



<http://portaildoc.univ-lyon1.fr>

Creative commons : Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale  
- Pas de Modification 4.0 France (CC BY-NC-ND 4.0)



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>

Institut des Sciences et Techniques de Réadaptation  
Département Masso-Kinésithérapie

**Mémoire N°1919**

Mémoire d'initiation à la recherche en Masso-Kinésithérapie

Présenté pour l'obtention du

**Diplôme d'État en Masso-Kinésithérapie**

Par

**BENETREAU Rémy**

**La rééducation des ischios-jambiers suite à une reconstruction du ligament croisé  
postérieur : une revue de la littérature**

**Hamstring rehabilitation after a posterior cruciate ligament reconstruction : a literature  
review**

Directeur de mémoire

**BECAT Jeanne**

**MASSE Valentin**

**Année 2023-2024**

**Session 1**

Membres du jury

**BAHMAD Salam**

**BECAT Jeanne**

**LAINÉ Romain**

## CHARTRE ANTI-PLAGIAT

La Direction Régionale de l'Économie, de l'Emploi, du Travail et des Solidarités délivre sous l'autorité du préfet de région les diplômes paramédicaux et du travail social.

C'est dans le but de garantir la valeur des diplômes qu'elle délivre et la qualité des dispositifs de formation qu'elle évalue, que les directives suivantes sont formulées.

Elles concernent l'ensemble des candidats devant fournir un travail écrit dans le cadre de l'obtention d'un diplôme d'État, qu'il s'agisse de formation initiale ou de parcours VAE.

La présente charte définit les règles à respecter par tout candidat, dans l'ensemble des écrits servant de support aux épreuves de certification du diplôme préparé (mémoire, travail de fin d'études, livret2).

Il est rappelé que « le plagiat consiste à reproduire un texte, une partie d'un texte, toute production littéraire ou graphique, ou des idées originales d'un auteur, sans lui en reconnaître la paternité, par des guillemets appropriés et par une indication bibliographique convenable »<sup>1</sup>.

**La contrefaçon** (le plagiat est, en droit, une contrefaçon) **est un délit** au sens des articles L. 335-2 et L. 335-3 du code de la propriété intellectuelle.

### Article 1 :

Le candidat au diplôme s'engage à encadrer par des guillemets tout texte ou partie de texte emprunté ; et à faire figurer explicitement dans l'ensemble de ses travaux les références des sources de cet emprunt. Ce référencement doit permettre au lecteur et correcteur de vérifier l'exactitude des informations rapportées par consultation des sources utilisées.

### Article 2 :

Le plagiaire s'expose à des procédures disciplinaires. De plus, en application du Code de l'éducation<sup>2</sup> et du Code de la propriété intellectuelle<sup>3</sup>, il s'expose également à des poursuites et peines pénales.

### Article 3 :

Tout candidat s'engage à faire figurer et à signer sur chacun de ses travaux, deuxième de couverture, cette charte dûment signée qui vaut engagement :

*Je soussigné(e) : BENETREAU Rémy.*

*atteste avoir pris connaissance de la charte anti-plagiat élaborée par la DREETS Auvergne-Rhône-Alpes et de m'y être conformé(e).*

*Je certifie avoir rédigé personnellement le contenu du livret/mémoire fourni en vue de l'obtention du diplôme suivant :*

Fait à Lyon, Le 29/03/2024

Signature

Zér 



<sup>1</sup> Site Université de Nantes : <http://www.univ-nantes.fr/statuts-et->

[chartes-usagers/dossier-plagiat-784821.kjsp](https://www.univ-nantes.fr/statuts-et-chartes-usagers/dossier-plagiat-784821.kjsp)

<sup>2</sup> Article L331-3 : « les fraudes commises dans les examens et les concours publics qui ont pour objet l'acquisition d'un diplôme délivré par l'Etat sont réprimées dans les conditions fixées par la loi du 23 décembre 1901 réprimant les fraudes dans les examens et concours publics »

<sup>3</sup> Article L122-4 du Code de la propriété intellectuelle



Institut des Sciences et Techniques de Réadaptation  
Département Masso-Kinésithérapie

**Mémoire N°1919**

Mémoire d'initiation à la recherche en Masso-Kinésithérapie

Présenté pour l'obtention du

**Diplôme d'État en Masso-Kinésithérapie**

Par

**BENETREAU Rémy**

**La rééducation des ischios-jambiers suite à une reconstruction du ligament croisé  
postérieur : une revue de la littérature**

**Hamstring rehabilitation after a posterior cruciate ligament reconstruction : a literature  
review**

Directeur de mémoire

**BECAT Jeanne**

**MASSE Valentin**

**Année 2023-2024**

**Session 1**

Membres du jury

**BAHMAD Salam**

**BECAT Jeanne**

**LAINE Romain**

# Université Claude Bernard Lyon 1



Président

**Frédéric FLEURY**

Vice-président CA

**REVEL Didier**

## Secteur Santé

Institut des Sciences et Techniques de  
Réadaptation

Directeur

**Jacques LUAUTE**

U.F.R. de Médecine Lyon Est

Directeur

**RODE Gilles**

U.F.R d'Odontologie

Directeur

**Jean Christophe MAURIN**

U.F.R de Médecine Lyon-Sud Charles  
Mérieux

Directrice

**PAPAREL Philippe**

Institut des Sciences Pharmaceutiques et  
Biologiques

Directrice

**DUSSART Claude**

Département de Formation et Centre de  
Recherche en Biologie Humaine

Directeur

**SCHOTT Anne-Marie**

Comité de Coordination des  
Etudes Médicales (CCEM)

**COCHAT Pierre**



# **Institut Sciences et Techniques de la Réadaptation**

## **Département MASSO-KINESITHERAPIE**

Directeur ISTR

**Jacques LUAUTE**

**Équipe de direction du département de Masso-kinésithérapie :**

Directeur de la formation

**Charles QUESADA**

Responsable des travaux de recherche

**Denis JAUDOIN**

Référents d'années

**Ilona BESANCON (MK3)**

**Edith COMEMALE (MK4)**

**Denis JAUDOIN (MK5)**

**Antoine YAZBECK (MK2)**

Référente de la formation clinique

**Ayodélé MADI**

Responsable de scolarité

**Rachelle BOUTARD**

## Remerciements

Dans le cadre de ce mémoire, je souhaite remercier chaleureusement mes directeurs de mémoire Jeanne BECAT et Valentin MASSE pour leur accompagnement et leurs précieux conseils pour tout au long de ce travail.

Toujours concernant mon mémoire, mille mercis à mes parents et à Mireille qui ont relu mon travail afin que celui-ci soit le plus agréable possible à lire.

Concernant ma formation, un grand merci à tous mes tuteurs de stage et les kinés que j'ai pu croiser à ces occasions. Vous m'avez appris énormément et grâce à vous, j'envisage avec optimisme et confiance mon début d'activité professionnelle même si je sais que j'ai encore énormément de choses à apprendre.

Je remercie aussi les vieux étudiants kinés (Yorick, Yoann, Laurine, Tony) de cette promotion 2020-2024 avec qui j'ai ri abondamment, râlé de temps en temps, travaillé sérieusement et avec qui nous nous sommes soutenus pour aboutir à l'obtention de ce diplôme. Merci aussi aux étudiants plus jeunes (Maëlle, Sarah, Nathan, Clément notamment) qui m'auront accompagné dans cette seconde vie d'étudiant.

Un immense merci à mes parents qui m'ont toujours soutenu, encouragé et accompagné dans ce projet dont les prémices ont débuté durant mes années collège et qui aboutit, enfin, onze années après l'obtention de mon baccalauréat. J'espère un jour être un aussi bon parent que ceux que vous avez été pour moi.

Comment ne pas finir par toi ? Tu m'as poussé à tenter ma candidature à la seconde même où j'ai évoqué mon envie, tu m'as guidé lors de l'élaboration de ma lettre de candidature, tu m'as fait confiance sur l'influence de cette reconversion sur notre relation, tu m'as écouté et encouragé lors des moments où j'en avais marre, tu m'as félicité dès que l'occasion se présentait. Ce futur diplôme n'existerait pas sans toi. Merci d'être comme tu es. Merci  
Christelle.

## Liste des acronymes :

AA : amplitude articulaire

CCF : chaîne cinétique fermée

CCO : chaîne cinétique ouverte

CE : cross education

EBP : evidence based practice

LCA : ligament croisé antérieur

LCP : ligament croisé postérieur

LCPr : reconstruction du ligament croisé postérieur

## Glossaire :

Isométrique : mode de contraction musculaire permettant de maintenir une amplitude et de lutter contre l'allongement musculaire

Concentrique : mode de contraction musculaire créant un raccourcissement du muscle

Excentrique : mode de contraction musculaire luttant contre l'allongement musculaire

Pliométrique : mode de contraction musculaire correspondant à une alternance de contractions excentriques et concentriques dans un délai le plus court possible

1RM : poids maximal qu'une personne peut soulever sur une répétition

# Table des matières

## Table des matières

<b>1. Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Contexte et évolution du questionnement .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Le ligament croisé postérieur .....</b>	<b>2</b>
1.2.1. Anatomie et biomécanique.....	2
1.2.2. Rupture du LCP.....	4
1.2.3. Reconstruction du LCP.....	5
<b>1.3. Les ischios-jambiers.....</b>	<b>7</b>
1.3.1. Anatomie et biomécanique.....	7
1.3.2. Renforcement musculaire des IJ.....	8
1.3.3. Rééducation des IJ.....	10
<b>1.4. Force et rééducation.....</b>	<b>11</b>
1.4.1. Rééducation de la force.....	11
1.4.2. Rééducation en force en limitant les contraintes .....	13
<b>1.5. Rééducation postopératoire suite à une reconstruction du LCP .....</b>	<b>15</b>
1.5.1. Généralités .....	15
1.5.2. Les contraintes sur le greffon .....	16
1.5.3. Retour au sport.....	18
<b>1.6. Problématique.....</b>	<b>20</b>
<b>2. Méthode.....</b>	<b>21</b>
<b>2.1. Description de la stratégie de recherche .....</b>	<b>21</b>
2.1.1. Critères d'éligibilité et critères de jugement.....	21
2.1.2. Bases de données.....	22
2.1.3. Equations de recherche.....	22
<b>2.2. Méthodologie d'analyse de la littérature .....</b>	<b>23</b>
2.2.1. Lecture et analyse des articles, gestion des données .....	23
2.2.2. Evaluation des biais et de la qualité méthodologique des articles .....	24
<b>2.3. Description de l'analyse statistique .....</b>	<b>24</b>
<b>3. Résultats .....</b>	<b>25</b>
<b>3.1. Sélection des études .....</b>	<b>25</b>
<b>3.2. Résultats des études .....</b>	<b>26</b>

3.2.1.	Etudes évaluant la laxité du greffon et/ou la force des IJ.....	26
3.2.2.	Articles de revue sans résultats .....	34
<b>3.3.</b>	<b>Evaluation de la qualité méthodologique des articles .....</b>	<b>39</b>
<b>3.4.</b>	<b>Analyse des résultats .....</b>	<b>40</b>
3.4.1.	Début de rééducation des IJ .....	40
3.4.2.	Influence du début de la rééducation des IJ sur la laxité .....	40
3.4.3.	Influence du début de la rééducation des IJ sur la force.....	41
3.4.4.	Analyse du score Tegner et des satisfactions de retour au sport .....	42
3.4.5.	Analyse du lien entre le temps d'immobilisation et la laxité .....	43
<b>4.</b>	<b>Discussion .....</b>	<b>44</b>
<b>4.1.</b>	<b>Synthèse des résultats et interprétation .....</b>	<b>44</b>
4.1.1.	Influence du début de la rééducation des IJ sur la laxité .....	44
4.1.2.	Influence du début de la rééducation des IJ sur la force.....	45
4.1.3.	Score Tegner et satisfaction de retour au sport .....	45
4.1.4.	Propositions d'amélioration de la rééducation des IJ suite à une LCPr .....	46
<b>4.2.</b>	<b>Limites du travail .....</b>	<b>48</b>
4.2.1.	Aspect psychologique du retour au sport .....	48
4.2.2.	Limites et biais de la revue .....	49
<b>4.3.</b>	<b>Perspective.....</b>	<b>50</b>
<b>5.</b>	<b>Conclusion.....</b>	<b>51</b>
	<b>Bibliographie .....</b>	



## Liste des tableaux

Tableau I : les différentes qualités musculaires et leur mode de travail .....	11
Tableau II : résultats des études évaluant la laxité du greffon et/ou la force des IJ.....	26
Tableau III : protocoles de rééducation des études sans résultats.....	34
Tableau IV : analyse de la qualité méthodologique selon la HAS .....	39

## Liste des figures

Figure 1 : Anatomie du LCP et des ligaments ménisco-fémoraux selon une vue antéro-latérale (a) et postérieure (b) (Winkler et al., 2021a) .....	2
Figure 2 : Déformation du LCP durant la flexion passive du genou (Hosseini Nasab et al., 2016) .....	3
Figure 3 : Force moyenne sur le LCP pendant la flexion de genou avec et sans force tibiale postérieure (Hosseini Nasab et al., 2016).....	3
Figure 4 : Charge prise en charge par le LCP en fonction de l'angle de flexion du genou (Rachet & Quelard, 2013).....	4
Figure 5 : Rupture du LCP selon le mécanisme de la blessure (A) ou le type d'activités ou de sport (B) (Bernhardson et al., 2019) .....	4
Figure 6 : Illustration de la technique transtibiale simple (a) et double (b) brin et de la technique tibial inlay simple (c) et double (d) brin d'un genou droit en vue postérieure .....	6
Figure 7 : Force du LCA selon le temps postopératoire (Turk et al., 2023) .....	6
Figure 8 : activité EMG du semi-tendineux et du biceps fémoral (Hegyi et al., 2019).....	8
Figure 9 : comparaison de l'activité EMG des IJ durant les exercices nordic hamstring deadlift bilateral, deadlift unilateral et ball leg curl (Guruhan et al., 2021).....	9
Figure 10 : comparaison de l'activité EMG des IJ du sprint avec d'autres exercices (Van Den Tillaar et al., 2017).....	9
Figure 11 : comparaison de la force des IJ selon le groupe utilisant le BFR et le groupe contrôle (Vieira De Melo et al., 2022) .....	14
Figure 12 : valeurs moyennes de déformation du LCP par rapport à l'activation musculaire et à la flexion de genou (Dürselen et al., 1995) .....	17
Figure 13 : force subie par le LCP selon l'angle de flexion de genou en CCO et avec une force à direction postérieure de 30 Newtons (Mesfar & Shirazi-Adl, 2008) .....	17
Figure 14 : force des IJ à 60° et 120°/s chez une population avec une reconstruction du LCP (Lee & Lee, 2020).....	19
Figure 15 : endurance musculaire du quadriceps et des IJ chez une population avec une reconstruction du LCP (Lee & Lee, 2020).....	20

Figure 16 : analyse du début de la rééducation des IJ en CCF et CCO.....	40
Figure 17 : lien entre la laxité moyenne et le début de rééducation des IJ en CCF ou CCO .	41
Figure 18 : lien entre le grade de laxité et le début de rééducation des IJ en CCF ou CCO..	41
Figure 19 : lien entre la force des IJ à 60°/s et le début de rééducation des IJ en CCF et CCO .....	42
Figure 20 : lien entre le pourcentage de patients avec une force des IJ >90% par rapport au côté controlatéral et le début de rééducation des IJ en CCF et CCO.....	42
Figure 21 : analyse du score Tegner .....	42
Figure 22 : lien entre le nombre de semaine d'immobilisation et la laxité moyenne .....	44
Figure 23 : comparaison des différents ACL-RSI en accord avec l'activité sportive à 1 an ...	48

# Résumé

## Contexte/Introduction

La rééducation postopératoire du ligament croisé postérieur (LCP) est très hétérogène, notamment concernant la rééducation des ischio-jambiers du fait des fonctions biomécaniques antagonistes concernant la translation tibiale postérieure de ces deux structures. La littérature montre une faiblesse des ischio-jambiers en fin de rééducation postopératoire. L'objectif de la revue est de faire un état des lieux de cette rééducation pour proposer des améliorations.

## Méthode

Une revue de la littérature a été réalisée avec les moteurs de recherche PubMed, Embase et PEDro. Les études incluses concernaient les lésions isolées du LCP chez des adultes quel que soit leur niveau sportif. Les études étaient exclues si les lésions étaient multiples ou s'il y avait des pathologies associées. La qualité méthodologique a été analysée via le rapport de la Haute Autorité de Santé de 2013.

## Résultats

La laxité ligamentaire en fin de rééducation ne semble pas corrélée avec un début précoce de la rééducation des ischio-jambiers en CCF ou en CCO. De plus, la laxité finale est au-dessus des normes décrites par certains auteurs. La force des ischio-jambiers en fin de rééducation ne semble pas être en lien avec un début précoce ou non de la rééducation des ischio-jambiers. La force moyenne des ischio-jambiers de cette cohorte semble assez faible, comparé au côté non opéré. Le score Tegner en suivi post rééducation semble diminuer par rapport au score pré-blessure.

## Discussion

Nous ne pouvons pas conclure que le délai de début rééducation des ischio-jambiers en CCF et CCO a un impact sur la laxité en fin de rééducation du ligament. Cependant la laxité des patients en fin de rééducation est élevée et nous pouvons donc nous interroger sur la raison de cela. Concernant la force des ischio-jambiers en fin de rééducation, les protocoles semblent améliorables car ils ne mettent pas en place certaines données biomécaniques ou certains moyens de renforcement musculaire sur lesquels des preuves scientifiques sont présentes dans d'autres pathologies similaires.

## Conclusion

La laxité importante en fin de rééducation semble être influencée par un autre facteur que le début précoce ou non de la rééducation des ischio-jambiers. C'est une des raisons pour laquelle les protocoles de rééducation doivent évoluer ainsi que pour permettre au patient d'avoir une force des ischio-jambiers plus adaptée à la reprise sportive.

**Mots clés :** ligament croisé postérieur, ischio-jambiers, laxité, force, kinésithérapie

# Abstract

## Background

Rehabilitation after posterior cruciate ligament (PCL) reconstruction is very heterogeneous, specially about hamstring rehabilitation because of antagonist biomechanical functions concerning posterior tibial translation of their two structures. The literature shows an hamstring weakness at the end of postoperative rehabilitation. The aim of this review is to assess the current state of this type of rehabilitation in order to propose improvements.

## Methods

A literature review was conducted with database like PubMed, Embase and PEDro. Included studies concerned isolated PCL injuries in adults at all level sports. Studies was excluded if the lesions were multiple or if there were associated pathologies. Methodological quality was analyzed via the 2013 report from the French National Authority for Health (Haute Autorité de Santé).

## Results

At the end of rehabilitation, the ligament laxity didn't seem to correlate with an early onset of hamstring rehabilitation in CKC or OKC. Moreover, the cohort's final laxity was above the standards described by some authors. At the end of rehabilitation, hamstring strength didn't seem to correlate with an early start of hamstring rehabilitation. The average hamstring strength of this cohort appears to be quite low compared with the non-operated side. The Tegner score at post-rehabilitation follow-up appears to be lower than the pre-injury score.

## Discussion

We can't concluded that the time taken to start hamstring rehabilitation in CKC and OKC have an impact on laxity at the end of ligament rehabilitation. However, at the end of rehabilitation, the laxity of patients is high and we can therefore wonder about the reason for this. The protocols concerning hamstring strength seemed to be able to be improved because they didn't implement biomechanical data or muscles strengthening methods for which there was scientific evidence in other similar pathologies.

## Conclusion

At the end of rehabilitation the significant laxity appears to be influenced by a factor other than whether or not hamstring rehabilitation is started early. This is one of the reasons why the rehabilitation protocols need to evolve, as well as allowing the patient to have hamstring strength that is better adapted to the sport's practice.

**Keywords :** posterior cruciate ligament, hamstring, laxity, strength, physical therapy



# 1. Introduction

## 1.1. Contexte et évolution du questionnement

Mon intérêt pour la kinésithérapie basée sur les preuves scientifiques en lien avec l'orthopédie et la traumatologie s'est développé tout au long de ma formation. Mes stages ont confirmé cet intérêt pour le champ de compétence musculosquelettique dans lequel je souhaite me spécialiser suite à l'obtention de mon diplôme. Lors de mes stages, j'ai pris conscience de la rigueur nécessaire à la rééducation des patients opérés du ligament croisé antérieur (LCA) ou suite à une rupture du tendon d'Achille. Celle-ci permet d'optimiser les bénéfices de la chirurgie et de retrouver une fonction la plus optimale possible mais surtout de ne pas nuire au patient. Je souhaite m'installer en cabinet libéral avec une partie de ma pratique orientée vers la kinésithérapie du sport et je voulais que ce mémoire m'apporte donc de nouvelles connaissances sur une pathologie peu abordée lors de la formation. Je me suis donc orienté sur la rééducation du ligament croisé postérieur (LCP). La rigueur, les contraintes et la spécificité de la rééducation liée à la plastie ligamentaire et donc aux délais de cicatrisation m'ont orienté vers ce choix de thème.

J'ai donc commencé à rechercher des articles en lien avec la chirurgie et la rééducation du LCP. Celle-ci est soumise à débat et est très hétérogène (Memmel et al., 2022). Cette rééducation se doit d'être rigoureuse et progressive afin de maximiser les bénéfices de la rééducation mais surtout ne pas nuire au patient et notamment éviter l'augmentation de la laxité du greffon (Kim et al., 2013). En effet, le greffon est exposé à des contraintes trop importantes selon la phase de cicatrisation dans laquelle il existe un risque important d'augmenter la laxité de celui-ci. Le LCP est le premier élément limitant la translation postérieure du tibia sous le fémur et les ischios-jambiers (IJ), par leur action de fléchisseur de genou, engendre cette translation postérieure et mettent en tension le LCP (Marais, 2009; Senese et al., 2018). Lors d'une reconstruction du LCP, les IJ doivent être rééduqués avec précaution mais de manière à récupérer leur fonction pour avoir un genou sain et répondre aux contraintes sportives et aux objectifs du patient. Selon certains auteurs, cette rééducation des IJ suite à une reconstruction du LCP doit être optimisée car certaines études montrent une faiblesse musculaire des IJ suite à la rééducation et celle-ci peut avoir des conséquences fonctionnelles et sportives (Kim et al., 2013; Pierce et al., 2013; Senese et al., 2018).

Nous pouvons donc nous demander **comment pouvons-nous améliorer la force des IJ des patients avec une reconstruction du LCP sans augmenter la laxité ligamentaire ?**

Dans ce travail, nous rappellerons les éléments anatomiques et biomécaniques du LCP ainsi que les éléments chirurgicaux dans le cadre d'une reconstruction de ce ligament. Puis, nous verrons les données anatomiques et biomécaniques des IJ ainsi que le renforcement et la rééducation de ces muscles. Ensuite nous aborderons les principes de la rééducation postopératoire suite à une reconstruction du LCP. Après avoir rappelé notre méthode de recherche, nous rechercherons et analyserons ce qui est présent dans la littérature à propos de la rééducation des IJ suite à une reconstruction du LCP. Pour conclure nous discuterons ces résultats avec les données présentes dans la partie théorique afin de comprendre comment nous pouvons améliorer la force des IJ chez les patients ayant eu une reconstruction du LCP.

## 1.2. Le ligament croisé postérieur

### 1.2.1. Anatomie et biomécanique

Le LCP est l'un des quatre ligaments majeurs du genou : c'est le plus large et le plus résistant de cette articulation (Pache et al., 2018; Rosenthal et al., 2012). Il s'insère au niveau de la partie latérale du condyle fémoral médial et se termine au niveau du sillon du plateau tibial postérieur (Marais, 2009). Il est intrasynovial et extra-articulaire (J. Schreier et al., 2021). L'origine proximale du LCP adhère à la surface articulaire. Le LCP est composé de deux faisceaux. Le faisceau antéro-latéral, plus large et plus résistant, se dirige dans un plan sagittal et s'insère sur la corne postérieure du ménisque médial. Le faisceau postéro-médial se dirige obliquement sur le plateau tibial postérieur le long de la fosse intercondyloire postérieure (Rosenthal et al., 2012). Le LCP est en lien avec des structures vasculo-nerveuses comme l'artère poplitée, la veine poplitée et le nerf tibial (Marais, 2009). Il est innervé par le nerf artériel de la branche postérieure du nerf tibial (Rosenthal et al., 2012).

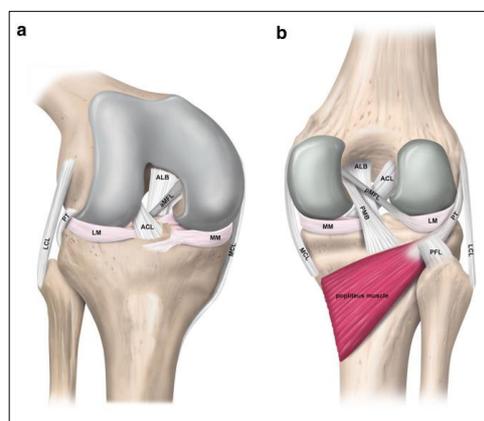


Figure 1 : Anatomie du LCP et des ligaments ménisco-fémoraux selon une vue antéro-latérale (a) et postérieure (b) (Winkler et al., 2021a)

Biomécaniquement, le LCP empêche le glissement postérieur du tibia par rapport au fémur (Marais, 2009). C'est la première structure à empêcher ce glissement quelle que soit l'angle de flexion du genou. Il participe aussi à la stabilité rotatoire du genou : au-delà de 90° de flexion c'est la première structure qui empêche la rotation interne du genou et il accompagne le contrôle de la rotation externe (J. Schreier et al., 2021 ; Pache et al., 2018). En 2016, une revue de littérature de plus de 3500 articles s'est intéressée à la biomécanique du LCP sain. Lors de la flexion passive du genou, la contrainte sur le faisceau antérolatéral augmente lors de 0 à 90° de flexion puis décroît par la suite, alors que le faisceau postéromédial reste relativement sans contrainte . En extension, il n'existe aucune contrainte sur le LCP. Le mid-PCL bundle correspond au LCP entier (Hosseini Nasab et al., 2016).

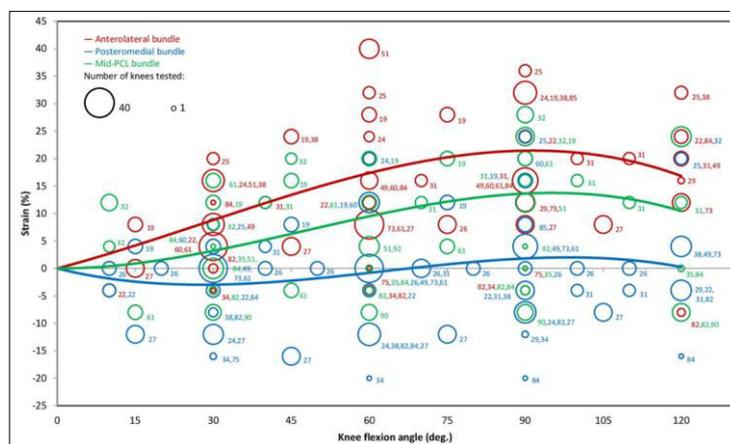


Figure 2 : Déformation du LCP durant la flexion passive du genou (Hosseini Nasab et al., 2016)

Lors de l'application d'une force tibiale à direction postérieure les contraintes sur le LCP sont plus élevées, ce qui confirme que le LCP résiste à ce déplacement postérieur du tibia par rapport au fémur. Ces données confirment que plus la flexion du genou augmente, plus le LCP est sous contrainte, au moins jusqu'à 90° de flexion de genou (Hosseini Nasab et al., 2016).

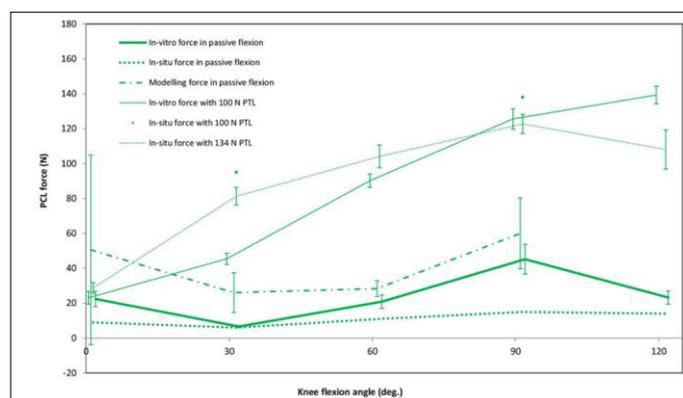


Figure 3 : Force moyenne sur le LCP pendant la flexion de genou avec et sans force tibiale postérieure (Hosseini Nasab et al., 2016)

Cela s'explique car la charge est absorbée par les formations périphériques principalement et le faisceau postéro-médial dans les premiers degrés de flexion puis par le faisceau antéro-latéral principalement à partir de 30° de flexion (Rachet & Quelard, 2013).

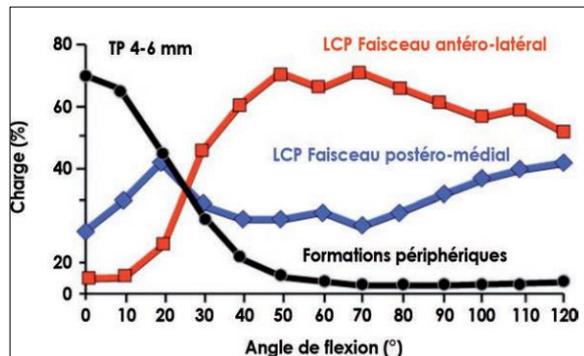


Figure 4 : Charge prise en charge par le LCP en fonction de l'angle de flexion du genou (Rachet & Quelard, 2013)

Lors de la rééducation suite à une reconstruction du LCP, la récupération de la flexion de genou passive et active devra donc être soumise à certaines précautions afin de ne pas mettre trop de contraintes sur le ligament selon le degré de cicatrisation pour ne pas entraîner une laxité trop important du greffon en fin de rééducation.

### 1.2.2. Rupture du LCP

La majorité des ruptures du LCP se font suite à un contact avec une force à direction postérieure sur le tibia proximal. Les activités pourvoyeuses de cette rupture sont résumées dans la figure suivante, publiée dans une étude analysant 104 patients. Dans le cas d'une rupture sans contact, celle-ci peut se produire lors d'une décélération ou d'un atterrissage après un saut (Bernhardson et al., 2019). En National Football League, ligue de football américain aux Etats-Unis, il y a environ une rupture du LCP par an et par équipe (IRBMS, Médecine du Sport et Sport Santé, 2018).

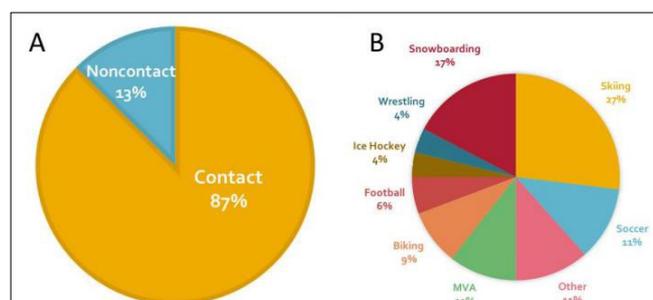


Figure 5 : Rupture du LCP selon le mécanisme de la blessure (A) ou le type d'activités ou de sport (B) (Bernhardson et al., 2019)

Il existe plusieurs grades selon la sévérité de la rupture. Une translation postérieure du tibia lors du Posterior Drawer Test est considérée comme normale entre 0 et 2mm. La rupture est de grade 1 si la translation postérieure est comprise entre 3 et 5mm, de grade 2 entre 5 et 10mm et de grade 3 si elle est supérieure à 10mm. La mesure de la laxité peut aussi se faire via une radiographie avec stress postérieur ou de façon instrumentale via le Telos ou KT-1000. Les autres tests cliniques permettant de diagnostiquer les structures atteintes lors de la blessure sont : le Dial Test, Resversed pivot-shift test, et le quadriceps active test. Ils sont à mettre en lien avec les signes cliniques comme le signe d'affaissement postérieur, l'alignement du membre inférieur ou le varus thrust (Winkler et al., 2021a).

### 1.2.3. Reconstruction du LCP

Des études épidémiologiques ont été conduites en Italie et dans les pays Scandinaves. En Italie, entre 2001 et 2015, la médiane d'âge des patients avec une reconstruction du LCP était de 30 ans (avec un écart interquartile entre 22 et 39 ans) dont 84,3% d'hommes. De plus, 39,7% avaient une rupture isolée du LCP (Longo et al., 2021). Dans les pays Scandinaves, entre 2004 et 2013, la moyenne d'âge est de 32,7 ans avec des âges allant de 8 à 67 ans. Les blessures étaient en lien avec un sport dans 48,5% des cas. Les ruptures isolées représentaient 26,4% des ruptures (Owesen et al., 2017).

Les recommandations de chirurgie diffèrent selon les auteurs. Les dernières indications, datant de 2021, en faveur d'une chirurgie sont : une rupture de grade 3 symptomatique, un haut grade de laxité, une rupture combinée avec des atteintes intra-articulaire ou capsulo-ligamentaire, une translation tibiale postérieure supérieure à 8mm symptomatique ou une demande du patient sportif. Les buts de la chirurgie sont de reproduire un « step-off » normal, restreindre le déplacement postérieur du tibia et que le patient ait un genou stable et sans douleur (Bedi et al., 2016). Le traitement conservateur des lésions isolées semble évoluer en faveur de la chirurgie en cas d'augmentation de la translation postérieure et de la rotation tibiale comparativement au côté sain (Winkler et al., 2021b).

Actuellement il n'existe pas une technique chirurgicale supérieure à une autre. La chirurgie dépend de plusieurs facteurs : le placement du tunnel, le greffon choisi, le positionnement et la fixation du greffon, l'arthroscopie ou la chirurgie ouverte (Winkler et al., 2021b). Le chirurgien peut aussi choisir de reconstruire en simple ou double brin. Une revue systématique avec méta-analyse de 2022 est parvenue à la conclusion qu'il n'y a pas de différence significative entre une reconstruction simple ou double brin concernant les scores fonctionnels (Lysholm ou Tegner Activity Scale) et les mesure de laxité postérieure par

arthromètre ou radiographie avec stress postérieur (Krott et al., 2022). La fixation du greffon par une technique « transtibial » ou « tibial inlay » ne semblent pas influencer les scores fonctionnels, la laxité post-opératoire et l'incidence d'arthrose (Song et al., 2014).

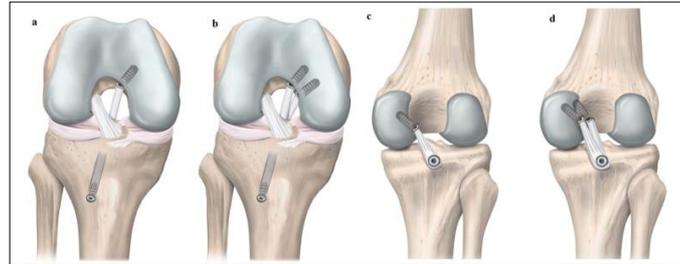


Figure 6 : Illustration de la technique transtibiale simple (a) et double (b) brin et de la technique tibial inlay simple (c) et double (d) brin d'un genou droit en vue postérieure

Une autre revue systématique a comparé les autogreffes des ischios-jambiers (IJ), tendon patellaire, tendon quadricipital et tendon du long fibulaire. Leur conclusion est que l'autogreffe des IJ est la plus commune pour la reconstruction du LCP et qu'elle est associée à moins de douleur antérieure de genou, moins de déficit d'extension et une meilleure stabilité. Avec le greffon issu du tendon patellaire, elle semble représenter le site de prélèvement le plus adapté (Migliorini et al., 2022). Le greffon peut aussi être issu d'une allogreffe, via le prélèvement d'un donneur (Winkler et al., 2021b).

Les données IRM de patients ayant subi une reconstruction du LCA ou du LCP entre 1995 et 1999 montrent que les cicatrisations des greffons sont similaires mais que le processus est plus long pour le LCP: il faut environ 24 mois pour atteindre l'état final (Bellelli et al., 1999). La cicatrisation du LCA se décompose en 3 phases : une phase précoce de 0 à 3 mois, une phase de prolifération de 3 à 12 mois et une phase de maturation après 12 mois (Yao et al., 2021). La force du greffon de LCA semble évoluer comme le montre le graphique suivant (Turk et al., 2023). La force du greffon de LCP évolue donc à priori de la même manière mais avec des délais plus importants.

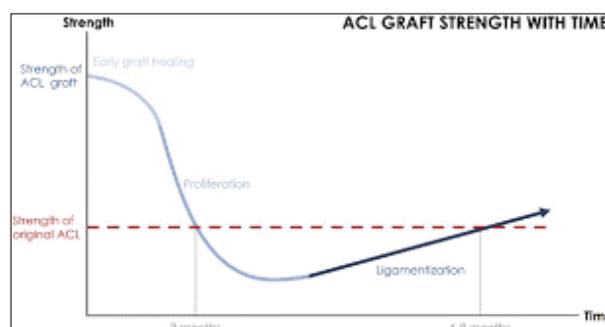


Figure 7 : Force du LCA selon le temps postopératoire (Turk et al., 2023)

Une étude expérimentale d'une autogreffe de tendon patellaire sur des moutons a été conduite en 1992. Ces caractéristiques de cicatrisation influenceront la rééducation en kinésithérapie (Bosch & Kasperczyk, 1992):

- A la huitième semaine postopératoire le greffon possède environ 1/8 de la résistance comparé au LCP sain, un peu plus d'un tiers à 16 semaines et environ 60% à 26 semaines
- A 1 an postopératoire 50% des fibres de collagène sont alignées de la même façon que le LCP sain sachant que celles-ci reflètent la raideur et la force du ligament.
- A 2 ans la structure et la mécanique du greffon reste différentes d'un ligament ce qui suggère que le matériel n'aura jamais les caractéristiques de celui-ci.
- La longueur du greffon est plus importante pendant 16 semaines puis à partir de la semaine 26 les différences de longueur ne sont plus significatives.
- Le greffon est plus large que le LCP contrôle à partir de la huitième semaine postopératoire
- La charge maximale, la déformation, la rigidité, le stress maximal et la capacité élastique du greffon sont inférieures au ligament contrôle sur toutes les périodes, sauf la rigidité qui devient équivalente à 2 ans.

Afin d'éviter une laxité trop importante, les contraintes sur le greffon lors de la rééducation doivent être adaptées à ces différentes périodes de cicatrisation.

### 1.3. Les ischios-jambiers

#### 1.3.1. Anatomie et biomécanique

Les IJ sont un groupe de trois muscles :

- le semi-tendineux s'insère sur la tubérosité ischiatique et se termine sur la partie supérieure de la face médiale du tibia
- Le semi-membraneux s'insère sur la tubérosité ischiatique et se termine sur la face postérieure du condyle médiale du tibia
- Le biceps fémoral est composé de deux chefs : le chef long qui prend son origine sur la face postérieure de la tubérosité ischiatique et le chef court sur la moitié distale de la lèvre latérale de la ligne âpre. Les deux chefs se terminent sur la tête de la fibula et par des expansions sur le condyle latéral du tibia et sur le fascia crural.

Ils sont innervés par le nerf sciatique et sont fléchisseurs de genou, extenseurs de hanche et rotateurs de genou : externe pour le biceps fémoral, interne pour les autres (KAMINA, 2009). Les IJ ont un rôle important dans la course à pied, notamment lors du sprint, et lors des sauts. Ils ont un rôle essentiel dans les phases explosives (Rodgers & Raja, 2023).

Lors du sprint, les IJ exercent une contraction excentrique importante durant la phase d'appui, notamment au début, et durant la phase de suspension, notamment à la fin, où ils doivent se contracter avec force tout en s'allongeant. C'est lors de la fin de phase de suspension que les IJ atteignent leur longueur maximale (Opar et al., 2012). Lors de la course à pied les IJ ont plusieurs rôles : la stabilisation du genou avec la co-contraction du quadriceps, le passage d'un stabilisateur de la flexion de genou à un extenseur actif de hanche et un contrôle de l'extension du genou avant le contact au sol (Dugan & Bhat, 2005).

Par leur action biomécanique de fléchisseur de genou, la contraction des IJ entraîne une translation postérieure du tibia par rapport au fémur (Senese et al., 2018). Or, nous avons vu que le LCP est la structure principale empêchant le recul postérieur du tibia. Nous constatons donc que les IJ et le LCP ont deux fonctions biomécaniques antagonistes quant à la translation postérieure du tibia sous le fémur et ceci impactera la rééducation postopératoire.

### 1.3.2. Renforcement musculaire des IJ

Lors du renforcement musculaire, et plus généralement dans le domaine du sport mais aussi de la rééducation, il est important de quantifier le stress mécanique imposé aux tissus de manière graduelle (Dubois, 2019). Il est donc nécessaire de mener la rééducation et le renforcement musculaire de manière réfléchie et progressive. Dans le cas du renforcement des IJ, certains exercices engendrent plus de contraintes que d'autres. Différents auteurs se sont intéressés à ces données via des études mesurant l'intensité de contraction musculaire par électromyogramme (EMG). Sur l'EMG, plus l'intensité est élevée plus le muscle est recruté par l'exercice. Par soucis de reproductibilité le nom des exercices sera retranscrit en anglais.

Des analyses EMG d'exercices de renforcement des IJ ont été comparés à la contraction isométrique maximale volontaire des IJ. Nous pouvons constater que les exercices good morning, unilatéral romanian deadlift et cable pendulum sont les exercices qui recrutent le moins les IJ parmi ceux testés, à l'inverse les exercices slide leg curl ou straight knee bridge sont les mouvements les plus sollicitants (Hegyí et al., 2019).

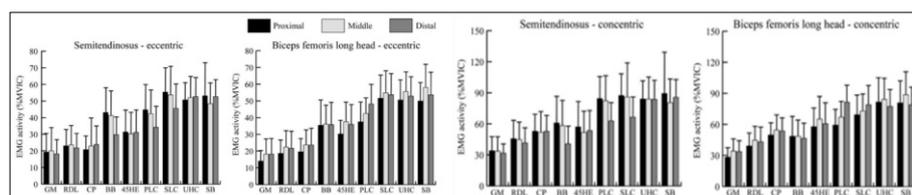


Figure 8 : activité EMG du semi-tendineux et du biceps fémoral (Hegyí et al., 2019)

Guruhan et al, eux, se sont intéressés aux contractions excentriques des IJ sur une durée de 5 secondes. Nous pouvons constater dans leur étude que les exercices deadlift bilatéral, deadlift unilatéral et ball leg curl engendrent une contraction d'environ 40% de la contraction maximale volontaire alors que le nordic hamstring engendre une contraction dépassant les 100% de la contraction maximale volontaire pour le biceps fémoral et le semi-tendineux et une contraction d'environ 90% pour le semi-membraneux (Guruhan et al., 2021).

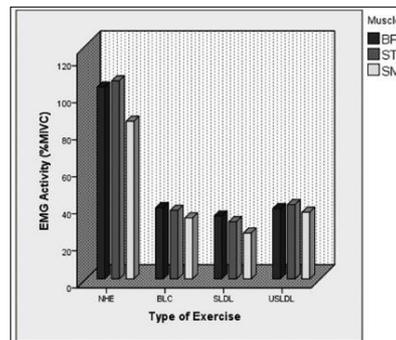


Figure 9 : comparaison de l'activité EMG des IJ durant les exercices nordic hamstring deadlift bilatéral, deadlift unilatéral et ball leg curl (Guruhan et al., 2021)

Enfin, les travaux des Van Den Tillaar et al ont permis de démontrer que l'activité électromyographique maximale du biceps fémoral et du semi-tendineux lors du nordic hamstring est significativement inférieure à celle du sprint (Van Den Tillaar et al., 2017).

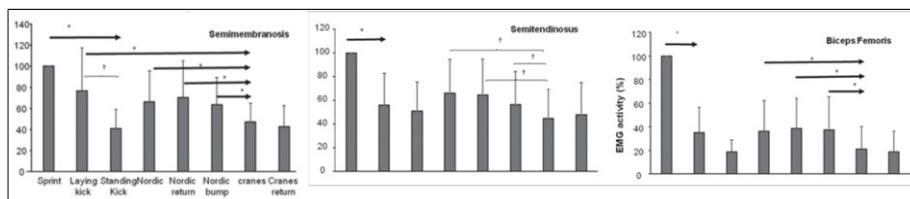


Figure 10 : comparaison de l'activité EMG des IJ du sprint avec d'autres exercices (Van Den Tillaar et al., 2017)

Ces données permettent donc d'élaborer un plan de rééducation en kinésithérapie pour une remise en charge progressive des IJ. En effet, le Nordic Hamstring par exemple semble être un exercice qui entraîne beaucoup de contraintes sur les IJ. Nous ne commencerons donc pas une rééducation des IJ par cet exercice. Cependant il devra bien entendu être inclus dans notre rééducation, notamment chez les sportifs pour maximiser le retour au sport. Même si c'est un des exercices qui engendre le plus de contraintes sur les IJ, nous avons pu voir que c'est un exercice avec une activité EMG significativement inférieure au sprint, qui est présent dans un grand nombre de sport. Dans le cadre d'une rééducation d'un sportif faisant des sprints, ces données sont à intégrer dans notre rééducation afin de retrouver une force suffisante à la pratique de son sport.

### 1.3.3. Rééducation des IJ

Une rééducation des IJ doit passer par du renforcement musculaire car une faiblesse des IJ augmente le risque de blessures aux IJ. En effet, un manque de force comparé au côté controlatéral et un manque de force en excentrique particulièrement semblent corrélés avec un plus grand risque de blessure aux IJ. Ce risque est notamment présent lors de la course à pied à haute vitesse qui est identifiée comme la première activité pourvoyeuse de blessures aux IJ (Opar et al., 2012). En 2023, un avis d'expert publié dans le British Medical Journal Open Sport & Exercice Medicine a classé les facteurs de risque modifiables des blessures aux IJ. Les trois premiers facteurs de risque intrinsèques sont : faiblesse résiduelle après une ancienne blessure aux IJ, une force des IJ asymétrique (ratio droit/gauche et quadriceps/IJ) et un manque de force excentrique des IJ (Ekstrand et al., 2023).

Dans leur essai contrôlé randomisé de 2018, Presland & al ont démontré que lors d'une période sans entraînement, l'architecture musculaire se modifie avec une augmentation de l'angle de pennation et une diminution de la longueur fasciculaire (Presland et al., 2018). A contrario, les contractions excentriques diminuent l'angle de pennation et augmentent la longueur fasciculaire (Marusic et al., 2020). Nous pouvons donc déduire que lors d'une blessure ou d'une immobilisation impactant l'entraînement de la personne, des contractions excentriques des IJ sont à intégrer à notre protocole de rééducation pour que le patient retrouve une architecture musculaire la plus normale possible.

La revue systématique et méta-analyse de Rudissil & al analyse 108 essais contrôlés randomisés à propos des blessures aux IJ et de la prise en charge des facteurs de risques. Cette étude a un niveau de preuve de 1, ce qui correspond au plus haut niveau de preuve. Leur étude met en avant que la force excentrique des IJ est améliorée par le renforcement en excentrique, le renforcement concentrique et les protocoles de pliométrie notamment. De plus, le renforcement excentrique, en plus de réduire l'incidence de blessures aux IJ de 70%, permet une amélioration de la force, de la longueur fasciculaire, du ratio IJ/quadriceps et des asymétries de force. Selon eux, le Blood Flow Restriction (BFR) est aussi un élément intéressant dans la rééducation des IJ, notamment pour la force concentrique (Rudissil et al., 2023). Nous pouvons donc affirmer que le renforcement en excentrique est un pilier de la rééducation des IJ et que le renforcement des IJ doit suivre une progression logique de mise en charge selon les exercices détaillés ci-dessus afin de retrouver une force suffisante.

## 1.4. Force et rééducation

### 1.4.1. Rééducation de la force

Lors d'un renforcement musculaire, nous pouvons axer celui-ci vers une qualité musculaire prédominante : endurance, hypertrophie, force, force explosive, puissance.

Tableau I : les différentes qualités musculaires et leur mode de travail

Qualité musculaire	Définition	Modalités de renforcement
Endurance	Capacité d'un groupe musculaire à effectuer des contractions répétées sur une période suffisante pour causer une fatigue musculaire ou à maintenir un pourcentage de la contraction volontaire maximale sur une période prolongée (Thompson et al., 2009)	30 à 60% de la 1RM - 2 à 4 séries - 12 à 20 répétitions - Exercices poly et mono-articulaires - 0 à 5 minutes de repos entre les séries - données selon l'endurance travaillée (courte, moyenne ou longue durée) (Bompa & Buzzichelli, 2021)
Hypertrophie	Augmentation du volume des fibres musculaires (peut inclure l'hyperplasie qui correspond à la création de nouvelles fibres) (Reiss & Prevost, 2013)	70 à 80% de la 1RM - 8 à 12 répétitions - Exercices poly et mono-articulaires - 2 minutes de repos entre les séries si exercice polyarticulaire, 60 secondes si monoarticulaire Minimum 10 séries par muscle par semaine pour stimuler cette capacité (Schoenfeld et al., 2021)
Force maximale	« Capacité du muscle à générer une tension (interne) suite à une stimulation nerveuse qui s'exprime par rapport à un segment corporel et/ou à une charge additionnelle (externe) » « La force est considérée comme la qualité principale du muscle, celle dont découlent la puissance, la	80-90% de la 1RM - 1 à 3 répétitions - 3 à 8 séries - 3 à 5 minutes de repos entre les séries (Bompa & Buzzichelli, 2021)

	vitesse, l'explosivité » (Reiss & Prevost, 2013)	
Force explosive	Augmentation du niveau de force dans un délai le plus court possible (Blazevich et al., 2020) Capacité à propulser son corps le plus puissamment possible ou faire accélérer un objet le plus rapidement. Il n'y a pas de puissance explosive si la personne ne quitte pas le sol ou si l'objet tenu n'est pas propulsé (Reiss & Prevost, 2013)	Exemple d'une méthode possible : Travail en contraste de charge : 3 répétitions à 85% de la 1 RM puis 5 répétitions à 30 % à effectuer explosivement, 2 minutes de repos entre les séries, 3 séries (Reiss & Prevost, 2013)
Puissance	Correspond au produit de la force et de la vitesse. C'est la quantité de travail effectué par unité de temps. Elle correspond à la vitesse à laquelle les muscles peuvent produire leur contraction. (Bompa & Buzzichelli, 2021)	Méthode isotonique : 30 à 80% de la 1RM, 1 à 8 répétitions, 3 à 6 séries, 1 à 4 minutes de repos, de manière explosive Méthode balistique : charge permettant la projection, 5 à 6 répétitions, 2 à 6 séries, 2 à 3 minutes de repos, de manière explosive Méthode résistance : charge selon exercice, 3 à 6 répétitions, 3 à 5 séries, 2 à 4 minutes de repos, de manière explosive Méthode pliométrique : varie fortement selon l'intensité (Bompa & Buzzichelli, 2021)

De plus, nous ne sommes pas obligé de travailler la force maximale avec des charges proches du 1RM. La condition nécessaire est que la dernière répétition doit se terminer à l'échec musculaire afin que les sollicitations neurales soient proches du maximum (Reiss & Prevost, 2013).

Une étude de cas contrôle sur la rééducation du LCA a mis en place un protocole de récupération de force. Ils ont comparé une population de footballeurs ayant subi une reconstruction du LCA à une population similaire n'ayant pas eu d'opération. Les résultats à

10 mois ne montrent pas de différence significative de force du quadriceps et des IJ entre les groupes. Le programme de renforcement s'est déroulé de cette façon (Welling et al., 2019) :

- 1<sup>ère</sup> étape : activation du quadriceps
- 2<sup>ème</sup> étape : travail de l'endurance musculaire avec maximum 2 séries de 15 à 25 répétitions <50% 1RM avec 2-3 minutes de repos entre les séries, durée de 10 à 14 semaines
- 3<sup>ème</sup> étape : objectif d'amélioration de la force et atteindre une force symétrique avec un travail de force en uni et bilatéral sur 2 à 4 séries de 8-10 répétitions entre 60 et 80% 1 RM avec un temps de repos de 2-3 minutes entre les séries, pendant 12 à 14 semaines ainsi que de continuer le travail d'endurance musculaire
- 4<sup>ème</sup> étape : corriger les déficits restants avec un travail de la force maximale avec 5 séries de 3 répétitions >80% 1RM avec 2-3 minutes de repos ainsi que de continuer le travail d'endurance. La consigne était d'avoir une phase concentrique la plus rapide possible (explosif) et une phase excentrique la plus lente possible sur 5-6 secondes, pendant 14 à 16 semaines.

En d'autres termes, les auteurs ont travaillé les qualités musculaires dans cette ordre chronologique : endurance, hypertrophie, force maximale et explosive. Ce type de protocole peut s'appliquer à une rééducation suite à une reconstruction du LCP afin de retrouver une force similaire au côté controlatéral et au niveau pré-blessure.

#### 1.4.2. Rééducation en force en limitant les contraintes

Certaines méthodes permettent d'améliorer la force en limitant les contraintes liées au renforcement musculaire : le BFR, l'électrostimulation et le cross education (CE).

Le BFR correspond à l'application d'un brassard de garrot pneumatique sur la partie proximale du membre, ce qui va restreindre l'arrivée de sang artériel et le retour du sang veineux. Le muscle sera donc en hypoxie tissulaire, état induisant de nombreuses adaptations (Watson et al., 2022). Ce moyen de rééducation recrute particulièrement les fibres de type 2 et permet d'obtenir des résultats similaires à un entraînement à haute intensité avec des charges de basse intensité (De Mata, 2019). Cela est particulièrement intéressant en postopératoire car le patient peut travailler l'hypertrophie et la force musculaire sans utiliser de charges lourdes incompatibles avec certains délais postopératoires. Le BFR est conseillé notamment après les opérations entraînant un appui limité, une inhibition musculaire, des douleurs postopératoires. D'autres études ont montré que la mise en place de BFR en

postopératoire malgré une immobilisation ou une restriction d'appui peut permettre de réduire l'amyotrophie par rapport à des groupes contrôles (Watson et al., 2022).

Le consensus de 2023 de la rééducation du LCA est fortement en accord sur l'utilité du BFR en phase précoce de la rééducation pour améliorer la force du quadriceps ou des IJ. Ce consensus s'appuie sur des essais contrôlés randomisés (Kotsifaki et al., 2023). L'essai contrôlé randomisé de De Melo & al semble confirmer l'intérêt du BFR dans le renforcement des IJ en postopératoire avec des différences significatives à 8 et 12 semaines (2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> bilan postopératoire), toujours chez une population après une reconstruction du LCA (Vieira De Melo et al., 2022).

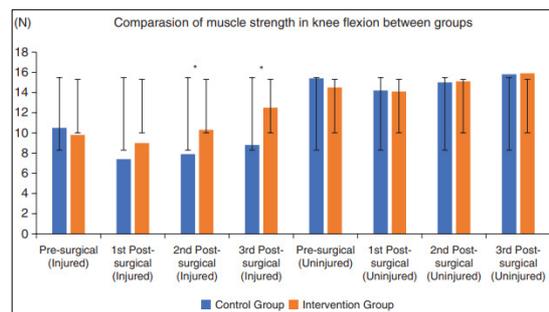


Figure 11 : comparaison de la force des IJ selon le groupe utilisant le BFR et le groupe contrôle (Vieira De Melo et al., 2022)

L'électrostimulation permet aussi un travail musculaire en contournant les contraintes imposées par une opération chirurgicale par exemple. Dans un article écrit par des kinésithérapeutes canadiens, ceux-ci recommandent l'utilisation d'électrostimulation suite à une opération du LCA pour retrouver pour améliorer la force musculaire et la réduction de perte musculaire. Cette recommandation est valable particulièrement pendant les 6 premières semaines (Nussbaum et al., 2017). Les études de Dellitto & al et de Labanca & al semblent trouver des intérêts à l'électrostimulation postopératoire précoce dans le développement de la force musculaire, dans le volume musculaire et dans la force symétrique des deux membres inférieurs (Delitto et al., 1988; Labanca et al., 2022). Cependant selon le consensus établi par le British Medical Journal en 2023 ces bénéfices semblent modérés et concernent plutôt le quadriceps que les IJ (Kotsifaki et al., 2023).

Une autre manière de faire du renforcement musculaire en kinésithérapie, notamment lorsque la personne a été opérée d'un membre ou qu'elle est immobilisée, peut-être la cross education. Cette méthode correspond à un renforcement musculaire unilatéral et permettrait un gain de force du muscle controlatéral grâce à un transfert de force lié à des adaptations neurales (Hendy et al., 2012). Plusieurs études se sont intéressés à ce mode de renforcement

et il semblerait que la CE en faisant du renforcement avec un mode de contraction excentrique soit plus pertinent :

- Kidgell & al lors de leur étude ont mesuré la force des fléchisseurs de poignet après un renforcement avec des contractions concentriques, excentriques et un groupe contrôle. Ils ont trouvé une amélioration de la force du membre non entraîné de 28% pour le groupe ayant fait le renforcement concentrique et 47% pour le groupe ayant fait le renforcement excentrique (Kidgell et al., 2015).
- Tseng & al ont mesuré, chez deux groupes, la contraction isométrique volontaire maximale des fléchisseurs de coude après 5 semaines de 5 séries de 6 répétitions de contractions excentriques ou concentriques. Le bras non entraîné a connu une augmentation de la force mesurée de 11% dans le groupe de contractions excentriques contre 5% pour le groupe de contractions concentriques (Tseng et al., 2020).
- L'essai contrôlé randomisé de Kannus & al semble confirmer ces résultats sur les IJ. Chez des sujets sains, un programme de renforcement d'un membre inférieur comprenant du renforcement isométrique et isocinétique à 240 et 60°/s a amélioré de 36% la force des IJ du membre inférieur non entraîné (Kannus et al., 1992).

Avec ces données, nous pouvons émettre l'hypothèse que le BFR, l'électrostimulation et le CE peuvent faire partie des moyens utilisés pour renforcer les IJ suite à une reconstruction du LCP afin de maximiser les gains de force de ce groupe musculaire en contournant les contre-indications postopératoires.

## 1.5. Rééducation postopératoire suite à une reconstruction du LCP

### 1.5.1. Généralités

La rééducation postopératoire a pour but, entre autre, de protéger le greffon afin d'éviter une laxité trop importante (Kim et al., 2013). Suite à une plastie du LCP, la rééducation se doit d'être plus lente que la rééducation suite à une plastie du LCA du fait de la cicatrisation plus longue. Cela est probablement dû aux changements morphologiques du greffon à cause de la gravité entraînant un glissement postérieur du tibia sous le fémur en décubitus dorsal, des longs tunnels osseux nécessaires à l'opération, de l'hémarthrose, de la réaction synoviale hyperplasique mais aussi des différences entre les protocoles de rééducation suite à une chirurgie du LCA et du LCP (Bellelli et al., 1999). Nous avons vu que la résistance du greffon est inférieure au LCP controlatéral durant la cicatrisation. La rééducation ayant pour but d'éviter la laxité du greffon ou encore la rupture de celui-ci, les contraintes liées au renforcement musculaire doivent donc être adaptées à cette cicatrisation.

Une étude de cohorte rétrospective de 2022 a analysé les pratiques de 120 instituts de chirurgie orthopédique allemands, suisses et autrichiens. Seulement 33 utilisaient un protocole de rééducation précoce après une reconstruction du LCP et ces protocoles comprenaient de grosses différences. Les recommandations communes étaient sur l'utilisation d'une attelle avec appui postérieur au niveau du tibia pendant environ 12 semaines post-opératoire, un appui partiel de 50% du poids du corps et le travail d'amplitude articulaire limité à 60° de flexion de genou les deux premières semaines post-opératoire (Memmel et al., 2022). Pour aller plus loin sur ces données, voici des résultats trouvés par d'autres auteurs :

- Les différentes revues de littérature conseillent une immobilisation avec attelle en extension pour une durée variant de 1 à 8 semaines (Kim et al., 2013; Senese et al., 2018), voire jusqu'à 24 semaines dans le cadre d'attelle dynamique comme la PCL Jack (Jansson et al., 2013). Un essai contrôlé randomisé a comparé deux groupes de 22 patients chacun : l'un ayant un plâtre pendant 4 semaines après 1 semaine d'attelle le temps de diminuer l'œdème puis une attelle à 0° d'extension jusqu'à 12 semaine postopératoire et l'autre avec une attelle à 0° d'extension pendant 12 semaines postopératoires. Le groupe plâtre a une différence significative en sa faveur concernant la laxité à 1 an postopératoire mesurée au Telos (Yoon et al., 2013).
- Dans leur revue de littérature, Kim & al estiment que l'appui sur le membre inférieur opéré doit être encouragé le plus tôt possible : un appui avec le membre inférieur en extension permet de créer une force à direction antérieure ainsi qu'une meilleure cicatrisation et la production de liquide synovial. De plus, les patients ont tendance à mettre leur genou en flexion pour éviter l'appui ce qui crée une force postérieure (Kim et al., 2013). Senese et al ont analysé 34 articles sur le sujet et tous proposent une progression dans la reprise d'appui (Senese et al., 2018). Enfin, il semble important qu'un équilibre soit trouvé en communiquant avec le chirurgien à ce sujet (Simhal et al., 2021).
- Kim & al considèrent que la mobilisation entre 0 et 30° peut être faite en postopératoire immédiate car il y a peu de force postérieure dans cette amplitude. Les 90° de flexion de genou doivent être atteints entre 4 et 8 semaines, les 120° entre 6 et 12 semaines selon cette même revue de littérature (Kim et al., 2013). La revue de littérature de Simhal & al préconise une extension complète et une flexion allant jusqu'à 90° dès la fin de la première semaine puis d'avoir l'amplitude complète à partir de la semaine 14 (Simhal et al., 2021).

### 1.5.2. Les contraintes sur le greffon

Comme vu précédemment la rééducation post-opératoire se doit de protéger le greffon lors de la cicatrisation de celui-ci. Or, par leur action biomécanique de fléchisseur de genou,

la contraction des IJ entraîne une translation postérieure du tibia par rapport au fémur pouvant compromettre la bonne cicatrisation du greffon (Senese et al., 2018).

Une étude cadavérique de 1995 a analysé les contraintes engendrées par la contraction des muscles IJ, quadriceps et gastrocnémiens sur le LCP en comparaison à la contrainte sur le LCP à 60° de flexion de genou. Le quadriceps engendre le moins de contrainte entre 30 et 60° de flexion de genou et est non significative statistiquement lorsque la flexion de genou dépasse 90° par rapport à la mobilisation passive. La contrainte sur le LCP engendrée par les gastrocnémiens augmente significativement de 40 à 110° de flexion de genou et celle engendrée par les IJ augmente significativement de 70 à 110° de flexion de genou. Grâce à ces données et au graphique présent ci-dessous on peut analyser qu'une contraction des ischios-jambier entre 0 et 60° de flexion de genou génère moins de contraintes qu'une mobilisation passive en flexion sur ces mêmes amplitudes. Les contractions musculaires correspondaient à 10% de la force maximale émise lors d'un squat (soit 1400N pour le quadriceps, 250N pour les IJ et 550N pour les gastrocnémiens) (Dürselen et al., 1995).

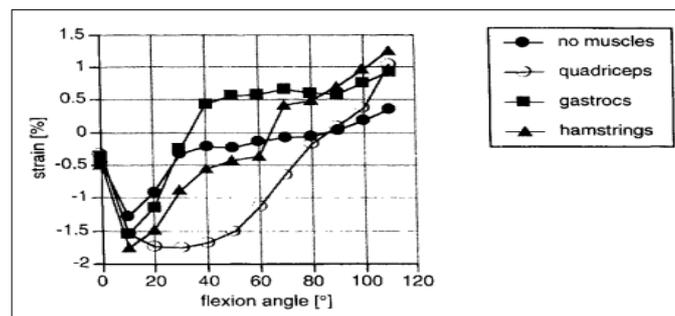


Figure 12 : valeurs moyennes de déformation du LCP par rapport à l'activation musculaire et à la flexion de genou (Dürselen et al., 1995)

L'étude de Mesfar & Shirazi-Adl confirme que lors d'une flexion de genou en CCO, les forces appliquées sur le LCP débute à 30° de flexion (Mesfar & Shirazi-Adl, 2008).

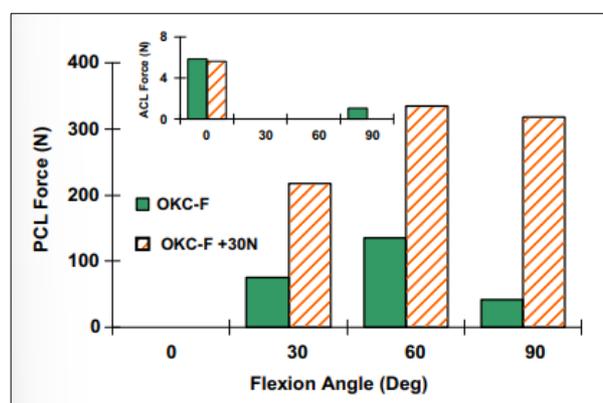


Figure 13 : force subie par le LCP selon l'angle de flexion de genou en CCO et avec une force à direction postérieure de 30 Newtons (Mesfar & Shirazi-Adl, 2008)

Par son action de translation antérieure du tibia sous le fémur, le quadriceps est donc protecteur du LCP (Rachet & Quelard, 2013), alors que les IJ sont responsables de contraintes sur le LCP par leur action de translation tibiale postérieure lors de leur contraction, notamment à partir de 30° de flexion de genou. De plus, le muscle poplité semble avoir un rôle de protection sur le LCP. En effet ces deux structures fonctionnent en synergie : quand il est contracté et que le genou est fléchi de 30°, les forces sur le LCP sont réduites de 36%, notamment en combinant flexion de genou et rotation tibiale médiale (Giombini et al., 2007). Par ailleurs, ces auteurs estiment que les exercices de renforcement des IJ en décubitus ventral, genou et hanche en extension, ne produisent pas de contrainte particulière sur le LCP. Bien que ces données sont sûrement à nuancer en fonction de la charge appliquée lors de l'exercice, elles sont intéressantes à prendre en compte lors d'une rééducation suite à une reconstruction du LCP afin de protéger le greffon de certaines contraintes causées par les IJ.

Enfin, le quadriceps aura un rôle primordial dans la protection du greffon par sa participation dans la stabilité antéropostérieure du genou. C'est un muscle clé de la rééducation suite à une reconstruction du LCP car il permet de réduire les contraintes sur le greffon et une meilleure force du quadriceps semble corrélée avec de meilleurs résultats postopératoires. En effet, le graphique ci-dessus met en lumière que l'activation musculaire du quadriceps permet de réduire les contraintes sur le LCP par rapport à la mobilisation passive par exemple (Dürselen et al., 1995). De plus, la co-contraction du quadriceps et des IJ en chaîne cinétique fermée lors des exercices type mini-squat sur l'amplitude 0-50° de flexion de genou permet de protéger le greffon mais aussi d'avoir un renforcement musculaire équilibré (Senese et al., 2018). En d'autres termes, la contraction du quadriceps permet de compenser le glissement postérieur du tibia créé par l'activation musculaire des IJ lors d'un exercice en CCF et donc protège le greffon dans le cadre d'une reconstruction du LCP. Cela est le cas dans les exercices type soulevé de terre, squat bipodal ou monopodal, hip trust ou fentes (Delgado et al., 2019; Muyor et al., 2020). La co-contraction IJ/quadriceps sera primordiale dans la rééducation suite à une reconstruction du LCP afin de limiter les contraintes sur le greffon tout en renforçant les IJ pendant cette période pour obtenir une force satisfaisante en fin de rééducation.

### 1.5.3. Retour au sport

Le retour au sport se fait entre 9 à 12 mois (Kew et al., 2022). Il n'existe pas de tests spécifiques pour le retour au sport après une reconstruction du LCP mais :

- Simhal et al prennent en considération l'absence de déviations pendant la course et les sauts sur des surfaces planes ou non, un single leg hop test du membre opéré  $\geq 90\%$  du

résultat du côté non opéré et une force concentrique et excentrique du quadriceps et des IJ  $\geq 85\%$  de la force du côté non opéré (Simhal et al., 2021).

- La mesure de la laxité ligamentaire est aussi une donnée à prendre en compte dans le cadre du retour au sport après une reconstruction du LCP (Kew et al., 2022).

Cependant ces critères peuvent être étoffés. Kotsifaki & al ont établi des critères de retour au sport suite à une rééducation après reconstruction du LCA : pas de douleur ou d'épanchement, amplitudes articulaires complètes, stabilité du genou via le pivot shift, le test de Lachman et l'évaluation de la laxité instrumentale, des évaluations fonctionnelles et psychologiques normales avec l'IKDC et l'ACL-RSI, une symétrie de force du quadriceps et des IJ mesurée à l'isocinétisme à  $60^\circ/s$  pour le retour à un sport à pivot, une symétrie de saut à  $90\%$ , une biomécanique de sauts normalisée et symétrique notamment dans les plans sagittaux et frontaux, une mécanique de course où la force de réaction au sol est similaire à plus de  $90\%$  et en complétant un entraînement spécifique au sport (Kotsifaki et al., 2023). Nous pouvons imaginer appliquer certains tests en fin de rééducation de LCP.

Le retour à une activité sportive ou une activité physique intense semble être à améliorer : une étude de cohorte en population militaire a montré qu'après une opération suite à une rupture du LCP isolée (118 patients), un tiers des patients ont été placés en inaptitude physique pour des plaintes persistantes au genou. Ces patients ont eu des chirurgies et des protocoles de rééducation variés (Tucker et al., 2019). Une étude cas-témoin de 2020 s'est intéressée à la force des IJ et du quadriceps à 2 ans postopératoire d'une reconstruction du LCP par prélèvement du tibial antérieur ou du LCA par prélèvement de l'IJ. Ils ont comparé ces deux groupes qui n'avaient pas de différence significative de force en préopératoire. A 2 ans postopératoire, la force des IJ des personnes opérées après une rupture du LCP est significativement plus faible que celle du membre inférieur non opéré comparé à une population opérée du LCA. De plus, le pic de force des IJ à  $120^\circ/s$  est significativement plus faible pour la jambe opérée alors qu'il ne l'est pas à  $60^\circ/s$  (Lee & Lee, 2020).

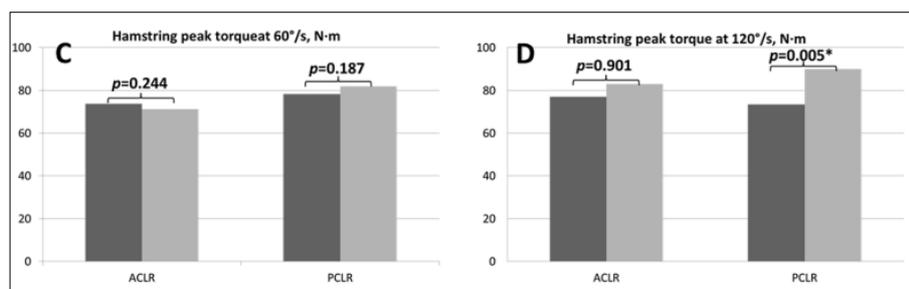


Figure 14 : force des IJ à  $60^\circ$  et  $120^\circ/s$  chez une population avec une reconstruction du LCP (Lee & Lee, 2020)

Enfin, les auteurs ont mesuré le travail total fourni par les IJ et le quadriceps durant ces mesures afin d'évaluer l'endurance musculaire. Là aussi, ils ont pu constater que l'endurance musculaire était significativement plus faible chez les personnes ayant eu une reconstruction du LCP, à 60°/s et à 120°/s (Lee & Lee, 2020).

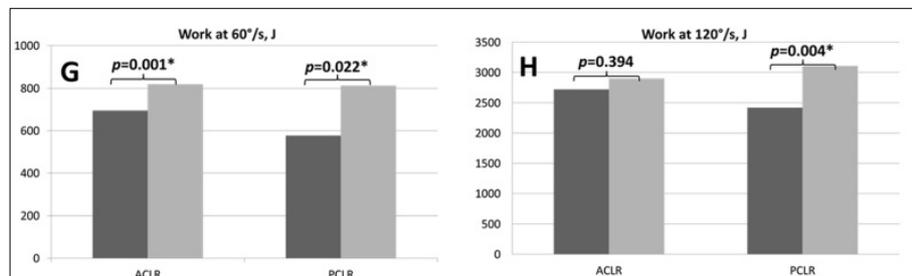


Figure 15 : endurance musculaire du quadriceps et des IJ chez une population avec une reconstruction du LCP (Lee & Lee, 2020)

Ces données mettent en lumière une problématique des personnes ayant une rupture puis une reconstruction du LCP : elles auraient des IJ plus faibles à 2 ans postopératoire comparé au côté sain. Nous pouvons mettre cela en lien avec des données présentes dans deux revues de littérature sur la rééducation postopératoire du LCP : il existe une faiblesse musculaire à deux ans postopératoire chez les personnes opérées du LCP (Kim et al., 2013; Senese et al., 2018). Pierce et al. considèrent que le renforcement en excentrique que ce soit en chaîne cinétique ouverte (CCO) ou chaîne cinétique fermée (CCF) est une « partie vitale de la rééducation » ainsi qu'une « fondation des protocoles de rééducation suite à une blessure du LCP » (Pierce et al., 2013). Cela semble en accord avec ce que nous avons évoqué auparavant. En comparaison de la rééducation suite à une reconstruction du LCA, les critères de force semblent être sous utilisés dans l'accompagnement de la progression de la rééducation suite à l'opération du LCP (Senese et al., 2018). Or, nous avons vu auparavant que la force des IJ a un rôle prépondérant dans un grand nombre de sports, notamment la force excentrique.

## 1.6. Problématique

Au vu de ces éléments, nous pouvons donc nous interroger sur le déroulé de la rééducation des IJ lors d'une plastie du LCP et comment celle-ci peut être améliorée. En effet, nous avons vu que les personnes opérées du LCP ont un déficit de force des IJ et que ce déficit de force peut entraîner des limites dans la pratique sportive et des risques de blessures.

## **Nous pouvons donc nous demander comment pouvons-nous améliorer la force des IJ des patients ayant eu une reconstruction du LCP sans augmenter la laxité ligamentaire ?**

Notre hypothèse est que l'intégration précoce de renforcement musculaire des IJ dans une amplitude allant de 0 à 30° de flexion de genou et avec des moyens comme le BFR, l'électrostimulation ou la cross education ou en co-contraction avec le quadriceps puis un renforcement musculaire avec un objectif de gain de force permet d'obtenir une meilleure récupération de la force des IJ sans augmenter la laxité du greffon par rapport à un protocole conventionnel.

Dans cette recherche, nous exposerons et analyserons ce qui est décrit dans la littérature quant à la rééducation des IJ suite à une reconstruction du LCP et les liens avec la laxité du genou et à la force des IJ. Puis nous discuterons cela avec les preuves disponibles sur la rééducation de la force des IJ, en mettant ces données en lien avec les contraintes biomécaniques suite à une reconstruction du LCP.

## **2. Méthode**

### **2.1. Description de la stratégie de recherche**

Nous cherchons ici l'état actuel des connaissances sur la rééducation des IJ suite à une reconstruction du LCP. Ces résultats seront ensuite mis en relation avec les preuves obtenues dans la littérature sur la rééducation des IJ afin de pouvoir mettre en avant les éléments à améliorer lors d'une rééducation des IJ suite à une opération du LCP. Le type d'étude réalisé dans ce mémoire sera une revue de littérature. Cette revue ne sera donc pas exhaustive et permettra d'offrir une vue d'ensemble du sujet.

#### **2.1.1. Critères d'éligibilité et critères de jugement**

La question de recherche est établie grâce à l'acronyme PICO :

- Population : patients ayant eu une reconstruction du LCP isolée, hommes et femmes de plus de 18 ans
- Intervention : rééducation des IJ après une reconstruction du LCP
- Comparaison : études à haut niveau de preuve de la rééducation des IJ
- Outcomes : amélioration de la force musculaire, laxité du greffon, qualité de retour au sport

Les critères d'inclusion de cette revue de littérature se décomposent sur plusieurs points. Les patients des études sont des adultes et ont eu une reconstruction du LCP suite à une rupture isolée de ce ligament quel que soit le niveau d'activité. Les articles sélectionnés doivent à minima expliciter le début de rééducation des IJ. Les articles de revues ne présentant pas de résultats sont aussi inclus afin d'analyser les protocoles décrits.

Les critères d'exclusion des articles sont les articles publiés après le 01 octobre 2023. Notre recherche ne s'intéressera pas aux reconstructions multi-ligamentaires ou aux reconstructions du LCP avec des pathologies associées car les consignes de rééducation peuvent être différentes. Ce serait un biais de comparer des résultats de deux populations différentes. Les articles traitant de la rééducation suite à des reconstructions par des ligaments artificiels sont aussi exclus. Enfin, les articles dans des langues autre que l'anglais ou le français et les articles indisponibles sur internet ou via la Bibliothèque Universitaire seront exclus eux aussi.

Les critères de jugement principaux sont la laxité et la force des IJ mesurées en fin de rééducation ou lors du dernier follow-up. Le critère de jugement secondaire est le score Tegner et la satisfaction de retour au sport. Le score Tegner est une échelle numérique qui évalue le niveau d'activité de la personne de 0 à 10 selon son activité sportive (Annexe I). Ce score permet d'évaluer le niveau pré-blessure afin de pouvoir le comparer au niveau atteint suite à la rééducation

### 2.1.2. Bases de données

Les bases de données interrogées sont PubMed, PEDro et EMBASE. La recherche d'articles a commencé en juin 2023 et la dernière recherche a été effectuée le 01 octobre 2023. Ces bases de données ont été choisies car elles possèdent des caractéristiques différentes et essentielles à notre problématique. PubMed et EMBASE permettent d'avoir accès à un nombre conséquent d'articles de structure différente et PEDro est une base de données spécialisées dans la kinésithérapie qui permet d'accéder à des revues systématiques et des essais cliniques.

### 2.1.3. Equations de recherche

Afin d'interroger les bases de données, notamment PubMed, de manière précise nous avons utilisé les MeSH terms. Cela correspond selon l'INSERM au « thésaurus de référence dans le domaine biomédical » afin d'avoir « la version bilingue à la disposition de la

communauté francophone » (INSERM, 2023). Les MeSH terms ont été identifiés grâce au site internet Hetop : ischio jambier a pour MeSH term « Hamstring Muscles » et kinésithérapie a pour MeSH term « Physical therapy specialty ».

Pour PubMed, l'équation de recherche a été construite en 3 étapes. Une première équation avec les mots clés "posterior cruciate ligament" et le MeSH term "posterior cruciate ligament" a identifié 4285 articles. Une deuxième équation a été créée via les mots clés en lien avec notre question de recherche ainsi qu'avec des troncatures afin d'élargir la recherche. Celle-ci a identifié 3.838.130 articles. Ces deux équations ont été mises en lien avec l'opérateur booléen AND et a identifié 662 articles (Annexe II).

Pour EMBASE, le mot clé "posterior cruciate ligament" a été associé à différents mots clés qui doivent être présent dans le titre, le résumé ou les mots clés de l'article. Ces différentes équations ont été mises en lien avec l'opérateur booléen OR et cela a permis d'identifier 295 articles (Annexe III).

Enfin, pour la base de données PEDro, le titre de l'article doit contenir le mot « posterior cruciate ligament » Cela a permis d'identifier 5 articles.

## 2.2. Méthodologie d'analyse de la littérature

### 2.2.1. Lecture et analyse des articles, gestion des données

La sélection des études suite à ces équations de recherche a été réalisée de la manière suivante. Tout d'abord nous supprimons les articles présents plusieurs fois. Puis la deuxième étape consiste à lire les titres et résumés des articles pour trier ceux qui nous semblent pertinents ou non. Enfin, nous lisons les articles intégralement afin de sélectionner ceux pertinents pour notre travail. Ces étapes se basent sur les critères d'éligibilité décrits précédemment. Un diagramme de flux résumera les étapes de cette sélection.

Les articles seront analysés selon différentes informations à l'aide d'un tableau récapitulatif présent dans la partie « 3. Résultats ». Ces données sont : le nom des auteurs, l'année de publication de l'article, le type d'étude, les informations sur la population étudiée, les critères d'inclusion et d'exclusion, les critères de jugement, les interventions effectuées, et les résultats obtenus.

### 2.2.2. Evaluation des biais et de la qualité méthodologique des articles

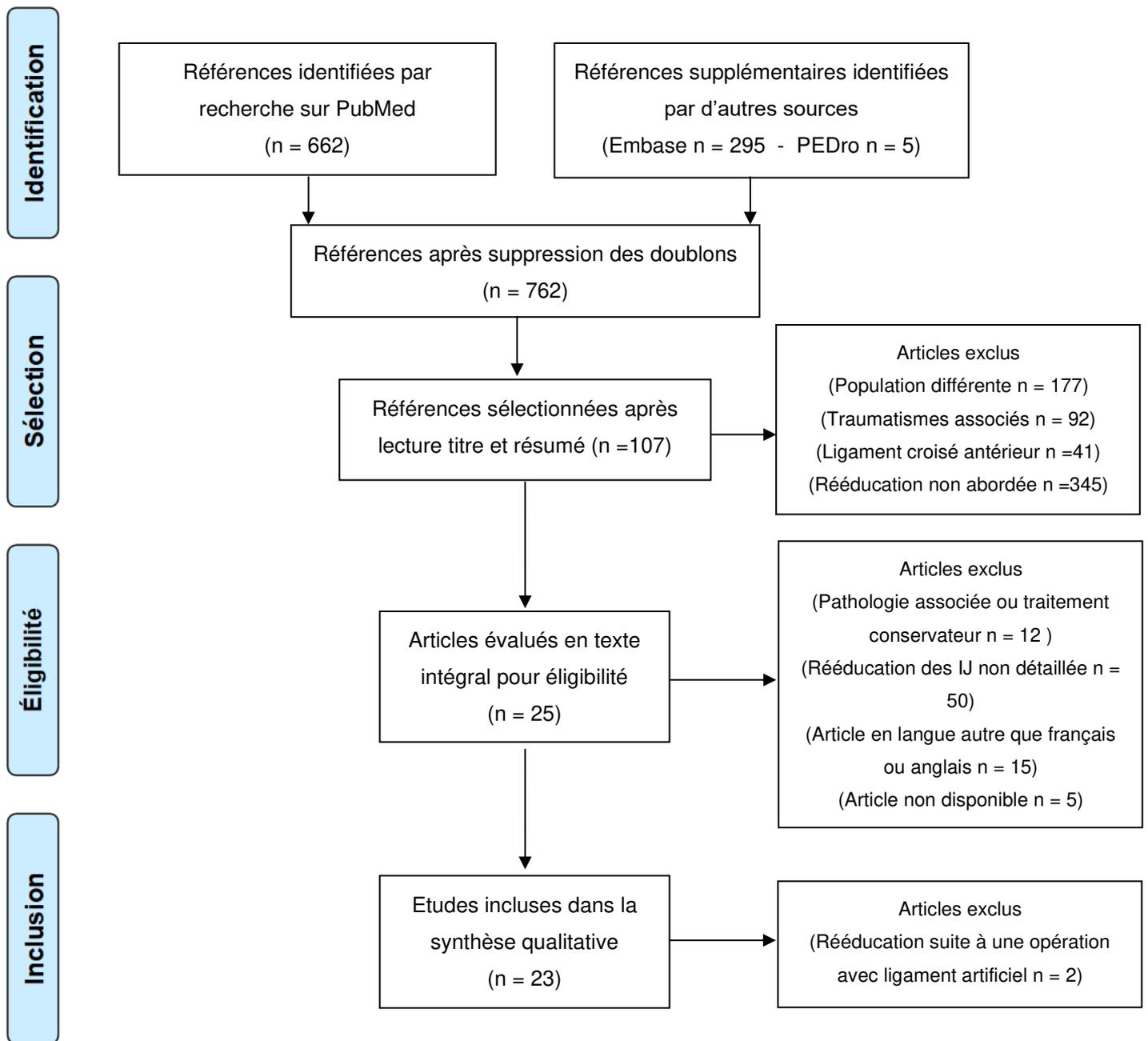
La qualité méthodologique des articles sera analysée avec le rapport « Niveau de preuve et gradation des recommandations de bonnes pratiques » de la HAS d'avril 2013 (Haute Autorité de Santé, 2013).

## 2.3. Description de l'analyse statistique

Dans ce travail, nous évaluerons l'impact de la rééducation des IJ sur la laxité du greffon du LCP et la force des IJ évaluées lors du dernier follow-up. En d'autres termes, nous analyserons s'il y a une corrélation entre un début précoce de renforcement des IJ en CCF et en CCO et une laxité plus importante et/ou une meilleure force des IJ. De plus nous analyserons le score Tegner pour évaluer la qualité du retour au sport.

### 3. Résultats

#### 3.1. Sélection des études



## 3.2. Résultats des études

### 3.2.1. Etudes évaluant la laxité du greffon et/ou la force des IJ

Tableau II : résultats des études évaluant la laxité du greffon et/ou la force des IJ

Auteurs et année	Boutefnouchet & al. 2012
Design	Etude rétrospective observationnelle
Population	17 patients – 15 pour le follow up 1 <sup>ère</sup> LCPr pour rupture isolée grade 3 Age moyen 25 ans (19-40 ans) 11 ruptures par contact en sport, 3 accidents de motos et 1 ski Temps avant opération : 15,5 mois (2 à 74 mois) 8 avec travail sédentaire, 6 avec travail manuel léger
Critères d'inclusion et d'exclusion	CI : N.C. CE : patients avec blessures concomitantes (point d'angle postéro latéral, ménisques, autre ligament atteint, arthrose grade 3 ou 4)
Critères de jugement	Lysholm score Tegner activity score IKDC score KT 2000 arthromètre
Intervention	<b>J1 – 6 semaines : exercices isométriques quadriceps et IJ et exercices en CCF</b> <b>&gt; 6 semaines : CCO</b> , progression en résistance et intensité Pas d'attelle AA complètes autorisées à partir de 2 à 3 semaines Course à pied débutée à 3 mois Activités sportives « légères » à 6 mois Sports à contact de 9 à 12 mois
Résultats / interprétation	<b>KT-2000 : 11 scores normaux (0-2mm), 4 patients presque normaux (3-5mm)</b>  Tegner : 10 retours à niveau sportif compétitif, 4 retours au travail lourd et sports modérés, 1 retour à un travail sédentaire, médiane à 7, moyenne à 6,3  Résultats similaires avec des rééducations plus protectrices 11 retours à niveau pré blessure, 1 améliore son niveau pré blessure, 2 réductions du niveau 12 continuent leur sport

Auteurs et année	Chen & al. 2002
Design	Série de cas
Population	54 patients avec LCPr isolée, 49 après le follow up, 2 groupes  Groupe tendon quadriceps (QTG) : 22 patients, 14 hommes et 8 femmes, âge moyen 29 ans, 12 chirurgies précoces  Groupe tendon IJ (HTG): 27 patients , 18 hommes et 9 femmes, âge moyen 27 ans, 16 chirurgies précoces
Critères d'inclusion et d'exclusion	N.C.
Critères de jugement	IKDC score Lysholm score Posterior drawer test KT-1000 arthromètre Douleur (antérieure et des IJ) Atrophie musculaire Force musculaire (dynamomètre, isocinétisme à 180°/sec)
Intervention	Appui complet autorisé à 1 semaine, attelle en extension dès J0, genou immobilisé en extension pendant 1 semaine <b>0-1 mois</b> : 0 à 60° de flexion de genou, <b>exercices en CCF</b> 6 sem : attelle déverrouillée pour retrouver une marche normale <b>8 sem</b> : AA progressivement complète, <b>renforcement des IJ « agressif » débuté</b> 3 mois : activité de vie normale 6 mois : activités sportives « légères » 9-12 mois : sports pré-blessure quand la force musculaire est retrouvée ou presque normale
Résultats / interprétation	<b>KT-1000 et Posterior Drawer Test : 7 QTG avec 0-2mm de translation postérieure et 8 HTG , 13 QTG avec 3-5mm et 15 HTG, 2 QTG et 4 HTG avec 6-10 mm. Pas de différence entre les 2 groupes</b>  <b>Isocinétisme à 180°/s : 14/22 QTG et 12/27 HTG force des fléchisseurs jambe opérée &gt;90% par rapport à jambe non opérée à 2 ans / 9 QTG et 14 HTG force des extenseurs jambe opérée &gt;90% par rapport à jambe non opérée à 2 ans,</b>  Atrophie : 18 QTG et 21 HTG moins de 10mm de différence de circonférence

Auteurs et année	Kim & al. 2017
Design	Etude comparative
Population	49 patients dont 19 avec une reconstruction isolée du LCP : 18 hommes et 1 femme
Critères d'inclusion et d'exclusion	CI : reconstruction isolée du LCP ou reconstruction LCP et point de corne postérolatéral, avec ou sans réparation ou reconstruction méniscale CE : LCP combiné au LCA, infection, révision de chirurgie, fracture du membre inférieur, chirurgie prioritaire, reconstruction multi-ligamentaire
Critères de jugement	Lysholm score IKDC score Tegner activity score KT-2000 Force musculaire isocinétique par dynamomètre en concentrique à 60°/s  Follow-up moyen de 28,9 mois (20-48)
Intervention	Chirurgie : reconstruction par allogreffe du tendon tibial antérieur  Rééducation groupe LCP isolé : Phase 1 ( <b>1-3 sem</b> ) : attelle bloquée en extension, appui complet avec béquilles si toléré, mobilisation passive en flexion en décubitus ventral, élévation jambes tendues, renforcement des mollets, <b>mini squat 0-30°</b> Phase 2 ( <b>4-6 sem</b> ) : attelle déverrouillée, AA jusqu'à 90°, exercices en CCF et CCO, <b>isométrique jusqu'à 30° de flexion</b> , coordination musculaire Phase 3 (6-12 sem) : attelle déverrouillée et sevrage après semaine 8, AA jusqu'à 120°, isotonique exercices sans curl, équilibre Phase 4 ( <b>12-24</b> ) : <b>début des curls IJ</b> , course à pied légère si moins de 30% de déficit musculaire Phase 5 (>24sem) : sports spécifiques si moins de 15% de déficit musculaire
Résultats / interprétation	<b>KT-2000 : différence de 4,5 ± 3 mm par rapport au côté controlatéral</b> <b>Force musculaire 60°/s:</b> - <b>85,5% par rapport au côté controlatéral</b> - <b>Pic de force des IJ côté opéré significativement plus faible</b> - <b>Ratio IJ/Q sans différence significative par rapport au côté controlatéral</b>  Tegner activity score : 5,6 ± 1,6 au dernier follow-up

Auteurs et année	Lee & al. 2019
Design	Série de cas
Population	52 patients (47 hommes, 5 femmes) Age moyen de 25,8 ans IMC moyen de 23,8 2,4 mois entre blessure et opération
Critères d'inclusion et d'exclusion	CI : Rupture isolée du LCP grade 3 (>10mm), 1ère rupture, haute activité préop (Tegner >5) CE : blessures postérolatéral combinées > grade 2, multi-ligamentaire, rupture bilatérale, ménisectomie, fractures associées, chirurgie antérieure sur la jambe saine, malposition et infection
Critères de jugement	IRM Radio avec stress (150N) avec le Telos Lysholm score IKDC score Isocinétisme Single leg hop Temps pour le retour au sport Satisfaction de retour au sport
Intervention	Chirurgie : allogreffe avec tibial antérieur ou postérieur, simple brin Rééducation : - Hinged knee brace : 8 semaines dont 3 en extension complète - Appui partiel immédiat puis appui complet à 4 semaines - AA : début à 3 semaines, 90° de flexion à 4, 120° de flexion à 6 - Renforcement : isométrique quadriceps immédiat, CCF débute à 4 semaines suivi de la CCO, <b>co-contraction quadriceps/IJ</b> encouragée dans les premières phases, <b>CCO des IJ autorisée à 8 semaines</b> - Sports spécifiques : 6 mois - Retour au sport : 9 mois
Résultats / interprétation	<b>Telos - Radio avec stress postérieur 150 N : 2,9mm ± 1,4mm en plus par rapport au côté controlatéral</b> <b>Force des fléchisseurs : par rapport à la jambe saine, déficit moyen de 12,3% ± 10,2 à 9 mois, 10,1% ± 9,6 au dernier follow up</b> Tegner : 7,8 ± 1,4 au dernier follow up (7,9 ± 1,4 pré blessure) 86,5% ont maintenu leur niveau pré blessure à 24 mois Qualité du retour au sport : - 48% ne limitent pas leur effort/performance et pas de douleurs à 9 mois, 69,2% à 24 mois - 82,7% sont très satisfaits ou plutôt satisfaits des résultats à 9 mois, 92,3% à 24 mois <b>Les facteurs signifiants qui entraînent un niveau pré blessure plus faible sont : déficit des extenseurs et fléchisseurs, déficit dans le single leg vertical jump et échelle de satisfaction plus faible.</b>

Auteurs et année	Lee & Lee. 2020
Design	Etude de cas contrôle
Population	2 groupes : patients avec rupture et reconstruction du LCA et du LCP (LCP seulement sera analysé) Groupe LCP : 20 patients (19 hommes, 1 femme) Age moyen de 31,4 ± 11,2 ans IMC moyen de 25,4 ± 3,6 14 jambes dominantes 4,2 ± 1,7 semaines entre blessure et chirurgie
Critères d'inclusion et d'exclusion	CI : première reconstruction ligamentaire CE : autre chirurgie osseuse ou ligamentaire, déficit ligamentaire chronique
Critères de jugement	Isocinétisme Posterior drawer test Telos stress radiographie Flexion contracture et flexion maximale active au goniomètre Lysholm score IKDC score
Intervention	Chirurgie : allogreffe tibial antérieur par technique transtibiale  Rééducation : Phase 1 (0-6sem) : appui partiel avec attelle à 0° d'extension, mobilisation passive en flexion immédiate avec pour but 90° de flexion à 6 semaine, isométrique quadriceps élévation jambe tendue-montée pointe de pied Phase 2 ( <b>6-12sem</b> ) : appui complet avec attelle, mobilisation passive en flexion avec pour but 120° à 12 semaine, <b>single leg squats</b> -élévation jambe tendue-montée pointe de pied Phase 3 ( <b>12-24sem</b> ): appui total sans attelle, AA > 120° flexion, <b>début renforcement des IJ, CCF 0-45°</b> , début course à pied Phase 4 (>24sem) : progression sur course à pied, compétition après 9 mois
Résultats / interprétation	<b>Telos stress radiographie : 4,1 ± 2,6mm en plus comparé au côté controlatéral</b> <b>Isocinétisme : à 2 ans postopératoire</b> - <b>Pic de force en flexion à 60°/s : 87,1% comparé au côté controlatéral</b> - <b>Sur les valeurs des IJ mesurées à 60°/s : déficit de 21,8% ± 14% comparé au MI non opéré</b> - <b>IJ à 120°/s : déficit de 15,3% ± 13,7% comparé au MI non opéré</b> - <b>Couple maximal des IJ a 120°/s significativement plus faible du MI opéré comparé au non opéré</b>

Auteurs et année	Quelard & al. 2010
Design	Etude rétrospective
Population	17 patients dont 15 hommes et 2 femmes Age moyen de 29,25 ans (18-46) 9 blessures au sport, 7 accident sde la route, 1 chute Délai blessure / chirurgie : 2 < 3 semaines, 15 > 3 mois 15 patients dont le traitement conservateur a échoué, 2 athlètes de haut niveau 2 patients ont développé un SDRC
Critères d'inclusion et d'exclusion	CI : rupture isolée et symptomatique du LCP, laxité > 8 mm comparatif côté opposé et/ou douleur
Critères de jugement	Evaluation radio IKDC score Lyschalm score Telos stress radiographie Tegner score
Intervention	Chirurgie : reconstruction simple brin (antérolatéral) par autogreffe du tendon patellaire homolatéral avec double fixation tibia et fémur  Rééducation : même centre, même protocole Phase 1 (J1-J45) : AA entre 0-95° en décubitus ventral ou décubitus dorsal si contre pression sur la partie postérieure du mollet, extension active, appui complet, attelle en extension avec coussin postérieur sur l'extrémité proximal du tibia jour et nuit, exercices en flexion seulement si quadriceps activé Phase 2 (J45-J90) : CCF quadriceps et gastrocnémiens, AA 0-120° en passif, suppression de l'attelle et des béquilles, contrôle musculaire et équilibre avec déstabilisation bipodal, <b>renforcement des IJ si genou en extension et avec contraction du quadriceps</b> , éviter l'instabilité antérieure pendant les exercices proprioceptifs Phase 3 (J90-J150) : début activité physique contrôlée, continue gain de flexion de genou et de force musculaire, proprioception unipodale, pas de renforcement « classique » des IJ >J150 : début activités physiques et sportives normale, gain jusqu'à la flexion maximale nécessaire au sport, <b>renforcement des IJ</b> , continuer renforcement du quadriceps et réintégrer le contrôle musculaire
Résultats / interprétation	<b>Telos – radio avec stress postérieur : moyenne de 3,8mm ± 2,3 en plus par rapport au côté controlatéral</b> Niveau d'activité : avant la blessure tous les patients avaient un niveau d'activité intense ou modéré, au dernier follow-up 2 patients se considèrent comme sédentaire et 1 avec un niveau d'activité léger Tegner : moyenne de 7/10 ± 1,8

Auteurs et année	Wu & al. 2007												
Design	Série de cas												
Population	22 patients dont 17 hommes et 5 femmes - Age moyen 27 ans (18-49) Délai entre blessure et chirurgie de 5 mois (3-14) Accident de sport dans 3 cas, accident de moto dans 17 cas et chutes dans 2 cas Posterior drawer test grade 3 ou 4 (> 11mm de déplacement tibial postérieur)												
Critères d'inclusion et d'exclusion	CI : rupture isolée du LCP CE : blessure d'autres ligaments, dommage osseux, menisectomie antérieure, malpositions des tunnels fémoraux et tibiaux, radio préopératoire anormale ou genou controlatéral anormal												
Critères de jugement	Follow up à 3 mois, 6 mois, 9 mois, 1 an et chaque année. Dernier follow up à 5 ans <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 33%;">Lysholm score</td> <td style="width: 33%;">AA avec goniomètre</td> <td style="width: 33%;">Douleur (EVA)</td> </tr> <tr> <td>Tegner activity score</td> <td>Laxité (posterior drawer test et KT-1000)</td> <td>Radiographie</td> </tr> <tr> <td>IKDC score</td> <td>Articulation fémoro-patellaire</td> <td>Circonférence musculaire</td> </tr> <tr> <td>Single leg hop test</td> <td></td> <td>Force musculaire (cybex study)</td> </tr> </table>	Lysholm score	AA avec goniomètre	Douleur (EVA)	Tegner activity score	Laxité (posterior drawer test et KT-1000)	Radiographie	IKDC score	Articulation fémoro-patellaire	Circonférence musculaire	Single leg hop test		Force musculaire (cybex study)
Lysholm score	AA avec goniomètre	Douleur (EVA)											
Tegner activity score	Laxité (posterior drawer test et KT-1000)	Radiographie											
IKDC score	Articulation fémoro-patellaire	Circonférence musculaire											
Single leg hop test		Force musculaire (cybex study)											
Intervention	Chirurgie : reconstruction du LCP par autogreffe avec prélèvement du tendon patellaire, critères = incapacité fonctionnelle à cause de la douleur et instabilité avec échec d'un traitement conservateur de 3 mois Rééducation : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Attelle extension complète la première semaine, appui partiel dès J2</li> <li>- Exercices isométriques du quadriceps, élévation jambe tendue et mobilisation passive débutés dès que possible</li> <li>- AA : 0-90° le 1<sup>er</sup> mois, 90-120° le 2<sup>ème</sup> mois, 8 sem : AA active complète</li> <li>- <b>&gt; 4 sem : exercices en CCF</b>, renforcement du quadriceps à la maison</li> <li>- <b>&gt; 6 sem : appui complet et début du renforcement des IJ</b> à la maison</li> <li>- 3 mois : retour à des activités de vie normales, vélo stationnaire et unipodal autorisé</li> <li>- 6 mois : sports « légers, &gt; 9 mois : activités complètes</li> </ul>												
Résultats / interprétation	<b>KT-1000 avec une force à direction postérieure de 89N: au dernier follow up, 10 patients entre 0-2mm, 8 entre 3-5mm et 4 ont entre 6-10mm.</b> <b>Isocinétisme à 180°/s : 21 ont une force des fléchisseurs de genou ≥90% de la force des fléchisseurs controlatéraux, 1 entre 80 et 90%</b> Tegner : moyenne pré blessure était de 7,2 ± 1,4 (5-9), moyenne postopératoire est de 6,0 ± 2,6 (3-9) dont 4 patients entre 0-3, 12 patients entre 4-6 et 6 patients entre 7-10 au dernier follow up Au dernier follow-up, 5 patients évaluent leur niveau d'activité comme intense, 13 comme modéré et 4 comme léger. 18 patients évaluent leur genou comme normal ou presque normal.												



### 3.2.2. Articles de revue sans résultats

Tableau III : protocoles de rééducation des études sans résultats

Auteurs et année	Design	Intervention
Cavanaugh & al. 2015	Article de revue	<p>Phase 1 (0-6sem) : appui contact avec attelle bloquée en extension et avec béquilles avec une progression de l'appui de 2 à 6 semaines jusqu'à 75% du poids du corps, mobilisation de la patella, AA de 0-90° de flexion, exercices de renforcement du quadriceps (élévation jambe tendue, électrostimulation), leg press bilatéral 0-60°, renforcement des hanches</p> <p>Phase 2 (<b>6-12 sem</b>) : sevrage des béquilles quand marche normal aux alentours de 6-8 semaines, changement d'attelle selon préférence, AA 0-130° de flexion, leg press et <b>mini squat 0-60°</b>, extension active 60-0°, monter marche de 8" et descendre marche de 6", <b>flexion de genou active autorisée sans résistance</b></p> <p>Phase 3 (12-20) : AA complète, leg press et squats 0-80°, fentes, extension active 80-0°, flexion de genou active autorisée sans résistance</p> <p>Phase 4 (&gt;20 sem) : renforcement leg press, squat, extension active 0-90°, pliométrie spécifique au sport, habilités sportives</p>
Curry & al. 2012	Revue de littérature	<p>Appui partiel avec attelle en extension et béquilles dès J0 avec évolution vers appui complet après 6 semaines selon la tolérance du patient</p> <p>Mobilisation passive de 0 à 70° de flexion de 0 à 4 semaines, 0 à 90° de 4 à 6 semaines puis AA complètes acquises le 3<sup>ème</sup> mois</p> <p>AA active 0-90° débute à 6 semaine et augmentation progressive</p> <p><b>CCF débuté à 2 semaine postopératoire</b>, début selon tolérance du patient et avec attelle</p> <p>CCO des extenseurs de genou à 2 semaine postopératoire</p> <p><b>CCO des IJ débute à 8 semaine postopératoire</b></p> <p>Début course à pied à 4 mois selon tolérance du patient</p> <p>Sauts verticaux bipodaux à 4 mois, horizontaux bipodaux à 5 mois</p> <p>Sauts verticaux unipodaux à 5 mois, horizontaux unipodaux à 6 mois</p> <p>Retour à l'activité sportive à 6 mois</p>
Fanelli 2008	Article de revue	<p>1-3 sem : pas d'appui, béquilles, attelle avec extension</p> <p>4-6 sem : pas d'appui, béquilles, attelle déverrouillée et AA passive progressive</p> <p>7-10 sem : augmentation de l'appui de 25% du poids de corps par semaine, sevrage des béquilles à la fin de semaine 10</p>

		<p><b>11-24 sem</b> : progression des AA et renforcement musculaire sans exercices des IJ avec résistance, début CCO du quadriceps de 45-0° et <b>CCF 0-45°</b></p> <p>25-52 sem : renforcement musculaire, retour au sport</p>
Fanelli & al. 2010	Article de revue	<p>Attelle en extension complète pendant 3 à 6 semaines sans appui avec béquilles, puis déverrouillée à 4 ou 6 semaines</p> <p>AA débutée à semaine 4 ou 5</p> <p>Appui : augmentation de 25% du poids de corps par semaine, début à la semaine 5 ou 6</p> <p>Béquilles jusqu'à semaine 10 quand le patient contrôle son quadriceps</p> <p>Quadriceps : CCO de 45 à 0° et <b>CCF de 0 à 45° de flexion débute à la semaine 11</b></p> <p><b>IJ : pas de CCO avant 6 mois postopératoire</b></p> <p>Retour au sport : de 6 à 9 mois postopératoire quand force, AA et proprioception suffisantes</p>
Gianni & al. 1998	Article de revue	<p>Phase 1 (J0-J15): genou en extension et triceps sural sous coussin au lit, mobilisation 0-90° de flexion, biofeedback et isométrique du quadriceps , appui partiel avec attelle en extension</p> <p>Phase 2 (<b>J15-J30</b>): genou en extension et triceps sural sous coussin au lit, appui complet progressivement, électrothérapie du quadriceps, flexion passive 0-90°, contractions isométriques membre inférieur sauf IJ, <b>demi-squat</b>, proprio en CCF</p> <p>Phase 3 (J30-J60) : attelle débloquée 0-120°, continuer phase 2</p> <p>Phase 4 (J60-J90) : AA complète, natation, presse horizontale, vélo</p> <p>Phase 5 (<b>J90-J180</b>) : début course à pied, <b>début travail actif des fléchisseurs de genou</b>, montée d'escaliers</p> <p>Phase 6 (J180-J240) : course à pied en montée, sauts verticaux, isocinétisme</p> <p>Phase 7 (&gt;J240) : reprise du sport</p>
Giombini. 2007	Article de revue	<p>Phase 1 (semaine 1-4) : attelle en extension pendant 2 semaines durant la marche, AA passive débutée à J4 0-60° la première semaine et 0-90° jusqu'à la 4<sup>ème</sup> semaine en protégeant le déplacement postérieur, béquilles pendant semaine 1 et 2, augmentation de l'appui graduelle selon la tolérance avec attelle bloquée entre 0 et 60° à la semaine 4, exercices isométrique de quadriceps</p> <p>Phase 2 (<b>semaine 5-12</b>) : attelle débloquée 0-90° semaine 5 et 6 puis enlevée la nuit après semaine 7, appui progressif avec attelle débloquée selon tolérance, après semaine 7 marche sans béquilles, AA complète à fin de phase CCO quadriceps 0-60° et <b>mini squats</b>, &gt; 9 semaines vélo,</p>

		<p>CCF 0-90° au leg press, proprioception, exercices triceps sural concentrique en position assise</p> <p>Phase 3 (<b>12-24 semaines</b>) : progression en CCO et CCF, leg press, squats 0-80°, <b>début leg curl avec force contraire sur 1/3 proximal du tibia</b>, renforcement du poplité, &gt; 20 semaines début de course à pied</p> <p>Phase 4 (&gt; 24 semaines) : progression course à pied, pliométrie, renforce quadriceps et IJ en CCO et CCF, isocinétisme à haute et basse vitesse angulaire, retour au sport</p>
Kew & al. 2022	Article de revue	<p>Phase 1 (0-2sem) : appui contact, attelle en extension avec béquilles, SETS quadriceps, AA de 0 à 70° de flexion</p> <p>Phase 2 (3-6sem) : 75% du poids de corps à 6 semaines, attelle en extension avec béquilles, AA de 0 à 90°, quadriceps sets et actif aidé de 70° de flexion à 0°, isométrique quadriceps de 60 à 20°, SLR avec attelle, leg press 60-0° bilatéral</p> <p>Phase 3 (<b>7-12sem</b>) : sevrage des béquilles quand marche non douloureuse, changement d'attelle selon préférence du chirurgien, AA de 0 à 130°, CCO quadriceps 60° à 0°, leg press vers l'excentrique et <b>mini-squats de 60° à 0°</b>, début escaliers, possibilité de BFR</p> <p>Phase 4 (13-24sem) : AA complète, squats et leg press 0-90° en progression vers unipodal, début des fentes, montée/descente d'une marche sans déviation ni douleur, BFR, <b>début CCO à 24 semaine</b></p> <p>Phase 5 (&gt;25 sem) : sports spécifique, pliométrie</p>
Lim & al. 2015	Etude de cas contrôle (sans résultats force/laxité)	<p>0-6 sem : immobilisation en extension complète avec appui postérieur, appui partiel avec l'attelle en extension, flexion passive en décubitus ventral jusqu'à 90°, exercice de mollets et de quadriceps</p> <p>6-12 sem : AA 90-120°, appui complet avec attelle, marche normale</p> <p><b>12-24 sem</b> : AA &gt;120° flexion, <b>début du renforcement des IJ, exercice en CCF</b>, plus d'attelle, course à pied en ligne droite</p> <p>&gt;24 sem : sport léger et sport en compétition après 9 mois</p>
Pierce & al. 2013	Revue de littérature	<p>Phase 1 (0-6 sem) : immobilisation en extension J0-J3 puis attelle 24h/24 (Jack PCL), pas d'appui, AA 0-90° passive pendant 2 semaines puis amplitude complète, quadriceps en isométrique (élévation jambe tendue et verrouillage du genou)</p> <p>Phase 2 (<b>6-12sem</b>) : attelle 24h/24, appui en fonction de la tolérance, AA complète, <b>squat</b> (normal puis talon surélevés puis avec poids) – presse bipodal 0-70° - pont fessier genoux tendus – vélo stationnaire si F&gt;115°</p> <p>Phase 3 (13-18sem) : attelle 24h/24, appui complet, presse avec progression en unipodal – fentes – squat progression → &gt;70° après 16 semaines, pont fessier unipodal &gt;16sem – proprio et équilibre –</p>

		<p>progression vélo résistance et durée, <b>début du renforcement des IJ après 16 semaines</b></p> <p>Phase 4 (18-24sem) : attelle 24h/24, CCF et CCO force et endurance en progressant sur les poids – commence sport spécifique à la fin de la phase + examen clinique et/ou radio pour cicatrisation greffon après sem24</p> <p>Phase 5 (25-36) : plus d'attelle si patient prêt, force et endurance avec CCO quadriceps et IJ, reprise de course à pied progressive, habiletés sportives</p>
Rosenthal & al. 2012	Revue de littérature	<p>Phase 1 (0-2 sem) : attelle bloquée 0° extension, appui partiel à complet selon tolérance, flexion passive entre 0-90° en DV et extension complète, extension active de 90-0° et, contrôle du quadriceps en excentrique sur l'amplitude 0-90°, élévation jambe tendue, électrostimulation du quadriceps</p> <p>Phase 2 (<b>3-6 sem</b>) : appui complet sans béquilles entre semaine 4 et 6, marche sans béquilles, AA entre 0-120° de flexion, force du quadriceps à 4/5, extension de genou CCO sur 70-0° et <b>CCF sur 0-45°</b>, vélo quand flexion genou &gt; 100°</p> <p>Phase 3 (6-12 sem) : attelle sevrée, amplitude articulaire passive et active complète, force du quadriceps &gt;90% du quadriceps controlatéral, escaliers sans difficultés, exercices CCF sur 0-60°, exercice unipodal, <b>début CCO des IJ 0-30° semaine 8</b></p> <p>Phase 4 (12-16 sem) : début course à pied, CCO quadriceps 90-0°, CCO IJ 0-45°, CCF 0-75°</p> <p>Phase 5 (16-24 sem) : habiletés sportives, pliométrie légère, CCO IJ 0-60°, CCF 0-90°, but d'avoir la force des IJ à 4+/5</p> <p>Phase 6 (&gt;24 sem) : habiletés sportives, pliométrie, agilité</p>
Slullitel & al. 2012	Article de revue	<p>J0-J21 : attelle pour fixer le genou, marche avec béquilles et appui partiel, début des exercices passifs et actifs</p> <p><b>&gt;J45 : début des exercices actifs des IJ</b></p> <p>&gt;12 mois : pratique sportive</p>
Simhal & al. 2021	Revue de littérature	<p>Phase 1 (0-1sem) : AA de 0 à 90°, verrouillage quadriceps, renforcement cheville, attelle 0° extension jour et nuit, appui partiel avec cannes axillaires</p> <p>Phase 2 (2-6sem) : attelle la journée puis de manière discontinue quand extension complète et lever de jambe tendu sans défaut, <b>exercices avec appui à partir de la 3<sup>ème</sup> semaine</b></p> <p>Phase 3 (6-14sem) : AA complète, renforcement bipodal en endurance sans dépasser les 70° de flexion (Heel raises, leg press, squat</p>

		<p>progression, static lunge, HS bridges on ball with the knees extended, mini squats 0-40°), vélo stationnaire, proprioception et équilibre</p> <p>Phase 4 (14-25sem) : peut dépasser 70° de flexion en actif, début du renforcement isolé des IJ à partir de sem 16 (SLD), début travail de puissance sur les extenseurs, début de la course à pied</p> <p>Phase 5 (<b>25-52sem</b>) : <b>début CCO pour quadriceps et IJ</b>, accélération et décélération, sport spécifique.</p> <p>RTP = pas de déviations à la course/saut, test concentrique et excentrique &gt; 85% pour les quadriceps et les IJ par rapport à la jambe non opérée, single leg hop test avec différence &lt;10%</p>
Wilk. 1994	Article de revue	<p>Phase 1 (0-1 sem) : attelle à 0° extension, appui de 50% du poids de corps, renforcement du mollet, élévation jambe tendue, extension active 60-0°, AA passive 0-60°</p> <p>Phase 2 (<b>2-6 sem</b>) : attelle 0° extension puis attelle fonctionnelle LCP à 5<sup>ème</sup> semaine, appui 50% ou plus selon tolérance puis appui complet à 4<sup>ème</sup> semaine, isométrique multi-angle, extension 60-0°, <b>squats 0-45°</b>, électrostimulation quadriceps, leg press 0-60°</p> <p>Phase 3 (<b>7-12 sem</b>) : attelle déverouillée de 0-125°, <b>début des curl IJ léger</b>, augmenter les exercices en CCF, montée de marche latérale à 12<sup>ème</sup> semaine, début isocinétisme à la 12<sup>ème</sup> semaine sur 60-0°</p> <p>Phase 4 (3-4 mois) : développement force, puissance et endurance</p> <p>Phase 5 (5-6 mois) : isocinétisme à haute vitesse, agilité et équilibre, pliométrie</p>
Wilk & al. 1999	Article de revue	<p>Phase 1 (0-1 sem) : 50% poids de corps d'appui avec 2 béquilles, attelle 0° extension, AA 0-60° passive, exercices quadriceps et mollets, électrostimulation</p> <p>Phase 2 (<b>2-4 sem</b>) : appui selon tolérance (75% max) puis appui total, une béquille puis sevrage, attelle extension, isométrique multi angle, leg press, électrostimulation, transfert de poids, <b>minisquat 0-45°</b>, squats contre mur 0-50°, extension genou 60-0°, AA 100 à 110° passive</p> <p>Phase 3 (5-10 sem) : AA 0-130°, leg press 0-75°, squats verticaux 0-45°, squats contre mur 0-60°, fentes avant et latérales, isocinétisme et <b>curl IJ 0-60° léger après semaine 8</b></p> <p>Phase 4 (3-4 mois) : début course à pied, continue excentrique et exercices, début d'exercices d'agilité, puis progression du renforcement en insistant sur la force du quadriceps, début pliométrie</p> <p>Phase 5 (5-6 mois) : isocinétisme haute vitesse pour quadriceps, rééducation CCF, pliométrie, équilibre et proprioception</p>

Winkler & al. 2021	Article de revue	<p>0-6 sem : appui selon tolérance en extension complète, AA passive 0-90° flexion, attelle statique avec support tibial postérieur 24h/24, kiné : décubitus ventral et réduction de l'œdème, pas d'exercice</p> <p><b>6-12 sem</b> : appui selon tolérance, AA complète selon tolérance, <b>flexion active sans résistance</b>, attelle LCP dynamique le jour / attelle LCP statique la nuit, kiné : gain d'amplitude articulaire, renforcement, activation du quadriceps</p> <p><b>12-24 sem</b> : appui complet, AA libre, attelle LCP dynamique, <b>flexion contre résistance</b>, renforcement, entraînement neuromusculaire</p> <p>24-36 sem : sevrage de l'attelle, sport sans pivot (course, vélo)</p> <p>36-48 sem : sport sans pivot et entraînement spécifique au sport</p> <p>&gt;48 sem : retour au sport pivot et contact</p>
--------------------	------------------	---

### 3.3. Evaluation de la qualité méthodologique des articles

Dans cette partie nous nous intéresserons aux articles avec résultats. Selon la Haute Autorité de Santé, les publications scientifiques n'ont pas le même grade de recommandations selon leur qualité méthodologique (Haute Autorité de Santé, 2013).

Tableau IV : analyse de la qualité méthodologique selon la HAS

Auteurs et année	Design	Grade des recommandations
Boutefnouchet & al. 2012	Etude rétrospective	C – 4
Chen & al. 2002	Série de cas	C – 4
Kim & al. 2017	Etude comparative	C – 4
Lee & al. 2019	Série de cas	C – 4
Lee & Lee. 2020	Etude de cas contrôle	C – 3
Quelard & al. 2010	Etude rétrospective	C – 4
Wu & al. 2007	Série de cas	C – 4
Yang & al. 2012	Etude de cohorte	B – 2

Nous pouvons donc constater que les articles sont d'une qualité méthodologique pauvre et ne nous permettent donc pas de tirer des conclusions claires. Cependant, les résultats nous permettent de faire un état des lieux de ce qui est fait actuellement dans la rééducation

suite à la reconstruction du LCP et d'analyser ce qui a une influence ou non sur le devenir des patients, notamment sur la laxité et sur la force des IJ.

### 3.4. Analyse des résultats

Dans cette partie nous comparerons les résultats des différentes études afin de les mettre en lien et analyser certaines tendances.

#### 3.4.1. Début de rééducation des IJ

Dans ce travail, nous avons pris le parti que le début de rééducation des IJ débutait lorsque des exercices en CCF type mini-squat étaient présents, étant donné que les IJ se contractent lors de ce mouvement (Escamilla, 2001). En effet, il n'était quasiment jamais indiqué clairement « début de rééducation des IJ en CCF ». Sur les 23 études présentes :

- La moyenne de début de rééducation des IJ en CCF est de 5,43 semaines, avec des valeurs comprises entre 1 et 12 semaines. La médiane est de 6 semaines, le premier quartile de 3 semaines et le troisième quartile de 7 semaines.
- La moyenne de début de rééducation des IJ en CCO est de 13,1 semaines, avec des valeurs comprises entre 6 et 25 semaines. La médiane est de 12 semaines, le premier quartile de 8 semaines et le troisième quartile de 21 semaines. Trois de ces études n'avaient pas de données communiquées et n'ont pas été incluses dans ce graphique.

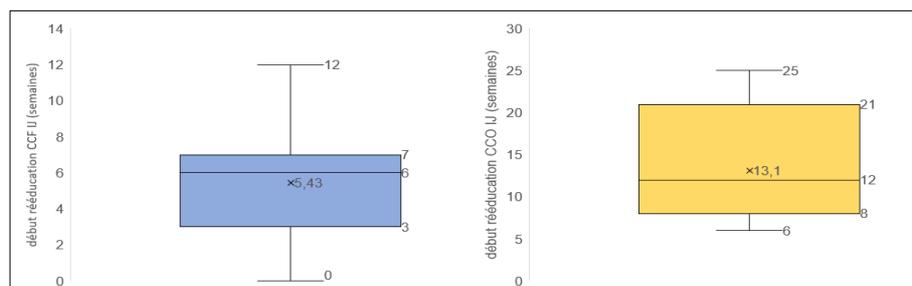


Figure 16 : analyse du début de la rééducation des IJ en CCF et CCO

#### 3.4.2. Influence du début de la rééducation des IJ sur la laxité

Dans notre revue de littérature, huit études ont pour critère de jugement la laxité en fin de rééducation voire en suivi à long terme. Cinq de ces études ont pris en compte la laxité moyenne de leur échantillon de patients et trois ont classé les patients selon leur grade de laxité (A = 0-2mm, B = 3-5mm, C ou D > 6mm).

Concernant la laxité moyenne le coefficient de corrélation  $R^2$  est proche de 0. Cela signifie que, sur cet échantillon de 166 patients, le début de rééducation des IJ en CCF et en CCO ne semble pas corrélérer avec la laxité en fin de rééducation ou en follow-up.

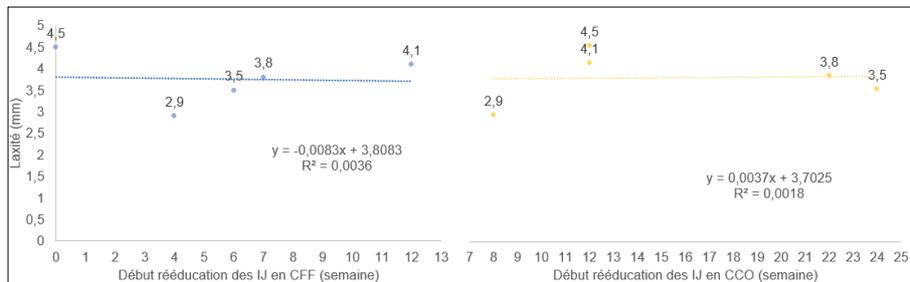


Figure 17 : lien entre la laxité moyenne et le début de rééducation des IJ en CCF ou CCO

Concernant le nombre de patients ayant un grade de laxité particulier, la distribution est la suivante. En regroupant les études, sur 86 patients on retrouve 36 patients (41,9%) avec une laxité de grade A, 40 patients (46,5%) avec une laxité de grade B et 10 patients (11,6%) avec une laxité de grade C ou D.

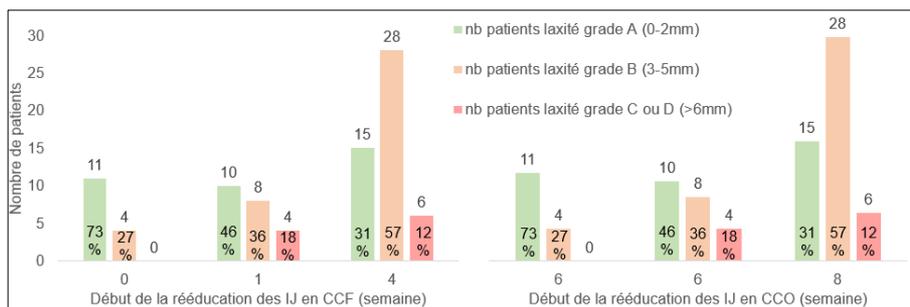


Figure 18 : lien entre le grade de laxité et le début de rééducation des IJ en CCF ou CCO

### 3.4.3. Influence du début de la rééducation des IJ sur la force

Dans notre revue de littérature 5 articles évaluent la force des IJ en fin de rééducation ou en follow-up. Trois d'entre eux se sont intéressés au pourcentage de force moyenne développée par les IJ comparé au côté controlatéral. Cette force est mesurée par isocinétisme à 60°/s. Dans les trois études, la moyenne du pic de force des fléchisseurs de genou était inférieur à 90%.

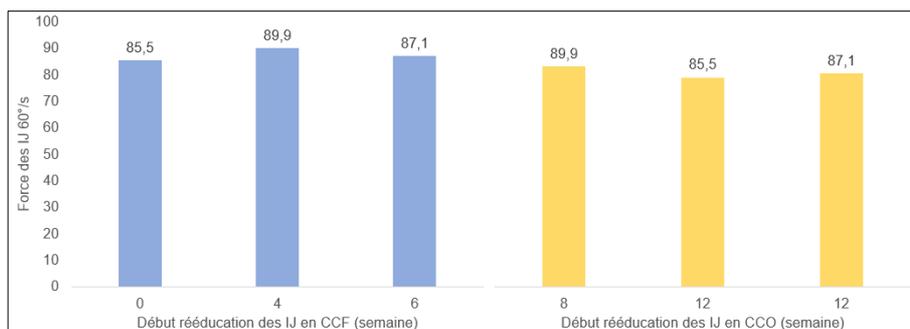


Figure 19 : lien entre la force des IJ à 60°/s et le début de rééducation des IJ en CCF et CCO

Les deux autres ont analysé le pourcentage de patients ayant une force des IJ supérieure à 90% au dernier follow up. Nous pouvons constater qu'une des études possède près de la moitié (47%) des participants en dessous des 90% et l'autre seulement 5%.

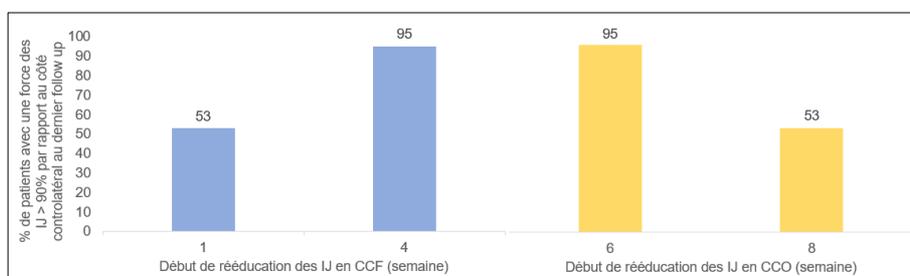


Figure 20 : lien entre le pourcentage de patients avec une force des IJ >90% par rapport au côté controlatéral et le début de rééducation des IJ en CCF et CCO

Nous pouvons constater que le début de rééducation des IJ en CCF et CCO ne semble pas influencer sur la force des IJ en fin de rééducation ou lors du dernier follow-up. Cependant, le nombre d'étude est insuffisant pour effectuer une corrélation.

### 3.4.4. Analyse du score Tegner et des satisfactions de retour au sport

Le score Tegner a été mesuré par six études et trois d'entre elles ont comparé ce score au niveau pré-blessure.

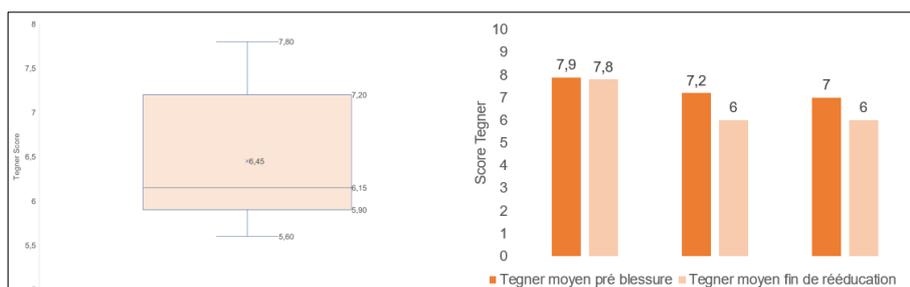


Figure 21 : analyse du score Tegner

Deux études sur trois présentent une baisse de la moyenne du Tegner Score d'un point entre le score moyen pré-blessure et le score moyen en fin de rééducation ou au dernier follow-up. Cela signifie qu'en moyenne, les patients sont passés d'un niveau compétition dans des sports tel que le tennis, la course à pied, le basketball ou le handball à un niveau récréatif dans ces sports. Les études ne précisent pas si cette différence est significative ou non. Malheureusement, nous n'avons pas assez de données pour faire des liens avec la force musculaire des IJ et/ou la laxité du greffon. D'autres études ont évalué la satisfaction et la qualité du retour au sport :

- Dans l'étude de Chen & al, 20% des patients ne retrouvent pas leur niveau sportif pré-blessure. Dans cette même étude, 47% des patients avaient une force des IJ inférieure à 90% par rapport au côté controlatéral et 69% avaient une translation postérieure de plus de 3mm par rapport au côté controlatéral.
- Dans l'étude de Lee & al, 52% des patients limitent leur effort et/ou leur performance et n'ont pas de douleur, ce pourcentage diminue à 30,8% à deux ans postopératoire. Les patients de cette étude avaient un déficit moyen de force des IJ de 12,3% puis 10,2% à 9 puis 24 mois postopératoire. De plus, ils avaient un glissement postérieur de 2,9mm en plus par rapport au côté controlatéral.
- Dans l'étude de Quelard & al, tous les patients avaient un niveau d'activité intense (9) ou modéré (8) avant leur blessure. Au dernier follow-up, 7 patients avaient une activité intense et 7 une activité modérée. 3 patients sur 17 considéraient avoir un niveau d'activité léger (1) ou sédentaire (2). Concernant la laxité, le recul postérieur moyen de l'échantillon était de 3,8mm.
- Dans l'étude de Wu & al, 10 patients avaient un niveau d'activité intense et 12 avaient un niveau d'activité modéré pré-blessure. Au dernier follow-up, 5 patients évaluent leur niveau d'activité comme intense, 13 comme modéré et 4 comme léger. Concernant la force et la laxité, 21 patients sur 22 ont une force des IJ supérieure à 90% de la force des IJ controlatéraux et 12 patients ont une laxité supérieure à 3mm.

#### 3.4.5. Analyse du lien entre le temps d'immobilisation et la laxité

Le temps d'immobilisation ne faisait pas partie de nos critères de jugement. Cependant, au fil des recherches, nous nous sommes rendus compte que le temps d'immobilisation en extension pouvait varier. Cela nous a semblé intéressant de mettre ces données en lien avec la laxité en fin de rééducation. Sur les cinq études mesurant la laxité moyenne, la durée de l'immobilisation et la laxité moyenne en fin de rééducation ou au dernier follow-up ne semble pas corrélérer car le  $R^2$  est proche de 0.

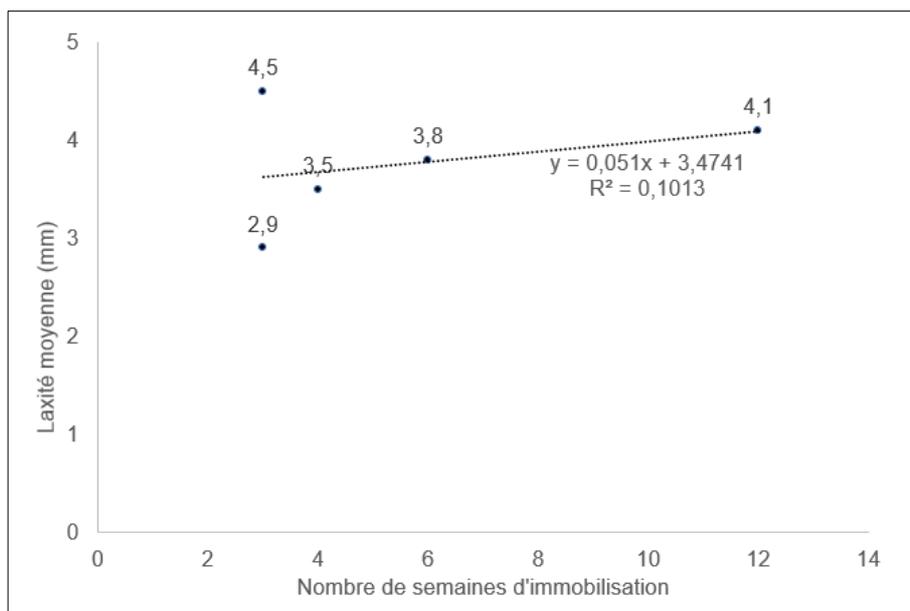


Figure 22 : lien entre le nombre de semaine d'immobilisation et la laxité moyenne

## 4. Discussion

La littérature met en avant que les personnes ayant une reconstruction du LCP ont un déficit de force des IJ en fin de rééducation, voire à deux ans postopératoire (O.-S. Lee & Lee, 2020; Senese et al., 2018). L'objectif de ce travail d'initiation à la recherche était de trouver des éléments qui pouvaient nous permettre d'améliorer la rééducation des IJ chez des personnes ayant une reconstruction du LCP sans augmenter la laxité du greffon car c'est un des objectifs de la rééducation postopératoire (Kim et al., 2013). Nous allons donc discuter des résultats de cette revue de littérature afin de proposer des pistes de réflexion quant à l'amélioration de cette rééducation.

### 4.1. Synthèse des résultats et interprétation

#### 4.1.1. Influence du début de la rééducation des IJ sur la laxité

Les résultats mettent en évidence qu'il n'existe pas de corrélation entre le début de la rééducation des IJ et la laxité finale du greffon. D'un point de vue quantitatif, les résultats quant à la laxité sont plutôt médiocres. En effet, un des objectifs de la chirurgie est d'éviter une laxité trop importante. Or nous nous retrouvons ici avec un premier échantillon de 166 patients ayant une laxité moyenne de plus de 2,9mm comparé au côté opposé. Le second échantillon de 86 patients comprend 58,1% des patients ayant une laxité de plus de 3mm. Pour rappel, une

translation postérieure est considérée comme « normale » quand elle est comprise en 0 et 2mm (Winkler et al., 2021a).

Au regard de la laxité résiduelle et de l'absence de corrélation entre le début de la rééducation des IJ et la laxité finale du greffon, nous pouvons émettre l'hypothèse que la laxité finale est sûrement liée en partie à un autre facteur qu'un début de rééducation des IJ trop précoce comme le suppose la biomécanique des IJ et du LCP et les données biologiques liées à la cicatrisation d'un greffon. D'autres études doivent être menées afin de conclure sur la cause de cette laxité et de l'influence de la rééducation des IJ. En nous appuyant sur les études biomécaniques citées en introduction et les résultats présentés dans ce travail, nous pouvons donc émettre l'hypothèse que lors d'une rééducation suite à une opération du LCP, un travail des IJ précoce, dans une amplitude entre 0 et 30° de flexion de genou ou en co-contraction avec le quadriceps, n'est pas néfaste pour le patient. Notre hypothèse serait donc plutôt confirmée.

#### 4.1.2. Influence du début de la rééducation des IJ sur la force

Concernant la force des IJ, nous constatons aussi que le début de rééducation des IJ en CCF et CCO ne semble pas influencer la force des IJ en fin de rééducation ou lors du dernier follow-up. Notre hypothèse serait donc plutôt infirmée. Cependant, nous ne pouvons pas conclure du fait du faible nombre de données en notre possession sur le fait que ces patients auraient retrouver une meilleure force des IJ s'ils avaient commencé à les renforcer plus tôt ou si les protocoles mis en place sont insuffisamment axés sur ce travail de la force maximale et explosive.

Par ailleurs, les résultats à propos de la force des IJ semblent confirmer le déficit évoqué en introduction chez les personnes ayant une reconstruction du LCP dans notre introduction. Ce déficit de force est parfois incompatible avec un retour au sport car souvent inférieur à 90% de la force des IJ controlatéraux. Nous pouvons même avancer l'hypothèse que ces personnes sont à risques d'autres blessures comme des lésions myocollagéniques du fait de ce déficit (Ekstrand et al., 2023). Cependant, nous avons peu de données pour pouvoir établir des conclusions sur ce sujet. Les protocoles mis en place sont potentiellement améliorables. Nous aborderons cela dans la partie "4.1.4".

#### 4.1.3. Score Tegner et satisfaction de retour au sport

Les résultats montrent que le niveau sportif global diminue suite à une reconstruction du LCP. Cependant, nous n'avons pas accès aux résultats de chaque participant pour pouvoir faire le lien potentiel entre le manque de force des IJ et/ou une laxité trop importante avec une baisse du niveau sportif. Nous ne pouvons donc pas faire de corrélation entre ces données. Il serait intéressant d'étudier les raisons de cette baisse de niveau sportif afin de permettre aux kinésithérapeutes d'améliorer leur rééducation. Des conclusions similaires peuvent être émises sur la satisfaction globale de retour au sport. Nous constatons que la baisse de niveau sportif est non négligeable : selon certaines études présentes dans notre revue, 30 à 50% des patients ne retrouvent pas leur niveau sportif après la rééducation.

#### 4.1.4. Propositions d'amélioration de la rééducation des IJ suite à une LCP

Dans les protocoles de rééducation proposés par les études comparatives, nous retrouvons plusieurs points sur lesquels nous pouvons proposer des évolutions :

- Une seule étude propose un renforcement précoce des IJ jusqu'à 30° de flexion et aucune ne propose un renforcement des fléchisseurs de genou avec protection par le poplité de manière précoce. Or nous avons vu dans l'introduction que les contraintes sur le LCP dans le secteur angulaire 0-30° sont négligeables et que l'activation du poplité réduit les contraintes sur le LCP.
- Aucune étude n'évoque les notions de mode de contraction, de qualité musculaire à travailler et comment les mettre en place. Il n'existe pas d'étude comparative à notre connaissance qui compare deux protocoles permettant d'affiner ces données.
- Aucun protocole ne détaille les exercices de renforcement possible selon la période postopératoire dans laquelle le patient se trouve. Or nous avons vu que le renforcement doit être mis en place de manière précise et réfléchi en fonction des contraintes sur les IJ. La plupart des études décrivent seulement "renforcement des IJ en CCO et CCF".
- Aucune des études ne propose de rééducation avec des moyens de renforcement permettant de limiter les contraintes comme l'électrostimulation et le CE. Une seule revue propose de mettre en place du BFR.
- Très peu d'études explicite le début du renforcement des IJ en CFF avec une co-contraction du quadriceps. Or des exercices type deadlift ou good morning permettent ce renforcement avec l'activation du quadriceps qui protège le LCP.
- Aucune étude n'aborde le nordic hamstring alors que cet exercice a prouvé son efficacité sur le renforcement des IJ et est l'exercice qui se rapproche le plus du sprint en terme d'activation musculaire des IJ.
- La reprise de course à pied est évoquée dans les études mais celles-ci n'abordent ni le sprint, ni les sauts. Or ces notions sont essentielles dans une rééducation de sportif.

Notre hypothèse de départ concernant l'efficacité des moyens de rééducation limitant les contraintes ne peut donc pas être vérifiée. Cependant, nous pouvons proposer, au vu des données actuelles de la science évoquées en introduction, des moyens pour effectuer un renforcement précoce en limitant les contraintes sur le greffon du LCP :

- Mettre un protocole de renforcement en CE des IJ dès J0 et en favorisant les contractions excentriques dans toute l'amplitude du genou non opéré. Ce protocole pourra aussi s'intéresser au quadriceps car nous avons vu à travers les différentes études qu'une faiblesse des quadriceps peut aussi être présente et cela peut entraîner des limites dans la pratique sportive.
- Mettre en place de l'électrostimulation et du renforcement sous BFR dès la fin de l'immobilisation, dans l'amplitude 0-30° en CCO sans charge additionnelle en décubitus ventral ou en CCF.
- Mettre en place un renforcement des IJ en CCF sous couvert du quadriceps dans amplitude de genou 0-30° dès que l'appui peut être complet et que la force du quadriceps est suffisante pour verrouiller en charge activement le genou et selon la charge appliquée.

Pour améliorer la force des ischios-jambiers en fin de rééducation nous pouvons proposer certaines évolutions à mettre en place dans notre rééducation :

- Mettre en place un continuum de travail de récupération de la force musculaire en travaillant l'endurance de force puis l'hypertrophie puis la force maximale et explosive.
- Mettre en place un travail spécifique de sprint et de sauts dès lors que le nordic hamstring est maîtrisé et inclus dans la routine du sportif.

Nous pouvons aussi nous interroger sur le continuum à respecter pour augmenter les amplitudes de flexion de genou dans lesquelles nous pouvons renforcer les IJ. En effet, l'amplitude 0-30° de flexion de genou correspond à la course externe de l'articulation. Or, nous devons être capable de produire de la force dans les autres amplitudes de flexion de genou afin de retrouver un état musculaire « normal ». Cependant, nous avons vu que plus la flexion de genou est importante, plus le LCP est mis en contrainte. Dans le cadre de la rééducation suite à une reconstruction du LCP, cette donnée est donc à prendre en compte afin de ne pas abimer le greffon lors de notre rééducation. Malheureusement, nous avons peu de données à notre disposition afin de fournir une réponse claire qui s'appuierai sur des preuves à ce sujet. Cette notion serait donc à discuter avec le chirurgien.

Les protocoles de rééducation sont, par ailleurs, très diversifiés : le temps d'immobilisation du genou est compris entre 0 et 12 semaines, le début de rééducation des IJ en CCF est

compris entre 0 et 12 semaines, celui en CCO entre 6 et 25 semaines. Afin d'améliorer la rééducation une homogénéisation des protocoles pourrait être nécessaire.

## 4.2. Limites du travail

### 4.2.1. Aspect psychologique du retour au sport

Dans ce travail nous avons beaucoup abordé l'importance du travail des différentes qualités musculaires lors de la rééducation afin d'envisager un retour au sport cohérent et limiter le risque de rechute. Cependant, le facteur psychologique du sportif doit être évalué et intégré dans le processus de retour au sport. Les critères de force seuls ne sont pas suffisant afin d'évaluer le retour au sport. Pour étayer ces propos, nous nous appuyerons sur la littérature concernant le retour au sport suite à une reconstruction du LCA et suite à une blessure aux IJ. En effet, à notre connaissance, il n'existe pas de telles données concernant le LCP.

Dans le cadre du LCA, le score ACL-RSI permet d'évaluer pour évaluer la dimension psychologique du sportif à propos de la reprise du sport suite à une reconstruction du LCA. Trois composantes sont évaluées : les émotions, la confiance dans sa performance et la gestion des risques. Cette échelle est valide et possède une bonne fiabilité. Nous pouvons constater qu'un score plus élevé est corrélé avec un retour au sport de meilleure qualité (Abid et al., 2024).

Activity Level at 1 Year	Total ACL-RSI	Short ACL-RSI	Minimal ACL-RSI
No return, n = 124	40.3 ± 20.52 <sup>b,c</sup>	34.05 ± 20.79 <sup>b,c</sup>	32.31 ± 21.94 <sup>b,c</sup>
Return to inferior level, n = 580	53.55 ± 20.43 <sup>b,d</sup>	48.19 ± 21.68 <sup>b,d</sup>	46.38 ± 23.38 <sup>b,d</sup>
Return to preinjury level, n = 296	72.90 ± 18.63 <sup>c,d</sup>	69.59 ± 20.73 <sup>c,d</sup>	66.42 ± 23.51 <sup>c,d</sup>

<sup>a</sup>Data are reported as mean ± SD. ACL-RSI, Anterior Cruciate Ligament–Return to Sport after Injury.  
<sup>b</sup>P < .0001, no return versus return to inferior level.  
<sup>c</sup>P < .0001, no return versus return to preinjury level.  
<sup>d</sup>P < .0001, return to inferior level versus return to preinjury level.

Figure 23 : comparaison des différents ACL-RSI en accord avec l'activité sportive à 1 an

Cependant, le score ACL-RSI ne semble pas corrélérer avec une force du quadriceps et des IJ plus importante. En effet, l'étude de O'Connor & al a mis en lien les valeurs du ACL-RSI et les résultats obtenus au test d'isocinétisme de 452 athlètes à 9 mois postopératoire d'une reconstruction du LCA. Cette étude ne montre pas de différence de force sur l'isocinétisme chez les athlètes avec un score >90/100 et chez les athlètes avec un score <75/100 sur l'ACL-RSI. La corrélation semble très faible, voire insignifiante, entre la force et la puissance des athlètes. Dans cette étude, la moyenne de symétrie de force des IJ était de 97,24% (O'Connor et al., 2020). Il serait donc intéressant de reprendre ces mesures chez une population avec un déficit de force plus important, comme celle décrite dans l'étude de Lee &

al, afin d'évaluer la différence de résultat. D'autres études montrent néanmoins que le taux de force développé par les IJ et le quadriceps, ainsi que la récupération de la force dans toutes les courses musculaires, est un déterminant d'une meilleure psychologie suite à une reconstruction du LCA (O. T. Lee et al., 2023).

Nous nous confrontons ici aux nuances de l'Evidence Based Practice (EBP), notamment la limite et la variabilité des preuves obtenues par la recherche en kinésithérapie. Nous accompagnons des êtres humains lors de la rééducation et la variable psychologique est une variable fondamentale dans cette approche. Même si la rééducation peut être « parfaite » d'un point de vue récupération d'amplitude articulaire, force, douleur et autres critères de consultation kinésithérapiques, la partie psychologique du patient doit être prise en compte dans notre rééducation et dans le retour au sport.

#### 4.2.2. Limites et biais de la revue

Lors de la réalisation de ce travail, nous avons identifié plusieurs limites. Tout d'abord, la reconstruction du LCP est une chirurgie peu étudiée. A titre de comparaison, il existe un peu plus de 7000 articles sur PubMed pour le LCP contre plus de 29000 sur le LCA. Dans la littérature, il n'existe pas à notre connaissance d'études comparant deux protocoles de rééducation afin d'affiner et d'améliorer celle-ci. Les principales comparaisons sont entre deux chirurgies. La plupart des articles étant des études à faible niveau de preuve et avec une population de patients réduite, les conclusions pouvant être établies restent limitées, comme dans le cas de notre travail.

Une des limites, voire un des biais de ce travail, est la comparaison de résultats de laxité alors que l'opération et les chirurgiens sont différents. Dès lors, il se peut que ce soit la chirurgie et non le protocole de rééducation mis en place qui soit la cause de la différence de laxité. Cependant, ce biais est atténué par certaines études qui ne montrent pas de différence significative entre les différentes chirurgies comme précisé en introduction (Krott et al., 2022 ; Song et al., 2014 ; Migliorini et al., 2022). De plus, les laxités analysées sont des moyennes et non des médianes. La médiane nous aurait permis d'être plus représentatif de la réalité. Une autre limite de notre travail est que les protocoles de rééducation des IJ sont très peu détaillés. Nous pouvons donc nous interroger sur ce qui a été réellement mis en place durant ces études. Les propositions énumérées dans la partie précédente se basent donc uniquement sur ce qui a été décrit dans le protocole et non pas sur ce qui a potentiellement été réellement effectué durant la rééducation des personnes.

Enfin, nous n'avons peu, voire pas, de données claires sur la corrélation entre la contraction maximale d'un IJ et la translation postérieure du tibia. De fait, nous avons pris le parti de faire cette corrélation mais nous pouvons donc nous interroger sur celle-ci. Par exemple, un deadlift chargé à 100kg avec le genou ne dépassant pas l'amplitude 0-30° de flexion et sous couvert du quadriceps sera probablement plus contraignant sur les IJ qu'un curl IJ avec un poids de 5kg sur le talon mais nous ne savons pas ce qu'il en est pour le LCP. Dès lors, il serait intéressant d'avoir des études dans ce sens pour nous permettre de conclure.

### 4.3. Perspective

Ce travail nous a permis d'évoquer certaines perspectives. Tout d'abord, il est nécessaire de construire et de mettre en place des études, si possible en essai contrôlé randomisé afin d'avoir un niveau de preuve important. Nous pourrions vérifier que les axes d'amélioration proposés ne sont pas néfastes pour le patient. En effet, le rôle premier du kinésithérapeute, et du soignant en général, reste « primum non nocere ». Cela permettrait de s'assurer que la rééducation précoce des IJ n'a pas de corrélation avec une plus grande laxité sur le greffon. De plus, nous pourrions évaluer les effets de cela sur différents critères de jugement fonctionnels comme le retour au sport et si les moyens proposés dans ce mémoire (BFR, électrostimulation, CE) permettent une meilleure récupération de force en comparaison avec un protocole sans ces moyens. De plus, il serait intéressant de déterminer à partir de quelle date nous pouvons dépasser l'amplitude 0-30° de flexion de genou sur les exercices de renforcement des IJ.

Une autre perspective possible est de se demander comment pouvons-nous mettre en place ces méthodes dans le cas d'un traitement conservateur suite à une rupture isolée du LCP ? En effet, afin de ne pas trop contraindre le ligament, les concepts évoqués dans ce travail sont similaires en cas de traitement conservateur, bien que la temporalité ne soit pas la même. Il serait par ailleurs intéressant d'évaluer la rééducation dans le cas d'une rupture du LCP non opérée car le retour au sport semble lui aussi limité. L'étude de Agolley & al montrent qu'à 5 ans post blessure, 30,4% des patients ont un niveau de sport inférieur qu'à leur niveau pré-blessure (Agolley et al., 2017).

## 5. Conclusion

Initialement nous nous sommes interrogés sur les moyens par lesquels nous pouvons améliorer la force des IJ des patients avec une reconstruction du LCP sans augmenter la laxité ligamentaire. Notre travail a pu montrer que le début de rééducation des IJ en CCF et en CCO ne semble pas corrélérer avec une plus grande laxité ligamentaire en fin de rééducation. Ce travail doit être complété par des études de plus grande ampleur afin de pouvoir conclure sur cette tendance. Dans le cadre de ce mémoire, nous n'avons pas pu démontrer qu'un travail précoce des IJ permettait une meilleure récupération de la force de ceux-ci car il y avait un manque de données à ce sujet. Cependant, nous pouvons imaginer commencer notre rééducation de renforcement des IJ dès J0 et émettre l'hypothèse qu'un travail plus conséquent de renforcement des IJ permettrait de récupérer une meilleure force sans altérer la cicatrisation du greffon, dans le cas où la rééducation suit un continuum logique de renforcement musculaire. De plus, nous avons émis l'hypothèse que l'utilisation de moyens de renforcement musculaire limitant les contraintes postopératoires permettrait d'améliorer la force des IJ suite à une reconstruction du LCP. En effet, la cross education, le BFR et l'électrostimulation ont pu faire leur preuve dans certaines pathologies semblables comme la reconstruction du LCA. Cela nous a amené à valider qu'utilisés à bon escient, ceux-ci pourraient être pertinents suite à la reconstruction du LCP. Cependant, nous manquons de données afin de conclure avec une rigueur scientifique correcte si ces hypothèses sont viables et nous devons donc être précautionneux quant au discours associé à ces pratiques.

Comme dit en avant-propos, je souhaite baser ma pratique de la kinésithérapie sur les preuves scientifiques. Néanmoins, un kinésithérapeute ne peut avoir des preuves sur tout ce qu'il met en place en rééducation. L'EBP met sur le même pied d'égalité les connaissances et l'expérience du clinicien, les attentes du patient et les preuves scientifiques. Dans le cadre de ma future pratique professionnelle, si je reçois un patient opéré d'une lésion du LCP isolée, je me baserai donc sur la littérature que j'ai lue à ce sujet et que j'ai exposé lors de ce travail afin de mener la meilleure rééducation possible, tout en gardant un esprit critique développé car ce travail n'a pas de validité scientifique et les études analysées étaient à faible niveau de preuve. Bien qu'il n'y ait pas d'études précises sur cela, j'inclurais aussi certains moyens comme la cross education, le BFR ou l'électrostimulation car au vu des effets que cela peut avoir sur des pathologies semblables, cela peut être bénéfique pour le patient. Dans le cadre d'un protocole post chirurgie différent de ce que j'ai pu avancer dans ce travail, je pourrai proposer au chirurgien d'échanger nos connaissances à ce sujet afin d'opter pour la meilleure rééducation possible pour le patient et de pas lui nuire.



## Bibliographie

- Abid, H., Rougereau, G., Bohu, Y., Meyer, A., Gerometta, A., Grimaud, O., Lefevre, N., & Hardy, A. (2024). French Version of the Short Anterior Cruciate Ligament–Return to Sport After Injury Scale : Development and Validation. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, *12*(2), 23259671231220959. <https://doi.org/10.1177/23259671231220959>
- Agolley, D., Gabr, A., Benjamin-Laing, H., & Haddad, F. S. (2017). Successful return to sports in athletes following non-operative management of acute isolated posterior cruciate ligament injuries medium-term follow-up. *Bone and Joint Journal*, *99B*(6), 774-778. Embase. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.99B6.37953>
- Bedi, A., Musahl, V., & Cowan, J. B. (2016). Management of Posterior Cruciate Ligament Injuries : An Evidence-Based Review. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, *24*(5).
- Bellelli, A., Adriani, E., Margheritini, F., Camillieri, G., Della Rocca, C., & Mariani, P. P. (1999). La maturazione sinoviale dei legamenti crociati ricostruiti. Esperienza personale a confronto negli interventi isolati e nelle ricostruzioni combinate. *La Radiologia medica*, *98*(6), 454-461.
- Bernhardson, A. S., DePhillipo, N. N., Daney, B. T., Kennedy, M. I., Aman, Z. S., & LaPrade, R. F. (2019). Posterior Tibial Slope and Risk of Posterior Cruciate Ligament Injury. *The American Journal of Sports Medicine*, *47*(2), 312-317. <https://doi.org/10.1177/0363546518819176>
- Blazevich, A. J., Wilson, C. J., Alcaraz, P. E., & Rubio-Arias, J. A. (2020). Effects of Resistance Training Movement Pattern and Velocity on Isometric Muscular Rate of Force Development : A Systematic Review with Meta-analysis and Meta-regression. *Sports Medicine*, *50*(5), 943-963. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01239-x>
- Bompa, T., & Buzzichelli, C. (2021). *Periodization of strength training for sports* (Human Kinetics Publishers).
- Bosch, U., & Kasperczyk, W. J. (1992). Healing of the patellar tendon autograft after posterior cruciate ligament reconstruction—A process of ligamentization ? An experimental study in a sheep model. *The American Journal of Sports Medicine*, *20*(5), 558-566. <https://doi.org/10.1177/036354659202000513>
- De Mata, V. (2019). Utilisation du BFR dans la prise en charge rééducative du sportif. *Kinésithérapie Sciences*, *614*, 27-31.
- Delgado, J., Drinkwater, E. J., Banyard, H. G., Haff, G. G., & Nosaka, K. (2019). Comparison Between Back Squat, Romanian Deadlift, and Barbell Hip Thrust for Leg and Hip Muscle Activities During Hip Extension. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *33*(10), 2595-2601. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003290>

- Delitto, A., Rose, S. J., McKowen, J. M., Lehman, R. C., Thomas, J. A., & Shively, R. A. (1988). Electrical stimulation versus voluntary exercise in strengthening thigh musculature after anterior cruciate ligament surgery. *Physical Therapy*, 68(5), 660-663.  
<https://doi.org/10.1093/ptj/68.5.660>
- Dugan, S. A., & Bhat, K. P. (2005). Biomechanics and Analysis of Running Gait. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, 16(3), 603-621.  
<https://doi.org/10.1016/j.pmr.2005.02.007>
- Dürselen, L., Claes, L., & Kiefer, H. (1995). The Influence of Muscle Forces and External Loads on Cruciate Ligament Strain. *The American Journal of Sports Medicine*, 23(1), 129-136.  
<https://doi.org/10.1177/036354659502300122>
- Ekstrand, J., Ueblacker, P., Van Zoest, W., Verheijen, R., Vanhecke, B., Van Wijk, M., & Bengtsson, H. (2023). Risk factors for hamstring muscle injury in male elite football : Medical expert experience and conclusions from 15 European Champions League clubs. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 9(1), e001461. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2022-001461>
- Escamilla, R. F. (2001). Knee biomechanics of the dynamic squat exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(1), 127-141. Embase. <https://doi.org/10.1097/00005768-200101000-00020>
- Giombini, A., Ciatti, R., Di Cesare, A., & Tranquilli, C. (2007). Rehabilitation after posterior cruciate ligament surgery. *Medicina dello Sport*, 60(4), 531-545. Embase.
- Guruhan, S., Kafa, N., Ecemis, Z. B., & Guzel, N. A. (2021). Muscle Activation Differences During Eccentric Hamstring Exercises. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*, 13(2), 181-186.  
<https://doi.org/10.1177/1941738120938649>
- Haute Autorité de Santé. (2013). *Niveau de preuve et gradation des recommandations de bonne pratique*.
- Hegyí, A., Csala, D., Péter, A., Finni, T., & Cronin, N. J. (2019). High-density electromyography activity in various hamstring exercises. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 29(1), 34-43. <https://doi.org/10.1111/sms.13303>
- Hosseini Nasab, S. H., List, R., Oberhofer, K., Fucentese, S. F., Snedeker, J. G., & Taylor, W. R. (2016). Loading Patterns of the Posterior Cruciate Ligament in the Healthy Knee : A Systematic Review. *PloS One*, 11(11), e0167106. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167106>
- INSERM. (2023). *Le MeSH bilingue anglais—Français*.  
<https://mesh.inserm.fr/FrenchMesh/presentation.htm>
- IRBMS, Médecine du Sport et Sport Santé (Réalisateur). (2018, décembre 8). *Prise en charge d'une rupture du ligament croisé postérieur*. <https://www.youtube.com/watch?v=ZIH5sefdpSw>

- J. Schreier, F., T. Banovetz, M., N. Rodriguez, A., & LaPrade MD, PhD, R. F. (2021). Cutting-Edge Posterior Cruciate Ligament Reconstruction Principles. *The Archives of Bone and Joint Surgery*, 9(6). <https://doi.org/10.22038/abjs.2021.59467.2946>
- Jansson, K. S., Costello, K. E., O'Brien, L., Wijdicks, C. A., & LaPrade, R. F. (2013). A historical perspective of PCL bracing. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 21(5), 1064-1070. <https://doi.org/10.1007/s00167-012-2048-9>
- KAMINA, P. (2009). *Anatomie Clinique Tome 1* (Maloine, France).
- Kannus, P., Alosa, D., Cook, L., Johnson, R. J., Renstrom, P., Pope, M., Beynnon, B., Yasuda, K., Nichols, C., & Kaplan, M. (1992). Effect of one-legged exercise on the strength, power and endurance of the contralateral leg. A randomized, controlled study using isometric and concentric isokinetic training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 64(2), 117-126. Embase.
- Kew, M. E., Cavanaugh, J. T., Elnemer, W. G., & Marx, R. G. (2022). Return to Play after Posterior Cruciate Ligament Injuries. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*, 15(6), 606-615. <https://doi.org/10.1007/s12178-022-09794-z>
- Kim, J. G., Lee, Y. S., Yang, B. S., Oh, S. J., & Yang, S. J. (2013). Rehabilitation after posterior cruciate ligament reconstruction : A review of the literature and theoretical support. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, 133(12), 1687-1695. <https://doi.org/10.1007/s00402-013-1854-y>
- Kotsifaki, R., Korakakis, V., King, E., Barbosa, O., Maree, D., Pantouveris, M., Bjerregaard, A., Luomajoki, J., Wilhelmsen, J., & Whiteley, R. (2023). Aspetar clinical practice guideline on rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *British Journal of Sports Medicine*, 57(9), 500-514. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2022-106158>
- Labanca, L., Rocchi, J. E., Giannini, S., Faloni, E. R., Montanari, G., Mariani, P. P., & Macaluso, A. (2022). Early Superimposed NMES Training is Effective to Improve Strength and Function Following ACL Reconstruction with Hamstring Graft regardless of Tendon Regeneration. *Journal of Sports Science & Medicine*, 21(1), 91-103. <https://doi.org/10.52082/jssm.2022.91>
- Lee, O. T., Williams, M. A., Shaw, C. D., & Delextrat, A. (2023). The Role of Strength-Related Factors on Psychological Readiness for Return to Sport Following Anterior Cruciate Ligament (ACL) Reconstruction. *Healthcare*, 11(20), 2787. <https://doi.org/10.3390/healthcare11202787>
- Lee, O.-S., & Lee, Y. S. (2020). Changes in hamstring strength after anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring autograft and posterior cruciate ligament reconstruction with tibialis allograft. *Knee Surgery & Related Research*, 32(1), 27. <https://doi.org/10.1186/s43019-020-00047-2>

- Longo, U. G., Viganò, M., Candela, V., de Girolamo, L., Cella, E., Thiebat, G., Salvatore, G., Ciccozzi, M., & Denaro, V. (2021). Epidemiology of Posterior Cruciate Ligament Reconstructions in Italy : A 15-Year Study. *Journal of Clinical Medicine*, *10*(3), 499. <https://doi.org/10.3390/jcm10030499>
- Marais, J. (2009). *Anatomy of the posterior cruciate ligament*.
- Marusic, Y., Vatovec, R., Markovic, G., & Sarabon, N. (2020). Effects of eccentric training at long-muscle length on architectural and functional characteristics of the hamstrings. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, *30*(11), 2130-2142. <https://doi.org/10.1111/sms.13770>
- Memmel, C., Koch, M., Szymski, D., Huber, L., Pfeifer, C., Knorr, C., Alt, V., & Krutsch, W. (2022). Standardized Rehabilitation or Individual Approach?—A Retrospective Analysis of Early Rehabilitation Protocols after Isolated Posterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Journal of Personalized Medicine*, *12*(8), 1299. <https://doi.org/10.3390/jpm12081299>
- Mesfar, W., & Shirazi-Adl, A. (2008). Knee joint biomechanics in open-kinetic-chain flexion exercises. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*, *23*(4), 477-482. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2007.11.016>
- Migliorini, F., Pintore, A., Vecchio, G., Oliva, F., Hildebrand, F., & Maffulli, N. (2022). Hamstring, bone-patellar tendon-bone, quadriceps and peroneus longus tendon autografts for primary isolated posterior cruciate ligament reconstruction : A systematic review. *British Medical Bulletin*, *142*(1), 23-33. <https://doi.org/10.1093/bmb/ldac010>
- Muyor, J. M., Martín-Fuentes, I., Rodríguez-Ridao, D., & Antequera-Vique, J. A. (2020). Electromyographic activity in the gluteus medius, gluteus maximus, biceps femoris, vastus lateralis, vastus medialis and rectus femoris during the Monopodal Squat, Forward Lunge and Lateral Step-Up exercises. *PLOS ONE*, *15*(4), e0230841. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230841>
- O'Connor, R. F., King, E., Richter, C., Webster, K. E., & Falvey, É. C. (2020). No Relationship Between Strength and Power Scores and Anterior Cruciate Ligament Return to Sport After Injury Scale 9 Months After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *The American Journal of Sports Medicine*, *48*(1), 78-84. <https://doi.org/10.1177/0363546519887952>
- Opar, D. A., Williams, M. D., & Shield, A. J. (2012). Hamstring Strain Injuries : Factors that Lead to Injury and Re-Injury. *Sports Medicine*, *42*(3), 209-226. <https://doi.org/10.2165/11594800-000000000-00000>
- Owesen, C., Sandven-Thrane, S., Lind, M., Forssblad, M., Granan, L.-P., & Årøen, A. (2017). Epidemiology of surgically treated posterior cruciate ligament injuries in Scandinavia. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy: Official Journal of the ESSKA*, *25*(8), 2384-2391. <https://doi.org/10.1007/s00167-015-3786-2>

- Pache, S., Aman, Z. S., Kennedy, M., Nakama, G. Y., Moatshe, G., Ziegler, C., & LaPrade, R. F. (2018). Posterior Cruciate Ligament : Current Concepts Review. . . *NUMBER*, 6(1).
- Pierce, C. M., O'Brien, L., Griffin, L. W., & LaPrade, R. F. (2013). Posterior cruciate ligament tears : Functional and postoperative rehabilitation. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 21(5), 1071-1084. <https://doi.org/10.1007/s00167-012-1970-1>
- Presland, J. D., Timmins, R. G., Bourne, M. N., Williams, M. D., & Opar, D. A. (2018). The effect of Nordic hamstring exercise training volume on biceps femoris long head architectural adaptation. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 28(7), 1775-1783. <https://doi.org/10.1111/sms.13085>
- Rachet, O., & Quelard, B. (2013). Les spécificités dans la rééducation après plastie isolée du ligament croisé postérieur (LCP). *Kinésithérapie Sciences*, 547, 41-46.
- Reiss, D., & Prevost, P. (2013). *La Bible de la préparation physique : Le guide scientifique et pratique pour tous* (Editions Amphora).
- Rodgers, C. D., & Raja, A. (2023). Anatomy, Bony Pelvis and Lower Limb, Hamstring Muscle. In *StatPearls*. StatPearls Publishing. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK546688/>
- Rosenthal, M. D., Rainey, C. E., Tognoni, A., & Worms, R. (2012). Evaluation and management of posterior cruciate ligament injuries. *Physical Therapy in Sport*, 13(4), 196-208. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2012.03.016>
- Rudisill, S. S., Varady, N. H., Bs, M. P. K., Eberlin, C. T., Bs, W. M. M., Bs, S. A. N., & Bs, A. E. A. (2023). *Hamstring Injury Prevention and Risk Factor Management : A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials*.
- Schoenfeld, B., Fisher, J., Grgic, J., Haun, C., Helms, E., Phillips, S., Steele, J., & Vigotsky, A. (2021). Resistance Training Recommendations to Maximize Muscle Hypertrophy in an Athletic Population : Position Stand of the IUSCA. *International Journal of Strength and Conditioning*, 1(1), Article 1. <https://doi.org/10.47206/ijsc.v1i1.81>
- Senese, M., Greenberg, E., Todd Lawrence, J., & Ganley, T. (2018). Rehabilitation following isolated posterior cruciate ligament reconstruction : A literature review of published protocols. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 13(4), 737-751. <https://doi.org/10.26603/ijsp20180737>
- Simhal, R., Bovich, M., Bahrn, E., & Dreese, J. (2021). Postoperative rehabilitation of posterior cruciate ligament surgery : A systematic review. *Sports Medicine and Arthroscopy Review*, 29(2), 81-87. <https://doi.org/10.1097/JSA.0000000000000307>
- Song, E.-K., Park, H.-W., Ahn, Y.-S., & Seon, J.-K. (2014). Transtibial Versus Tibial Inlay Techniques for Posterior Cruciate Ligament Reconstruction : Long-term Follow-up Study. *The American Journal of Sports Medicine*, 42(12), 2964-2971. <https://doi.org/10.1177/0363546514550982>

- Thompson, W., Gordon, N., & Pescatello, L. (2009). *Acsm's guidelines for exercise testing and prescription* (Wolters Kluwer Health).
- Tucker, C. J., Cotter, E. J., Waterman, B. R., Kilcoyne, K. G., Cameron, K. L., & Owens, B. D. (2019). Functional Outcomes After Isolated and Combined Posterior Cruciate Ligament Reconstruction in a Military Population. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 7(10), 232596711987513. <https://doi.org/10.1177/2325967119875139>
- Turk, R., Shah, S., Chilton, M., Thomas, T. L., Anene, C., Mousad, A., Le Breton, S., Li, L., Pettit, R., Ives, K., & Ramappa, A. (2023). Return to Sport After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Requires Evaluation of >2 Functional Tests, Psychological Readiness, Quadriceps/Hamstring Strength, and Time After Surgery of 8 Months. *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association*, 39(3), 790-801.
- Van Den Tillaar, R., Solheim, J. A. B., & Bencke, J. (2017). Comparison of hamstring muscle activation during high-speed running and various hamstring strengthening exercises. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 12(5), 718-727. <https://doi.org/10.26603/ijsp20170718>
- Vieira De Melo, R. F., Komatsu, W. R., Freitas, M. S. D., Vieira De Melo, M. E., & Cohen, M. (2022). Comparison of Quadriceps and Hamstring Muscle Strength after Exercises with and without Blood Flow Restriction following Anterior Cruciate Ligament Surgery : A Randomized Controlled Trial. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 54, jrm00337. <https://doi.org/10.2340/jrm.v54.2550>
- Welling, W., Benjaminse, A., Lemmink, K., Dingenen, B., & Gokeler, A. (2019). Progressive strength training restores quadriceps and hamstring muscle strength within 7 months after ACL reconstruction in amateur male soccer players. *Physical Therapy in Sport*, 40, 10-18. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2019.08.004>
- Winkler, P. W., Zsidai, B., Wagala, N. N., Hughes, J. D., Horvath, A., Senorski, E. H., Samuelsson, K., & Musahl, V. (2021a). Evolving evidence in the treatment of primary and recurrent posterior cruciate ligament injuries, part 1 : Anatomy, biomechanics and diagnostics. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 29(3), 672-681. <https://doi.org/10.1007/s00167-020-06357-y>
- Winkler, P. W., Zsidai, B., Wagala, N. N., Hughes, J. D., Horvath, A., Senorski, E. H., Samuelsson, K., & Musahl, V. (2021b). Evolving evidence in the treatment of primary and recurrent posterior cruciate ligament injuries, part 2 : Surgical techniques, outcomes and rehabilitation. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 29(3), 682-693. <https://doi.org/10.1007/s00167-020-06337-2>

- Yao, S., Fu, B. S.-C., & Yung, P. S.-H. (2021). Graft healing after anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR). *Asia-Pacific Journal of Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation and Technology*, 25, 8-15. <https://doi.org/10.1016/j.asmart.2021.03.003>
- Yoon, K. H., Park, S. W., Lee, S. H., Kim, M. H., Park, S. Y., & Oh, H. (2013). Does Cast Immobilization Contribute to Posterior Stability After Posterior Cruciate Ligament Reconstruction? *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 29(3), 500-506. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2012.10.019>

# Annexes

Annexe I : score Tegner

Annexe II : équation de recherche PubMed

Annexe III : équation de recherche Embase

Annexe I : Score Tegner

10. Competitive sports Soccer—national or international level	Recreational sports Jogging on uneven ground $\geq 2$ times weekly
9. Competitive sports Soccer—lower divisions Ice hockey Wrestling Gymnastics	Work Heavy labor (eg, building, forestry)
8. Competitive sports Bandy Squash or badminton Athletics (jumping) Down-hill skiing	4. Recreational sports Bicycling Cross-country skiing Jogging on even ground $\geq 2$ times weekly
7. Competitive sports Tennis Athletics (running) Motocross Handball, basketball Orienteering Recreational sports Soccer Bandy, ice hockey Squash Athletics (jumping) Cross-country track Orienteering	Work Moderately heavy work (eg lorry driving)
6. Recreational sports Tennis or badminton Handball or basketball Downhill skiing Jogging, at least 5 times weekly	3. Competitive and recreational sports Swimming Walking in rough forest terrain Work Light labor
5. Competitive sports Bicycling Cross-country skiing	2. Work Light work Walking on uneven ground
	1. Work Sedentary work Walking on even ground
	0. Sick leave or disability pension because of knee problems

### Annexe III : équation de recherche PubMed

Search	Actions	Details	Query	Results	Time
#3	...	>	Search: (#1) AND (#2)	662	05:14:12
#2	...	>	Search: "rehab*" [Title/Abstract] OR "blood flow restriction" [Title/Abstract] OR "electr*" [Title/Abstract] OR "physical therap*" [Title/Abstract] OR "Physical therapy specialty" [MeSH Terms] OR "strength*" [Title/Abstract] OR "prevention" [Title/Abstract] OR "cross education" [Title/Abstract] OR "hamstring" [Title/Abstract] OR "hamstring muscles" [MeSH Terms]	3,838,130	05:13:58
#1	...	>	Search: "posterior cruciate ligament" [Title/Abstract] OR "posterior cruciate ligament" [MeSH Terms] OR "posterior cruciate ligament" [MeSH Terms]	4,285	05:13:42

### Annexe III : équation de recherche Embase

<input type="checkbox"/>	<b>#7</b>	#1 OR #2 OR #3 OR #4 OR #5 OR #6	295
<input type="checkbox"/>	<b>#6</b>	'posterior cruciate ligament':ti,ab,kw AND 'blood flow restriction training'	0
<input type="checkbox"/>	<b>#5</b>	'posterior cruciate ligament':ti,ab,kw AND 'electrostimulation'	6
<input type="checkbox"/>	<b>#4</b>	'posterior cruciate ligament':ti,ab,kw AND 'cross education'	0
<input type="checkbox"/>	<b>#3</b>	'posterior cruciate ligament':ti,ab,kw AND 'hamstring muscle':ti,ab,kw	14
<input type="checkbox"/>	<b>#2</b>	'posterior cruciate ligament':ti,ab,kw AND 'physiotherapy':ti,ab,kw	27
<input type="checkbox"/>	<b>#1</b>	'posterior cruciate ligament':ti,ab,kw AND 'rehabilitation':ti,ab,kw	263