion.....	42
XI- Analyse des principaux résultats.....	42
a- Facteurs de risque intrinsèques.....	42
b- Facteur de risque extrinsèque.....	51
XII- Applicabilité des résultats et pertinence clinique.....	54
XIII- Qualité de preuve.....	56
XIV- Biais potentiels.....	58
Conclusion.....	59
Travaux cités.....	60
Abstract.....	71

INTRODUCTION

La femme, de plus en plus sportive, présente des caractéristiques qui lui sont propres : en termes d'anatomie, d'hormones, de contrôle neuromusculaire, mais aussi en termes de mental, et d'écoute de soi.

I- CONTEXTE

→ *Pourquoi étudier la population féminine ?*

Harmon et al. (1) évoquent le lien entre le titre IX et l'augmentation de la participation des femmes dans les compétitions. Le titre IX, loi fédérale votée en 1972 aux États-Unis, a accordé les mêmes moyens aux femmes qu'à leurs homologues masculins dans les programmes sportifs scolaires et universitaires. Il interdit toute discrimination sur la base du sexe. Cet amendement a donc permis l'éclosion de la participation féminine dans les différents sports. Il existe une prédisposition accrue à la rupture du LCA chez la femme, sex-ratio pouvant aller de 2 jusqu'à 8 (1). La participation féminine a été multipliée par 9 depuis l'adoption du Titre IX (Hewett et al. (2)).

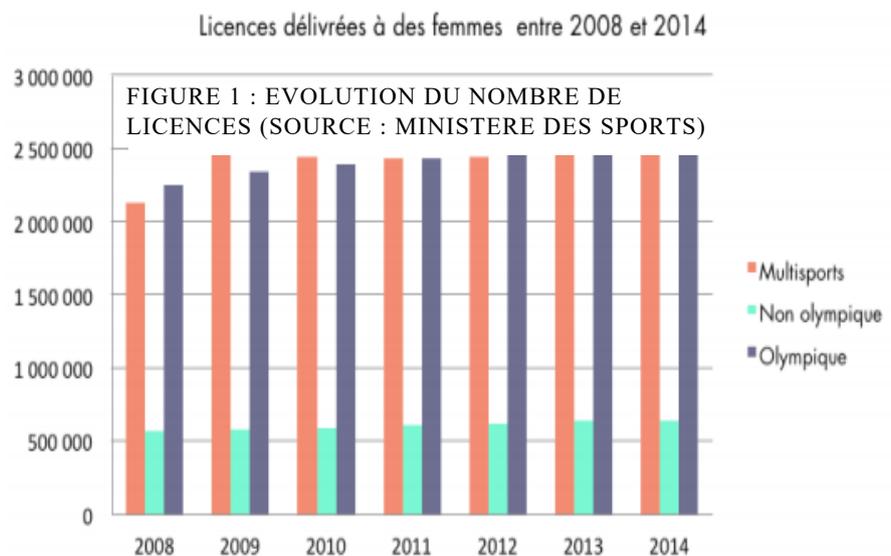
Si l'on se réfère au rapport fourni par le Ministère des Sports, le nombre de licences délivré aux femmes est en constante augmentation (+ 1,99 % entre 2008 et 2014).

De plus selon Hewett et al. (3), la participation des femmes au sport à haut niveau n'a cessé

de croître ces 30 dernières années. Les blessures du LCA, en constante augmentation chez la femme, est en corrélation avec cette participation croissante. L'athlète féminine est exposée 4 à 6 fois plus que son homologue masculin à une blessure du LCA.

Prodomos et al. (4) estiment à 100 000 les blessures du LCA aux USA. Dans cet article, le sex-ratio homme-femme, concernant le risque de blessure du LCA peut aller jusqu'à 9. Selon les auteurs, ce sex-ratio évolue en fonction des sports ; et celui-ci reste approximatif, puisqu'il n'existe pas d'étude systématique sur les différents sports.

Si le sex-ratio varie d'une étude à l'autre, l'impression qu'il en ressort est que l'athlète féminine est plus exposée que son homologue masculin aux blessures du ligament croisé antérieur. Le mécanisme qui explique la disparité entre les deux sexes est probablement multifactoriel ; il existe de nombreuses théories expliquant ce sex-ratio. De nombreux facteurs de risques sont identifiables.



Dans la vie de tous les jours, le LCA subit une traction de 150N. Lors d'activité sportive, cette traction varie de 400 à 750N. La résistance mécanique maximale acceptable est de 1700 N. Elle diminue avec l'âge, elle augmente avec la vitesse d'exécution du mouvement et avec l'entraînement. Franzesi et al. (5) estiment que la limite supérieure de traction supportable par le LCA est de 2 200 N. Or, cette valeur n'est valable que pour un LCA sain, chez un sujet jeune. Au-delà de cette valeur, le LCA est susceptible de se rompre. Les changements de direction, les accélérations ou décélérations brutales, la réception unipodale non contrôlée sont des causes probables responsables de l'augmentation de la charge que subit le LCA, responsable alors de lésion (Voskanian et al. (6)).

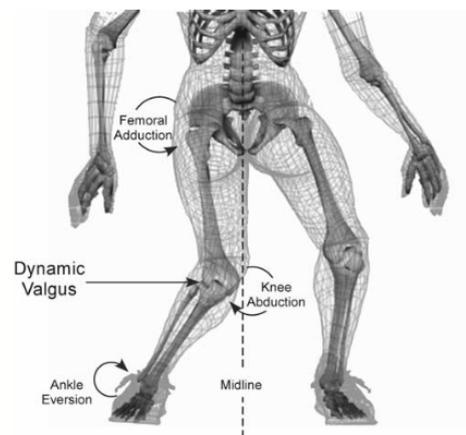
Il existe deux types de mécanisme de lésion du LCA :

- Rupture du LCA lors d'un choc violent, on parle de mécanisme « avec contact » considéré comme un véritable accident. Elle représente un faible pourcentage, 20-30%.
- Rupture du LCA lors d'un mécanisme « sans contact », représentant 70-78% des causes de rupture chez l'athlète féminine (Voskanian et al. (6)). La définition du non-contact a été donné par Marshall, c'est « une force appliquée sur le genou au moment de l'accident, mouvement propre de l'athlète sans contact avec un autre athlète ou objet ».

Grabau et al. (7) admettent que le risque de blessure de l'appareil ligamentaire de l'articulation du genou est particulièrement élevé si la charge sur les ligaments ne peut être compensée par les os et les muscles sus et sous adjacents. Suite à une analyse vidéo (7), ils ont mis en évidence que la rupture du LCA, lors d'un mécanisme sans contact, est souvent corrélée à :

- Une position en valgus du genou
- Une extension quasi-complète
- Et une rotation du tibia

FIGURE 2 : VALGUS DYNAMIQUE (HEWETT 2005)



Quant à eux Bencke et al., définissent le mécanisme de lésion sans contact, lors des mouvements de coupe ; il correspond à un effondrement du genou en valgus, proche de l'extension complète, le tout combiné à une rotation (interne ou externe) (8).

Il devient donc nécessaire de définir la position de valgus du genou, qui correspond en réalité à un valgus dit dynamique, et la notion de mouvement de coupe.

Le valgus dynamique est défini par Grabau et al. (7) soit par une abduction du tibia vers l'extérieur soit par un mouvement de rotation dans le genou. Cette position du genou entraîne des conséquences dans les articulations sus (adduction de hanche) et sous-jacentes (éversion de la cheville) (fig. 2).

Le mouvement de coupe latérale est défini par Bencke et al. (8). Le but est de stimuler le joueur dans une direction, puis de manière inattendue lui demander de changer de direction. On peut donc considérer de manière plus globale que le mouvement de coupe latérale correspond à un déplacement vif sur le côté opposé à la jambe pivot.

Ramesh et al. définissent le mouvement de lésion sans contact du LCA comme une hyper extension du genou, lorsque le tibia se déplace en avant du fémur. Cette position entraîne une mise en tension trop importante du ligament, responsable de la lésion.

Hewett et al. affirment que la plupart des blessures sans contact surviennent lors de décélérations, de réceptions de tâches, ou de déplacements latéraux ; tout cela joint à une surcharge externe du genou.

Malgré les nombreuses études, traitant ce sujet, il semble difficile de définir un seul mécanisme de rupture, de nombreux facteurs entrent en jeu.

Les lésions sans contact sont retrouvées généralement dans les sports à pivot. Il semble nécessaire de définir la notion de pivot, celle-ci fera partie des critères de sélection des articles. Un sport est qualifié à pivot lorsque celui-ci entraîne des mouvements de rotations et de torsion sur le genou qui sollicite plus particulièrement le ligament croisé antérieur. Il s'oppose au sport dans l'axe, qui lui ne peut être délétère pour le LCA. Dans cette revue, j'ai décidé de me focaliser sur les sports à pivot collectifs (football, volley-ball, basketball...).

La lésion du LCA représente un véritable problème de santé publique, de par les conséquences à la fois économiques, psychologiques, et médicales qu'elles entraînent.

Les données du PMSI recueillies par l'HAS nous permettent d'avoir une idée du nombre de ligamentoplasties réalisées chaque année. Ce chiffre est en constante augmentation.

	2005	2006
Interventions sur les ligaments croisés – nombre	34 126	37 144
- LCA – nombre (%)	32 333 (94,7)	35 501 (95,6)
- LCP – nombre (%)	956 (2,8)	719 (1,9)
- polyligamentaires – nombre (%)	837 (2,6)	924 (2,6)

FIGURE 3 : DONNEES DU PMSI MCO CONCERNANT LES INTERVENTIONS SUR LES LIGAMENTS CROISES (HAS 2008)

La ligamentoplastie est une des interventions les plus utilisées dans le milieu sportif. Hewett et al. (2) estiment qu'une opération du LCA coûte environ 17 000 \$ aux États-Unis. Ainsi, au niveau national, les chirurgies de lésion du LCA et la réadaptation coûteraient 646 millions de \$ / an.

En France, une étude micro-économique réalisée en 2002 a comparé les coûts de prise en charge en hospitalisation complète, de jour, ou par un kinésithérapeute libéral.

Type de prise en charge	Hospitalisation complète	Hospitalisation de jour	Kinésithérapie libérale
Coût pour l'Assurance maladie	6 491,95 €	2 919,12 + 2 431,26 = 5 350,38 € (transport en ambulance) 2 919,12 + 784,4 = 3 703,52 € (transport en VSL)	285,6 + 2 431,26 = 2 716,86 € (transport en ambulance) 285,6 + 784,4 = 1 070,00 € (transport VSL)
Coût pour l'assurance complémentaire	213,43 € (trajet pour les visites)	0 €	0 €
Coût pour le patient et/ou sa famille	60,98 € (trajet pour les visites)	0 €	0 €
Coût total pour la société	6 766,40 €	5 350,38 € (transport en ambulance) 3 703,52 € (transport en VSL)	2 716,86 € (transport en ambulance) 1 070,00 € (transport en VSL)

VSL : véhicule sanitaire léger.

FIGURE 4 : COMPARAISON DES COÛTS DE PEC (HAS JANVIER 2008)

La lésion du LCA ne coûte pas seulement chère lors de la prise en charge initiale. En effet, les conséquences à moyen et long terme ne peuvent pas être mises de côté (apparition plus précoce d'arthrose, ostéoarthritis...).

II- FACTEURS DE RISQUE

Un facteur de risque est défini comme un élément ayant un impact sur l'apparition d'un événement. Dans le cadre de ce mémoire, les facteurs de risques seront séparés en deux, les facteurs dits intrinsèques et les extrinsèques.

a- Facteurs intrinsèques

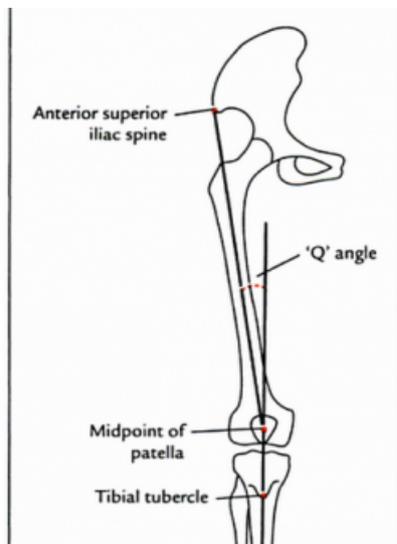
Les facteurs intrinsèques sont les facteurs propres à l'individu tels que le sexe, l'âge, l'anatomie, le comportement.

Hewett et al. (2) semblent mettre trois facteurs étiologiques en évidence pour expliquer la disparité entre les sexes ; à savoir les facteurs de risque anatomiques, hormonaux et neuromusculaires. Cependant, ce ne sont pas les seuls. En effet, il existe aussi des facteurs de risque biomécaniques et musculo-squelettiques.

Facteurs anatomiques :

De nombreuses hypothèses ont été émises sur l'impact de la morphologie de la femme sur les lésions du LCA.

- **La diminution des encoches fémorales** ; l'encoche fémorale est un important stabilisateur de genou. Emerson (9) émet l'hypothèse qu'une encoche inter-condylienne étroite prédispose le genou de la femme à plus de lésion du LCA.
- **L'augmentation de l'angle Q** ; l'angle Q, ou angle quadriceps correspond à l'intersection entre la ligne de force du quadriceps (représentant l'axe longitudinal de la cuisse) et l'axe du tendon rotulien. La valeur physiologique est comprise entre 13° et 15°.



Selon Hewett et al. (10), les femmes ont un bassin plus large, ce qui expliquerait l'augmentation de l'angle Q. Cette augmentation entraîne une force plus importante au niveau de la face latérale de la rotule.

- **L'augmentation de la laxité ligamentaire** ; elle augmente le valgus dynamique et l'hyper extension du genou

→ Ces facteurs anatomiques sont par nature non modifiables.

FIGURE 5 : SCHEMATISATION DE L'ANGLE Q
([HTTPS://BONEANDSPINE.COM/Q-ANGLE/](https://boneandspine.com/q-angle/))

Facteurs hormonaux (Perlemuter et al. (11))

Le cycle menstruel peut être séparé en deux phases : la phase folliculaire et la phase lutéale. La phase folliculaire correspond à la première phase, elle peut durer entre 10 et 14 jours en fonction du cycle. Elle débute au premier jour des règles et se termine avec l'ovulation. La phase lutéale correspond à la deuxième partie du cycle, c'est pendant cette période que le corps jaune se forme.

La principale hormone ayant une influence est l'œstrogène, plus précisément l'œstradiol (hormone sexuelle féminine). Son taux évolue tout le long du cycle menstruel ; il demeure bas au début du cycle, réalise un pic avant l'ovulation (on se situe à proximité du 14^{ème} jour du cycle), il diminue ensuite pendant la phase lutéale mais demeure tout de même plus élevé qu'à la phase folliculaire. Ce taux connaît ensuite un second petit pic, lors de la phase lutéale (jours 20-24). La sécrétion d'œstrogène s'accroît aussi pendant la grossesse.

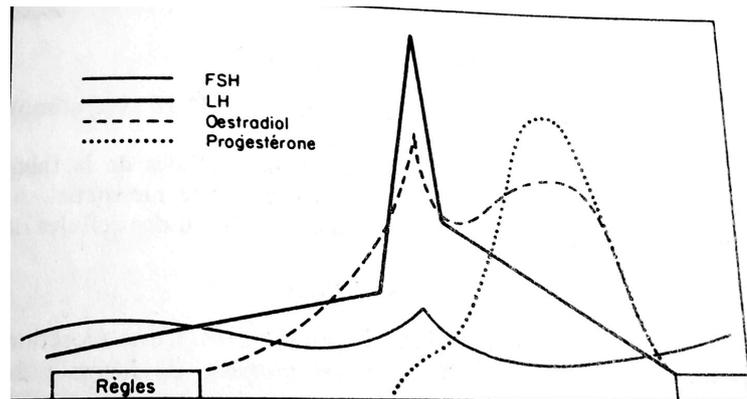


FIGURE 6 : VARIATIONS DES HORMONES AU COURS DU CYCLE MENSTRUEL (PERLEMUTER ET AL. ENDOCRINOLOGIE) (11)

Il existe deux autres hormones ayant un impact, la progestérone et la relaxine. La progestérone est à son niveau le plus bas pendant les règles, début du cycle menstruel (jour 1 à jour 6). Sa concentration commence à augmenter à la fin de la phase folliculaire. Cette hormone est sécrétée par le corps jaune pendant la phase lutéale (Herzberg et al. (12)). Concernant la relaxine, c'est une hormone polypeptidique myorelaxante, sécrétée par le corps jaune. Son taux augmente aussi pendant la grossesse.

Cependant, les moyens précis par lesquels les hormones peuvent contribuer aux risques de lésions restent flous (2). Il se trouve que peu d'études ont été réalisées sur l'impact des hormones, des phases du cycle menstruel, et de la prise de contraceptifs hormonaux sur les lésions du ligament croisé antérieur. Même si au cours de la dernière décennie, le nombre d'étude a doublé, leurs preuves scientifiques restent faibles (12). De plus, les études réalisées se contredisent souvent entre elles, il est donc difficile de conclure.

Facteurs biomécaniques :

- **Le placement des articulations lors de réalisation de tâches**, les femmes présentent des schémas qui leurs sont propres. L'atterrissage sur une jambe, le déplacement latéral et les autres mouvements susceptibles d'être vus lors de la pratique sportive diffèrent de ceux des hommes (Hart et al. (13)) ;
- **Le valgus dynamique**, décrit précédemment. La femme présente, en statique un valgus plus important que l'homme. Ce valgus est majoré lors de mouvement, il est souvent assimilé à un mauvais contrôle du genou ;
- **Le contrôle du tronc** : le tronc est considéré comme l'équilibre central. Un mauvais contrôle du tronc peut entraîner des réactions en chaîne sur les articulations sous-jacentes.

Facteurs musculo-squelettiques :

La raideur articulaire active correspond au déplacement angulaire régulé par le moment externe de l'articulation, définition donnée par Ford et ses associés. Elle est calculée comme la pente de la courbe moment-angle. Le moment de force équivaut à la capacité d'une force à créer une rotation.

La raideur articulaire active peut-être contrôlée volontairement par un recrutement musculaire, permettant ainsi une stabilisation dynamique de l'articulation (14) ; la stabilisation du genou est possible par la co-contraction des ischio-jambiers et du quadriceps (15). Granata et al. définissent la raideur articulaire active comme la rigidité en rotation.

Plus simplement, la raideur active correspond à la raideur musculaire. Plus le muscle est hypoextensible, plus la force nécessaire pour déformer celui-ci devra être importante.

Une diminution de la raideur serait susceptible d'augmenter le risque de blessure. En effet, la raideur des ischio-jambiers est considérée comme protectrice du ligament croisé antérieur, car elle permet de « freiner » la translation tibiale antérieure (14; 15).

Facteurs neuromusculaires :

De nombreuses études suggèrent qu'un mauvais contrôle neuromusculaire lors de mouvements dynamiques complexes, notamment au niveau du genou, serait responsable de lésion du LCA (2), (16)).

Le contrôle neuromusculaire correspond à une stabilisation dynamique de l'articulation obtenue par une combinaison de force musculaire active et de contraintes ligamentaires passives.

Le co-contraction quadriceps – ischio-jambiers et le ratio qui en découle interviennent dans cette stabilisation. Une co-contraction adéquate et simultanée est nécessaire lors des mouvements explosifs et énergiques pour permettre la stabilité dynamique de l'articulation du genou. (8)

Les femmes lors de mouvements dynamiques complexes, tels que la réception d'un saut, ou le changement de direction, semblent présenter un schéma musculaire différent des hommes. Elles présentent une contraction plus importante et précoce du quadriceps (3), et à contrario plus faible des ischio-jambiers. (13) Il est important de préciser que la contraction des ischio-jambiers a pour but de diminuer la translation antérieure du tibia sous le fémur, elle agit en protection du LCA. Une action plus précoce et plus importante protégerait le LCA.

Le quadriceps, quant à lui agit comme un antagoniste du LCA lors de sa contraction (17). Wotjys et al. expliquent que l'augmentation de son travail entraîne une diminution de la résistance aux contraintes de cisaillement du LCA. Le LCA serait plus enclin aux lésions.

b- Facteurs extrinsèques

Les facteurs extrinsèques sont liés à l'environnement de l'individu (équipements, surface de jeu, conditions météorologiques), au sport pratiqué, à l'alimentation, etc.

Le type de sport pratiqué est un élément clé pour la réalisation de cette revue. En effet, l'incidence des ruptures du LCA varie d'un sport à l'autre.

Dans cette revue, un seul facteur de risque extrinsèque a été choisi : la fatigue. En effet, le nombre important d'article traitant ce sujet a été un argument décisif pour ce choix et ce d'autant que l'environnement et l'alimentation des équipes sont propres à chacune.

La fatigue :

C'est un facteur extrinsèque qui affecte à la fois le système neurologique et le système musculo-squelettique. Celle-ci associée à une altération du contrôle neuromusculaire est susceptible d'augmenter la translation antérieure du tibia sous le fémur. (16) Elle est soit musculaire soit générale.

Elle peut affecter les voies afférentes, entraînant ainsi des déficiences proprioceptives ; et/ou efférentes, provoquant un retard dans la réponse motrice (18).

Il ne faut pas confondre la fatigue et l'épuisement. Borotikar et al. (19) expliquent cette différence. La fatigue est une diminution de la capacité à générer de la force ou de la puissance alors que l'épuisement correspond à une incapacité à maintenir un exercice avec une intensité prédéfinie.

III- ANATOMIE

a- L'articulation

L'articulation du genou est une articulation sollicitée non seulement dans la vie courante, mais aussi dans la vie professionnelle et dans la pratique sportive. Le genou joue un rôle important dans l'absorption des chocs et dans la stabilité du membre inférieur.

Selon Boris Dolto, « le genou est un valet soumis à deux maîtres : la hanche et le pied », cela signifie que le genou est soumis aux sollicitations mécaniques du pied, provenant du sol et aux sollicitations de la hanche.

Le genou est un complexe articulaire, de type bi-condylien, qui met en jeu deux articulations bien distinctes de par leurs caractéristiques. Cette articulation doit être à la fois stable et mobile, deux notions contradictoires.

Le genou est une articulation synoviale, composée de deux articulations :

- l'articulation fémoro-patellaire
- et l'articulation fémoro-tibiale

Les éléments suivants permettent le maintien du complexe articulaire :

- La capsule : elle englobe les deux articulations, elle s'insère sur le pourtour des ménisques ;
- La synoviale : elle tapisse la face profonde de la capsule ;
- Les ménisques
- Le système ligamentaire, composé d'un système périphérique et d'un système axial
 - o Le système axial – central, il représente le pivot central du genou
 - Le ligament croisé antérieur
 - Le ligament croisé postérieur

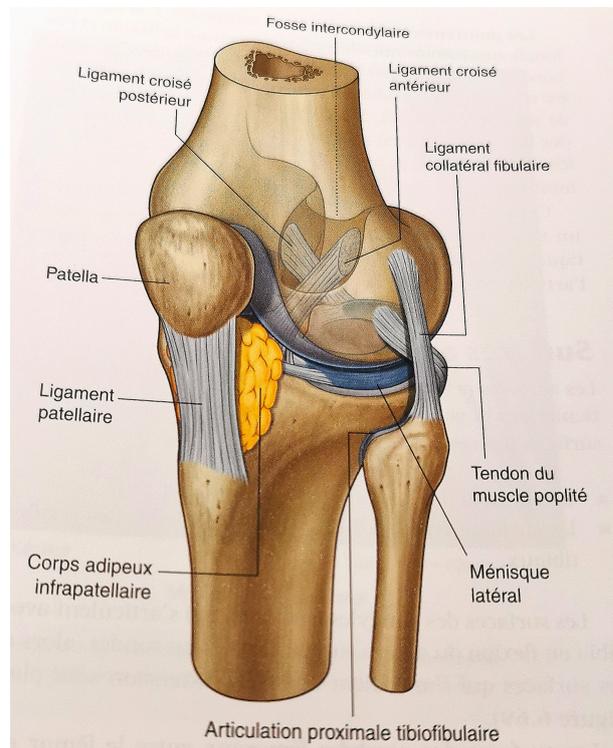


FIGURE 7 : ARTICULATION DU GENOU
(GRAY'S ANATOMIE POUR LES ETUDIANTS) (48)

- Le système périphérique
 - Le ligament collatéral fibulaire
 - Le ligament collatéral tibial, il permet de lutter contre le valgus physiologique.
 - Le ligament collatéral latéral
- Les muscles : ils sont nombreux à s'y insérer. Nombreux sont leurs rôles, ils permettent des mouvements dans le plan frontal, horizontal, et sagittal. Ils assurent la congruence et la stabilité articulaire lors de tous les mouvements ;
- Les rétinaculums fémoro-patellaires
- Les plans fibreux

La stabilisation passive de l'articulation fémoro-tibiale est possible par les deux systèmes ligamentaires (cités précédemment). Ces deux systèmes sont complémentaires pour le contrôle des laxités, qu'elles soient frontales, sagittales ou rotatoires.

La faible congruence des surfaces articulaires expose cette articulation à l'instabilité.

Le ligament croisé antérieur fait partie de l'articulation fémoro-tibiale, il joue un rôle dans la stabilité passive.

b- Le LCA

- Anatomie

Le ligament croisé antérieur fait partie du système pivot central du genou, il est « au cœur » de l'articulation, tout en étant un ligament intra-articulaire et extra-synovial. C'est un ligament puissant, mesurant environ 35 mm de long et 11 mm de large.

Il part du tibia, au niveau de l'aire condylienne antérieure, contre le frein du ménisque médial. Son insertion est triangulaire et a une surface de 3 cm². Le trajet est oblique en haut, en arrière et en dehors ; ce trajet mesure 4 cm. Le LCA se termine sur la partie postéro-médiale du condyle latéral fémoral. La surface d'accroche est de 2 cm², en forme d'haricot.

De manière générale, le LCA stabilise l'articulation du genou.

En prenant le LCA comme entité unique, celui-ci s'oppose à la translation tibiale antérieure et à la rotation interne du tibia sous le fémur. Cette opposition est permise grâce à sa direction et

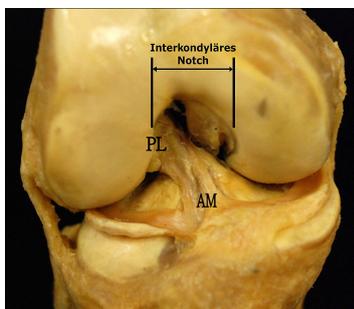


FIGURE 8 : ANATOMIE DU LCA (SOURCE : RUPTURE DU LCA)

par son enroulement autour du LCP lors des mouvements de torsion. Il est tendu en extension, ses fibres sont alors parallèles. Lorsque le genou se fléchit sans contrainte, il apparaît une laxité au niveau du ligament. La laxité progresse des fibres postérieures aux fibres antérieures. (20)

L'anatomie complexe du LCA (nombreuses fibres organisées en ruban) rend complexe l'analyse de son rôle.

Il existe deux faisceaux : antéro-médial et postéro-latéral ; chacun d'eux présente un rôle spécifique.

Le faisceau **antéro-médial** est tendu en flexion et en extension. Il permet le contrôle de la translation antérieure du tibia sous le fémur, lors de ces deux mouvements.

Le faisceau **postéro-latéral** est en tension lors de l'extension. Il joue un rôle dans le contrôle des rotations, notamment les rotations internes.

Dans le plan sagittal, lors des mouvements de flexion et de tiroir antérieur, la mise en charge du faisceau AM est progressive. Le maximum de charge supportée par ce faisceau se fait entre 60° et 90° de flexion.

Globalement, ce faisceau supporte 40% de charge en extension et 45% de charge en flexion, il y a peu de variation et cela est dû à son caractère isométrique.

La charge supportée par le faisceau PL est maximale à 15-20°, sa mise en charge diminue progressivement lors de la flexion du genou.

La figure n°9 permet de mettre en évidence le transfert de charge progressif entre les deux faisceaux.

La variation de la charge inculquée à chaque faisceau, lors de la flexion, permet d'isoler le travail du faisceau AM. Sa mise en charge est progressive. Le faisceau AM a un rôle spécifique sur le contrôle de la laxité antéro-postérieure.

Pour étudier le rôle du LCA dans les rotations, des études ont été menées sur le retour de la stabilité rotatoire post-chirurgicale lors de la reconstruction du faisceau AM isolément et lors de la reconstruction des deux faisceaux.

La reconstruction isolée du faisceau AM ne permet pas de retrouver une stabilité rotatoire complète du genou. La stabilité rotatoire est donc permise par le faisceau PL. Ce faisceau, de par sa courte longueur, l'orientation de ses fibres (très postérieure) et sa tension importante en extension, a un rôle dans le contrôle de l'hyper-extension, médicalement appelé récurvatum.

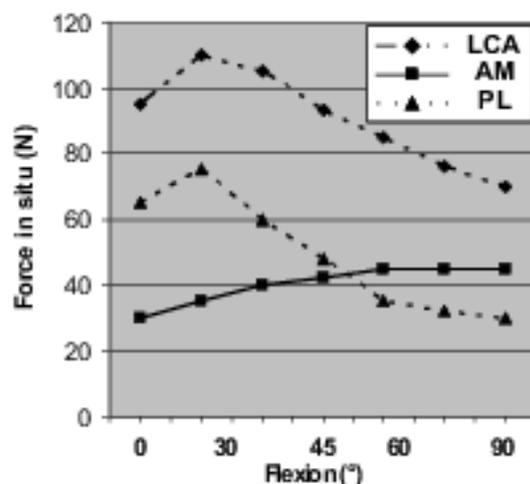


FIGURE 9 : CHARGE SUPPORTEE IN SITU PAR LE LCA ET SES 2 FAISCEAUX (SOURCE : EM-CONSULTE.COM)

• Constitution histologique

Le LCA présente la même composition que les autres ligaments, il est composé : (21)

- D'eau, 60 à 80 % du poids net
- De fibres de collagène de type I (80 %), de type III (9 à 12 %), de type V (2 à 5 %)
- De fibres, disposées de manière longitudinale
- De glycosaminoglycanes $9,89 \pm 0,56$ mg/g de tissu sec
- D'autres protéines (élastine, fibronectine...)
- De fibroblastes
- De mécanorécepteurs
 - Lents de type 1 de Ruffini
 - Sensibles à l'étirement
 - Localisés à la surface du ligament, au niveau de l'insertion fémorale

- Rapides de type 2 de Paccini
 - Sensibles à l'accélération et aux mouvements rapides
 - Localisés aux deux extrémités
 - Important pour la proprioception
- De tension de type Golgi

Ces différents récepteurs ont un rôle important dans la proprioception et renseignent sur les différentes positions du genou.

On peut distinguer trois parties importantes dans ce ligament (22) :

- **Partie proximale** : moins solide, très cellulaire, composée de fibroblastes, de collagène de type 2, et de glycoprotéines ;
- **Partie médiane**, composée de fibroblastes, d'une forte densité de fibres de collagène, d'une zone de cartilage et de fibrocartilage. La particularité de cette zone est sa composition à la fois de fibres élastiques absorbant les contraintes maximales, et de fibres oxytalaniques résistant aux contraintes multidirectionnelles. Cette zone est peu vascularisée ;
- **Partie distale**, la plus solide des trois zones. Riche en chondroblastes et en fibroblastes, pauvre en collagène.

- **Vascularisation**

L'apport sanguin des ligaments croisés provient de l'artère poplitée et de ses collatérales. L'artère poplitée qui naît de l'artère fémorale, est située dans la fosse poplitée.

L'artère poplitée donne l'artère géniculée moyenne et l'artère inféro-latérale, branches nécessaires à la vascularisation du LCA.

Les ligaments croisés sont recouverts d'un repli synovial riche en vascularisation. Le LCA est moins vascularisé que le LCP.

Il existe une zone non vascularisée, au niveau du 1/3 moyen du ligament croisé antérieur. Les zones d'insertions osseuses des ligaments sont elles aussi non vascularisées. En effet, les ligaments croisés ne reçoivent pas de vascularisation osseuse.

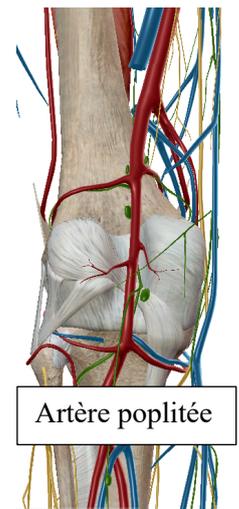
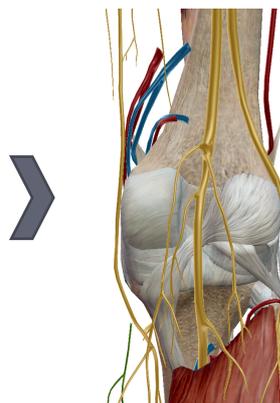


FIGURE 10 : RESEAU VASCULAIRE, FACE POSTERIEURE DU GENOU

- **Innervation**

Le LCA est innervé par une branche du nerf tibial, provenant du nerf sciatique poplité interne.

FIGURE 11 : RESEAU NERVEUX DU GENOU



• **Diagnostic**

Le diagnostic de la rupture du LCA repose sur un examen, regroupant à la fois des tests cliniques, qui restent primordiaux et des imageries complémentaires faites parfois à distance telles que l'IRM, pour confirmer le diagnostic en cas de doute, ou rechercher des lésions associées.

Les tests sont réalisés sur les deux genoux, de manière comparative.

Benjaminse et al. (23) ont réalisé une revue de littérature pour étudier la sensibilité et la spécificité des tests. Les tests les plus communs sont le Lachman Test, le Jerk test et le tiroir antérieur direct.

De nombreux facteurs influencent la sensibilité et la spécificité de ces tests. Voici une liste non exhaustive de ces facteurs : la morphologie du patient, l'appréhension et la douleur du sujet, les lésions méniscales concomitantes, le type de rupture (partielle ou totale), l'hémarthrose. De plus, ces tests sont opérateur-dépendant.

➤ Test Lachman-Trillat

Le sujet est en DD, le genou légèrement fléchi (20°-30°). Le MK positionne ses mains de part et d'autre du genou (main céphalique à l'extrémité inférieure de la cuisse et la main caudale à l'extrémité proximale du segment jambier).

La main caudale imprime des mouvements d'avancée du tibia.

Le test est positif lorsque l'arrêt est mou ou retardé.

Ce test est le test pathognomique de l'atteinte du LCA.

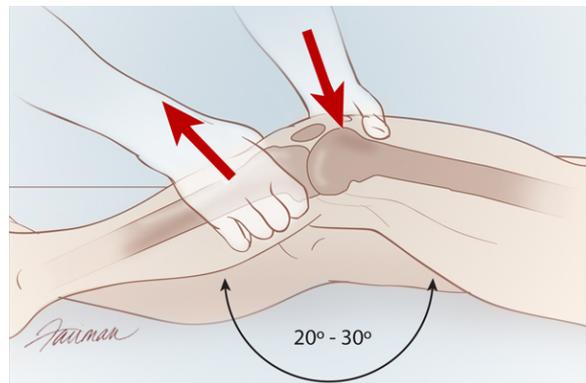
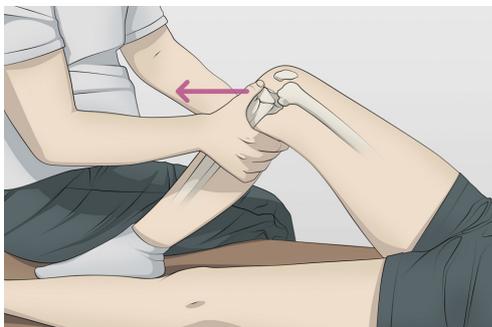


FIGURE 12 : TEST DE LACHMAN (SOURCE : CLINICAL ADVISOR)

Fiabilité du test (23) : avec un intervalle de confiance à 95%, ce test a une sensibilité de 85% et une spécificité de 94%.

➤ Test du tiroir antérieur direct



Le sujet est en DD, le genou fléchi entre 60 et 80°. Le pied doit être bloqué par l'examineur.

Le MK place ses deux pouces de part et d'autre de la tubérosité tibial antérieure.

Il réalise une traction postéro-antérieure

Le test est positif lorsqu'il existe une avancée pathologique et asymétrique du tibia.

FIGURE 13 : TEST DU TIROIR ANTERIEUR DIRECT (SOURCE : [HTTPS://DRSOLEIL.FR/TEST-TIROIR-ANTERIEUR/](https://drsoleil.fr/test-tiroir-anterieur/))

Fiabilité du test (23) : avec un IC à 95%
Spécificité = 92%, sensibilité = 55%

➤ Test du Jerk test

Sujet en DD

Le thérapeute fléchit le genou du sujet (70°-90°). Il empaume son talon, et réalise une rotation interne avec sa main caudale ; avec son autre main, il exerce une force valgisante sur le plateau tibial externe. Le MK tend le genou.

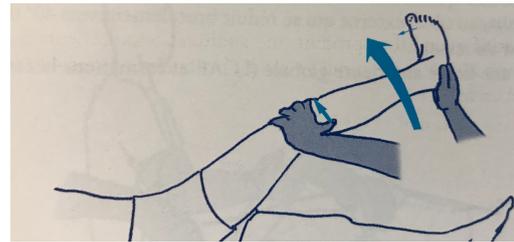
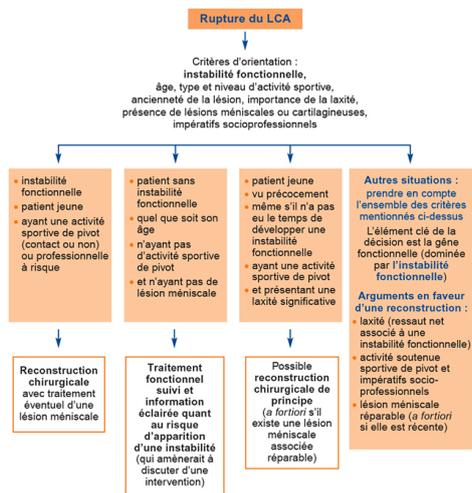


FIGURE 14 : JERK TEST (*journal de traumatologie du sport – tests et examen clinique en pathologie sportive*)

Le test est positif quand il se produit un ressaut brutal avec rotation externe du pied.

Fiabilité du test (23) : avec un IC à 95%, une spécificité = 98%, et une sensibilité = 32% dans des conditions aiguës et 40% dans des conditions chroniques.

INDICATIONS DE LA LIGAMENOTPLASTIE DE RECONSTRUCTION DU LCA CHEZ L'ADULTE



© Haute Autorité de Santé - F38Mars2006 2006 - Imprimé par IME

HAS

FIGURE 15 : ARBRE DÉCISIONNEL OPÉRATION (RECOMMANDATIONS HAS)

Il n'est pas synonyme d'absence thérapeutique, on parle de traitement fonctionnel. Il n'y a pas d'acte chirurgical. De nombreux paramètres rentrent en compte dans cette prise de décision : l'absence de lésion associée, la stabilité du genou, l'âge du patient, la pratique du sport, etc.

Il est prescrit au patient une attelle et de la kinésithérapie à distance. Celui-ci est proposé si la première IRM présente une continuité ligamentaire. Une seconde IRM sera alors réalisée à 6 semaines pour évaluer la progression de la continuité ligamentaire. Si celle-ci est défavorable, un traitement chirurgical pourra être envisagé.

Le patient doit porter une attelle articulée, autorisant seulement 30° d'amplitude (entre 30° et 60° de flexion) pendant 6 semaines pour respecter les zones de tension des différents faisceaux, comme expliqué précédemment dans le chapitre anatomie. Suite à ces 6 semaines, le chirurgien va procéder à un déverrouillage progressif de l'attelle pendant encore 4 à 6 semaines. Cette observance est un point crucial pour la bonne cicatrisation du LCA. En effet, elle permet de garder au maximum les fibres parallèles au toit de l'échancrure ; caractéristique non négligeable pour obtenir 85% de cicatrisation. À la fin des 3 mois de cicatrisation, une rééducation douce et dirigée sera mise en place.

Le but de ce traitement étant de renforcer le genou afin de suppléer le ligament fragilisé.

• Traitement

Suite à ces lésions, il existe deux types de traitement : le traitement conservateur et le traitement chirurgical.

Les deux traitements seront présentés dans leurs grandes lignes. Le but de cette revue est d'intervenir avant la lésion du LCA et donc avant ces deux traitements. En revanche, il semble intéressant d'être informé sur les traitements pour avoir une vision plus globale de la lésion du LCA et de sa prise en charge.

➤ Traitement conservateur

➤ Le traitement chirurgical

Il semble inévitable en présence de lésions associées (triades...), lors de pratique de sport à pivot...

Il faut savoir que la chirurgie n'aura lieu que sur un genou sec, ayant au préalable réalisé une rééducation préopératoire. La rééducation préopératoire a prouvé son efficacité. En effet, elle permet de potentialiser la rééducation postopératoire, et de diminuer les douleurs.

Il existe différentes techniques :

- Réparation du LCA : Suture directe grâce à un système d'ancres résorbables, plus ou moins d'actualité devant le fort taux d'échec (24).
- Reconstruction du LCA
 - Kenneth Jones, utilisation du tendon rotulien (prélèvement tendineux et osseux)
 - Mac Intosh, utilisation du fascia lata
 - DIDT, utilisation des tendons du gracile et du demi tendineux
 - Prélèvement du tendon quadricipital
 - Allogreffe, utilisation de la banque d'organe, non autorisée en France

Voici les spécificités des différents prélèvements :

	Avantages	Inconvénients	Propriétés	Candidats
Tendon rotulien	<ul style="list-style-type: none"> • Excellente résistance • Intégration os-os 	<ul style="list-style-type: none"> • Douleurs antérieures • Cicatrice 	<ul style="list-style-type: none"> • Résistance 2900N • Rigidité 685N/mm 	<ul style="list-style-type: none"> • Sportifs (IKDC I-II): football, basket-ball, volley-ball • Travail manuel lourd
Tendon quadricipital	<ul style="list-style-type: none"> • Excellente résistance • Intégration hybride os-os et os-tendon 	<ul style="list-style-type: none"> • Douleurs antérieures 	<ul style="list-style-type: none"> • Résistance 2900N • Rigidité 685N/mm 	<ul style="list-style-type: none"> • Sportifs (IKDC I-II): ski alpin • Reconstructions ligamentaires multiples • Travail à genoux
Tendons ischio-jambiers	<ul style="list-style-type: none"> • Morbidité faible au site de prélèvement 	<ul style="list-style-type: none"> • Intégration os-tendon 	<ul style="list-style-type: none"> • Résistance 4090N • Rigidité 776N/mm 	<ul style="list-style-type: none"> • Sportifs amateurs • Jeunes femmes • Travail à genoux
Allogreffes	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de prélèvement sur le patient 	<ul style="list-style-type: none"> • Risque de transmission de maladie 	<ul style="list-style-type: none"> • Dépendant de la qualité du greffon 	<ul style="list-style-type: none"> • Patients âgés • Indications particulières • Reconstructions ligamentaires multiples

FIGURE 16 : CARACTERISTIQUES DES DIFFERENTS PRELEVEMENTS (source : revue médicale, <https://www.revmed.ch/RMS/2008/RMS-184/Reconstruction-du-ligament-croise-antérieur-indications-et-techniques>)

Depuis quelques années, le monde de la chirurgie a vu l'émergence de nouvelles techniques mais aussi l'amélioration d'anciennes techniques. Selon l'HAS, en 2006, 15% des ligamentoplasties étaient réalisées à ciel ouvert. Les progrès dans le domaine de la chirurgie ont permis l'émergence d'opération sous arthroscopie. L'arthroscopie permet ainsi de préserver l'intégrité de l'articulation, et de diminuer l'agressivité de la chirurgie.

→ La technique Jaeger, anciennement Mac Intosh, est une ligamentoplastie dite mixte, intra et extra-articulaire. Cette mixité permet un meilleur contrôle du ressaut rotatoire (25).

→ La technique TLS permet une reconstruction avec un seul tendon, celui du demi-tendineux.

→ La ligamentoplastie double faisceaux tente de reproduire l'anatomie du LCA. Cette plastie prend en considération les deux faisceaux (antéro-médial et postéro-médial) dans un but de réduire la laxité antérieure mais aussi le ressaut rotatoire.

→ Dans les années 90, les chirurgiens ont commencé à réaliser des ligamentoplasties du genou assistées par ordinateur. Dodelin et al. (26) évoquent le lien entre les échecs des ligamentoplasties et le positionnement des tunnels. L'utilisation de l'ordinateur permet le bon positionnement des tunnels et le respect de l'élasticité du greffon (recherche du point isométrique : la position du greffon où il subit le moins de tension quelque soit le mouvement).

→ La ligamentoplastie SAMBBA utilise le demi-tendineux. Le LCA abimé n'est pas décroché, la greffe du demi-tendineux se fait autour de celui-ci (27). Le D-T sert alors de renfort. Cette technique permet une récupération plus rapide, et plus efficace. De plus, elle diminue les douleurs post-opératoires.

La technique utilisée dépend du chirurgien et peu importe celle utilisée, la rééducation post opératoire reste sensiblement la même.

IV- HYPOTHESES

Le kinésithérapeute ne pourra pas agir sur tous les facteurs cités précédemment. Toutefois, il me semble important de les évoquer tout de même, pour avoir une vision globale. C'est un ensemble de facteurs qui augmente la probabilité de lésion du LCA chez l'athlète féminine.

Tous ces FDR semblent intriqués. Par exemple, les œstrogènes semblent influencer la biomécanique de l'atterrissage sur une jambe.

Il paraît intéressant d'identifier les différents paramètres propres à la femme, de créer des liens dans la mesure du possible, et de mettre en évidence les éléments modulables.

V- PERTINENCE

a- Intérêt de la revue pour le masso-kinésithérapeute

Le masso-kinésithérapeute doit faire face aux exigences du sportif, en quête d'excellence et celles de l'entraîneur, en quête de résultats. Le MK représente un maillon important de la chaîne, que cela soit en termes de prévention de la blessure ou en termes de rééducation.

L'objectif de cette revue est de permettre au masso-kinésithérapeute d'identifier les facteurs de risque sur lesquels il peut avoir une action préventive. Il existe des facteurs de risque sur lesquels il ne pourra pas agir, tels que l'anatomie propre du genou, ou les hormones. En revanche, grâce à ses connaissances, il peut permettre aux équipes sportives d'adapter les entraînements, en fonction de la période du cycle menstruel par exemple. C'est le cas de l'équipe de football féminin de Chelsea, initiative prise par leur manager Emma Hayes, dans un but de maximiser chaque séance, d'adapter le programme d'entraînement de chacune, ainsi que leur nutrition (diminuer les fluctuations de poids au cours du cycle) (28).

Selon Gobbi et al. seulement 65% des sportifs (tout type de sports confondus) retrouveraient leur niveau post blessure (deux ans après celle-ci). Et selon la méta-analyse réalisée par Ardern et al. 65% des sportifs récupèrent leur niveau, trois ans après la blessure.

C'est donc une nécessité d'agir avant la blessure.

b- Intérêt de la revue pour le sportif

Comme nous l'avons vu précédemment, la rupture, partielle ou totale, du LCA entraîne un coût financier (environ 17 000\$ juste pour l'opération) (3). Elle demande aussi du temps. Une longue période de réhabilitation est à prévoir, pouvant aller de 6 mois si programme accéléré à 9 mois. Elle a un impact indiscutable sur le monde sportif. Elle représente « la bête noire » des blessures. En effet, cette blessure entraîne un impact psychologique en plus de l'impact financier et temporel cité ci-dessus.

Cette blessure entraîne un arrêt définitif de la saison, c'est une année de césure qui n'est pas facile à aborder.

VI- OBJECTIFS

Cette revue a pour but :

- D'améliorer les connaissances du sportif sur les facteurs de risque ;
- De connaître les facteurs de risque modulables ;
- De connaître l'importance de la prévention pour améliorer le geste sportif et ainsi prévenir les blessures.

METHODOLOGIE

VII- METHODE

a- Sources de recherche

J'ai réalisé des recherches sur trois sites différents : PubMed, Kinédoc, et Cochrane.

PubMed :

Moteur de recherche de données bibliographiques dans les domaines de la biologie et de la médecine.

Développé par le Centre Américain pour les informations biotechnologiques (NCBI), il contient plus de 30 millions de références.

C'est un référencement d'études depuis 1946.

PubMed propose un abstract des articles ; pour accéder à la totalité de l'article, un lien est mis à disposition.

Kinédoc :

Moteur de recherche permettant l'accès à des articles, des manifestations scientifiques, des travaux de recherches sur la kinésithérapie. C'est une base documentaire francophone de la masso-kinésithérapie.

Elle permet aussi un accès à la littérature grise, non publiée (mémoire, thèse, congrès, revue scientifique...).

Kinédoc propose un résumé de l'article (généralement une partie de l'introduction), on a accès au nom de l'auteur, à l'année de la publication, du type du document (article, mémoire...), et à un lien permettant de télécharger l'article.

Cochrane :

Créé en 1993, au Royaume-Uni, Cochrane recense 4 000 revues. C'est une base de données qui donne l'accès à un ensemble de revues, de méta-analyses et d'essais cliniques. Ce sont des publications qui se veulent Evidence Based Medicine (EBM) ou Evidence Based Practice (EBP).

b- Types d'études

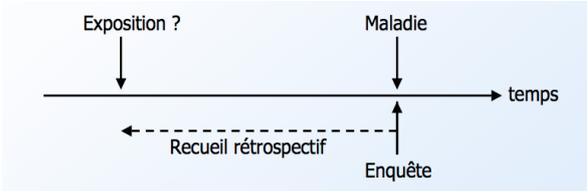
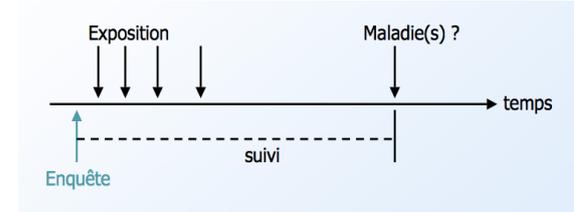
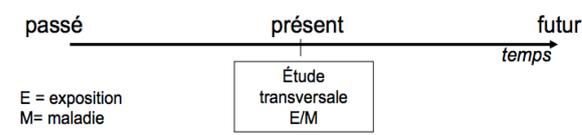
Le but de cette étude est d'identifier, de quantifier et d'interpréter la causalité entre les facteurs de risque et la survenue de la rupture du LCA.

Il est important de comprendre la notion de causalité. Une association est dite causale lorsqu'on peut prouver que le changement de la variable indépendante entraîne un changement de la variable dépendante. La variable indépendante correspond au facteur d'exposition, c'est la variable à l'origine de l'apparition du phénomène, et la variable dépendante correspond à la maladie.

Il existe trois types d'études principales pour les questions étiologiques : cohorte, cas-témoin, transversale.

Pour démontrer l'existence d'un lien de causalité, on étudiera le risque relatif (RR), l'Odd ratio (OR), ou le coefficient de corrélation. Cette quantification permet de juger l'intensité du lien ; en revanche, elle ne permet pas de mesurer l'impact de l'exposition. Un facteur de risque peut être fortement associé à une maladie mais il peut avoir un faible impact sur la population.

TABLEAU 1 : CARACTERISTIQUES DES ETUDES

	Type de patients	Caractéristiques	Limites
Cas – Témoin	Patients avec rupture de LCA Personne saine	<p>Étude rétrospective</p>  <p>FIGURE 17 : SCHEMA D'ÉTUDE CAS TEMOIN (http://cybertim.timone.univ-mrs.fr/)</p> <p>Calcul de l'Odd Ratio</p>	<p>Difficulté d'affirmer la séquence temporelle</p> <p>Le choix des témoins</p> <p>Pas de connaissance sur l'incidence de la maladie et des biais potentiels</p> <p>Inadaptée pour les expositions rares</p>
Cohorte	Exposé au facteur de risque Non exposé	<p>Étude prospective</p>  <p>FIGURE 18 : SCHEMA D'ÉTUDE DE COHORTE (http://cybertim.timone.univ-mrs.fr/)</p> <p>Groupe de personne ayant une caractéristique commune (exposition au FDR) Suivi dans le temps</p> <p>Calcul du RR</p> <p>Possibilité d'avoir des études de cohorte rétrospective</p>	<p>Risque de perdus de vue</p> <p>Coûts</p> <p>Nécessite un échantillon important</p>
Transversale	Groupe de sujet présentant des caractéristiques communes	 <p>FIGURE 19 : ETUDE TRANSVERSALE</p> <p>Facile à réaliser Pas de suivi dans le temps Mesure de la maladie et de l'exposition à un instant t</p>	<p>La chronologie est difficilement appréhendable</p> <p>Niveau de preuve le plus bas</p>

Il existe trois résultats possibles pour le RR ou l'OR :

- $< 1 \rightarrow$ présence de lien de causalité ; le facteur de risque diminue la probabilité d'apparition de la maladie
- $= 1 \rightarrow$ absence de lien de causalité
- $> 1 \rightarrow$ présence de lien de causalité ; le facteur de risque entraîne une augmentation de la probabilité de survenue de la maladie

Pour interpréter les résultats, il est possible d'utiliser le risque d'erreur alpha α . C'est le risque de rejeter l'hypothèse nulle alors que celle-ci est vraie. Le α permet d'interpréter le p (signification statistique). Si le $p < \alpha$, alors la différence est dite statistiquement significative. En revanche cette interprétation ne permet pas de parler de corrélation entre les deux variables (29).

Le coefficient de corrélation de Pearson (utilisé pour des variables dites linéaires) permet d'étudier l'indépendance ou la dépendance entre l'exposition d'un facteur et la survenue de la maladie. Il existe 3 résultats :

- $r = 0 \rightarrow$ corrélation nulle
- $0 < r < 1 \rightarrow$ corrélation positive
- $-1 < r < 0 \rightarrow$ corrélation négative

c- Modèle PICO

TABLEAU 2 : MODELE PICO

Population	Les athlètes féminines post début de puberté. Les différences entre les sexes sont plus importantes après le début de la puberté. Les hormones jouent un rôle dans ce sex-ratio. Les femmes ciblées doivent pratiquer des sports à pivot collectifs.
Intervention	Exposition aux différents facteurs de risque extrinsèques et intrinsèques
Comparaison	Absence de FDR ou FDR des athlètes masculins
Outcomes	Apparition d'une lésion ou rupture du LCA

d- Équation de recherche

((risk factor) AND (((sex gender) OR sex variance) OR sex identity)) AND (((woman athlete) OR women athletes) OR female athlete)) AND ((anterior cruciate ligament injuries) OR ACL)

TABLEAU 3 : ÉQUATION DE RECHERCHE ET MOTS CLÉS

Source	PubMed	Kinédoc	Cochrane
	Mots clés		
Population	Woman athlete OR Women athletes OR Female athlete	Femme	Female athlete
Intervention	Risk factor	Facteur de risque	Female risk factor
Comparative	Absence de facteur de risque ou facteurs de risque chez l'Homme	Absence de facteur de risque	Absence de facteur de risque
Outcomes	Anterior cruciate ligament injury OR ACL injury	Ligament croisé antérieur	Anterior cruciate ligament injury
Nombre d'articles	140	9	45

e- Sélection des études

La sélection des études a été faite en plusieurs étapes :

- **Recherche avancée** sur les trois sites suivants : PubMed, Kinédoc, et Cochrane ;
- **Suppression des doublons**
- **Lecture des titres** ; suppression des titres contenant les mots tels que ligamentoplastie, reconstruction, population cadavérique, étude sur les animaux etc...
- **Lecture des abstracts**, celle-ci nous permet d'avoir une idée de la méthodologie réalisée, le type d'étude et la population étudiée
- **Lecture des textes en entier**

Les critères d'inclusion des articles étaient les suivants :

- Date de publication : de 2005 à aujourd'hui
- Langue : anglais ou français
- Type d'article : j'ai sélectionné seulement des études de cohorte, cas-témoin et transversale
- Population :
 - o Les études peuvent soit analyser seulement la femme, soit la femme et l'homme ;
 - o Les femmes devaient être post début de puberté ;
 - o Les participants devaient pratiquer un sport à pivot collectif ;

Les critères d'exclusion découlent des critères ci-dessus, ils ne seront donc pas cités.

f- Méthode d'extraction des données

Lors de la lecture des articles, seulement les données concernant la lésion du ligament croisé antérieur et ses facteurs de risque seront extraits.

g- Analyse des données

La grille de lecture utilisée pour évaluer la validité interne, dans les études de **cohorte**, les études **cas témoins**, et les études **transversales** est la Newcastle-Ottawa Scale (annexes 1, 2 et 3).

Elle a été créée grâce à la collaboration de deux universités, l'université d'Ottawa au Canada, et l'université de Newcastle en Australie.

Elle est simple d'utilisation, la notation des articles se fait par un système d'étoile. Cette échelle permet de juger la **sélection** des groupes, la **comparabilité**, et la **détermination** de l'exposition ou du résultat.

La Newcastle-Ottawa Scale a été adaptée pour les trois types d'études, avec des items bien distincts.

En revanche, la notation reste la même pour les différentes adaptations : une seule étoile peut être attribuée pour la sélection et l'exposition ou les résultats, et deux étoiles pour la comparabilité.

Le résultat maximal attribué est de 9 étoiles pour les études de cohorte et cas-témoin ; et de 8 étoiles pour les études transversales.

Le score obtenu permet de classer les études en trois niveaux :

- Entre 0 et 3 → faible qualité méthodologique
- Entre 4 et 6 → qualité moyenne
- > ou = 7 → haute qualité

Voici quelques exemples des différents items de l'échelle en fonction de l'étude analysée :

TABLEAU 4 : ITEMS DE LA NOS

	Sélection	Comparabilité	Exposition/Résultat
Cas-Témoin	<ul style="list-style-type: none"> • La définition des cas est-elle adéquate ? • Les cas sont-ils représentatifs de la population ? • Les critères de sélection sont-ils les mêmes entre le groupe témoin et le groupe des cas ? 	<ul style="list-style-type: none"> • Les deux groupes sont-ils comparables par rapport au facteur principal ? aux facteurs secondaires ? 	<ul style="list-style-type: none"> • La même méthode a été utilisée ? • Absence de réponse est-elle comparable entre les deux études ?
Cohorte	<ul style="list-style-type: none"> • La population exposée est-elle comparable à celle non exposée ? • Les critères de sélection sont-ils les mêmes entre les exposés et les non exposés ? 	<ul style="list-style-type: none"> • Les deux groupes sont-ils comparables ? 	<ul style="list-style-type: none"> • L'exposition aux facteurs a été fait en aveugle ? • Les perdus de vue sont-ils comparables entre les deux groupes ? • Le suivi a-t-il été assez long ?
Transversale	<ul style="list-style-type: none"> • L'échantillon est représentatif de la population ? • La taille de l'échantillon est-elle justifiée et satisfaisante ? 	<ul style="list-style-type: none"> • Les sujets sont comparables dans les deux groupes ? 	<ul style="list-style-type: none"> • L'évaluation a été faite à l'aveugle ? • Le test statistique est validé ?

Voici un exemple des types de biais recherchés :

- **Biais de sélection** : les groupes sont-ils semblables ? les critères sont-ils semblables ?
- **Biais de confusion** : ensemble d'erreurs liées à l'interprétation des liens entre la variable dépendante et indépendante, mauvaise analyse ou facteur qui n'a aucun lien de causalité.
- **Biais de mesure (investigation ou information)** : l'information sur la survenue de la maladie ou sur l'exposition au facteur de risque est-elle semblable dans les deux groupes ? mesure incorrecte du facteur d'exposition ?

Il existe d'autres biais propres à chaque étude qui seront mis en évidence dans l'onglet résultat.

Il est important de vérifier la **validité externe** et la **pertinence clinique** :

- La validité externe permet de vérifier la cohérence des résultats de l'étude avec les autres études traitant ce sujet et avec les connaissances existantes.
- La pertinence clinique permet d'évaluer l'effet de taille de l'étude, et permet de savoir si le résultat est applicable dans la pratique de tous les jours.

h- Synthèse des résultats

Les résultats seront présentés dans un tableau, article par article dans un premier temps. Ensuite, les données seront rassemblées par facteur de risque, permettant ainsi une comparaison des résultats entre les différents articles.

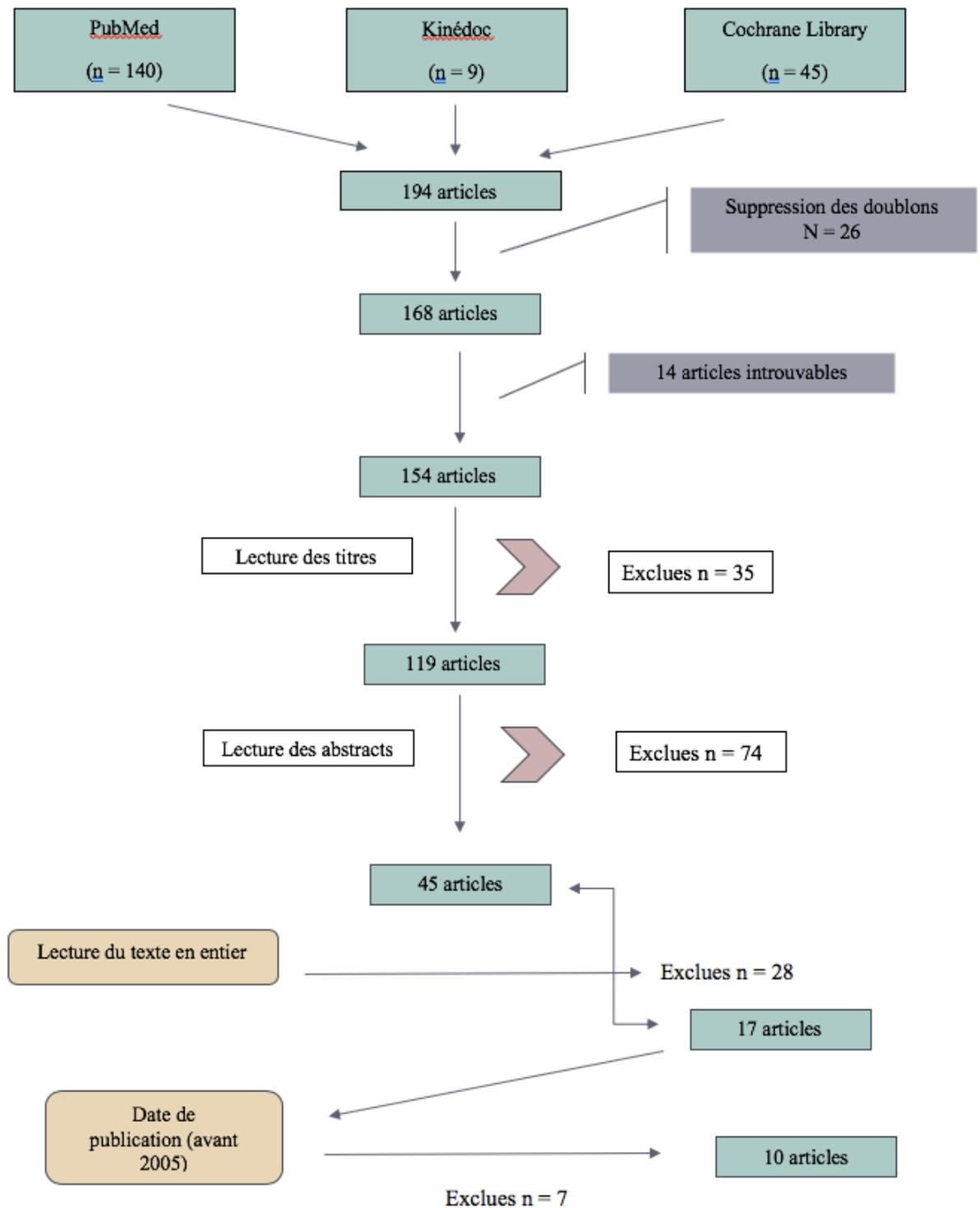
Les facteurs de risque juste cités par les articles dans leur introduction ou dans leur discussion seront brièvement exposés, afin de donner au lecteur une idée de tous les FDR et de l'avancée des recherches.

Grâce à la notation de la méthodologie, à l'aide de la NewOttawa Scale, et la mise en évidence des biais, les études présentant un score faible ou de nombreux biais, verront leurs résultats pondérés.

RESULTATS

VIII- DESCRIPTION DES ETUDES

a- Diagramme de flux



b- Études exclues

Les textes exclus après la lecture des titres et des abstracts ne seront pas présentés, leur nombre important ne permet pas une présentation simplifiée sous forme de tableau.

Ci-dessous, une rapide présentation des études exclues à la lecture entière ainsi que le motif d'exclusion.

TABLEAU 5 : ÉTUDES EXCLUES

<u>Auteurs /Année</u>	<u>Type d'étude</u>	<u>Motif d'exclusion</u>
Santos Andrade – 2017	Essai clinique randomisé	Pas de lien direct avec l'apparition d'une blessure du LCA
Hogg - 2018	Étude transversale	Pas de lien direct avec l'apparition d'une blessure du LCA
Cronstrom - 2016	Revue de littérature	Type d'étude
Schneider - 2017	Étude rétrospective transversale	Population ayant subi une reconstruction du LCA
Chappell - 2016	Étude transversale	Résultats non mis en corrélation avec la lésion du LCA
Iguchi - 2013	Essai clinique randomisé	N'étudie pas le bon sport (l'athlétisme)
Hewett - 2007	Revue systématique	Type d'étude
Grabau - 2011	Revue systématique	Type d'article et langue (article en allemand)
Rashner - 2012	Étude longitudinale	Sport non collectif
Hashemi - 2009	Étude de cohorte	Ce ne sont pas des athlètes
Myklebust - 1998	Étude de cohorte prospective	Article ancien – traite surtout les mécanismes de rupture et l'incidence des blessures
Chaudhari - 2007	Étude transversale	Sports réalisés non précisés et ce ne sont pas des athlètes
Brophy - 2010	Étude observationnelle rétrospective	Mauvaise population
Myer - 2005	Étude transversale	Pas de précision sur le type de sport
El Ashker - 2015	Étude transversale	Pas de précision sur le type de sport
Gaucheron - 2015	Revue de littérature	Type d'article
Zazulak - 2007	Étude de cohorte	Pas de précision sur le type de sport
Sbiccoli - 2005	Étude transversale	Pas de précision sur le type de sport
Hoshino – 2011	Étude de cohorte	Pas de précision sur le type de sport
Posthumus - 2009	Étude cas - témoin	Mélange de sport à pivot et de sport dans l'axe / individuel et collectif
Ford - 2006	Étude transversale	Âge non précisé
Nagano – 2007	Étude transversale	Mélange de sport collectif et individuel
Hurd - 2005	Étude transversale	Programme de prévention
Brophy - 2009	Étude descriptive	Type d'étude et pas de lien direct avec le risque de lésion du LCA
Beaulieu - 2009	Étude transversale	Pas de corrélation mise en évidence
Shultz – 2009	Étude transversale	Pas de précision sur le type de sport pratiqué
Adachi – 2007	Étude cas-témoin	Série de cas – niveau de preuve trop faible

Ci-dessous, une présentation brève des articles utilisés pour la rédaction de mon mémoire (articles exclus de la synthèse qualitative et quantitative).

TABLEAU 6 : ÉTUDES UTILISEES POUR LA REDACTION

Auteurs & année de publication	Type d'étude	Caractéristiques	Raisons d'exclusion
Hewett 2006	Étude descriptive	Description des différents facteurs de risque	Type d'étude
Price 2017	Étude descriptive	Description des différents facteurs de risque non modifiables	Type d'étude
Hansen 2016	Étude descriptive	Effet des hormones (œstrogènes et androgènes) sur les tendons	Type d'étude
Mountcastle 2007	Étude épidémiologique descriptive	Étude sur les sports entraînant une incidence plus élevée de rupture/blessure du LCA chez la Femme Les mécanismes de rupture	Type d'étude et le sujet
Chadwick 2007	Méta-analyse	Incidence des déchirures du LCA en fonction du sexe, du sport et de la prévention	N'étudie pas le FDR mais l'incidence des lésions du LCA
Seil 2016	Étude de cohorte prospective	Permet d'identifier les caractéristiques des personnes se blessant le LCA	N'étudie pas les FDR
Hutchinson 2016	Étude de cohorte	Étudie les déséquilibres neuromusculaires des membres inférieurs et du tronc chez les pré-adolescents	Mauvaise population : les pré-adolescents
Owens 2007	Étude épidémiologique descriptive	Étudie l'incidence des blessures	Type d'étude et sujet
Cheatham 2010	Étude épidémiologique descriptive	Étudie l'incidence, l'anatomie, les types de chirurgie et les programmes de prévention	Type d'étude et sujet
Walden 2011	Étude de cohorte	Étudie l'incidence, les caractéristiques et la période de blessure des joueurs de football	Ne traite pas les FDR
Mc Clay Davis 2001	Étude épidémiologique descriptive Concensus	Met en évidence ce qu'on connaît déjà et expose ce qui doit être mis en place	Type d'étude
Boles 2010	Étude épidémiologique descriptive	Mise en évidence des différents facteurs de risque	Type d'étude
Markus Waldén 2011	Revue de littérature	Épidémiologie et sex-ratio	Sujet
Harmon 2000	Étude descriptive	Facteurs de risque	Type d'étude
Grabau 2011	Revue systématique	Permet d'étudier les mécanismes de rupture, les FDR et les sports à risque	Type d'étude

c- *Études incluses*

Les protocoles de fatigue ne seront pas présentés dans cette partie, ils apparaîtront dans la partie discussion et analyse des résultats.

Hewett – 2005 (2)

Titre : Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury

Type d'étude : Étude de cohorte

Population : 205 adolescentes, population suivie pendant deux saisons d'été pour le football, et une saison d'hiver pour le basket-ball ; 13 mois de suivi en tout.
9 blessées (7 dans le football et 2 dans le basket-ball) à la fin de l'étude ; blessure du LCA confirmée par une arthroscopie ou une IRM.

Les deux groupes sont similaires pour l'âge, le poids et la taille.
Critères d'inclusion et d'exclusion non précisés.

Sports pratiqués → football, basket-ball et volley-ball

Facteur de risque étudié : la biomécanique lors de la réception de saut

Protocole fiable, précisé et expliqué en détail dans l'article, schématisé par la figure 20 (coefficient de corrélation intra-classe > 0,93)

Le **Drop Vertical Jump** correspond à un saut réalisé à partir d'une boîte (hauteur 31 cm). Les pieds sur la boîte doivent être placés à 35 cm l'un de l'autre.

Lors de l'atterrissage, les athlètes ont pour consigne de réaliser un saut vertical (bras en extension au-dessus de la tête). Ils doivent sauter le plus haut possible.

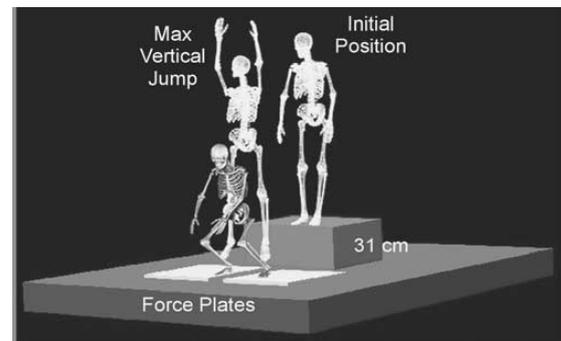


FIGURE 20 : BIOMÉCANIQUE DU SAUT VERTICAL

Chappell – 2005 (16)

Titre : Effect of fatigue on knee kinetics and kinematics in stop-jump tasks

Type d'étude : Étude transversale

Population : 20 sujets (10H et 10F)

Sports : basketball, volleyball, football, pratique du sport au moins 3 fois / semaine, mais pas d'entraînement professionnel.

Facteur de risque étudié : la fatigue

Objectif : analyser les effets de la fatigue sur la cinétique et cinématique du genou des athlètes lors de trois sauts en arrêt

Protocole : 3 types de sauts (fig. 21), 5 essais pour chacun.

Les sujets avaient pour consignes :

- Un décollage sur un pied
- Un atterrissage sur les deux pieds
- Puis de nouveau un décollage sur les deux pieds, le sujet devant sauter le plus haut possible.

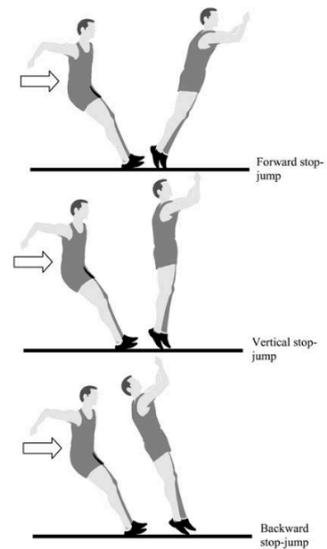


FIGURE 21 : SCHEMATISATION DU PROTOCOLE

McClellan – 2007 (18)

Titre : Impact of fatigue on gender-based high-risk landing strategies

Type d'étude : étude transversale

Population : 10 hommes et 10 femmes en NCAA Division I (taille de l'échantillon justifiée)

Sports → basket-ball, volley-ball ou soccer (en moyenne 10 ans de pratique sportive)

Critères d'inclusion :

- Pas d'antécédent de maladie cardiovasculaire ni respiratoire
- Pas d'ATCD de blessure du LCA
- Pas d'ATCD d'opération

Facteur de risque étudié : la fatigue

Objectif : examiner l'effet de la fatigue neuromusculaire sur les muscles du membre inférieur

Protocole : Réaliser 10 sauts avant et après le protocole de fatigue

Les sauts sont réalisés à partir d'une boîte (50 cm de hauteur). Lors de l'atterrissage (sur les deux pieds), les sujets avaient pour consigne de sauter le plus haut possible (Drop Vertical Jump)

Hanson – 2008 (30)

Titre : Muscle activation during side-step cutting maneuvers in male and female soccer athletes

Type d'étude : étude transversale

Population :

40 personnes = 20 femmes et 20 hommes

Critères éligibles pour participer à l'étude :

- Âge entre 18 et 25 ans
- Faire partie d'une équipe de football
- Pas d'antécédents de lésions du LCA
- Pas de blessure sérieuse dans le mois précédent l'étude (et donc pas plus de 3 jours d'absence sur le terrain)
- Dernier entraînement physique au moins 24H avant les tests

Tous les tests ont été effectués pendant l'intersaison de football (environ 6 semaines après le dernier match ou entraînement officiel).

Objectif : étudier l'activation du quadriceps, des ischio-jambiers et leur co-activation, l'activation des muscles fessiers (le moyen et le grand fessier) lors des mouvements de pas de côté.

Facteur de risque étudié : contrôle neuromusculaire

Protocole : deux manœuvres à réaliser

- Coupe de pas de côté en courant
- Coupe de pas de côté après avoir sauté d'une boîte de 30 cm de hauteur

Hart – 2008 (13)

Titre : lower extremity joint moments of collegiate soccer players differ between genders during a forward jump

Type d'étude : Étude transversale

Population : 8 hommes et 8 femmes

Sport : football en division I

Critères d'inclusion :

- Genou sain
- Aucune blessure récente aux membres inférieurs au cours des 6 derniers mois
- Aucun problème d'équilibre

Les sujets étaient tous des athlètes expérimentés qui connaissent bien la tâche à réaliser.

Facteur de risque étudié : la biomécanique lors d'atterrissage unipodal

Objectif : comparaison de la cinétique et cinématique lors de la réception d'un saut en avant entre les 2 sexes.

Protocole : 5 atterrissages sur une seule jambe à partir d'un saut de 100 cm vers l'avant. Sauter de la jambe droite et atterrir avec la même jambe.

Borotikar – 2008 (19)

Titre : Combined effects of fatigue and decision making on female lower limb postures-central and peripheral contributions to ACL injury risk

Type d'étude : Étude transversale

Population : 24 femmes de la division 1 de la NCAA

Sports : basketball, football, et volley-ball.

Critères d'exclusion :

- Antécédents de blessure ou d'opération du genou
- Douleur au niveau du MI avant le test
- Blessure du MI au cours des 6 derniers mois
- Réalisation d'exercices dans les 24h qui précèdent la séance
- Grossesse

Facteurs de risque étudiés : la fatigue et la prise de décision combinée

Objectif : étudier l'effet combiné de la fatigue neuromusculaire et de la prise de décision sur la cinématique du membre inférieur lors des tâches d'atterrissage sur une seule jambe

Protocole : réaliser avant et après la fatigue et avec ou sans anticipation.

3 stimuli lumineux :

- L1 → réception sur le pied gauche et déplacement rapide sur la jambe droite
- L2 → inverse de L1
- L3 → atterrissage sur les deux pieds

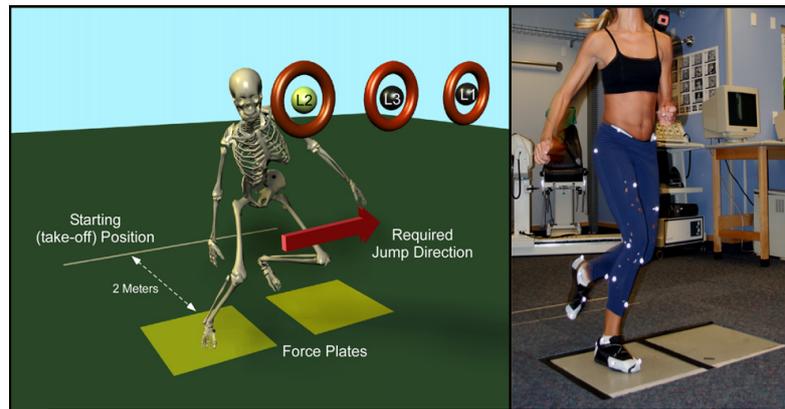


FIGURE 22 : SCHEMATISATION DU PROTOCOLE

Avec anticipation → le

stimulus lumineux était déclenché 5 secondes avant la phase de mouvement

Sans anticipation → stimulus lumineux déclenché 350 ms avant l'atterrissage.

Ford – 2010 (14)

Titre : longitudinal effects of maturation on lower extremity stiffness in adolescent athletes

Type d'étude : Étude transversale

Population : 315 sujets sélectionnés : 50 hommes et 265 femmes.

L'échantillon a été classé en 2 sous-groupes, pubère (n = 182) et post-pubère (n = 133).

Les sujets ont réalisé deux tests, un au début de l'étude et un approximativement un an après.

Sports → basketball ou football

Facteur de risque étudié : la raideur articulaire active

Objectif : étudier l'effet de la puberté sur la raideur articulaire active et comparer les hommes et les femmes

Protocole : réaliser trois essais de saut vertical après avoir sauté d'une boîte de 31 cm de hauteur, le **Drop Vertical Jump** ; même protocole que l'étude réalisée par Hewett et al. (2), citée précédemment.

Bencke – 2011 (8)

Titre : The influence of gender on neuromuscular activity during side cutting

Type d'étude : Étude transversale

Population : 12 femmes et 12 hommes

Critère d'inclusion : Sans antécédents de blessure au genou

Nombre de participants justifié (24 sujets pour obtenir 80% de puissance statistique, et une différence pertinente minimale de 15% et $\alpha = 5\%$).

Sport : handball, 2^{ème} ligue nationale

Facteur de risque étudié : pré-activation du quadriceps et des ischio-jambiers lors des mouvements en coupe latérale

Objectif : étudier le schéma de pré-activation musculaire dans les mouvements de déplacements latéraux, et étudier les différences entre les deux sexes.

Protocole : Le sujet devait faire un pas en avant suivi d'un déplacement latéral. Chaque sujet devait réaliser 10 essais, avec une pause de 45 secondes entre chaque. L'efficacité du déplacement était jugée sur la qualité du transfert de poids.

Sigward – 2015 (31)

Titre : Predictors of frontal plane knee moments during side-step cutting to 45° and 110° men and women : implications for ACL injury

Type d'étude : étude transversale

Facteur de risque : la biomécanique lors de changement de direction

Objectif : Comparer la cinématique et la cinétique du genou entre la coupe 45° et la coupe 110°

Population :

45 athlètes = 20 F et 25H ; tous les sujets étaient sains lors de le l'étude.

Critères d'inclusion :

- Sport pratiqué → le football
- Inscrits dans un club de football avec des programmes d'entraînements similaires, 3 à 5 jours / semaine
- Puberté terminée
- Tous sains au début de l'étude

Critères d'exclusion :

- Antécédents de blessure entraînant une laxité ligamentaire au niveau de la cheville, du genou ou de la hanche
- Tout antécédent pouvant nuire à leur condition physique

Protocole :

Le sujet court d'abord pendant 4m en ligne droite. Un signal lumineux est déclenché 3m avant la plaque de force. Le signal lumineux indique au hasard la direction de coupe : course droite, coupe à 45° ou coupe à 110° (schématisé avec la figure 23).

4 essais pour chaque coupe ont été acceptés.

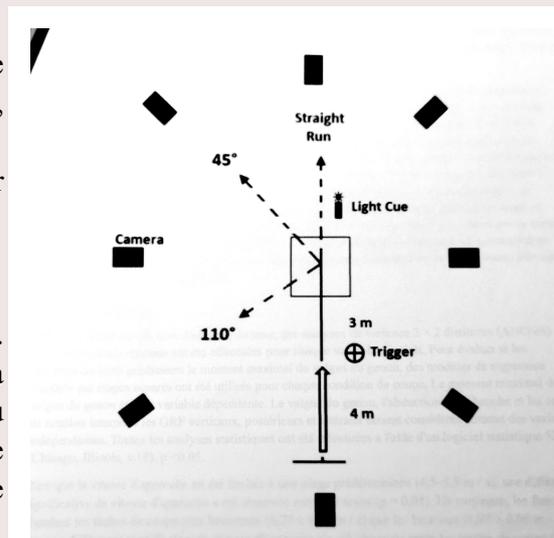


FIGURE 23 : SCHEMATISATION DES TACHES DE COUPE LATERALE

Welthin – 2015 (32)

Titre : Influence of gender on trunk and lower limb biomechanics during lateral movements

Type d'étude : Étude transversale

Population : 12 femmes et 12 hommes

Sports d'équipe → football, basketball, handball et volleyball

Critères d'inclusion :

- Plus de 7 ans de pratique
- Pas d'antécédents de lésions du LCA, ni de lésions neurologiques
- Pas de douleurs aiguës liées à des articulations ni à des courbatures

Facteurs de risque étudiés : le balayement articulaire du tronc, de la hanche et du genou dans le plan frontal et le contrôle neuromusculaire

Objectifs : étudier la stabilité du tronc selon le sexe lors de sauts latéraux réactifs et son association avec la biomécanique des membres inférieurs

Protocole : réalisation de sauts réactifs latéraux (distance du saut = 124% de la longueur de la jambe de chaque individu). Le sujet avait pour consigne de regarder devant soi pendant le saut. À partir d'une position debout, le sujet devait sauter en poussant sur la jambe gauche, après atterrissage sur la jambe droite, le sujet devait repartir en poussant sur cette dernière.

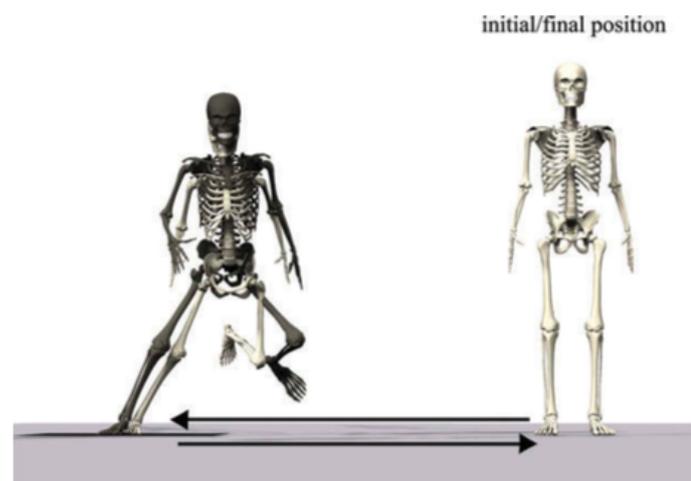


FIGURE 24 : SCHEMATISATION DU SAUT LATERAL REACTIF

IX- RISQUES DE BIAISa- *Grille NOS*

TABLEAU 7 : NOS (ETUDE COHORTE)

Étude de Cohorte		Sélection				Comparabilité ★★	Résultat			Total /9
Auteur	Année	Représentativité des exposés ★	Sélection des non- exposés ★	Vérification de l'exposition ★	Issue non présente ★		Vérification de l'issue ★	Suivi suffisamment long ★	Suivi des cohortes ★	
Hewett	2005	★	★	★	★	★	★	★	★	8

TABLEAU 8 : NOS (ETUDES TRANSVERSALES)

Étude Transversale		Sélection				Comparabilité ★★	Résultat		Total /8
Auteurs	Année	Représentativité de l'échantillon ★	Taille de l'échantillon justifiée ★	Similitude des deux groupes ★	Détermination de l'exposition ★		Vérification de l'issue ★	Test statistique ★	
Chappell	2005	★			★	★	★	★	5
McClean	2007	★	★	★	★	★	★	★	7
Hanson	2008	★			★	★	★	★	5
Hart	2008	★			★	★	★	★	5
Borotikar	2008	★	★	★	★	★★	★	★	8
Ford	2010	★			★	★	★	★	5
Bencke	2011	★	★	★	★	★★	★	★	8
Sigward	2015	★			★	★	★	★	5
Welthin	2015	★			★	★	★	★	5

b- Les biais

TABLEAU 9 : PRESENTATION DES DIFFERENTS BIAIS

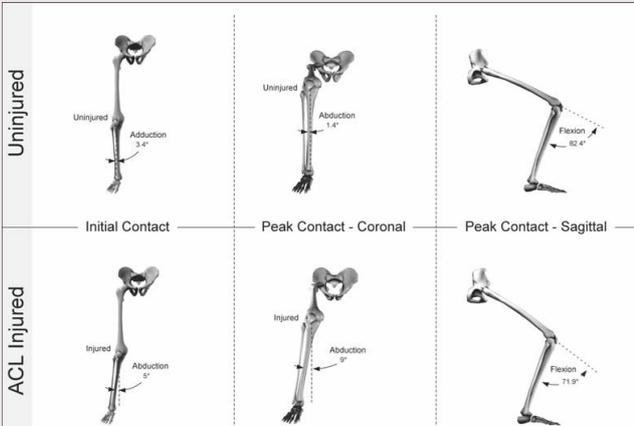
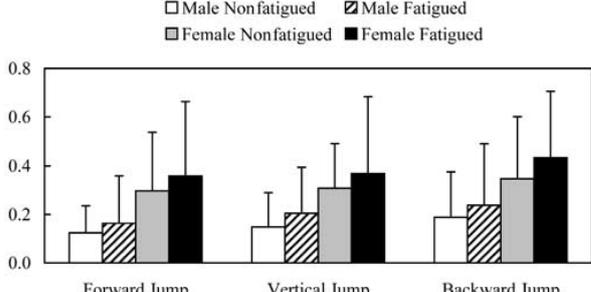
Études	Biais propres à l'étude	Biais de mesure	D'évaluation	De confusion
Hewett - 2005	<p>Pas représentatif de notre population cible → en effet, nous ne savons pas si les femmes choisies sont post début de puberté ; l'âge est situé entre $15,8 \pm 1$ pour un groupe et $16,1 \pm 1,7$ pour le second groupe. On peut imaginer que la puberté a commencé, puisque la moyenne d'âge du début de la puberté chez la femme est située entre 11 et 13 ans. En revanche, puisque ce n'est pas précisé, cela constitue un biais.</p> <p>Pas de précision sur les critères d'inclusion et d'exclusion.</p> <p>Pas de séparation entre les 3 sports.</p> <p>Pas de précision sur l'absence de conflit d'intérêt.</p> <p>Biais de sélection : ce sont des sportifs, 3 types de sport, on ne peut donc pas généraliser les résultats.</p> <p>La corrélation avec le temps.</p>	25 capteurs ont été posés sur chaque sujet de manière manuelle, même si la position des capteurs a été schématisée pour permettre de reproduire l'essai, il reste tout de même opérateur-dépendant.	Ce sont les entraîneurs « certifiés » qui ont rapporté l'exposition au facteur, les blessures et le mécanisme de rupture du ligament croisé antérieur.	Il existe de nombreux facteurs qui peuvent intervenir dans l'interprétation des résultats, la position du pied, l'angle du quadriceps, l'anatomie, l'état du cycle menstruel...
Chappell - 2005	<p>Biais de sélection : échantillon trop petit et joueurs entraînés.</p> <p>Pas représentatif de notre population cible, pas de précision sur la puberté des athlètes.</p> <p>Pas de précision sur l'absence de conflit d'intérêt.</p> <p>Protocole de fatigue différent des autres protocoles.</p>	11 marqueurs réfléchissants → peu reproductible.		
McClellan - 2007	<p>Biais de sélection : ce sont des athlètes entraînés.</p> <p>Explication du protocole de fatigue ne correspond pas au schéma explicatif de celui-ci.</p>	29 marqueurs réfléchissants externes ont été posés sur chaque sujet. La position correspond à des emplacements anatomiques prédéfinis. La position des marqueurs est		L'auteur valide son hypothèse. Il exprime toute fois qu'il ne sait pas par quel mécanisme opère la fatigue : un mécanisme

	<p>Protocole de fatigue non identique aux autres études.</p> <p>Pas de précision sur l'absence de conflit d'intérêt.</p>	<p>opérateur-dépendant. L'auteur explique qu'une seule personne s'occupait de la pose des électrodes pour minimiser les biais inter-évaluateurs.</p> <p>Il existe un risque potentiel de données erronées résultant de frottements lors des mouvements excessifs de la peau. Il existe des techniques plus précises et avec moins de données erronées pour examiner les mouvements articulaires. L'auteur n'a pas choisi ces techniques car elles sont soit très invasives soit irradiantes.</p>	<p>périphérique, centrale ou combiné.</p> <p>Modèle de fatigue générale non standardisé ne permettant pas de mesurer une diminution de force et/ ou de puissance musculaire.</p> <p>Pas de notion de la progression de la fatigue.</p>
<p>Hanson - 2008</p>	<p>Biais de sélection : footballeurs → difficulté à appliquer les résultats à d'autres sports et à la population générale ; taille de l'échantillon trop petit.</p> <p>Pas représentatif de notre population cible pour notre revue, on ne sait pas si les femmes ont débuté leur puberté. On suppose que oui, puisque les athlètes sont âgées entre 18 et 25 ans.</p> <p>Cette étude étudie l'activation musculaire et non la force musculaire. La force musculaire est influencée par l'activation musculaire, la longueur du muscle et la vitesse de contraction. Si l'activation musculaire diffère entre les sexes, cela peut fausser le résultat.</p>	<p>Les électrodes sont posées par une tierce personne, donc dépendant de celle-ci. En revanche, une partie de l'article est dédiée à l'explication du positionnement des électrodes, le positionnement est ensuite vérifié par des tests musculaires manuels et en visualisant le résultat sur un oscilloscope.</p> <p>La position utilisée pour mesurer la contraction isométrique maximale volontaire peut avoir influencée l'amplitude d'activation ; mais ce biais vaut pour tous les participants.</p>	<p>Les différences neuromusculaires peuvent être influencées par le niveau de compétence, le niveau d'entraînement, l'expérience antérieure, le poste occupé, l'âge...</p> <p>L'étude tente de contrôler au mieux ce biais en prenant des athlètes de la même division, ayant les mêmes entraînements, et une expérience similaire dans l'exécution des tâches demandées.</p>
<p>Hart - 2008</p>	<p>Biais de sélection : échantillon trop petit et athlètes entraînés.</p> <p>Pas représentatif de notre population cible, pas de précision sur la puberté des athlètes.</p> <p>Eight male (age = 19.1 ± 1.4yr, mass = 77.1 ± 6.9kg, height = 182.9 ± 2.4cm) and eight female (age = 22.0 ± 2.1 yr, mass = 61.8 ± 3.2 kg, height = 168.6 ± 6.8 cm)</p> <p>Pas de précision sur l'absence de conflit d'intérêt.</p>	<p>16 marqueurs réfléchissants posés par une tierce personne : peu reproductible.</p> <p>Peu d'explication sur le protocole : peu reproductible.</p>	

Borotikar - 2008	Protocole de fatigue non identique aux autres études et ne correspond pas à une fatigue apparaissant lors d'un match.	28 marqueurs réfléchissants posés par une tierce personne : peu reproductible. Marqueurs posés sur une peau rasée, fixés avec un ruban élastique, et les sujets ont ensuite enfilé un collant pour minimiser au maximum les frottements et le déplacement des électrodes.		Les sujets ne présentent pas tous le même seuil de fatigue neuromusculaire maximale. Les sujets ont peut-être atteint un épuisement maximal avant la fatigue maximale.						
Ford - 2010	Biais de sélection : ce sont des sportifs, 2 types de sport, on ne peut donc pas généraliser les résultats. Utilisation d'un modèle simplifié pour évaluer la raideur articulaire active, ignorant ainsi les diverses composantes (degrés de liberté, la viscosité, le temps de réaction des réflexes articulaires) du système poly-articulaire.	37 marqueurs réfléchissants posés par une tierce personne : peu reproductible. L'utilisation des moments articulaires externes ne permet ni d'indiquer les muscles actifs ni l'ampleur des forces musculaires individuelles générées à un instant t. Il faudra donc faire attention au moment de l'interprétation des résultats.								
Bencke - 2011	Biais de sélection : ce sont des handballeurs, on ne peut donc pas généraliser les résultats. Pas représentatif de notre population cible, pas de précision sur la puberté des athlètes, mais l'âge des athlètes laisse sous-entendre que la puberté a déjà commencé, voire terminée. <table border="1" data-bbox="331 938 891 1007"> <thead> <tr> <th></th> <th>Males</th> <th>Females</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Age (years)</td> <td>23.1 (3.4)</td> <td>22.7 (3.1)</td> </tr> </tbody> </table>		Males	Females	Age (years)	23.1 (3.4)	22.7 (3.1)	Électrodes posées par une tierce personne : peu reproductible. Lors du test, les électrodes et les fils ont été attachés à la peau avec du ruban pour limiter les frottements et éviter les données erronées. L'amplitude de l'EMG varie en fonction des caractéristiques des individus (l'épaisseur de la peau, la quantité de tissu adipeux...).	Les conditions en laboratoire ne reproduisent pas les conditions aléatoires présentes lors d'un match (changement de direction face à un adversaire par exemple).	
	Males	Females								
Age (years)	23.1 (3.4)	22.7 (3.1)								
Sigward - 2015	Biais de sélection : ce sont des footballeurs, avec des critères d'inclusion précis → difficultés à appliquer les résultats à d'autres sports et à la population générale.	Des marqueurs réfléchissants ont été positionnés sur les repères osseux précis, mais ni le nombre ni l'emplacement ne sont évoqués. Le positionnement est dépendant de la personne et donc peu reproductible.								
Welthin - 2015	Biais de sélection : ce sont des sportifs, 3 types de sport → pas de généralisation des résultats. Pas représentatif de notre population cible : absence d'information sur la puberté.	17 marqueurs réfléchissants positionnés sur des repères anatomiques précis par une tierce personne : peu reproductible ; pareil pour les électrodes positionnées sur les différents muscles.								

X- **RESULTATS**

a- *Présentation des résultats de chaque étude*

Étude	Résultats
Hewett - 2005	<p style="text-align: center;">Intervalle de confiance à 95% et $\alpha = 0,05$</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 60%;">  <p style="text-align: center;">FIGURE 25 : LA BIOMECHANIQUE LORS DE L'ATTERRISSAGE</p> </div> <div style="width: 35%;"> <p>La biomécanique diffère entre les athlètes saines et blessées. L'abduction du genou au contact initial et lors du déplacement maximal était supérieure chez les athlètes blessés ($p < 0,01$). L'angle de flexion maximum du genou à l'atterrissage était inférieur chez les athlètes blessés ($- 10,5^\circ$) ($p < 0,01$).</p> <p><u>Chez les athlètes blessés :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Moment d'abduction externe + important $p < 0,001$ • \uparrow de 20% de la force de réaction du sol (verticale) </div> </div> <div style="margin-top: 10px;"> <p><u>Chez les athlètes saines :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Corrélation entre l'angle maximal de flexion de genou et la force de réaction ($R=0,33$ et $p < 0,001$) • Corrélation entre la flexion de genou (l'activité du quadriceps) et la force maximale ($R=0,63$ $p < 0,01$) </div>
Chappell - 2005	<p style="text-align: center;">$\alpha = 0,05$</p> <ul style="list-style-type: none"> - \downarrow significative de la hauteur de saut pour les hommes et les femmes, après le protocole de fatigue $p = 0,01$ - \downarrow moyenne de la hauteur d'environ 0,05 m - De manière générale, les femmes sautaient moins haut que les hommes. <div style="margin-top: 10px;"> <p>La force de cisaillement tibiale antérieure proximale maximale, pendant la phase d'atterrissage était plus importante pour les 3 tâches et pour les 2 sexes après le protocole de fatigue ($p = 0,01$) ; ainsi que son pic ($p = 0,01$).</p> </div> <div style="text-align: right; margin-top: 10px;">  </div> <p style="text-align: center;">FIGURE 26 : COMPARAISON DU PIC DE LA FORCE DE CISAILLEMENT PROXIMALE</p>

Chez les femmes :

- ↑ significative du pic de cette force $p = 0,001$ (↑ en moyenne de 94 %)
- ↑ significative du moment d'extension du genou $p = 0,001$
- ↑ de 96 % du moment de valgus
- ↓ des angles de flexion des genoux au pic de force $p = 0,001$

↓ de 43% en moyenne du moment de varus chez les hommes.

Présence d'une différence significative $p = 0,001$ du moment de valgus-varus au pic de la force de cisaillement entre les 2 sexes :

- Les femmes présentaient un moment de valgus au niveau du pic
- Les hommes présentaient eux un moment de varus

↓ de l'angle de flexion de 14% du genou au pic de la force, dans les tests post-fatigue $p = 0,03$ (29,9° à 25,7°). La ↓ de la flexion était plus importante chez l'homme entre les 2 tests.

McClean
- 2007

$\alpha = 0,002$ et puissance observée (PO) = 0,05

- Rapports des fréquences cardiaques et ceux des hauteurs maximales des sauts se sont avérés cohérents entre les sexes. Les rapports n'ont pas influencé les autres résultats ($p = 0,792$ et puissance observée = 0,057).
- Ni le sexe ($p = 0,338$ et PO = 0,137), ni les conditions de jambe ($p=0,923$ et PO = 0,051) ni la fatigue ($p = 0,890$ et PO = 0,052) n'ont influencé le temps de contact au sol.
- Pas d'impact statistique avec la jambe dominante sur les mesures cinématiques.

Les femmes par rapport aux hommes ont montré une ↑ statistique :

- Des angles de flexion plantaire de la cheville au **contact initial** ($p < 0,001$)
- Du pic d'abduction du genou ($p = 0,001$)
- Du pic de rotation interne du genou ($p = 0,001$)
- Du pic de supination de la cheville ($p < 0,001$)

Pendant la phase de pointe

La fatigue a entraîné une ↑, dans les deux sexes :

- Du pic d'abduction du genou $p < 0,001$
- Du pic de rotation interne de genou $p < 0,001$
- De la supination

Pendant la phase de pointe

Pendant la phase de pointe, la femme a présenté une ↑ :

- Des moments d'abduction du genou $p < 0,001$
- Des moments de rotation interne du genou $p = 0,002$

Avant et après le protocole de fatigue

Pendant la phase de pointe, la femme a présenté un moment de dorsiflexion plus faible ($p = 0,001$).

Il existe une interaction statistiquement significative entre les effets de la fatigue et le sexe sur le moment d'abduction lors de la phase de pointe. L'augmentation, due à la fatigue, est plus importante chez la femme $p = 0,002$.

Le moment de flexion externe maximal du genou et la force de cisaillement postérieure sont apparus plus précocement chez la femme.

Les moments d'abduction externe lors de la phase de pointe sont apparus plus précocement chez la femme, après la fatigue.

Hanson -
2008**Intervalle de confiance à 95% et $\alpha = 0,05$**

L'activation du quadriceps (Q), des ischio-jambiers (IJ), du moyen fessier (MF) et du grand fessier (GF) joue un rôle dans la charge du LCA en influençant la translation tibiale antérieure, le valgus et les mouvements de rotation des membres inférieurs.

La femme (F) présente une activation du vaste latéral supérieure à celle de son homologue masculin (H) ; 31% plus importante pendant la « preparatory phase (PR) » et 40% plus importante pendant la « loading phase (LO) »

TABLEAU 10 : REPRESENTATION DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE (%) LORS DES DIFFERENTES PHASES DES DEUX TACHES

Muscle Group	Sex	Running Side-Step Cut		Box-Jump Side-Step Cut		
		Preparatory Phase	Loading Phase	Preparatory Phase	Loading Phase	
Maximal voluntary isometric contraction (%)						
Vastus lateralis	Males	129.36 ± 63.30	188.85 ± 61.60	51.57 ± 22.53	151.94 ± 50.47	
	Females	186.14 ± 102.75	320.86 ± 164.65	77.15 ± 51.97	244.45 ± 128.24	
Rectus femoris	Males	80.19 ± 47.84	136.73 ± 63.46	33.04 ± 19.53	107.17 ± 58.06	
	Females	80.25 ± 38.46	173.32 ± 81.08	40.20 ± 26.41	140.55 ± 75.15	
Medial hamstrings	Males	77.46 ± 57.63	128.02 ± 48.60	32.16 ± 24.80	106.64 ± 50.05	
	Females	72.19 ± 34.75	130.22 ± 92.68	34.82 ± 20.57	119.37 ± 75.45	
Lateral hamstrings	Males	194.92 ± 113.68	194.18 ± 143.23	137.35 ± 75.56	154.75 ± 133.71	
	Females	172.29 ± 64.43	210.57 ± 85.13	122.53 ± 61.71	154.86 ± 69.38	
Gluteus medius	Males	84.93 ± 48.53	138.42 ± 39.78	44.98 ± 34.08	123.58 ± 38.11	
	Females	78.53 ± 45.42	173.30 ± 80.82	43.00 ± 29.03	150.82 ± 60.49	
Gluteus maximus	Males	301.35 ± 264.17	186.08 ± 110.41	194.22 ± 159.23	172.22 ± 97.08	
	Females	256.08 ± 175.68	194.73 ± 110.52	163.24 ± 131.60	167.93 ± 79.23	
Quadriceps:hamstrings coactivation	Males	0.81 ± 0.26	1.08 ± 0.30	0.59 ± 0.29	1.12 ± 0.47	
	Females	1.16 ± 0.74	1.55 ± 0.63	0.82 ± 0.45	1.51 ± 0.64	

Pas de différence entre les H et les F dans l'activation du moyen fessier lors de la PR, ils ont tous les deux augmenté leur contraction isométrique maximale volontaire (CIMV) lors de la LO.

L'homme et la femme présentent la même amplification de l'activation musculaire entre les deux phases pour le droit fémoral, les ischio-jambiers, et le grand fessier.

Lien entre le sexe et l'activation du vaste latéral ($p < 0,001$) et le moyen fessier ($p = 0,013$).

Le ratio de la co-activation Q/IJ de l'athlète masculin vaut en moyenne 0,88 et pour l'athlète féminine il est de 1,26.

Hart -
2008 **$\alpha \leq 0,05$** Au contact initial :

Il existe une différence entre les 2 sexes dans les moments externes de la hanche ($p = 0,002$) mais pas au niveau du genou ($p = 0,09$) ni de la cheville ($p = 0,57$).

Les hommes ont présenté un moment d'adduction de hanche tandis que les femmes ont présenté un moment d'abduction : il existe donc une différence du moment de la hanche dans le plan frontal ($p < 0,01$, Cohen's d (valeur absolue) = 1,71 et puissance statistique = 0,89).

Après le contact initial :

Présence d'une différence entre les 2 sexes dans les moments externes de hanche seulement $p = 0,002$.

Le pic du moment d'extension ($p = 0,02$, Cohen's d (valeur absolue) = 1,37 et puissance statistique = 0,72) et le pic du moment de rotation interne ($p < 0,001$, Cohen's d (valeur absolue) = 1,95 et puissance statistique = 0,95) de la hanche sont sensiblement moins importants chez la femme.

Lors de l'atterrissage sur une seule jambe :

Les femmes ont présenté une rotation interne de hanche plus importante ($p = 0,02$) et une adduction du genou plus importante ($p = 0,01$).

Borotikar
- 2008

$\alpha = 0,05$

La fatigue et la prise de décision ont toutes les deux influencé les mouvements de la hanche au contact initial.

La fatigue a entraîné, au **contact initial**, au niveau de la hanche :

- Une ↓ de la flexion $p < 0,001$
- Une ↑ de la rotation interne $p < 0,001$

Pas de différence entre la phase à 50% de fatigue et celle à 100% de fatigue.

Une ↑ de la flexion ($p < 0,001$) et une ↓ de la rotation interne ($p < 0,001$) ont été observées lors des atterrissages imprévus par rapport aux atterrissages prévus.

Les rotations en phase de pointe (0-50%) ont été influencées par la fatigue :

- ↑ du pic d'abduction du genou ($p < 0,001$)
- ↑ du pic de rotation interne du genou ($p < 0,001$)
- ↑ du pic de supination de la cheville ($p < 0,01$)

Pas de différence entre la phase à 50% de fatigue et celle à 100% de fatigue.

Les pics d'abduction et de rotation interne de genou ont été plus importants $p < 0,001$ pendant les atterrissages imprévus que lors des atterrissages prévus.

Ford –
2010

$\alpha \leq 0,05$

La rigidité articulaire active de la **cheville** ($p = 0,001$), du **genou** ($p = 0,043$), et de la **hanche** ($p < 0,001$) ont augmenté pendant la maturation.

Présence d'une ↑ de la raideur de la cheville et de la hanche ($p < 0,001$) chez les athlètes pubères.

Les hommes présentent une plus grande rigidité active de la cheville, du genou et de la hanche ($p < 0,001$) par rapport à la femme.

Lorsque les moments articulaires ont été normalisés par rapport à la masse :

- La raideur des genoux n'a pas différencié entre les deux sexes (Femme = $0,029 \pm 0,011$ N.m/kg.deg et Homme = $0,031 \pm 0,013$ N.m/kg.deg ; $p = 0,223$)
- La rigidité de la cheville et de la hanche est > chez les hommes ($p < 0,001$).

L'athlète féminine, au contact initial, présentait :

- Une flexion de hanche **inférieure** à celle des hommes ($p = 0,035$),
- Une ↑ du pic de flexion dorsale de cheville ($p = 0,001$)
- Et une ↑ de l'angle de flexion du genou ($p = 0,001$)

Les hommes post-pubertaires ont présenté :

- + de raideur articulaire active de la hanche par rapport aux autres groupes
- Des moments de cheville et de hanche plus importants par rapport aux femmes post-pubertaires (interaction entre sexe et maturation : cheville $p = 0,025$ et hanche $p = 0,001$)
- Des moments de cheville et de hanche, normalisés par rapport à la masse, plus importants que les autres groupes

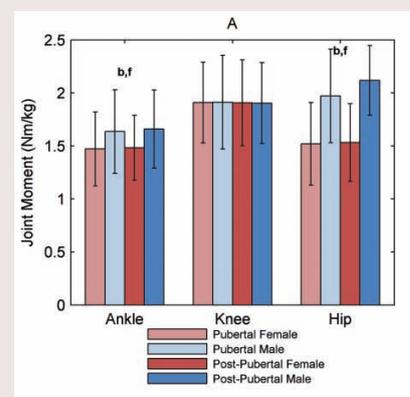
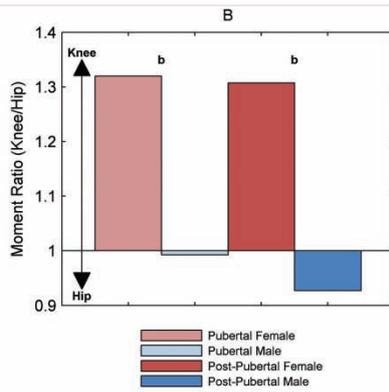


FIGURE 25 : LES MOMENTS NORMALISÉS DES DIFFÉRENTES ARTICULATIONS



Les femmes présentaient un moment de flexion externe de genou > à celui des hommes ; et les hommes présentaient des moments de flexion externe de hanche plus importants → cela sous-entend que la femme utilise plus son quadriceps et l'homme plus son grand fessier.

FIGURE 26 : RAPPORT ENTRE LES MOMENTS EXTERNES MAX DU GENOU / LA HANCHE

$\alpha = 0,025$

Bencke - 2011

Il existe une différence entre les deux sexes au niveau :

- De la pré-activation du semi-tendineux ($p = 0,005$)
- De la pré-activation du biceps fémoral ($p = 0,006$)

Lors de la coupe latérale, les femmes ont montré une ↓ :

- De la pré-activation neuromusculaire du semi-tendineux ($p < 0,01$)
- De la pré-activation neuromusculaire du biceps fémoral ($p < 0,01$)

Aucune différence significative au niveau de la pré-activation des chefs musculaires du quadriceps n'a été démontrée entre les joueurs masculins et féminins.

Le ratio de pré-activation ischio-quadriceps était plus faible chez la femme ($p < 0,01$).

Les femmes présentent donc une stratégie neuro-musculaire différente de leurs homologues masculins.

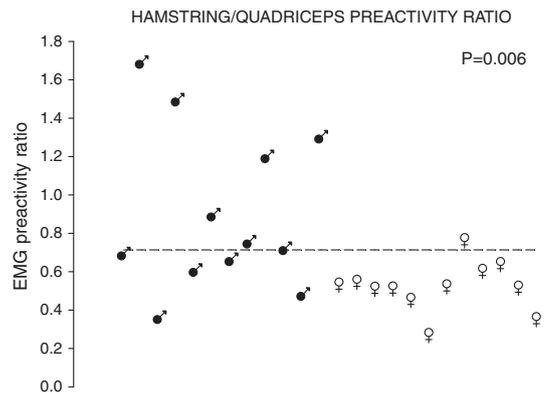


FIGURE 27 : LE RATIO DE PRE-ACTIVITE Q/IJ

Sigward - 2012

Intervalle de confiance à 95% et $\alpha = 0,05$

Un moment de valgus plus important entraîne plus de charge sur le genou.

Moment de valgus :

- Plus important lors de la coupe à 110° (CUT110)
- Plus important chez la femme
- 2,4 fois plus important lors de la CUT110

Corrélation entre :

- L'angle du valgus et le sexe ($p = 0,01$)
- L'abduction de hanche et l'angle de coupe ($p < 0,01$)
- L'abduction de hanche et le sexe ($p = 0,01$)
- La rotation interne de hanche et l'angle de coupe ($p = 0,03$)
- Le moment de valgus et l'angle de coupe ($p < 0,001$)
- Le moment de valgus et le sexe ($p = 0,02$)

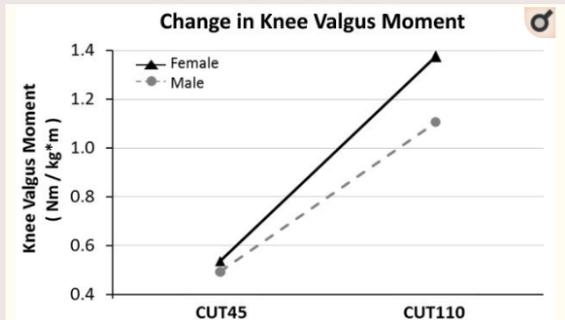


FIGURE 28 : LE MOMENT VALGUS DU GENOU EN FONCTION DE LA TACHE REALISEE

Chez la femme :

- ↑ de l'angle de valgus et du moment de valgus
- ↓ de l'abduction de hanche
- Pas de différence concernant la rotation interne de hanche

L'augmentation du valgus est considérée dans l'article comme un prédicteur de lésion du LCA.

Lors de CUT110, le prédicteur du moment de valgus est la force de réaction postérieure ($R = 0,460$ et $p < 0,001$).

Lors de CUT45, c'est la force de réaction verticale qui est prédictive du moment ($R = 0,607$ et $p < 0,001$).

Un plus grand angle de rotation interne de hanche et un angle de valgus du genou prédisent des moments de valgus du genou lors des coupes effectuées.

Welthin -
2015

**Pour la cinématique et la cinétique $\alpha = 0,0125$ et pour la comparaison de l'EMG
 $\alpha = 0,025$**

TABLEAU 11 : VALEURS MOYENNES AU MOMENT D'ABDUCTION MAXIMAL DU GENOU POUR LE GENOU, LA HANCHE, ET TRONC (COMPARAISON HOMME/FEMME)

		Male	Female	p-value
Trunk	Flexion [°]	16.3 ± 5.7	13.9 ± 4.7	0.267
	Lateral trunk lean [°]	1.8 ± 2.9	2.0 ± 4.9	0.9090
Hip	Flexion [°]	211.1 ± 7.0	214.4 ± 8.2	0.230
	Abduction [°]	-27.0 ± 4.6	-30.2 ± 5.7	0.140
	Flexion moment [Nm/kg]	0.79 ± 0.81	0.04 ± 0.94	0.049
	Abduction moment [Nm/kg]	-0.88 ± 0.44	-0.92 ± 0.43	0.817
Knee	Flexion [°]	28.4 ± 3.9	29.2 ± 5.1	0.672
	Valgus (-)/Varus (+) [°] *	1.6 ± 3.2	-4.9 ± 3.9	0.001
	Flexion moment [Nm/kg]	-0.42 ± 0.29	-0.28 ± 0.31	0.269
	Abduction moment [Nm/kg]	-0.47 ± 0.14	-0.55 ± 0.31	0.460

Significant differences ($p < 0.0125$) between males and females are bold and denoted with *

Corrélations significatives entre :

- L'inclinaison latérale du tronc et le moment d'abduction externe du **genou** ($r = 0,67$ et $p < 0,001$)
- L'inclinaison latérale du tronc et le moment d'abduction externe de la (**hanche** $r = 0,55$ et $p = 0,01$)
- Le moment d'abduction externe de hanche et de genou ($r = 0,78$ et $p < 0,001$)

La femme présente, par rapport à son homologue masculin :

- Une activation plus tardive du moyen fessier ($p = 0,02$) mais la pré-activation n'a pas différé
- Une pré-activation augmentée du semi-tendineux $22,5 \pm 7,2$ % contre $15,3 \pm 6,1$ % ($p = 0,015$)
- Un angle de valgus plus important ($p = 0,001$)

Aucune différence retrouvée entre les deux sexes dans le ratio Q/IJ (pour les femmes = $1,8 \pm 1,0$ et pour les hommes = $1,6 \pm 0,5$; $p = 0,93$).

b- Critère de jugement principal

Le critère de jugement principal est l'apparition de la blessure du ligament croisé antérieur. Seul un article présentait ce critère de jugement principal : Hewett – 2005 (2).

DISCUSSION

XI- ANALYSE DES PRINCIPAUX RESULTATS

L'analyse des articles précédemment cités a permis d'identifier des facteurs qui pourraient être en relation avec l'augmentation des blessures chez la femme sportive. Cependant, les articles divergent à différents niveaux et il semblerait que certains résultats soient contradictoires.

La présentation des FDR n'est pas hiérarchisée car tous les facteurs apparaissent intriqués. Il semble donc plus pertinent de présenter une vision globale.

TABLEAU 12 : RESUME DES FACTEURS DE RISQUE EN FONCTION DES ARTICLES

	Hewett	Chappell	McClellan	Hanson	Hart	Borotikar	Ford	Bencke	Sigward	Welthin
Biomécanique	✓		✓		✓		✓		✓	✓
Contrôle neuromusculaire		✓		✓			✓			
Pré & activation musculaire								✓		✓
Raideur articulaire active + la puberté							✓			
Autres articulations	✓		✓			✓	✓		✓	✓
La fatigue		✓	✓			✓				

a- Facteurs de risque intrinsèques

Rappelons les différents facteurs de risque mis en lumière lors de l'analyse de nos articles :

- ✓ **La biomécanique**
- ✓ **Le contrôle neuromusculaire**
- ✓ **L'activation et la pré-activation musculaire**
- ✓ **La raideur articulaire active et la puberté**
- ✓ **Les articulations sus et sous-jacentes**

LA BIOMÉCANIQUE

↳ Le tronc

Le tronc en tant qu'élément principal de notre équilibre a été l'objet de nombreuses recherches. D'après Welthin et ses collaborateurs (32), la recherche des éléments responsables de la disparité entre les sexes ne doit pas s'arrêter au mouvement du genou. En effet, il préconise une recherche sur les mouvements du tronc et son interaction avec le genou. Il est important de comprendre par quel mécanisme le tronc a une influence sur le genou.

Hewett et Myer (33) émettent l'hypothèse suivante : la diminution de la stabilisation active du tronc, lors de mouvements dans le plan frontal (déplacement latéral) augmenterait la charge sur le genou. Le mouvement du tronc peut influencer la charge en abduction du genou. En effet, si

le tronc se déplace latéralement alors la force de réaction du sol se déplace elle aussi, entraînant ainsi un bras de levier plus grand sur la hanche (34), une augmentation du travail des adducteurs (33), et une charge plus importante au niveau du genou.

Suite à une analyse vidéo des mouvements de lésions du LCA, Hewett et al. (34) ont remarqué que les femmes blessées présentaient un mouvement latéral du tronc plus important que leurs homologues masculins ou que les sujets témoins. De plus, Zazulak et al. (35) ont trouvé que le déplacement latéral était prédictif de lésion du LCA seulement chez l'athlète féminine.

Tandis que l'article inclus dans notre étude n'est pas en accord avec les données exposées précédemment, il n'a trouvé aucune différence dans l'angle d'inclinaison latérale du tronc entre les deux sexes (32). Néanmoins cette dernière présentait un échantillon faible ($n = 24$), constitués de joueurs expérimentés (7 ans minimum de pratique sportive), provenant de trois sports différents. Sachant que les résultats ne séparent pas les différents sports, une analyse ciblée devient complexe.

Cette différence de résultats peut être expliquée par le fait que les différents articles cités n'étudient pas la même tâche. En effet, Welthin et al étudient le mouvement de tronc lors d'un saut latéral réactif (en laboratoire). Alors que Hewett et al. analysent les mouvements lésionnels lors d'un match de basket. En effet, les conditions ne sont donc pas les mêmes : conditions réelles. De plus, les résultats trouvés par Hewett ne prennent peut-être pas en compte les biais de confusions.

En conclusion, le rôle du tronc dans l'apparition de lésion du LCA ne semble pas être clairement défini. Cependant, la stabilité du tronc étant liée à la capacité de la hanche à le contrôler lors des forces générées par les segments distaux et lors de perturbations (33), il est intéressant d'analyser le rôle de la hanche dans la lésion du ligament croisé antérieur.

↳ La hanche

Hewett et al. démontrent la corrélation entre le moment d'adduction de hanche et le moment d'abduction du genou dans la cohorte blessée. Le moment d'adduction de hanche était le même dans les deux cohortes. Un moment est défini par la force appliquée sur l'articulation par rapport à un axe de rotation, c'est la force nécessaire pour réaliser un mouvement. Par exemple, un moment d'adduction de la hanche plus important signifie que l'articulation reçoit une force de l'extérieure plus importante entraînant l'adduction de celle-ci (13). Cette force est censée être contrebalancée par une force de même ampleur mais de direction opposée pour maintenir l'équilibre pendant les mouvements. Si le moment augmente, alors la mise en tension des structures passives augmentent également (13).

Sigward et al. (31) ont noté une diminution de l'abduction de la hanche chez les femmes. Cette diminution était plus importante lors de la coupe à 45°. Néanmoins, ils n'ont constaté aucune différence significative concernant la rotation interne de hanche. À noter que l'étude menée par Sigward et al. ne concerne que le plan frontal. Nous n'avons donc aucune donnée sur le plan sagittal.

McClean et al. ont trouvé une légère diminution de la flexion de hanche lors d'atterrissage bipodal, responsable d'une moins bonne répartition des charges et d'un accroissement de la charge au niveau du genou (36).

Au terme de l'analyse, le schéma biomécanique de la hanche n'est pas défini. En effet, les différents articles cités n'étudient pas la hanche de la même façon, l'un étudie la force, les autres étudient la position de la hanche lors des mouvements.

↳ Le genou

Hewett et al. (2) mettent en évidence une différence dans la biomécanique de la réception des sauts entre les sujets sains et ceux blessés. Les sujets blessés, à la réception des sauts, présentent une abduction de genou plus importante et une flexion maximale de genou diminuée. Les femmes présentaient un valgus dynamique plus important (8° de plus que les athlètes saines) et une augmentation de la charge en abduction du genou. Ainsi leur étude démontre qu'il existe une corrélation entre l'abduction et la force de réaction du sol, et que donc le moment de valgus augmente la charge sur le genou. Les auteurs concluent que l'angle et le moment de valgus sont prédictifs du risque de lésion du LCA, en revanche ni la flexion de genou ni les moments de la hanche sont prédictifs.

Les résultats mis en lumière par Chappell et al. (16) concordent avec ceux de Hewett et al. (2) puisqu'ils démontrent que le moment de valgus est augmenté de 96% chez la femme, alors que l'homme présente un moment de varus.

Welthin et al. (32) mettent également en évidence un valgus de genou chez la femme au moment d'abduction de genou. Alors que les hommes présentaient un varus de genou. Cependant, ils n'ont trouvé aucune différence concernant le moment d'abduction du genou.

De plus, selon Sigward et al. (31), il existe une augmentation de l'angle du valgus chez la femme, ainsi que du moment de valgus. Ils précisent qu'un moment de valgus plus important entraîne une augmentation de la charge sur le genou.

Pour finir, McClean et al. (18) ont eux mis en évidence une abduction de genou et une rotation interne de tibia plus prononcée chez les femmes.

En conclusion, les différents articles cités précédemment sont tous d'accord sur un point : les femmes présentent un valgus et une abduction de genou plus importants lors de la réalisation des différentes tâches. Le valgus dynamique entraîne une augmentation de la tension sur le LCA, de par la translation tibiale augmentée, et de par la compression articulaire plus importante en externe (déséquilibre de la compression articulaire).

Néanmoins, peu de nos articles cités étudient le rôle de la flexion du genou. Il semble primordial de mettre en lumière la notion suivante : la flexion de genou permet une meilleure absorption et répartition des forces exercées sur le genou (3; 36). Si la femme présente une diminution de la flexion, cela pourrait alors expliquer l'augmentation des charges sur le genou (2).

↳ La cheville

Les mouvements de la cheville ont un impact sur l'articulation du genou, et cela a donc une incidence sur la position de celle-ci, ainsi que sur la répartition des charges. Peu des articles sélectionnés évoquent le rôle de la cheville dans les blessures du ligament croisé antérieur. Nous avons extrait les données des articles traitant de la fatigue pour faire une première analyse.

Une plus grande amplitude de mouvement dans le plan sagittal de la cheville permet une meilleure absorption des chocs et une meilleure répartition des charges (18). Selon McClean et al., les femmes atterrissent avec une flexion plantaire de cheville plus prononcée au contact

initial. Elles présentent une supination lors de la phase d'appui. L'atterrissage en flexion plantaire diminue l'amplitude de flexion de la hanche et du genou, augmentant ainsi la charge sur le genou (36).

Un article n'a pas été inclus dans l'analyse : Hart et al. Après une étude minutieuse des résultats, de nombreux biais sont apparus. L'étude comprenait 16 participants. Hart et al. ne donnent pas les résultats pour l'ensemble de l'échantillon (soit pour 14 des participants, soit pour 10 des participants soit pour seulement 4 des participants (ci-dessous deux exemples)).

A gender difference in external joint moments at initial foot contact was detected while considering multiple comparisons of external joint moments at the hip ($F_{3,13} = 8.83, P = .002, \eta^2 = 0.69, 1-\beta = 0.97$), but not at the knee ($F_{3,12} = 2.75, P = .09, \eta^2 = 0.41, 1-\beta = 0.52$) or ankle ($F_{3,12} = 0.71, P = .57, \eta^2 = 0.15, 1-\beta = 0.16$). Means and

A gender difference in peak external joint moments following initial foot contact was detected while considering comparisons of multiple external joint moments at the hip ($F_{6,9} = 9.67, P = .002, \eta^2 = 0.87, 1-\beta = 0.99$) but not at the knee ($F_{6,9} = 2.35, P = .12, \eta^2 = 0.61, 1-\beta = 0.51$) or ankle ($F_{6,9} = 3.16, P = .06, \eta^2 = 0.68, 1-\beta = 0.65$).

Les résultats ne sont pas donnés pour le même nombre de participants, les auteurs ont exclu les valeurs extrêmes pour permettre de valider leurs hypothèses. De plus, l'auteur n'explique pas ce choix, seule l'analyse approfondie permet de s'en rendre compte.

La qualité méthodologique de cet article est correcte (NOS 5/8). Néanmoins, il ne faut pas seulement se contenter de cette notation pour apprécier la pertinence clinique de cet article.

Les différences dans la biomécanique de l'atterrissage laissent sous-entendre que le contrôle neuromusculaire est déficient. Le contrôle neuromusculaire correspond à la réponse des muscles aux différents stimuli sensoriels. Le système neuromusculaire permet de générer des mouvements, et d'ainsi déterminer la biomécanique dans les différentes tâches (36). Cette dernière notion introduit le paragraphe suivant : le rôle du contrôle neuromusculaire dans les blessures du LCA.

CONTRÔLE NEUROMUSCULAIRE ET PRÉ-ACTIVATION

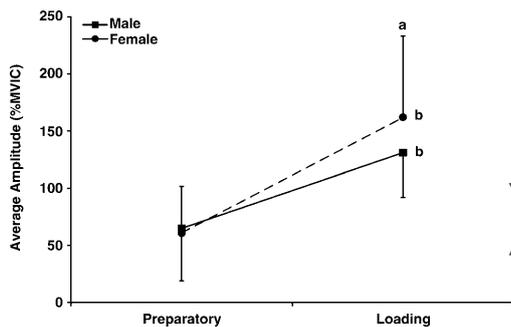
Les ligaments, la biomécanique, la cinématique des articulations et l'alignement squelettique sont partie prenante de la stabilité passive de nos articulations. Lorsque nous réalisons des mouvements, celle-ci se retrouve bien souvent dépassée. Lors d'activités fonctionnelles, les charges sont bien trop importantes pour être contrôlées par les éléments passifs, c'est pour cela que les muscles sont recrutés afin de permettre une stabilisation dite active ou dynamique de l'articulation (15). Les muscles sont donc les principaux stabilisateurs de nos articulations. Nombreux sont nos articles traitant du contrôle neuromusculaire, de la pré-activation et de l'activation musculaire afin de déterminer s'il existe une différence entre les deux sexes (Chappell (16), Ford (14), Hanson (30), Welthin (32) et Bencke (8)).

↳ Le contrôle neuromusculaire

Chappell et al. (16) expliquent que l'augmentation du moment d'extension du genou chez la femme est en lien avec le contrôle neuromusculaire. De ce fait, la position du genou en extension influence le travail musculaire. En effet, les ischio-jambiers se retrouvent en course externe, limitant ainsi la force nécessaire pour équilibrer le tiroir antérieur provoqué par le quadriceps. Ils en concluent que cette augmentation est causée soit par une dominance du quadriceps, soit par une faiblesse des ischio-jambiers, ou soit par une combinaison de ses deux mécanismes. Nous ne sommes pas en mesure d'affirmer ou d'infirmer ces résultats puisque l'auteur ne présente aucune donnée statistique à ce sujet.

Ces résultats, en accord avec ceux de Ford et ses collaborateurs (14), mettent en évidence une dominance du quadriceps chez la femme, non présente chez son homologue masculin. Les hommes, quant à eux, présentaient une activation musculaire plus équilibrée que les femmes. Cependant, il faut minimiser l'importance de ces résultats. En effet, la modélisation réalisée par Ford utilise les moments externes correspondants à la force impactant l'articulation. Ces derniers ne permettent pas de mettre en évidence les muscles responsables de la raideur articulaire active (14). De plus, dans cette étude, l'identification des muscles responsables d'une diminution du contrôle neuromusculaire ne repose que sur des hypothèses et n'a pas été démontré statistiquement.

Hanson et ses associées sont également en accord avec les résultats précédemment évoqués puisqu'ils démontrent que la femme présente une contraction du vaste latéral plus importante que les hommes (31% plus importante pendant la « preparatory phase (PR) », 40% plus importante pendant la « loading phase (LO) »). Ils ajoutent que la contraction importante du vaste latéral entraîne une augmentation de la compression articulaire latérale, chargeant ainsi de manière plus importante le LCA. Cependant, Hanson et al. apportent une précision : le travail des ischio-jambiers ne diffère pas entre les deux sexes. De ce fait, le ratio Q/IJ est plus important chez la femme ($Q/IJ = 1,26$). Lors de leur étude, ils ont aussi mesuré l'activation des muscles fessiers. Aucune différence n'a été trouvée concernant le grand fessier entre les deux sexes. En revanche, il y a une diminution de la contraction entre la PR et LO. Hanson et al. expliquent donc que le grand fessier est important avant le contact pour permettre une stabilisation du bassin.



La preparatory phase correspond au 50ms avant le contact initial, et la loading phase au 50ms après le contact initial. La contraction du moyen fessier est supérieure chez la femme pendant la loading phase.

FIGURE 29 : INFLUENCE DU SEXE ET DE LA PHASE SUR L'ACTIVATION DU MOYEN FESSIER

Pour conclure, en s'appuyant sur les résultats de Hanson et al. (seule étude comprenant une mesure de la contraction musculaire), les femmes présentent une contraction supérieure du vaste latéral (VL), et de ce fait du quadriceps par rapport à celle des hommes. Une augmentation isolée du VL provoque ainsi une compression du compartiment articulaire latéral, entraînant une mise en tension du LCA. Cependant, malgré une qualité méthodologique correcte de cette étude (NOS 5/8), nous ne pouvons pas généraliser ces résultats. Car d'une part, l'étude est réalisée chez des athlètes de NCAA (première division de football), et d'autre part, l'échantillon est faible (n = 40) diminuant ainsi la puissance statistique des résultats trouvés. Néanmoins, nous pouvons tout de même conclure que la femme présente une contraction dominante du quadriceps, provoquant un déséquilibre musculaire.

↳ La pré-activation

Les lésions sans contact du LCA surviennent entre 17 et 50 ms après le contact initial (8), période extrêmement courte pour réagir. En conséquence, la pré-activation est un élément important lors de la réalisation de tâches dynamiques. Elle permet d'accumuler de l'énergie avant le contact initial, afin de stabiliser l'articulation lors du contact.

Bencke et al. ont étudié la pré-activation du quadriceps (Q) et des ischio-jambiers (IJ) lors de déplacements latéraux chez les handballeurs. Les femmes ont présenté une pré-activité du semi-tendineux et du biceps fémoral (BF) plus faible que leurs homologues masculins.

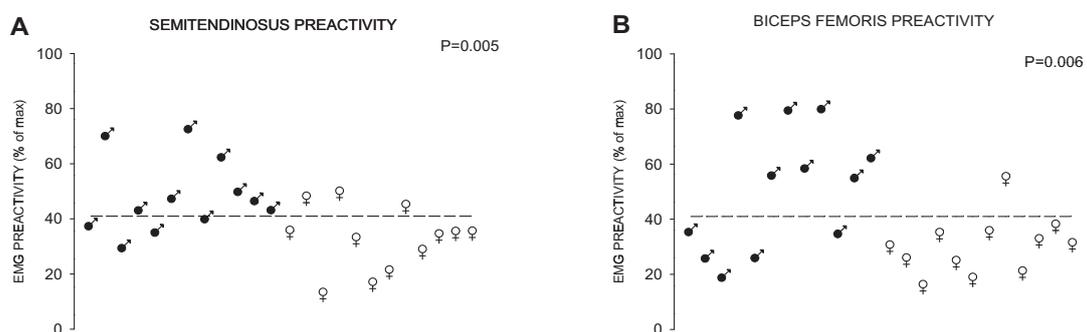


FIGURE 30 : EMG DE LA PRE-ACTIVITE (COMPARAISON HOMME/FEMME)

Welthin et ses associés ont eux étudié la pré-activation des muscles lors de sauts latéraux réactifs. Selon leurs résultats, la femme présente une pré-activité du semi-tendineux (ST) plus importante, mais il n'y a pas de différence concernant la pré-activité du BF. Suite à une analyse approfondie, l'auteur donne des résultats en contradiction avec les données statistiques.

En tenant compte de la figure n°33, la femme présente une pré-activité du ST légèrement plus faible (différence non significative), et une nette diminution de la pré-activité du BF identifiée comme non significative selon les auteurs. Même si ces données sont en accord avec celles trouvées par Bencke et ses associés, la confusion des données ne permet pas d'utiliser les données de Welthin dans la conclusion.

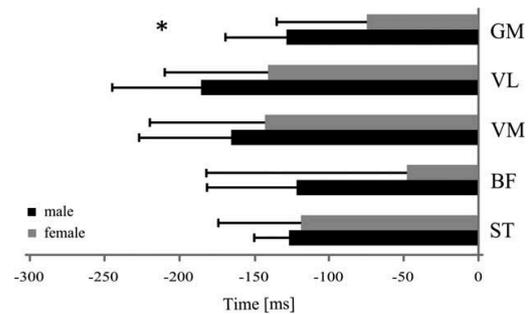


FIGURE 31 : COMPARAISON DE LA PRE-ACTIVITE DES MUSCLES ENTRE LES DEUX SEXES

Les résultats de Hanson et al. diffèrent des résultats précédemment évoqués car aucune différence n'a été mise en évidence entre les deux sexes. Par conséquent, à la vue des nombreuses divergences, il paraît difficile de conclure qu'il existe une différence entre les deux sexes concernant la pré-activité des ischio-jambiers.

Concernant la pré-activité du VL, Bencke et al. (8) et Welthin et al. (32) n'ont trouvé aucune différence entre les deux sexes tandis que Hanson et al. mettent en évidence une pré-activation du VL supérieure chez la femme.

Au niveau du moyen fessier, Hanson et al. ont mis en évidence une pré-activation diminuée chez la femme. Quant à eux, Welthin et al. n'ont pas trouvé de différence, mais ils précisent que l'activation du moyen fessier est retardée. Cependant aucune donnée statistique n'a été fournie par l'auteur. Il semble difficile de valider son hypothèse.

La pré-activation est un élément essentiel pour l'équilibre du corps. Malheureusement, les données précédemment exposées ne permettent pas de définir le modèle de pré-activation de la femme et ses différences par rapport à celui de l'homme.

↳ La co-activation simultanée musculaire

La co-contraction simultanée du Q et des IJ permet de protéger le genou du tiroir antérieur, mais aussi du valgus dynamique (3). La contraction isolée du quadriceps augmente la tension sur le LCA. En effet, le tendon rotulien entraîne une traction antérieure du tibia sous le fémur. Cette traction est d'autant plus importante lors de l'extension (3). La contraction simultanée des ischio-jambiers entraîne une compression des deux surfaces articulaires, permettant l'absorption d'une partie de la charge par les surfaces articulaires. Conformément aux articles cités, la co-activation simultanée, nécessaire pour la stabilité dynamique du genou, est donc primordiale pour diminuer la charge du LCA dans les positions à risque. Ils mentionnent tous la nécessité de l'étudier dans les prochaines études. Cependant aucun de ces articles n'a analysé le lien entre la co-activation simultanée et le risque de lésion du LCA.

En somme, les résultats ne permettent pas d'obtenir un schéma neuromusculaire précis de la femme. De nombreuses données divergent. La seule évidence apparente est la suivante : la femme présente un schéma différent de celui des hommes (quadriceps dominant et une pré-activité distincte).

LA RAIDEUR ARTICULAIRE ACTIVE & LA PUBERTÉ

Il semble exister une différence entre les hommes et les femmes, pendant et après leur puberté.

↳ La hanche

Selon Ford et ses collaborateurs (14), la raideur articulaire active de hanche est plus importante chez l'homme et celle-ci augmenterait pendant la puberté.

↳ Le genou

Entre les deux phases, les hommes et les femmes ont tous les deux augmenté leur raideur articulaire active du genou (14). Selon Ford et al, il n'existerait pas de différence de raideur articulaire active entre les deux sexes et l'évolution pendant la puberté serait la même. En revanche, si nous prenons appui sur les résultats de Granata et al. (37), l'homme présente une plus grande raideur, et la femme une plus grande laxité au niveau du genou. Il est difficile de conclure, car les deux auteurs n'ont pas utilisé le même protocole, et surtout le même échantillonnage. En effet, Ford (14) a choisi un échantillon important constitué d'athlètes, tandis que Granata étudie un échantillon plus limité constitué de divers participants (âge allant de 21 à 62 ans).

↳ La cheville

Dans l'étude menée par Ford et ses collaborateurs pendant la puberté, la raideur articulaire active de la cheville et son augmentation sont plus importantes chez l'homme (14). Bencke et al. (8) expliquent qu'une plus grande raideur articulaire assure une plus grande stabilité articulaire et donc par conséquent une meilleure protection contre les lésions musculo-tendineuses.

De ce fait, selon Ford et ses collaborateurs (14), les hommes présenteraient une plus grande protection articulaire au niveau de la cheville et de la hanche, mais pas au niveau du genou.

Les résultats de l'étude de Ford et de ses collaborateurs (14) mettent en lumière deux éléments importants : la raideur diffère entre les deux sexes, et la raideur évolue avec la puberté.

Même si ces données sont en accord avec les résultats de l'étude de Kaux et de ses associés (38), il semble nécessaire de les atténuer. En effet, l'étude de Ford présente de nombreux biais, et le plus important est l'utilisation d'un modèle simplifié pour évaluer la raideur.

Les différents auteurs cités définissent cette diminution de raideur comme une faiblesse. Dans l'introduction, nous avons défini la raideur articulaire active et exposé la conséquence de la diminution de celle-ci. En effet, une raideur articulaire active correcte permet de freiner la translation tibiale lors de la réalisation de tâches à haute énergie. Elle est, par conséquent, protectrice du LCA (38; 39).

Un troisième élément semble apparaître lors de l'analyse approfondie de l'étude, réalisée par Ford : la puberté modifie la biomécanique des athlètes. Même si cette dernière hypothèse n'est pas l'objectif même de l'étude, les tableaux de données nous permettent d'avoir une première approche (figure 34).

Joint	Pubertal		Postpubertal	
	Female (n = 145)	Male (n = 37)	Female (n = 120)	Male (n = 13)
Ankle				
Moment peak, N·m^{b,c,d,e}				
Year 1	73.1 ± 20.8	95.2 ± 26.5	91.1 ± 20.7	126.4 ± 23.8
Year 2	81.6 ± 20.9	110.3 ± 28.0	95.0 ± 22.2	142.5 ± 27.4
Knee				
Angle peak, deg^{a,c}				
Year 1	83.1 ± 8.9	78.5 ± 9.5	81.2 ± 8.1	78.7 ± 9.2
Year 2	83.9 ± 9.1	80.5 ± 10.8	81.9 ± 7.7	80.3 ± 8.0
Moment peak, N·m^{b,c,d,e}				
Year 1	91.1 ± 24.5	101.6 ± 31.0	113.8 ± 29.2	142.1 ± 28.4
Year 2	100.4 ± 25.5	122.3 ± 30.0	115.5 ± 28.1	143.1 ± 33.7
Hip				
Angle peak, deg^b				
Year 1	56.6 ± 9.2	54.8 ± 9.6	56.1 ± 8.9	55.3 ± 9.2
Year 2	57.7 ± 8.3	55.9 ± 12.2	57.3 ± 8.9	58.4 ± 8.4
Moment peak, N·m^{b,c,d,e}				
Year 1	71.5 ± 18.8	109.6 ± 30.4	91.2 ± 22.3	151.8 ± 19.7
Year 2	80.9 ± 21.0	124.5 ± 35.0	94.1 ± 23.9	165.1 ± 27.1

FIGURE 32 : CINEMATIQUE ET CINETIQUE DES ARTICULATIONS

Nous pouvons observer une augmentation significative entre les deux années pendant la puberté et pendant la post-puberté. Le pic du moment des trois articulations augmente entre les deux années, et entre la puberté et la post puberté.

Le pic de l'angle du genou et de la hanche augmente légèrement entre les deux années, dans chaque groupe. En revanche, entre le groupe pubère et post-pubère il n'existe pas de différence significative.

Les deux groupes, pubères et post-pubères, ne sont pas homogènes ; il faut donc minimiser les résultats cités ci-dessus. Nous pouvons conclure qu'il existe une évolution de la stratégie neuromusculaire et par conséquent de la biomécanique. En revanche, nous ne pouvons pas affirmer la nature de cette évolution.

En conclusion, la raideur articulaire active apparaît comme étant un facteur de risque pour la lésion du ligament croisé antérieur.

b- Facteur de risque extrinsèque

LA FATIGUE

Les fibres musculaires, lorsqu'elles sont fatiguées, ont une capacité réduite à absorber l'énergie, entraînant ainsi une altération des stratégies de contrôle moteur dans les manœuvres dites à haut risque (16). Nous avons vu dans notre introduction qu'il existait diverses formes de fatigue, générale ou musculaire.

Revenons à nos trois articles traitant de la fatigue et de leurs différents protocoles. Dans le tableau ci-dessous, nous pouvons voir l'utilisation de trois protocoles différents. L'interprétation de nos résultats prendra en compte ces différences.

TABLEAU 13 : LES DIFFERENTS PROTOCOLES DE FATIGUE

	Chappell (16)	McClean (18)	Borotikar (19)
Durée	Illimitée	4 minutes	Non déterminée, arrêt du protocole de fatigue = incapacité de réaliser plus de 3 squats complets
Exercices réalisés	Protocole adapté à chaque sujet Répétition illimitée de 5 sauts verticaux consécutifs suivi d'un sprint de 30m Départ du saut vertical accroupi Saut d'une hauteur de 115% de la portée verticale de chaque sujet Sprint = accélération et décélération <u>Pour maintenir l'état de fatigue :</u> entre chaque série de 5 sauts réalisation de 5 sauts verticaux isolés	Série (n = 20) de montées / descentes, le plus rapidement possible sur une boîte de 20 cm de hauteur Réalisation série de mouvements pliométriques sur une distance de 6 m ; faire demi-tour (180°) et recommencer Mouvements pliométriques : flexion maximale, propulsion, et ainsi de suite	Réalisation d'une série de sauts entrecoupée d'une série de 5 squats (sur les deux jambes) Encouragement des sujets
Type de fatigue	État d'épuisement volontaire (fatigue aérobie et anaérobie)	Fatigue générale	Fatigue neuromusculaire
Mesures	Hauteur de saut maximale avant et après le protocole	Fréquence cardiaque au repos Fréquence cardiaque maximale Hauteur atteinte à chaque saut	Hauteur maximale à 0%, 50% et 100% de la fatigue

↳ La hanche

Nous avons expliqué précédemment que la hanche représentait un élément important dans la stabilisation de notre corps, lors de tâches dites dynamiques.

Borotikar et al. ont démontré que la fatigue neuromusculaire entraîne une diminution significative de la flexion de hanche et une augmentation de la rotation interne lors du contact initial. Ils ont choisi d'induire la fatigue par la réalisation de squats successifs. Le squat est un exercice en chaîne cinétique fermée qui implique un travail coordonné des muscles agonistes et antagonistes de la hanche, du genou et de la cheville. Il est important de préciser que les extenseurs de la hanche ont un rôle lors de l'atterrissage unipodal, ils permettent de contrôler

de manière excentrique la progression vers le bas du centre de masse (19). La fatigue préalable de ces muscles est responsable d'une diminution du contrôle, entraînant ainsi une modification de la cinématique de la hanche. Ces changements induits par la fatigue dans le contrôle de la hanche n'ont pas été retrouvés dans les études de McClean et de Chappell (aucun changement au niveau de la hanche avant et après le protocole de fatigue).

Avant de conclure, il est nécessaire de préciser que ces deux derniers ont observé l'impact de la fatigue sur un atterrissage bipodal. On peut donc supposer que l'impact de la fatigue sur la hanche est dépendant du type de tâche réalisée.

↳ Le genou

Chappell et ses associés mettent en évidence une augmentation de la force de cisaillement tibiale proximale et une diminution de l'angle de flexion du genou chez les athlètes « fatigués » (16). Cette évolution était d'autant plus importante chez les athlètes féminines. Il semble nécessaire de faire un aparté pour expliquer le lien entre la force de cisaillement et le risque de lésion du LCA. Une diminution de la flexion du genou entraîne une augmentation de la force de cisaillement tibiale antérieure, provoquée par la contraction du quadriceps. Un second paramètre apparaît lors de la diminution de la flexion : diminution de la force de cisaillement tibiale postérieure en raison d'une diminution de l'angle du tendon rotulien. (16) L'augmentation du travail du quadriceps entraîne donc une diminution de la résistance aux contraintes de cisaillement du tibia (40), augmentant ainsi la tension sur le ligament croisé antérieur.

Dans l'étude réalisée par McClean et al., la fatigue a entraîné une forte augmentation des moments d'abduction et de rotation interne du genou. Les femmes ont présenté un moment d'abduction maximal après la fatigue, à proximité du contact initial avec le sol. Cependant chez les hommes, ce moment se produit en fin de position. Bencke et al. précisent que la lésion du ligament croisé antérieur se produit entre 17 ms et 50 ms après le contact initial avec le sol. L'augmentation du moment d'abduction juste après le contact initial augmente la charge sur le genou, le rendant ainsi vulnérable (8). La fatigue a aussi entraîné une augmentation significative de la posture en abduction du genou et en rotation interne, dans l'étude réalisée par Borotikar. De plus, Borotikar et al. précisent que la position du genou a été influencée par celle de la hanche. En effet, le quadriceps et les ischio-jambiers sont dans une position moins optimale, ne pouvant pas complètement s'opposer aux charges externes d'abduction du genou.

↳ La cheville

L'étude de Borotikar et al. a démontré que la fatigue entraînait une augmentation significative de la supination lors des atterrissages. Alors que dans les autres études sélectionnées (McClean et Chappell) aucune modification n'est apparue au niveau de la cheville.

La différence des résultats peut de nouveau s'expliquer par les différences présentes dans les protocoles. Borotikar et ses associés expliquent que le choix des squats est en parti la cause de l'apparition de modification de la biomécanique de la cheville. Les squats ont entraîné une fatigue des muscles péroniers. Lors de l'atterrissage unipodal, les péroniers, préalablement fatigués ne stabilisent plus l'articulation correctement. Ainsi, l'articulation se positionne plus facilement en supination.

En plus de la haute qualité méthodologique de l'étude réalisée par Borotikar, celle-ci nous apporte de nouvelles informations. Elle met en évidence que les modifications cinématiques

induites par la fatigue apparaissent plus tôt. Les changements se produisent à des niveaux de fatigue plus faible que ceux trouvés par McClean (18) et Chappell (16).

Une deuxième information est primordiale ; la prise de décision combinée à la fatigue est un facteur de risque pour le LCA. L'anticipation des mouvements permet une meilleure stabilisation et un meilleur placement des articulations. L'auteur a essayé de reproduire les conditions réelles de match en supprimant l'anticipation. En effet, il est difficile d'anticiper les mouvements lors des différentes actions. De nombreux éléments interviennent : obstacle, action contrée par l'adversaire... De ce fait, l'absence d'anticipation a mis en évidence une modification significative des mouvements de la hanche et du genou. Elle a entraîné une diminution de la flexion de la hanche, et une augmentation de la rotation interne. Concernant le genou, il y a eu une augmentation de l'abduction et de la rotation interne. Borotikar et ses collaborateurs ont donc mis en évidence que les décisions non anticipées entraînaient une plus grande modification de la cinématique avec majoration à la fatigue.

Nous pouvons conclure que la fatigue entraîne une modification du mouvement et de la stabilisation articulaire. La fatigue conduit à une diminution du contrôle neuromusculaire, responsable de la modification de la biomécanique. En conséquence, la fatigue est un facteur de risque pour la lésion du LCA.

XII- APPLICABILITE DES RESULTATS ET PERTINENCE CLINIQUE

Un des objectifs les plus importants de cette revue est l'applicabilité des résultats dans la pratique clinique.

Dans cette partie, il revient à se demander :

- Quelles sont les limites de cette étude ?
- Si l'analyse des résultats est applicable à une pratique clinique ?
- Quel est l'intérêt pour la profession ? Pour le patient ?

Les études ont ciblé une population jeune, avec un large panel entre 11 ans et 26 ans. Elles ont étudié les hommes et les femmes, sauf deux de nos études qui ont étudié exclusivement la population féminine (Hewett et al ; Borotikar et al). Tous les sujets sélectionnés pratiquaient un sport à pivot collectif : basketball, soccer / football, ou volleyball. Quatre des études portaient sur la première division de NCAA, une étude sur la deuxième division Danoise de handball, et deux études sur des joueurs expérimentés, pratiquant le sport depuis de nombreuses années. Seulement deux des études ne précisent pas le niveau des participants. Pour résumer, la population étudiée est une population jeune, dynamique et sportive. Cette population représente la limite de notre étude. En effet, les facteurs de risque mis en avant ne peuvent pas être appliqués à toute la gente féminine.

Une autre limite est apparue : le schéma d'étude. Dans l'introduction, nous avons émis l'hypothèse que l'anatomie avait un impact sur le risque de lésion. Aucune de nos études n'a traité l'incidence de celle-ci. La plupart des études traitant de l'anatomie sont des études descriptives. Voici quelques exemples d'études descriptives qui ont servi à comprendre les spécificités anatomiques de la femme : celle menée par Cheung et al. (41) et celle menée par Price et al. (42). Le peu d'étude correspondant en termes de schéma d'étude ne collait pas à notre population. Ce n'est pas pour autant que l'anatomie ne représente pas un facteur de risque.

Cette étude ne traite pas tous les facteurs de risque et de manière évidente, cela correspond à la limite la plus importante de notre étude.

Dans la précédente étude, nous avons mis en évidence plusieurs types de facteurs de risque : la biomécanique, le contrôle neuromusculaire, la raideur articulaire active et la fatigue. Le premier objectif de cette étude est d'apporter les connaissances nécessaires aux professionnels de santé pour agir. Un seul mot prime : la **prévention**. Nous avons vu dans l'introduction, que cette blessure représente un fardeau économique, physique, et psychologique. Agir avant est donc primordial.

La lecture de cette présente étude permet aux différents acteurs d'une équipe sportive d'identifier les personnes à risque. En effet, toutes les femmes ne sont pas à risque et elles ne sont pas toutes égales devant ce dernier.

Prenons un exemple. Pour mettre en évidence le valgus dynamique, les coachs peuvent demander aux athlètes de réaliser une série de mouvements, tels que des atterrissages et des changements de direction. Suite à l'identification des athlètes fragiles et à risque, les préparateurs physiques et les kinésithérapeutes peuvent mettre en place un protocole préventif.

Le valgus dynamique peut être diminué en travaillant les éléments responsables. Pour diminuer celui-ci, plusieurs pistes s'offrent aux kinésithérapeutes. Dans un premier temps, le MK peut faire travailler les stabilisateurs de hanche. En effet, nous avons vu précédemment, selon Hewett et al., que l'adduction de hanche était corrélée à l'abduction de genou. De ce fait, en travaillant les abducteurs de hanche en chaîne fermée nous pouvons imaginer une diminution de l'abduction du genou.

Il ne faut pas oublier que la population choisie est athlétique, le travail doit donc être fonctionnel et adapté à leur niveau. En conséquence, un travail sur table n'est pas envisageable. De plus, il est primordial de travailler le geste sportif, et pour cela le MK peut décomposer les mouvements pour pouvoir les travailler de manière ciblée. Par exemple, pour la réception des sauts, le travail peut d'abord être bipodal, face à un miroir pour permettre à l'athlète de visualiser son genou. La consigne doit être simple : le genou doit rester dans l'axe. Pour augmenter la difficulté, et pour essayer de reproduire les conditions réelles d'un match, les modalités de réception peuvent être modifiées. La réception du saut peut donc se faire sur un sol instable, à l'aide de bosu ou de mousse.

Dans l'introduction, nous avons évoqué la présence de nombreux récepteurs dans le ligament croisé antérieur. Plus précisément, le ligament croisé antérieur présente de nombreux mécanorécepteurs, et notamment des récepteurs de Ruffini et Paccini, important pour la proprioception. De ce fait, le LCA est sensible aux vibrations et à la tension. Ces récepteurs permettent de renseigner le corps et le système nerveux central sur les forces de cisaillement ainsi que leurs directions. En somme, travailler la proprioception est une piste non négligeable. Lorsque l'athlète réussit à contrôler son genou, le MK peut introduire dans le protocole la notion d'anticipation. Reprenons notre exemple, l'athlète après avoir sauté, doit se déplacer en prenant la direction énoncée par le MK. Le but de cet exercice est de mettre l'athlète en difficulté. Pour cela, le kinésithérapeute énonce la direction après la réception du saut. La consigne reste la même : le genou doit rester dans l'axe.

Il ne faut pas oublier que la lésion du LCA est multifactorielle, la prévention doit donc contenir plusieurs axes. En somme dans cet exemple, la présence de valgus dynamique a permis de travailler les muscles, la biomécanique et la proprioception.

Cet exemple permet d'illustrer l'applicabilité des résultats dans une pratique clinique. En effet, les différents facteurs de risque évoqués permettent au coach d'identifier les joueuses dites à risque et au masso-kinésithérapeute de créer un protocole adapté à chacune d'entre elles.

XIII- QUALITE DE PREUVE

TABLEAU 14 : RECOMMANDATIONS DE L'HAS (43)

Selon les recommandations de l'HAS (43), les études sélectionnées sont soit de niveau 2 (étude de cohorte) soit de niveau 4 (étude transversale). Les études sont majoritairement des études transversales, les preuves scientifiques sont donc faibles. La qualité des études dépend de la **qualité méthodologique** (évaluation avec la NOS) et du **niveau de preuve**.

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

TABLEAU 15 : SCORE DE LA NEWCASTLE OTTAWA SCALE

	Score NOS < 3 Faible qualité	Score entre 3 et 7 Qualité moyenne	Score NOS > 7 Forte qualité méthodologique
Nombre d'études		6	4

Le choix de la NOS adaptée pour les études transversales représente un biais. En effet, il existe diverses versions et la notation n'est pas la même. Il faut donc interpréter le résultat de la qualité méthodologique avec prudence. Les quatre études présentant une forte qualité méthodologique, montrent tout de même de nombreux biais.

Voici le récapitulatif des biais les plus importants :

- ↳ Faible échantillon de la population (au minimum 16 personnes et au maximum 315 personnes).
- ↳ La population choisie : ce sont des athlètes pratiquant du sport depuis quelques années. La généralisation des résultats est donc difficile.
- ↳ Les études sélectionnées n'ont pas exclu les participants les plus à risques, entraînant un risque d'apparition de blessures itératives du LCA. Le but de cette étude est d'évaluer la femme, représentante de la population à risque. Cependant, toutes les femmes ne sont pas égales entre elles, les auteurs des articles auraient pu éliminer les participantes présentant plus de risque (un valgus dynamique trop prononcé par exemple). Cette sélection est difficile à faire, puisque l'objectif est de faire apparaître le risque.
- ↳ Absence de la mesure de mise en tension du LCA
- ↳ Les études ont été réalisées dans un laboratoire, conditions bien différentes des conditions réelles d'un match. Deux études incluses, Borotikar et Sigward ont essayé de reproduire les conditions d'un match, en introduisant la notion d'anticipation.

Les points positifs des études incluses sont les suivants :

- ↳ Globalement, toutes les études ont étudié le genou et les articulations sus et sous-jacentes (vision globale) ;
- ↳ 9 études sur 10 ont pris en compte l'implication de tous les plans dans la blessure, sauf Sigward et al. Leur étude aborde seulement les mouvements dans le plan frontal.

Après analyse, le grade C semble donc être le grade le plus adapté pour définir cette étude.

XIV- BIAIS POTENTIELS

L'évaluation de la qualité méthodologique de cette revue est permise par la grille AMSTAR (44) (annexe 4).

TABLEAU 16 : SCORE AMSTAR

ITEMS	Réponses	Commentaires
Un plan de recherche a priori est-il fourni ?	OUI	
La sélection des études et l'extraction des données ont-elles été confiées à au moins deux personnes ?	NON	Une seule personne a réalisé la sélection et l'extraction des données
La recherche documentaire était-elle exhaustive ?	OUI	3 sources interrogées
La nature de la publication était-elle un critère d'inclusion ?	OUI	<u>3 types d'études incluses : cohorte, cas-témoin, transversale</u>
Une liste des études (incluses et exclues) est-elle fournie ?	OUI	
Les caractéristiques des études incluses sont-elles indiquées ?	OUI	
La qualité des études scientifiques incluses a-t-elle été évaluée et consignée ?	OUI	Utilisation de la NOS
La qualité scientifique des études incluses dans la revue a-t-elle été utilisée adéquatement dans la formulation de la conclusion ?	OUI	
Les méthodes utilisées pour combiner les résultats des études sont-elles appropriées ?	/	Les résultats ne peuvent pas être combinés (différence dans les protocoles, pas les mêmes facteurs de risque)
La probabilité d'un biais de publication a-t-elle été évaluée ?	/	
Les conflits d'intérêts ont-ils été déclarés ?	OUI	Sources citées Pas de financement pour la réalisation de l'étude

Score de l'étude = 8/11

Un des biais de cette étude provient de la population de certaines études. En effet, l'étude ciblait les femmes en post début de puberté. Donc, si nous suivons cette idée jusqu'au bout, dans les critères d'inclusion il devait apparaître le stade de la puberté. Cependant, nous n'avons pas assez d'étude, nous avons donc élargi la population. En ayant toujours en tête de cibler après le début de la puberté, nous avons choisi une population assez âgée permettant ainsi de supposer que la puberté avait commencé.

D'autres biais apparaissent :

- ↳ Articles inclus dans une seule langue (en anglais)
- ↳ Limitation des recherches dans les 15 dernières années
- ↳ Principal critère de jugement présent que dans une étude
- ↳ Critères d'éligibilité non respectés : 3 types d'études sont possibles pour traiter d'une question étiologique. L'étude n'a introduit que deux des types. De plus, la majorité des études sont des études transversales.
- ↳ Faible qualité de preuve des études incluses

CONCLUSION

La présente étude a fait apparaître plusieurs points importants.

En effet, on note chez la femme une **biomécanique** bien différente de celle des hommes lors de l'atterrissage bipodal, ou lors de la réalisation de tâches dynamiques : diminution de la flexion de genou, augmentation du valgus dynamique et de ce fait augmentation de l'abduction du genou corrélée à l'adduction de hanche.

Les **facteurs neuromusculaires** féminins se distinguent eux aussi, laissant apparaître un schéma propre à la femme avec une diminution de la raideur articulaire active de la hanche et de la cheville.

De plus, une dominance du quadriceps apparaît et de ce fait, la répartition des forces n'est pas homogène reportant ainsi la charge sur le genou. D'où la nécessité de travailler la co-activation simultanée.

Concernant la **fatigue**, en modifiant le contrôle neuromusculaire elle influe sur la biomécanique, d'autant plus qu'elle est inévitable.

Cependant quelques points restent à éclaircir.

Premièrement, l'analyse des différents articles n'a pas pu définir le rôle exact de la puberté alors que nous savons que celle-ci engendre des modifications au niveau de la raideur articulaire active. En effet, l'étude n'a pas permis d'en préciser les différentes modalités et notamment l'implication hormonale.

Dans un deuxième temps, l'incidence de la position du tronc dans les lésions du ligament croisé antérieur reste encore incertaine.

Pour appuyer nos conclusions, il faudrait réaliser des études avec un niveau scientifique plus important, telles que des études prospectives.

D'une part, pour apporter une plus grande véracité scientifique aux données statistiques déjà existantes. Et d'autre part, pour continuer les recherches afin de déterminer d'autres éventuels facteurs de risque.

De nombreux protocoles de prévention existent et sans pour autant constater de diminution du sex-ratio de ces lésions. Les équipes appliquent-elles vraiment ces protocoles ? Et si c'est le cas, ces protocoles sont-ils réellement efficaces ?

TRAVAUX CITÉS

1. Gender differences in noncontact anterior cruciate ligament injuries. Kimberly G. Harmon, MD, and Mary Lloyd Ireland, MD. s.l. : Clinics in sports medicine, Avril 2000, Vols. Vol. 19, No. 2.
2. Biomechanical Measures of Neuromuscular Control and Valgus Loading of the Knee Predict Anterior Cruciate Ligament Injury Risk in Female Athletes A Prospective Study. Timothy E. Hewett, Gregory D. Myer, Kevin R. Ford, Robert S. Heidt, Jr, Angelo J. Colosimo, Scott G. McLean, Antonie J. van den Bogert, Mark V. Paterno, and Paul Succop. The American journal of sports medicine, 2005, Vol. 33. 4.
3. Anterior cruciate ligament injuries in female Athletes - Part 1, Mechanisms and Risk Factors. Timothy E. Hewett, PhD, Gregory D. Myer, MS, CSCS, and Kevin R. Ford, MS. s.l. : The American journal of sports medicine, Vol. 34, No. 2, 2006.
4. A meta-analysis of the incidence of ACL tears as a function of gender, sport, and a knee injury-reduction regimen. Chadwick C. Prodomos, M.D., Yung HAN, M.D., Julie Rogowski, B.S., Brian Joyce, B.A., and Kevin Shi, M.S. December 2007, Arthroscopy : the journal of arthroscopic and related surgery.
5. Design of a novel anterior cruciate ligament prosthesis. Franzesi, Giovanni Talei. September 2006.
6. ACL injury prevention in female athletes : review of the literature and practical considerations in implementing an ACL prevention program. Voskanian, Nathalie. s.l. : Curr Rev Musculoskelet Med, jun 2013.
7. Cruciate ligament injuries under gender aspect. Grabau, K. Vitzthlum, S. MACHE, D.A Groneberg, D. Quarcoo. Sportverl Sportschad, 2011.
8. The influence of gender on neuromuscular pre-activity during side-cutting. Jesper Bencke, Mette K. Zebis. s.l. : Journal of electromyography and kinesiology, 2011.
9. R.J., Emerson. Basketball knee injuries and the ACL . 1993 : Clinique sports Medecin.
10. Hewett, T.E, Myer, G.D, & Ford, K.R. ACL injuries in female athletes : mechanism and risk factors. s.l. : American Journal of Sports Medicine, 2006.
11. Perlemuter, J. Hazard & L. Endocrinologie. s.l. : Masson. 2ème édition.
12. The effect of menstrual cycle and contraceptives on ACL injuries and laxity : a systematic review and meta-analysis. D. Herzberg, L. Motu'apuaka, Lambert, Fu, Brady, Guise. s.l. : Orthop J Sports Med, 2017.
13. Lower extremity joint moments of collegiate soccer players differ between genders during a forward jump. M. Hart, Craig Garrison, Palmieri-Smith, Casey Kerrigan, D. Ingersoll. s.l. : Journal of Sport Rehabilitation, 2008.
14. Longitudinal effects of maturation on lower extremity joint stiffness in adolescent athletes. R. Ford, D. Myer, E. Hewett. 9, s.l. : The American Journal of Sports Medicine, 2010, Vol. 38. 10.1177/0363546510367425.
15. Gender differences in active musculoskeletal stiffness. Part I. Quantification in controlled measurements of knee joint dynamics. Granata, Wilson, Padua. s.l. : Elsevier, 2002.
16. Effect of fatigue on knee kinetics and kinematics in Stop-Jump Tasks. D. Chappell, C. Herman, S. Knight, T. Kirkendall, E. Garrett, Bing Yu. 7, s.l. : The American journal of sports Medicine, 2005, Vol. 33.
17. Perturbation-enhanced neuromuscular training alters muscle activity in female athletes. Wendy J. Hurd, Terese L. Chmielewski, Lynn Snyder-Mackler. s.l. : Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2005.
18. Impact of fatigue on gender-based, high-risk landing strategies. G. McClean, E. Felin, Suedekum, Calabrese, Passerallo, Joy. s.l. : American College of Sports Medicine, 2007.

19. Combined effects of fatigue and decision making on female lower limb postures : central and peripheral contributions to ACL injury risk. S. Borotikar, Newcomer, Koppes, G. McLean. s.l. : Elsevier, 2008.
20. Ligament croisé antérieur et stabilité rotatoire. Christel, P. S8, s.l. : Revue de chirurgie Orthopédique et Traumatologique, Décembre 2005, Vol. 91.
21. Kahn, Cyril J.F. Ingénierie Tissulaire des ligaments . [Online] http://docnum.univ-lorraine.fr/public/INPL/2009_KAHN_C.pdf.
22. V. B. Duthon, C. Barea, S. Abrassart, J.H. Fasel, D. Fritschy, J. Ménétrey. Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2006.
23. Clinical Diagnosis of an Anterior Cruciate Ligament Rupture : a meta-analysis. Anne Benjaminse, Alli Gokeler, Cees P. Van Der Schans. s.l. : Journal of Orthopaedic & Sports physical therapy, 2006.
24. Chirurgie du sport PARIS. [Online] http://www.chirurgiedusport.com/___ligamentoplastie_du_lca_les_techniques_actuelles___didt_kj_d_t4_tls_macintosh_au_fascia_lata_tendon_quadricipital_double_faisceau_lemaire_rupture_partielle_navigiation_allogreffe-f-4-c-2336-sc-16-a-760193.html.
25. Ligamentoplastie mixte au fascia lata pour rupture du LCA pour les patients de plus de 40 ans. [Online] <https://www.em-consulte.com/en/article/86358>.
26. Chirurgie du sport . [Online] http://www.chirurgiedusport.com/___ligamentoplastie_du_lca_les_techniques_actuelles___didt_kj_d_t4_tls_macintosh_au_fascia_lata_tendon_quadricipital_double_faisceau_lemaire_rupture_partielle_navigiation_allogreffe-f-4-c-2336-sc-16-a-760193.html.
27. La chirurgie arthroscopique du LCA. [Online] <https://www.genouhanche.fr/fr/genou/sport/la-chirurgie-arthroscopique-du-ligament-croise-anterieur-lca.html>.
28. Rowan, Kate. Exclusive: Chelsea become first club to tailor training to menstrual cycles. The telegraph. [Online] 02 13, 2020. [Cited: 04 05, 2020.] <https://www.telegraph.co.uk/football/2020/02/13/exclusive-chelsea-become-first-club-tailor-training-menstrual/>.
29. Intérêt-thérapeutique.org. [Online] http://www.txrating.org/polycop/concept/risque_alpha.htm.
30. Muscle activation during side-step cutting maneuvers in male and female soccer athletes. M. Hanson, A. Padua, Blackburn, E. Prentice, J.Hirth. North Carolina : Journal of athletic training, 2008.
31. Predictors of frontal plane knee moments during side-step cutting to 45° and 110° men and women : implications for ACL injury. M. Sigward, M. Cesar, L. Havens. 2015.
32. Influence of gender on trunk and lower limb biomechanics during lateral movements. E. Welthin, G. Mornieux, A. Gollhofer. s.l. : Research in sports medicine. 10.1080/15438627.2015.1040915.
33. The mechanistic connection between the trunk, knee and anterior cruciate ligament injury. Myer, Timothy E. Hewett and Gregory D. s.l. : Exercice Sport Science Revue, 2011.
34. Video analysis of trunk and knee motion during non-contact ACL injury in female athletes : lateral trunk and knee abduction motion are combined components of the injury mechanism. T.E Hewett, J.S Torg, B.P Boden. s.l. : British Journal of Sports Medicine, 2009.
35. Deficit in neuromuscular control of the trunk predict knee injury risk : a prospective biomechanical-epidemiologic study. Zazulak, Hewett, Reeves, Goldber, Cholewicki. s.l. : The American Journal of Sports Medicine, 2007.
36. Identification de caractéristiques physiques et neurocognitives affectant la biomécanique de l'atterrissage d'un athlète. Chloé, NÉLY. Montréal : s.n., 21.12.2018.
37. Gender differences in active musculoskeletal stiffness. Part II. Quantification of leg stiffness during functional hopping tasks. Granata, Padua, Wilson. s.l. : Elsevier, Journal of Electromyography and Kinesiology.

38. Les facteurs de risque de rupture du ligament croisé antérieur du genou : l'état neuromusculaire. Kaux, Delvaux, Forthomme, Massart, Dael, Crielaard, Croisier. s.l. : Elsevier, 2013.
39. Gender Differences in Leg Stiffness and Stiffness Recruitment Strategy During Two-Legged Hopping. Padua, Arnold, Carcia, Granata. 2005.
40. Perturbation-enhanced neuromuscular training alters muscle activity in female athletes. Hurd, Chmielewski, Snyder-Mackler. s.l. : Knee surgery Sports Traumatol Arthrosc, 2006.
41. Anatomic Factors that May Predispose Female Athletes to Anterior Cruciate Ligament Injury. Edward C. Cheung, MD, et al. s.l. : EXTREMITY AND JOINT CONDITIONS, 2015.
42. Nonmodifiable risk factors for anterior cruciate ligament injury . Meghan J. Price, Maria Tuca, Frak A. Cordasco, Daniel W. Green. 2017.
43. Santé, Haute Autorité de. Niveau de preuve et gradation des recommandations de bonne pratique. [Online] 04 2013. [Cited: 04 06, 2020.] https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2013-06/etat_des_lieux_niveau_preuve_gradation.pdf.
44. INESSS. AMSTAR :a measurement tool to assess the methodological quality of systematic reviews. [Online] 01 21, 2015. [Cited: 04 07, 2020.] https://www.inesss.qc.ca/fileadmin/doc/INESSS/DocuMetho/Amstar_FR_21012015.pdf.
45. Kjaer, Mette Hansen & Michael. Sex hormones and tendon. s.l. : Springer International Publishing Switzerland , 2016.
46. Ministère de a jeunesse, des sports et de la vie associative. [Online] http://www.sports.gouv.fr/IMG/archives/pdf/STA_INFO_n_05-05.pdf.
47. Mechanisms of non-contact ACL injuries. Garrett, Bing Yu & William E. s.l. : BR j Sports Med, 2007 Aug.
48. Richard L. Drake, A. Wayne Vogl, Adam W. M. Mitchell. Grays' Anatomie pour les étudiants. s.l. : Elsevier.
49. Knee moments during run-to-cut maneuvers are associated with lateral trunk positioning. Jamison, Pan, Chaudhari. s.l. : Journal of biomechanics, Elsevier, 2012.

INDEX

FIGURE 1 : EVOLUTION DU NOMBRE DE LICENCES (SOURCE : MINISTERE DES SPORTS).....	1
FIGURE 2 : VALGUS DYNAMIQUE (HEWETT 2005).....	2
FIGURE 3 : DONNEES DU PMSI MCO CONCERNANT LES INTERVENTIONS SUR LES LIGAMENTS CROISES (HAS 2008)	3
FIGURE 4 : COMPARAISON DES COUTS DE PEC (HAS JANVIER 2008).....	3
FIGURE 5 : SCHEMATISATION DE L'ANGLE Q (HTTPS://BONEANDSPINE.COM/Q-ANGLE/)	4
FIGURE 6 : VARIATIONS DES HORMONES AU COURS DU CYCLE MENSTRUEL (PERLEMUTER ET AL. ENDOCRINOLOGIE (11)).....	5
FIGURE 7 : ARTICULATION DU GENOU (GRAY'S ANATOMIE POUR LES ETUDIANTS) (48).....	7
FIGURE 8 : ANATOMIE DU LCA (SOURCE : RUPTURE DU LCA).....	8
FIGURE 9 : CHARGE SUPPORTEE IN SITU PAR LE LCA ET SES 2 FAISCEAUX (SOURCE : EM-CONSULTE.COM).....	9
FIGURE 10 : RESEAU VASCULAIRE, FACE POSTERIEURE DU GENOU	10
FIGURE 11 : RESEAU NERVEUX DU GENOU	10
FIGURE 12 : TEST DE LACHMAN (SOURCE : CLINICAL ADVISOR).....	11
FIGURE 13 : TEST DU TIROIR ANTERIEUR DIRECT (SOURCE : HTTPS://DRSOLEIL.FR/TEST-TIROIR-ANTERIEUR/).....	11
FIGURE 14 : JERK TEST (JOURNAL DE TRAUMATOLOGIE DU SPORT – TESTS ET EXAMEN CLINIQUE EN PATHOLOGIE SPORTIVE).....	12
FIGURE 15 : ARBRE DECISIONNEL OPERATION (RECOMMANDATIONS HAS).....	12
FIGURE 16 : CARACTERISTIQUES DES DIFFERENTS PRELEVEMENTS (SOURCE : REVUE MEDICALE, HTTPS://WWW.REVMED.CH/RMS/2008/RMS-184/RECONSTRUCTION-DU-LIGAMENT-CROISE-ANTERIEUR-INDICATIONS-ET-TECHNIQUES)	13
FIGURE 17 : SCHEMA D'ETUDE CAS TEMOIN (HTTP://CYBERTIM.TIMONE.UNIV-MRS.FR/)	17
FIGURE 18 : SCHEMA D'ETUDE DE COHORTE (HTTP://CYBERTIM.TIMONE.UNIV-MRS.FR/)	17
FIGURE 19 : ETUDE TRANSVERSALE	17
FIGURE 20 : BIOMECHANIQUE DU SAUT VERTICAL.....	25
FIGURE 21 : SCHEMATISATION DU PROTOCOLE.....	26
FIGURE 22 : SCHEMATISATION DU PROTOCOLE.....	28
FIGURE 23 : SCHEMATISATION DES TACHES DE COUPE LATERALE	30
FIGURE 24 : SCHEMATISATION DU SAUT LATERAL REACTIF.....	31
FIGURE 25 : LES MOMENTS NORMALISES DES DIFFERENTES ARTICULATIONS.....	39
FIGURE 26 : RAPPORT ENTRE LES MOMENTS EXTERNES MAX DU GENOU / LA HANCHE	40
FIGURE 27 : LE RATIO DE PRE-ACTIVITE Q/IJ	40
FIGURE 28 : LE MOMENT VALGUS DU GENOU EN FONCTION DE LA TACHE REALISEE.....	40
FIGURE 29 : INFLUENCE DU SEXE ET DE LA PHASE SUR L'ACTIVATION DU MOYEN FESSIER	47
FIGURE 30 : EMG DE LA PRE-ACTIVITE (COMPARAISON HOMME/FEMME).....	47
FIGURE 31 : COMPARAISON DE LA PRE-ACTIVITE DES MUSCLES ENTRE LES DEUX SEXES	48
FIGURE 32 : CINEMATIQUE ET CINETIQUE DES ARTICULATIONS	50
TABLEAU 1 : CARACTERISTIQUES DES ETUDES.....	17
TABLEAU 2 : MODELE PICO	18
TABLEAU 3 : EQUATION DE RECHERCHE ET MOTS CLES.....	18
TABLEAU 4 : ITEMS DE LA NOS	20
TABLEAU 5 : ETUDES EXCLUES	23
TABLEAU 6 : ETUDES UTILISEES POUR LA REDACTION.....	24
TABLEAU 7 : NOS (ETUDE COHORTE).....	32
TABLEAU 8 : NOS (ETUDES TRANSVERSALES)	32
TABLEAU 9 : PRESENTATION DES DIFFERENTS BIAIS	33
TABLEAU 10 : REPRESENTATION DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE (%) LORS DES DIFFERENTES PHASES DES DEUX TACHES	38
TABLEAU 11 : VALEURS MOYENNES AU MOMENT D'ABDUCTION MAXIMAL DU GENOU POUR LE GENOU, LA HANCHE, ET TRONC (COMPARAISON HOMME/FEMME)	41
TABLEAU 12 : RESUME DES FACTEURS DE RISQUE EN FONCTION DES ARTICLES	42
TABLEAU 13 : LES DIFFERENTS PROTOCOLES DE FATIGUE	51
TABLEAU 14 : RECOMMANDATIONS DE L'HAS.....	56
TABLEAU 15 : SCORE DE LA NEWCASTLE OTTAWA SCALE	56
TABLEAU 16 : SCORE AMSTAR	58

ANNEXES

Annexe 1

NEWCASTLE - OTTAWA QUALITY ASSESSMENT SCALE CASE CONTROL STUDIES

Note: A study can be awarded a maximum of one star for each numbered item within the Selection and Exposure categories. A maximum of two stars can be given for Comparability.

Selection

- 1) Is the case definition adequate?
 - a) yes, with independent validation *
 - b) yes, eg record linkage or based on self reports
 - c) no description
- 2) Representativeness of the cases
 - a) consecutive or obviously representative series of cases *
 - b) potential for selection biases or not stated
- 3) Selection of Controls
 - a) community controls *
 - b) hospital controls
 - c) no description
- 4) Definition of Controls
 - a) no history of disease (endpoint) *
 - b) no description of source

Comparability

- 1) Comparability of cases and controls on the basis of the design or analysis
 - a) study controls for _____ (Select the most important factor.) *
 - b) study controls for any additional factor * (This criteria could be modified to indicate specific control for a second important factor.)

Exposure

- 1) Ascertainment of exposure
 - a) secure record (eg surgical records) *
 - b) structured interview where blind to case/control status *
 - c) interview not blinded to case/control status
 - d) written self report or medical record only
 - e) no description
- 2) Same method of ascertainment for cases and controls
 - a) yes *
 - b) no
- 3) Non-Response rate
 - a) same rate for both groups *
 - b) non respondents described
 - c) rate different and no designation

Annexe 2

NEWCASTLE - OTTAWA QUALITY ASSESSMENT SCALE COHORT STUDIES

Note: A study can be awarded a maximum of one star for each numbered item within the Selection and Outcome categories. A maximum of two stars can be given for Comparability

Selection

- 1) Representativeness of the exposed cohort
 - a) truly representative of the average _____ (describe) in the community *
 - b) somewhat representative of the average _____ in the community *
 - c) selected group of users eg nurses, volunteers
 - d) no description of the derivation of the cohort
- 2) Selection of the non exposed cohort
 - a) drawn from the same community as the exposed cohort *
 - b) drawn from a different source
 - c) no description of the derivation of the non exposed cohort
- 3) Ascertainment of exposure
 - a) secure record (eg surgical records) *
 - b) structured interview *
 - c) written self report
 - d) no description
- 4) Demonstration that outcome of interest was not present at start of study
 - a) yes *
 - b) no

Comparability

- 1) Comparability of cohorts on the basis of the design or analysis
 - a) study controls for _____ (select the most important factor) *
 - b) study controls for any additional factor * (This criteria could be modified to indicate specific control for a second important factor.)

Outcome

- 1) Assessment of outcome
 - a) independent blind assessment *
 - b) record linkage *
 - c) self report
 - d) no description
- 2) Was follow-up long enough for outcomes to occur
 - a) yes (select an adequate follow up period for outcome of interest) *
 - b) no
- 3) Adequacy of follow up of cohorts
 - a) complete follow up - all subjects accounted for *
 - b) subjects lost to follow up unlikely to introduce bias - small number lost - > ____ % (select an adequate %) follow up, or description provided of those lost) *
 - c) follow up rate < ____ % (select an adequate %) and no description of those lost
 - d) no statement

Annexe 3

The modified Newcastle Ottawa scale for cross sectional studies

Selection				Comparability	Outcome	
Representativeness of the sample	Sample size	Ascertainment of exposure	Non-respondents	The subjects in different outcome groups are comparable, based on the study design or analysis. Confounding factors are controlled.	Assessment of outcome	Was follow-up long enough for outcomes to occur
a) Truly representative of the average ACOS in the community * b) Somewhat representative of the average ACOS in the community * c) Selected group of ACOS (e.g. smokers, non-smokers) d) No description of the derivation of the cohort	a) Justified and satisfactory. * b) Not justified.	a) Validated measurement tool. * b) Non-validated measurement tool, but the tool is available or described. * c) No description of the measurement tool.	a) Comparability between respondents and non-respondents characteristics is established, and the response rate is satisfactory. * b) The response rate is unsatisfactory, or the comparability between respondents and non-respondents is unsatisfactory. c) No description of the response rate or the characteristics of the responders and the non-responders.	a) The study controls for the most important factor (Childhood asthma). * b) The study control for any additional factor (age, gender, ethnicity). *	a) Independent blind assessment * b) Record linkage * c) Self report d) No description	a) The statistical test used to analyze the data is clearly described and appropriate, and the measurement of the association is presented, including confidence intervals and the probability level (p value). * b) The statistical test is not appropriate, not described or incomplete.

Annexe 4



AMSTAR – GRILLE D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ MÉTHODOLOGIQUE DES REVUES SYSTÉMATIQUES

AMSTAR : a measurement tool to assess the methodological quality of systematic reviews

1. Un plan de recherche établi a priori est-il fourni?

La question de recherche et les critères d'inclusion des études doivent être déterminés avant le début de la revue.

Oui Non Impossible de répondre Sans objet

Remarque :

Pour que la réponse soit « oui », il doit y avoir un protocole, l'approbation d'un comité d'éthique ou des objectifs d'étude prédéterminés ou établis a priori.

Commentaire :

2. La sélection des études et l'extraction des données ont-ils été confiés à au moins deux personnes?

Au moins deux personnes doivent procéder à l'extraction des données de façon indépendante, et une méthode de consensus doit avoir été mise en place pour le règlement des différends.

Oui Non Impossible de répondre Sans objet

Remarque :

Deux personnes sélectionnent les études, deux personnes procèdent à l'extraction des données, puis elles se mettent d'accord ou vérifient leur travail respectif.

Commentaire :

3. La recherche documentaire était-elle exhaustive?

Au moins deux sources électroniques doivent avoir été utilisées. Le rapport doit comprendre l'horizon temporel de la recherche et les bases de données interrogées (Central, EMBASE et MEDLINE, par exemple). Les mots clés et (ou) les termes MeSH doivent être indiqués et, si possible, la stratégie de recherche complète doit être exposée. Toutes les recherches doivent être complétées par la consultation des tables des matières de revues scientifiques récentes, de revues de la littérature, de manuels, de registres spécialisés ou d'experts dans le domaine étudié et par l'examen des références fournies dans les études répertoriées.

Oui Non Impossible de répondre Sans objet

Remarque :

Si on a consulté au moins deux sources et eu recours à une stratégie complémentaire, cocher « oui » (Cochrane + Central = deux sources; recherche de la littérature grise = stratégie complémentaire).

Commentaire :

4. La nature de la publication (littérature grise, par exemple) était-elle un critère d'inclusion?

Les auteurs doivent indiquer s'ils ont recherché tous les rapports, quel que soit le type de publication, ou s'ils ont exclu des rapports (de leur revue systématique) sur la base du type de publication, de la langue, etc.

Oui Non Impossible de répondre Sans objet

Remarque :

Si les auteurs indiquent qu'ils ont recherché la littérature grise ou non publiée, cocher « oui ». La base de données SIGLE, les mémoires, les actes de conférences et les registres d'essais sont, en l'occurrence, tous considérés comme de la littérature grise. Si la source renfermait de la littérature grise, mais aussi de la littérature à large diffusion, les auteurs doivent préciser qu'ils recherchaient de la littérature grise ou non publiée.

Commentaire :

5. Une liste des études (incluses et exclues) est-elle fournie?

Une liste des études incluses et exclues doit être fournie.

Oui Non Impossible de répondre Sans objet

Remarque :

Il est acceptable de s'en tenir aux études exclues. S'il y a un hyperlien menant à la liste, mais que celui-ci est mort, cocher « non ».

Commentaire :

6. Les caractéristiques des études incluses sont-elles indiquées?

Les données portant sur les sujets qui ont participé aux études originales, les interventions qu'ils ont reçues et les résultats doivent être regroupées, sous forme de tableau, par exemple. L'étendue des données sur les caractéristiques des sujets de toutes les études analysées (âge, race, sexe, données socio-économiques pertinentes, nature, durée et gravité de la maladie, autres maladies, par exemple) doit y figurer.

Oui Non Impossible de répondre Sans objet

Remarque :

Ces données ne doivent pas nécessairement être présentées sous forme de tableau, pour autant qu'elles soient conformes aux exigences ci-dessus.

Commentaire :

7. La qualité scientifique des études incluses a-t-elle été évaluée et consignée?

Les méthodes d'évaluation déterminées a priori doivent être indiquées (par exemple, pour les études sur l'efficacité pratique, le choix de n'inclure que les essais cliniques randomisés à double insu avec placebo ou de n'inclure que les études où l'affectation des sujets aux groupes d'étude était dissimulée); pour d'autres types d'études, d'autres critères d'évaluation seront à prendre en considération.

Oui Non Impossible de répondre Sans objet

Remarque :

Ici, les auteurs peuvent avoir utilisé un outil ou une grille quelconque pour évaluer la qualité (score de Jadad, évaluation du risque de biais, analyse de sensibilité, etc.) ou peuvent exposer les critères de qualité en indiquant le résultat obtenu pour CHAQUE étude (un simple « faible » ou « élevé » suffit, dans la mesure où l'on sait exactement à quelle étude l'évaluation s'applique; un score général n'est pas acceptable, pas plus qu'une plage de scores pour l'ensemble des études).

Commentaire :

8. La qualité scientifique des études incluses dans la revue a-t-elle été utilisée adéquatement dans la formulation des conclusions?

Les résultats de l'évaluation de la rigueur méthodologique et de la qualité scientifique des études incluses doivent être pris en considération dans l'analyse et les conclusions de la revue, et formulés explicitement dans les recommandations.

Oui Non Impossible de répondre Sans objet

Remarque :

Voici une formulation possible : « La faible qualité des études incluses impose la prudence dans l'interprétation des résultats ». On ne peut cocher « oui » à cette question si on a coché « non » à la question 7.

Commentaire :

9. Les méthodes utilisées pour combiner les résultats des études sont-elles appropriées?

Si l'on veut regrouper les résultats des études, il faut effectuer un test d'homogénéité afin de s'assurer qu'elles sont combinables (chi carré ou I^2 , par exemple). S'il y a hétérogénéité, il faut utiliser un modèle d'effets aléatoires et (ou) vérifier si la nature des données cliniques justifie la combinaison (la combinaison est-elle raisonnable?).

Oui Non Impossible de répondre Sans objet

Remarque :

Cocher « oui » si on souligne ou explique la nature hétérogène des données, par exemple si les auteurs expliquent que le regroupement est impossible en raison de l'hétérogénéité ou de la variabilité des interventions.

Commentaire :

10. La probabilité d'un biais de publication a-t-elle été évaluée?

Une évaluation du biais de publication doit comprendre une association d'outils graphiques (diagramme de dispersion des études ou autre test) et (ou) des tests statistiques (test de régression d'egger, méthode de Hedges et Olkin, par exemple).

Oui Non Impossible de répondre Sans objet

Remarque :

Si les auteurs ne fournissent aucun résultat de test ni diagramme de dispersion des études, cocher « non ». Cocher « oui » s'ils expliquent qu'ils n'ont pas pu évaluer le biais de publication, parce qu'ils ont inclus moins de 10 études.

Commentaire :

11. Les conflits d'intérêts ont-ils été déclarés?

Les sources possibles de soutien doivent être déclarées, tant pour la revue systématique que pour les études qui y sont incluses.

Oui Non Impossible de répondre Sans objet

Remarque :

On ne peut cocher « oui » que si la source de financement ou de soutien de la revue systématique ET de chaque étude incluse est indiquée.

Commentaire :

Appréciation générale

©Shea et al. BMC Medical Research Methodology 2007 7:10 doi:10.1186/1471-2288-7-10.

Les remarques (en italiques), signées Michelle Weir, Julia Warswick et Carolyn Wayne, rendent compte de conversations avec Bev Shea et (ou) Jeremy Grimshaw qui ont eu lieu en juin et octobre 2008 ainsi qu'en juillet et septembre 2010.

 ABSTRACT

Contexte : La lésion du ligament croisé antérieur représente une des blessures les plus complexes à aborder. Elle entraîne de nombreuses répercussions, dont une longue absence sur le terrain. La femme est 4 à 6 fois plus exposée à une lésion du ligament croisé antérieur. La participation des femmes dans les différents sports n'a cessé d'augmenter ces dix dernières années, majorant ainsi ce risque. Peu importe les différents protocoles de prévention mis en place, l'incidence de la lésion et le sex-ratio ne diminuent pas.

Objectifs : Mettre en évidence les facteurs de risque propres à la femme pour permettre une prévention plus adaptée.

Méthodes : Trois sources de recherches ont été utilisées (PubMed, Cochrane et Kinédoc). L'équation de recherche utilisée était la suivante : (((risk factor) AND (((sex gender) OR sex variance) OR sex identity)) AND (((woman athlete) OR women athletes) OR female athlete)) AND ((anterior cruciate ligament injuries) OR ACL). Dans cette revue, 10 articles ont été inclus. Les critères de sélection ont été précisés dans l'étude. Le critère de jugement principal était le suivant : apparition d'une rupture du ligament croisé antérieur. Pour évaluer la qualité méthodologique de nos articles, nous avons utilisé la grille NOS.

Résultats : La population de l'étude était une population jeune, dynamique, participant à des sports collectifs à pivot. Certains facteurs de risque ont été mis en évidence tels que la valgus dynamique, l'abduction de genou, la dominance du quadriceps, la raideur articulaire active diminuée et la fatigue. Cependant, il existe encore des imprécisions.

Discussion : La présente étude a été évaluée à l'aide de la grille AMSTAR, son score est de 8/11. Ce résultat doit être atténué, car les études incluses présentent de nombreux biais, et leur niveau scientifique est faible. De ce fait, il est difficile de présenter le schéma responsable de ce sex-ratio. De plus, la cause est multifactorielle. Il semble nécessaire de continuer les recherches pour apporter des réponses plus spécifiques et améliorer ainsi les connaissances.

Mots clés : Lésion du ligament croisé antérieur ; différence homme/femme ; facteurs de risque ; sports à pivot ; athlètes féminines

Context: The anterior cruciate ligament injury is one of the most complex injury to be addressed. It has many repercussions, including a long absence on the field. Woman is 4 to 6 time more exposed to a lesion of the anterior cruciate ligament. Over the past decade, woman's participation has steadily increased in different sports, which make the risk more important. Regardless of the different prevention protocol in place, the incidence injury and the sex ration does not decrease.

Objectives: Highlight risk factors specific to woman to allow more appropriate prevention.

Methods: Three research sources have been used (PubMed, Cochrane and Kinedoc). The research equation is the following one: (((risk factor) AND (((sex gender) OR sex variance) OR sex identity)) AND (((woman athlete) OR women athletes) OR female athlete)) AND ((anterior cruciate ligament injuries) OR ACL). And in this review, ten articles are including. The selection criteria has been precised in the study. The main judgment criteria was the following: belonging to a rupture of the anterior cruciate ligament. To evaluate the methodological quality of the articles, we used the NOS grid.

Results: The study population was a young population, dynamic, participating in pivotal group sports. All along the study, several types of risk factors emerged such as dynamic valgus and knee abduction, dominance of the quadriceps, decreased active joint stiffness and fatigue. However, there are still inaccuracies.

Discussion: The present study has been evaluated with AMSTAR grid; the score is 8/11. This result should be attenuated, because, included studies present many biases with a low scientific level. Therefore, it is difficult to present the plan responsible for the sex ratio. Moreover, the cause is multifactorial. It seems necessary to continue researches in order to bring more specific answers and improves knowledges.

Keywords: ACL injury ; gender difference ; risk factor ; pivot sport ; women athletes