



**HAL**  
open science

# Intérêts de l'autogreffe de tendon quadricipital pour la reconstruction du ligament croisé antérieur : état des connaissances actuelles et comparaison au demi tendineux en 4 faisceaux

Clément Horteur

## ► To cite this version:

Clément Horteur. Intérêts de l'autogreffe de tendon quadricipital pour la reconstruction du ligament croisé antérieur : état des connaissances actuelles et comparaison au demi tendineux en 4 faisceaux. Médecine humaine et pathologie. 2020. dumas-02971431

**HAL Id: dumas-02971431**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02971431>**

Submitted on 19 Oct 2020

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

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

## AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance.

La propriété intellectuelle du document reste entièrement celle du ou des auteurs. Les utilisateurs doivent respecter le droit d'auteur selon la législation en vigueur, et sont soumis aux règles habituelles du bon usage, comme pour les publications sur papier : respect des travaux originaux, citation, interdiction du pillage intellectuel, etc.

Il est mis à disposition de toute personne intéressée par l'intermédiaire de [l'archive ouverte DUMAS](#) (Dépôt Universitaire de Mémoires Après Soutenance).

Si vous désirez contacter son ou ses auteurs, nous vous invitons à consulter la page de DUMAS présentant le document. Si l'auteur l'a autorisé, son adresse mail apparaîtra lorsque vous cliquerez sur le bouton « Détails » (à droite du nom).

Dans le cas contraire, vous pouvez consulter en ligne les annuaires de l'ordre des médecins, des pharmaciens et des sages-femmes.

Contact à la Bibliothèque universitaire de Médecine  
Pharmacie de Grenoble :  
[bump-theses@univ-grenoble-alpes.fr](mailto:bump-theses@univ-grenoble-alpes.fr)



UNIVERSITÉ GRENOBLE ALPES  
UFR DE MÉDECINE DE GRENOBLE

Année : 2020

**INTERÊTS DE L'AUTOGREFFE DE TENDON QUADRICIPITAL POUR LA  
RECONSTRUCTION DU LIGAMENT CROISÉ ANTÉRIEUR : ÉTAT DES  
CONNAISSANCES ACTUELLES ET COMPARAISON AU DEMI TENDINEUX EN 4  
FAISCEAUX**

THÈSE  
PRÉSENTÉE POUR L'OBTENTION DU TITRE DE DOCTEUR EN MÉDECINE  
DIPLOME D'ÉTAT

Clément HORTEUR

[Données à caractère personnel]

THÈSE SOUTENUE PUBLIQUEMENT À LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE  
GRENOBLE

Le 02/10/2020

DEVANT LE JURY COMPOSÉ DE

Président du jury :

M. le Professeur Jérôme TONETTI

Membres :

M. le Professeur Régis PAILHE (directeur de thèse)

M. le Professeur Matthieu OLLIVIER

M. le Docteur Éric MONTBARBON

M. le Docteur Brice RUBENS-DUVAL

M. le Docteur Vincent MORIN

L'UFR de Médecine de Grenoble n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les thèses ; ces opinions sont considérées comme propres à leurs auteurs.

# Abréviations

LCA = ligament croisé antérieur

TQ = tendon quadricipital

IJ = ischio-jambier

DT4 = tendon du demi tendineux à 4 faisceaux

DI = tendon du muscle droit interne

DT = tendon du muscle demi tendineux

BIPNS = branches infra patellaires du nerf saphène

IRM = imagerie par résonance magnétique

TDM = tomodensitométrie

HAS = Haute Autorité de Santé

TR = tendon rotulien

KJ = technique de ligamentoplastie de Kenneth-Jones

CHU = centre hospitalo-universitaire



# 1. ENSEIGNANTS DE L'UFR DE MEDECINE



Doyen de la Faculté : Pr. Patrice MORAND

Année 2019-2020

## ENSEIGNANTS DE L'UFR DE MEDECINE

CORPS	NOM-PRENUM	Discipline universitaire
PU-PH	ALBALADEJO Pierre	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
PU-PH	APTEL Florent	Ophthalmologie
PU-PH	ARVIEUX-BARTHELEMY Catherine	Chirurgie viscérale et digestive
PU-PH	BAILLET Athan	Rhumatologie
PU-PH	BARONE-ROCHETTE Gilles	Cardiologie
PU-PH	BAYAT Sam	Physiologie
MCF Ass.MG	BENDAMENE Farouk	Médecine Générale
PU-PH	BENHAMOU Pierre Yves	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
PU-PH	BERGER François	Biologie cellulaire
MCU-PH	BIDART-COUTTON Marie	Biologie cellulaire
PU-PH	BLAISE Sophie	Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire
MCU-PH	BOISSET Sandrine	Bactériologie-virologie
PU-PH	BOLLA Michel	Cancérologie-Radiothérapie
PU-PH	BONAZ Bruno	Gastroentérologie, hépatologie, addictologie
PU-PH	BONNETERRE Vincent	Médecine et santé au travail
PU-PH	BOREL Anne-Laure	Nutrition
PU-PH	BOSSON Jean-Luc	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
MCU-PH	BOTTARI Serge	Biologie cellulaire
PR Ass.MG	BOUCHAUD Jacques	Médecine Générale
PU-PH	BOUGEROL Thierry	Psychiatrie d'adultes
PU-PH	BOUILLET Laurence	Médecine interne
MCU-PH	BOUSSAT Bastien	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
PU-PH	BOUZAT Pierre	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
PU-PH	BRAMBILLA Christian	Pneumologie
PU-PH	BRAMBILLA Elisabeth	Anatomie et cytologie pathologiques
MCU-PH	BRENIER-PINCHART Marie Pierre	Parasitologie et mycologie
PU-PH	BRICAULT Ivan	Radiologie et imagerie médicale
PU-PH	BRICHON Pierre-Yves	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
MCU-PH	BRIOT Raphaël	Thérapeutique-médecine de la douleur
MCU-PH	BROUILLET Sophie	Biologie et médecine du développement et de la reproduction
PU-PH	CAHN Jean-Yves	Hématologie
PU-PH	CARPENTIER Patrick	Chirurgie vasculaire, médecine vasculaire
PR Ass.MG	CARRILLO Yannick	Médecine Générale
PU-PH	CESBRON Jean-Yves	Immunologie
PU-PH	CHABARDES Stephan	Neurochirurgie
PU-PH	CHABRE Olivier	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
PU-PH	CHAFFANJON Philippe	Anatomie

CORPS	NOM-PRENOM	Discipline universitaire
PU-PH	CHARLES Julie	Dermato-vénérologie
MCF Ass.MG	CHAUVET Marion	Médecine Générale
PU-PH	CHAVANON Olivier	Chirurgie thoracique et cardio- vasculaire
PU-PH	CHIQUET Christophe	Ophthalmologie
PU-PH	CHIRICA Mircea	Chirurgie viscérale et digestive
PU-PH	CINQUIN Philippe	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
MCU-PH	CLAVARINO Giovanna	Immunologie
PU-PH	COHEN Olivier	Histologie, embryologie et cytogénétique
PU-PH	COURVOISIER Aurélien	Chirurgie infantile
PU-PH	COUTTON Charles	Génétique
PU-PH	COUTURIER Pascal	Gériatrie et biologie du vieillissement
PU-PH	CRACOWSKI Jean-Luc	Pharmacologie fondamentale, pharmacologie clinique
PU-PH	CURE Hervé	Cancérologie
PU-PH	DEBATY Guillaume	Médecine d'Urgence
PU-PH	DEBILLON Thierry	Pédiatrie
PU-PH	DECAENS Thomas	Gastro-entérologie, Hépatologie
PU-PH	DEMATTEIS Maurice	Addictologie
PU-PH	DEMONGEOT Jacques	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
MCU-PH	DERANSART Colin	Physiologie
PU-PH	DESCOTES Jean-Luc	Urologie
PU-PH	DETANTE Olivier	Neurologie
MCU-PH	DIETERICH Klaus	Génétique
MCU-PH	DOUTRELEAU Stéphane	Physiologie
MCU-PH	DUMESTRE-PERARD Chantal	Immunologie
PU-PH	EPAULARD Olivier	Maladies infectieuses ; Maladies tropicales
PU-PH	ESTEVE François	Biophysique et médecine nucléaire
MCU-PH	EYSSERIC Hélène	Médecine légale et droit de la santé
PU-PH	FAUCHERON Jean-Luc	Chirurgie viscérale et digestive
MCU-PH	FAURE Julien	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH	FERRETTI Gilbert	Radiologie et imagerie médicale
PU-PH	FEUERSTEIN Claude	Physiologie
PU-PH	FONTAINE Éric	Nutrition
PU-PH	FRANCOIS Patrice	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
MCU-MG	GABOREAU Yoann	Médecine Générale
PU-PH	GARBAN Frédéric	Hématologie ; Transfusion
PU-PH	GAUDIN Philippe	Rhumatologie
PU-PH	GAVAZZI Gaétan	Gériatrie et biologie du vieillissement
PU-PH	GAY Emmanuel	Neurochirurgie
MCU-PH	GILLOIS Pierre	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
PU-PH	GIOT Jean-Philippe	Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique
MCU-PH	GRAND Sylvie	Radiologie et imagerie médicale
PU-PH	GRIFFET Jacques	Chirurgie infantile
MCU-PH	GUZUN Rita	Nutrition
PU-PH	HAINAUT Pierre	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH	HALIMI Serge	Nutrition
PU-PH	HENNEBICQ Sylviane	Biologie et médecine du développement et de la reproduction
PU-PH	HOFFMANN Pascale	Gynécologie-obstétrique

CORPS	NOM-PRENOM	Discipline universitaire
PU-PH	HOMMEL Marc	Neurologie
PU-MG	IMBERT Patrick	Médecine Générale
PU-PH	JOUK Pierre-Simon	Génétique
PU-PH	KAHANE Philippe	Physiologie
MCU-PH	KASTLER Adrian	Radiologie et imagerie médicale
PU-PH	KRAINIK Alexandre	Radiologie et imagerie médicale
PU-PH	LABARERE José	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
MCU-PH	LABLANCHE Sandrine	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
MCU-PH	LANDELLE Caroline	Bactériologie – virologie ; Hygiène hospitalière
PU-PH	LANTUEJOL Sylvie	Anatomie et cytologie pathologiques
MCU-PH	LARDY Bernard	Biochimie et biologie moléculaire
MCU - PH	LE GOUELLEC Audrey	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH	LECCIA Marie-Thérèse	Dermato-vénérologie
MCF Ass.MG	LEDOUX Jean-Nicolas	Médecine Générale
PU-PH	LEROY Vincent	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
PU-PH	LETOUBLON Christian	Chirurgie viscérale et digestive
PU-PH	LEVY Patrick	Physiologie
PU-PH	LONG Jean-Alexandre	Urologie
MCU-PH	LUPO Julien	Bactériologie-virologie
PU-PH	MAGNE Jean-Luc	Chirurgie vasculaire ; Médecine vasculaire
MCU-PH	MAIGNAN Maxime	Médecine d'urgence
PU-PH	MAITRE Anne	Médecine et santé au travail
MCU-PH	MALLARET Marie-Reine	Hygiène hospitalière
PU-PH	MALLION Jean-Michel	Cardiologie
MCU-PH	MARLU Raphaël	Hématologie ; Transfusion
MCU-PH	MAUBON Danièle	Parasitologie et mycologie
PU-PH	MAURIN Max	Bactériologie-virologie
MCU-PH	MC LEER Anne	Histologie, embryologie et cytogénétique
MCU-PH	MONDET Julie	Histologie, embryologie et cytogénétique
PU-PH	MORAND Patrice	Bactériologie-virologie
PU-PH	MOREAU-GAUDRY Alexandre	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
PU-PH	MORO Elena	Neurologie
PU-PH	MORO-SIBILOT Denis	Pneumologie
MCU-PH	MORTAMET Guillaume	Pédiatrie
PU-PH	MOUSSEAU Mireille	Cancérologie
PU-PH	MOUTET François	Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; brûlologie
MCF Ass.MG	ODDOU Christel	Médecine Générale
MCU-PH	PACLET Marie-Hélène	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH	PAILHE Régis	Chirurgie orthopédique et traumatologie
PU-PH	PALOMBI Olivier	Anatomie
PU-PH	PARK Sophie	Hématologie ; Transfusion
PU-PH	PASSAGLIA Jean-Guy	Anatomie
PR Ass.MG	PAUMIER-DESBRIERES Françoise	Médecine Générale
PU-PH	PAYEN DE LA GARANDERIE Jean-François	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
MCU-PH	PAYSANT François	Médecine légale et droit de la santé
MCU-PH	PELLETIER Laurent	Biologie cellulaire
PU-PH	PELLOUX Hervé	Parasitologie et mycologie

CORPS	NOM-PRENOM	Discipline universitaire
PU-PH	PEPIN Jean-Louis	Physiologie
PU-PH	PERENNOU Dominique	Médecine physique et de réadaptation
PU-PH	PERNOD Gilles	Médecine vasculaire
PU-PH	PIOLAT Christian	Chirurgie infantile
PU-PH	PISON Christophe	Pneumologie
PU-PH	PLANTAZ Dominique	Pédiatrie
PU-PH	POIGNARD Pascal	Bactériologie-virologie
PU-PH	POLACK Benoît	Hématologie
PU-PH	POLOSAN Mircea	Psychiatrie d'adultes
PU-PH	RAMBEAUD Jean-Jacques	Urologie
PU-PH	RAY Pierre	Biologie et médecine du développement et de la reproduction
MCU-PH	RENDU John	Biochimie et biologie moléculaire
MCU-PH	RIALLE Vincent	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
PU-PH	RIETHMULLER Didier	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
PU-PH	RIGHINI Christian	Oto-rhino-laryngologie
PU-PH	ROMANET Jean Paul	Ophthalmologie
PU-PH	ROSTAING Lionel	Néphrologie
MCU-PH	ROUSTIT Matthieu	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
MCU-PH	ROUX-BUISSON Nathalie	Biochimie et biologie moléculaire
MCF Ass.MG	ROYER DE VERICOURT Guillaume	Médecine Générale
MCU-PH	RUBIO Amandine	Pédiatrie
PU-PH	SARAGAGLIA Dominique	Chirurgie orthopédique et traumatologie
MCU-PH	SATRE Véronique	Génétique
PU-PH	SAUDOU Frédéric	Biologie cellulaire
PU-PH	SCHMERBER Sébastien	Oto-rhino-laryngologie
PU-PH	SCHWEBEL Carole	Médecine intensive-réanimation
PU-PH	SCOLAN Virginie	Médecine légale et droit de la santé
MCU-PH	SEIGNEURIN Arnaud	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
PU-PH	STAHL Jean-Paul	Maladies infectieuses ; Maladies tropicales
PU-PH	STANKE Françoise	Pharmacologie fondamentale
MCU-PH	STASIA Marie-José	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH	STURM Nathalie	Anatomie et cytologie pathologiques
PU-PH	TAMISIER Renaud	Physiologie
PU-PH	TERZI Nicolas	Médecine intensive-réanimation
MCU-PH	TOFFART Anne-Claire	Pneumologie
PU-PH	TONETTI Jérôme	Chirurgie orthopédique et traumatologie
PU-PH	TOUSSAINT Bertrand	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH	VANZETTO Gérald	Cardiologie
PU-PH	VUILLEZ Jean-Philippe	Biophysique et médecine nucléaire
PU-PH	WEIL Georges	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
PU-PH	ZAOUI Philippe	Néphrologie
PU-PH	ZARSKI Jean-Pierre	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie

**PU-PH** : Professeur des Universités - Praticiens Hospitaliers  
**MCU-PH** : Maître de Conférences des Universités - Praticiens Hospitaliers  
**PU-MG** : Professeur des Universités de Médecine Générale  
**MCU-MG** : Maître de Conférences des Universités de Médecine Générale  
**PR Ass.MG** : Professeur des Universités Associé de Médecine Générale  
**MCF Ass.MG** : Maître de Conférences Associé de Médecine Générale

## 2. REMERCIEMENTS

### **À Monsieur le Professeur Dominique Saragaglia**

Les 6 mois à vos côtés ont été des plus enrichissants. Vous nous avez enseigné vos concepts de prothèse totale de genou « hors des sentiers battus » ainsi que vos techniques ostéotomies autour du genou. Vous avez ouvert la voie de la chirurgie prothétique naviguée. J'ai pu constater au quotidien ce qu'est l'exigence d'un chef de service irréprochable. Vous êtes un grand nom de l'orthopédie française et je suis fier d'avoir été l'un de vos derniers élèves.

### **À mes maître et membres du Jury**

#### **À Monsieur le Professeur Régis Pailhé**

Tu m'as fait l'honneur de me confier et de diriger ce travail de thèse passionnant. J'ai évolué à tes côtés lors de mes 3 semestres à Sud, au gré d'interventions pour lesquelles tu me laissais toujours plus d'autonomie. Ton dynamisme pour faire évoluer la chirurgie prothétique est une belle source de motivation. J'espère profiter de tes connaissances et de ton expérience, ainsi que de ton humour légendaire quand j'intégrerai le service. Je suis heureux d'avoir un Maître de ta carrure et fier d'être l'un de tes premiers élèves. J'espère que ce travail témoignera de ma plus grande considération.

#### **À Monsieur le Professeur Jérôme Tonetti**

Je termine mon internat dans votre service là où je l'ai commencé. J'avais été séduit par votre ouverture d'esprit et votre culture médico-chirurgicale, apportant la solution quand nous étions dans l'impasse. J'ai pu profiter de vos compétences en chirurgie du bassin pour laquelle vous excellez. Merci pour votre disponibilité et votre soutien dans mes choix. Je vous en suis très reconnaissant, tout comme d'avoir accepté de présider ce jury.

#### **À Monsieur le Professeur Matthieu Ollivier**

Ta présence au sein du jury est un honneur. Présenter ce travail est un challenge au regard de ton incroyable épreuve de titre et tes standards scientifiques. Ton dynamisme est une

chance pour ceux qui t'entourent. Je suis admiratif de tes idées brillantes, concrétisées aussitôt. Merci pour tes enseignements de la chirurgie conservatrice du genou pour laquelle tu es déjà l'un des grands acteurs. Ta bienveillance et ton soutien en toute circonstance ont beaucoup compté.

#### **À Monsieur le Dr Éric Montbarbon**

Merci d'avoir accepté de juger ce travail. Mon semestre à Chambéry fût une étape clé de ma formation en chirurgie prothétique à travers vos qualités d'opérateur. J'ai beaucoup progressé à vos côtés, tout en discutant montagne et ski le moment venu. Merci pour votre confiance et vos qualités humaines à l'hôpital et en dehors. J'espère que l'opportunité de travailler avec vous se représentera.

#### **À Monsieur le Docteur Brice Rubens-Duval**

Ta présence dans mon jury me tenait à cœur, merci d'avoir accepté. Tu me connais depuis le jour où j'ai franchi la porte d'un service d'orthopédie pour la première fois. Ta considération et ta pédagogie envers l'externe que j'étais ont été cruciales dans mon choix de spécialité. J'ai ensuite bénéficié comme interne de ton expérience et de tes qualités de chirurgien. J'ai observé, preuve de leur justesse, nombre de tes gestes chez tes anciens internes. Merci pour ta présence et ta disponibilité qui nous rassure en début d'expérience.

#### **À Monsieur le Dr Vincent Morin**

Vincent, ta volonté à nous faire progresser m'accompagne depuis le début. Tu sais trouver ce juste équilibre pour exploiter le meilleur de nous-même : ce qu'il faut de pression mais suffisamment de sérénité pour nous mettre en confiance. Ton aisance arthroscopie à la main m'impressionnera toujours. Merci pour ton soutien et tes conseils dans les moments de doute : « faire simple », fidèle à ta vision de la vie. À nos prochains bords de kite, descentes à ski et bières entre potes, là ce n'est plus forcément moi le fellow ! Merci pour tout.

#### **À mes séniors :**

Au Dr Aurélien Roudet, pour m'avoir laissé la main avec patience et rigueur sur mes premières chirurgies. Et pour rappeler l'importance de ne pas « céder au pratique » sans quoi nous roulerions tous en Kangoo.

Au Dr Lydie Boyou-Garnier, pour tes précieux encouragements lors de mon baptême du feu à Nord.

Au Dr Gaël Kerschbaumer San, pour ton enseignement sans faille de la culture des grenadiers et pour ta fabuleuse aisance chirurgicale.

Au Dr Medhi Boudissa, pour nous avoir tous traités de (et comme) « Champions » dès le début de l'internat. Ta rigueur et ta force de travail sont un exemple pour nous tous. Je suis admiratif des chirurgiens traumatologues complets que vous êtes à Nord : rachis, bassin, membres, vous savez tout faire !

Au Dr Sébastien Ruatti, la chirurgie et les imitations n'ont plus de secret pour toi.

À l'équipe de chirurgie vasculaire de Chambéry, Dr Hélène Blaise, Dr Albéric de Lambert et Dr Nathalie David. Vous m'avez transmis les compétences de chirurgie vasculaire minimales et indispensables à tout orthopédiste. J'ai pu découvrir, très impressionné, la chirurgie thoracique avec Albéric. Quelle chirurgie et quelle maîtrise technique ! Merci pour ces 6 mois.

Au Dr Jérémie Cognault, la réflexion et le rationnel derrière chacun de tes gestes au bloc ont été un exemple pour moi en début d'internat. Pas de place à l'improvisation, tout est réfléchi et anticipé. Merci pour ta pédagogie, je me suis souvent surpris à dire : « ça c'est Cognault qui me l'a appris ».

Au Dr Roch Mader, pour ta bonne humeur et tes encouragements au bloc « mais c'est nickel mec ! ». Bonne continuation à la clinique !

Aux professeurs Courvoisier et Griffet pour nous avoir enseigné les bases de la traumatologie pédiatrique nécessaires à notre exercice futur. Au Dr Emeline Bourgeois, malheureusement pour nous absente une grande partie de notre semestre.

Au Dr Ahmad Eid, votre pratique est un exemple de chaque instant. Votre rigueur et votre aisance chirurgicale ont peu d'égal. Une fois, 5h du matin après une nuit à opérer, j'ai proposé de laisser le dernier patient pour l'équipe du lendemain. Vous m'avez répondu : « Lorsqu'un enfant à mal, je ne regarde pas ma montre ». J'espère réussir à vous imiter.

Au Dr Marco Turatti, pour ta gentillesse sans limite et ton petit coup de téléphone chaque fois que tu repasses par Grenoble. Bonne continuation en Italie.

Au Dr Emmanuel Beaudoin, vos connaissances et compétences en chirurgie du membre supérieur sont impressionnantes. Au bloc votre facilité à opérer donne l'impression à l'interne d'être le meilleur aide qui soit !

Au Dr Pedro Giraud, merci de m'avoir autant laissé la main, d'avoir pris le temps de discuter des indications, des techniques et de partager ton expérience. Je suis admiratif de ta polyvalence chirurgicale et de la difficulté des interventions que tu entreprends avec succès. J'espère suivre ton exemple, comme chirurgien et comme chef.

Au Dr Hervé Parigi pour m'avoir présenté la chirurgie de l'hallux valgus dans les moindres détails, au Dr Christian Vasile qui sait mieux que personne ce qu'est un « chantier chirurgical » et au Dr Lebretonchel qui attire les motards en garde !

Au Dr Alexandra Forli, votre élégance chirurgicale est un plaisir pour les yeux. Votre sens du compagnonnage est unique et ne connaît pas la fatigue ! Merci pour votre patience derrière le microscope au milieu de la nuit. Ce semestre à « la main » a largement satisfait mes attentes d'orthopédiste.

Au Dr Denis Corcella, vous avez certainement été surpris de recevoir une invitation pour la soutenance de thèse d'un certain Clément. Oui, Benoit a repris son prénom d'origine. Benoit



était néanmoins ravi de découvrir l'activité d'un SOS main. Il retiendra de vous comment libérer un canal carpien par voie endoscopique et l'art de disséquer efficacement. Aller, à lundi !

Aux assistantes de chirurgie de la main : Dr Margaux Delord, Dr Isaline Bazin et Dr Marion Arribert. Quel plaisir ces 6 mois avec vous trois ! J'ai beaucoup appris et appris à faire à vos côtés. J'aurais adoré avoir votre habileté à manier le 10-0 !

Au Dr Loïc Sigwalt, pour tes bons conseils et ta force tranquille.

Au Dr Gabriel Lateur, pour m'avoir guidé lors de mon premier travail scientifique et m'avoir proposé ce mémoire de Master 2 de rêve ! Ta rigueur dans l'approche théorique et anatomique de notre spécialité impose le respect et m'a toujours tiré vers le haut. Merci pour ton soutien précieux lors de mes premiers remplacements.

Au Dr Tronc, ravi de te retrouver à Nord comme chef après tant de semestre co-internes. Quel bon chirurgien que tu es devenu ! Vivement la prochaine virée à ski ou à vélo.

Au Dr Corbet, quel plaisir d'être ton interne ! Merci de m'avoir montré sur quelles bases on peut espérer devenir un bon interne en premier semestre. Merci pour ta confiance et ton compagnonnage patient en dernier semestre. Ta philosophie du « CHU ça sert à ça » est une réelle chance pour les internes qui travaillent et travailleront avec toi.

Au Dr Vibert, aussi bienveillant comme chef que comme co-interne ! Merci pour ses dossiers plus intéressants les uns que les autres que tu viens nous présenter dans le bureau.

### **À l'équipe de Marseille**

Au Professeur Jean-Noël Argenson, pour l'accueil dans votre service. Mon semestre à Sainte Marguerite fût une expérience fabuleuse. Vous dirigez un service exceptionnel, l'enseignement est au cœur de vos préoccupations et toujours de grande qualité.

Au Professeur Xavier Flecher, j'ai redécouvert la chirurgie de la hanche à vos côtés. Vous êtes pour moi un exemple à suivre, comme opérateur et comme médecin.

Au Dr Pierre-Olivier PINELLI, mon Maître de la voie de Hueter. Je garderai précieusement ma fiche « PTH selon POP ».

Au Dr Damien Lami, pour ces réponses claires et précises à chacune de mes interrogations « membre sup' ». Et quelle élégance chirurgicale !

Au Dr Fabre pour m'avoir éclairé sur les fondamentaux d'une reprise de PTG et pour ce finish des mondiaux de biathlon qu'on ne pouvait pas rater. Au Dr Amsellem pour ta bonne humeur, Dr Sautet « eh Brice ! » et au Dr Ros pour ma première Hueter.

#### **À ceux qui m'ont accompagné lors de mon cursus :**

Mon pote Jean Charles pour ta bonne humeur constante et ta gentillesse. Ravi d'être co-chef avec toi à partir de novembre.

Gabriel Raybaud pour ces bonnes discussions de chirurgie où nous tombons souvent d'accord et pour celles que nous n'avons jamais terminées pour cause de fou rire. On recommence en novembre ?

La Gaule pour être le plus cultivé des orthopédistes, l'intellectuel de la bande. Ton sens de la répartie est un don que j'aurais aimé avoir. On formera un beau petit duo de co-CCA, j'en suis sûr.

Guillaume, le vrai scientifique du groupe. Très heureux de finir mon internat avec toi et de retrouver ton humour toujours bien placé.

Thibaud, presque la moitié de l'internat ensemble, tu fais partie de ces gens doués quoi qu'ils fassent. Grimper dans le 8 et être tout aussi bon en chirurgie, chapeau !

Antonin, ça fait plaisir de voir un mec comme toi qui n'a pas froid aux yeux, tu iras loin !

Maxime, fidèle compagnon de master 2 avec la Gaule, et de loin le plus brillant de nous trois ! Bravo pour ta ténacité au travail et merci pour ton humour à tout instant.

Mahmoud, brillant, humble et bosseur malgré des conditions difficiles. Tu mérites le meilleur pour la suite !

Benoit Orfoevre, j'ai reconnu ton écriture dans certains cahiers d'observation de cette thèse. Merci de ton aide !

Aux plus jeunes, Virgil, Laura, Guillaume et ceux avec qui je n'ai pas eu l'occasion de travailler : Fanny pour ton implication auprès de nous tous, Valentin, Thibaud, Pierre

Aux internes Marseillais, vous êtes une sacrée équipe ! Corentin pour ton accueil, Sylvain pour ces fabuleuses sessions kite, Etienne pour toutes tes invitations, Florent, Nico, Thibaud, Yvan, Camille, Bastien, Julien et Arthur.

Mathieu pour ces beaux couloirs et ces bords à toute vitesse. Églantine pour ces deux années de colocation légendaires. Merci de me supporter depuis tant d'années et de pouvoir compter sur vous. Vous réalisez la plus grosse perf' de 2020 : bébé, thèses et mariage en l'espace de 6 mois, bravo !

Johanna pour nos révisions d'ECN aux Arcs et toutes les sorties avec Félix. Ariane pour avoir gardé contact, hâte de vous revoir sur les skis avec Ben. À ceux que j'ai perdu de vue : Léa, Pauline. Un de mes grands défauts.

Aux équipes soignantes à tout le personnel du bloc opératoire des Hôpitaux Nord et Sud de Grenoble, de Chambéry, de Voiron, de Sainte Marguerite et de la Timone. Vous avez été d'une aide précieuse tout au long de ces 5 années.

Aux secrétaires qui nous aident tant ! Annie, Isabelle, Béatrice et toutes les équipes.

### **À ceux qui ont également contribué à ce travail :**

Arnold Merlin pour ton aide au recueil des données iso cinétiques.

Maureen et Kathleen pour vos précieuses compétences linguistiques.

Jean et Stéphane Hacquart pour votre relecture minutieuse et la mise en forme.

### **À mes proches**

Aux bons copains de l'Orgère sans qui la vie ne serait pas aussi belle (je me limite à une phrase pour éviter d'en écrire 100 pages).

Aux montagnards : Guilhem l'animal que je vois trop rarement. Mat, Val et Rom pour avoir supporté ma détresse au bout de la corde. Didi pour notre victoire au Tampax ! Jean et Nico avec qui le ski est passé dans une autre dimension.

À Tim mon idole du kite et de bien d'autres choses.

À Ludo, mon vieux frère, Tabata et toi enchaînez les succès mais restez fidèles à vous-même. Toujours un régal de vous retrouver.

À Jean, pour ton amitié inestimable, tes conseils éclairés, ton calme et la sérénité que tu véhicules. À Nico, ta simplicité et ton humour sont pour moi une leçon de vie. À vous deux, à votre passion du détail soigné et vécu à fond. Je sais la chance que j'ai de vous connaître.

À mes grands-parents disparus et à mamie Luce.

À Lauranne ma fidèle coloc' et à Marine ma « grande sœur » de l'adolescence. À mes grandes cousines et petits cousins avec qui j'ai grandi et à nos fabuleux souvenirs d'enfance aux Arcs.

À Kathleen et Jean-Philippe prêts à traverser l'atlantique pour être là aujourd'hui.

À mes parents sans qui je n'aurais jamais pu entreprendre ces longues études. Merci pour votre confiance et votre soutien incroyable. Vous nous avez énormément donné et j'espère vous rendre fiers. Ce travail est aussi le fruit du vôtre. Merci pour cette vie heureuse que je mène grâce à vous.

À mes petites sœurs Pauline et Mathilde, quel bonheur de nous savoir bientôt tous les 3 dans la même ville ! Vous pourrez toujours compter sur moi, pour skier de nouvelles pentes et surtout pour tout le reste.

To Maureen, for your love and constant support. My life by your side is what I have always dreamed of.

# SOMMAIRE

<b>1.</b>	<b>ENSEIGNANTS DE L'UFR DE MEDECINE</b> .....	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>REMERCIEMENTS</b> .....	<b>7</b>
<b>3.</b>	<b>RESUMES</b> .....	<b>19</b>
<b>4.</b>	<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>23</b>
<b>5.</b>	<b>CONNAISSANCES THEORIQUES</b> .....	<b>25</b>
<b>5.1.</b>	<b>Historique</b> .....	<b>25</b>
<b>5.2.</b>	<b>Fondements scientifiques</b> .....	<b>28</b>
5.2.1.	Caractéristiques morphologiques .....	29
5.2.1.1.	Morphologie du LCA.....	29
5.2.1.2.	Morphologie du TQ.....	29
5.2.2.	Propriétés biomécaniques et biologiques.....	31
<b>5.3.</b>	<b>Technique opératoire</b> .....	<b>33</b>
5.3.1.	Installation .....	33
5.3.2.	Technique TQ.....	33
5.3.2.1.	Prélèvement.....	33
5.3.2.2.	Préparation de la greffe .....	35
5.3.2.3.	Temps arthroscopique et fixation .....	35
5.3.3.	Technique DT4 .....	39
5.3.3.1.	Prélèvement.....	39
5.3.3.2.	Préparation de la greffe .....	40
5.3.3.3.	Fixation.....	40
<b>5.4.</b>	<b>Variations/alternatives techniques</b> .....	<b>42</b>
5.4.1.	Prélèvement.....	42
5.4.1.1.	Baguette osseuse .....	42
5.4.1.2.	Épaisseur du prélèvement.....	43
5.4.1.3.	Ciel ouvert ou percutané.....	44
5.4.2.	Fixation.....	46
5.4.3.	Plastie antéro latérale .....	49
<b>5.5.</b>	<b>Protocole de rééducation</b> .....	<b>51</b>
5.5.1.	Protocole.....	51
5.5.1.1.	Jour de l'intervention .....	51
5.5.1.2.	Phase de repos : période de sortie d'hospitalisation à J15 / J21 .....	51
5.5.1.3.	Phase de mobilisation et réveil musculaire : période de J15 à J60 : .....	52
5.5.1.4.	Phase de consolidation : période de J60 à 4 mois : .....	52
5.5.1.5.	Début de la réathlétisation : Période de J60 à 4 mois : .....	52
5.5.1.6.	Réathlétisation : période de 6 mois à 9 mois .....	53
5.5.2.	Discussion.....	54
<b>5.6.</b>	<b>Iso cinétisme</b> .....	<b>55</b>

5.6.1.	Concepts.....	55
5.6.2.	Réalisation et résultats d'un test .....	57
5.6.3.	Interprétation des résultats .....	63
5.6.4.	Discussion.....	64
<b>6.</b>	<b>ETUDES CLINIQUES .....</b>	<b>66</b>
<b>6.1.</b>	<b>Justifications des études .....</b>	<b>66</b>
6.1.1.	Résultats cliniques.....	66
6.1.2.	Évaluation de force musculaire par test iso cinétiques.....	66
6.1.3.	Troubles sensitifs .....	68
6.1.3.1.	Contexte.....	68
6.1.3.2.	Anatomie.....	68
6.1.3.3.	Problématique.....	70
<b>6.2.</b>	<b>Objectifs des études.....</b>	<b>70</b>
6.2.1.	Évaluation des résultats cliniques : .....	71
6.2.2.	Évaluation de la récupération musculaire (par tests iso-cinétiques) : .....	71
6.2.3.	Évaluation des lésions des branches infra patellaires du nerf saphène.....	72
<b>6.3.</b>	<b>La série .....</b>	<b>72</b>
6.3.1.	Méthodologie.....	72
6.3.2.	Population .....	73
6.3.2.1.	Critères d'inclusion et d'exclusion .....	74
6.3.2.2.	Flow chart.....	74
6.3.3.	Caractéristiques de la série globale .....	76
6.3.3.1.	Description .....	76
6.3.3.2.	Caractéristiques per opératoires.....	78
<b>6.4.</b>	<b>Résultats cliniques .....</b>	<b>80</b>
6.4.1.	Méthode .....	80
6.4.1.1.	Évaluation.....	80
6.4.1.2.	Analyse .....	81
6.4.2.	Résultats.....	82
6.4.2.1.	Complications.....	82
6.4.2.2.	Examen physique .....	89
6.4.2.3.	Scores fonctionnels .....	91
6.4.3.	Discussion.....	93
6.4.3.1.	Points forts .....	93
6.4.3.2.	Limites .....	93
6.4.3.3.	Comparaison à la littérature .....	94
6.4.4.	Conclusion .....	98
<b>6.5.</b>	<b>Tests iso cinétiques .....</b>	<b>98</b>
6.5.1.	Méthode .....	98
6.5.1.1.	La série .....	98
6.5.1.2.	Protocole de réalisation des tests .....	99
6.5.1.3.	Interprétation des données .....	100
6.5.1.4.	Analyse statistique .....	100
6.5.2.	Résultats.....	101
6.5.2.1.	Pic de couple .....	101
6.5.2.2.	Puissance.....	103
6.5.2.3.	Ratios de H/Q.....	104
6.5.2.4.	Corrélation score fonctionnels, âge et délai opératoire .....	105
6.5.3.	DISCUSSION.....	107
6.5.3.1.	Comparaison à la littérature .....	107

6.5.3.2.	Causes de déficit musculaire du quadriceps .....	108
6.5.3.3.	Causes de déficit musculaire des IJ .....	109
6.5.3.4.	Incidence sur le résultat fonctionnel.....	110
6.5.3.5.	Rôle du délai opératoire.....	111
6.5.3.6.	Outil pour la reprise du sport.....	112
6.5.3.7.	Limites.....	113
6.5.4.	Conclusion.....	113
<b>6.6.</b>	<b>Troubles sensitifs .....</b>	<b>114</b>
6.6.1.	Méthode .....	114
6.6.1.1.	La série .....	114
6.6.1.2.	Méthode d'évaluation.....	116
6.6.1.3.	Analyses .....	119
6.6.2.	Résultats.....	119
6.6.2.1.	Surface d'hypoesthésie .....	120
6.6.2.2.	Longueur de la cicatrice .....	121
6.6.2.3.	Scores fonctionnels .....	122
6.6.3.	Discussion.....	123
6.6.3.1.	Limites.....	124
6.6.3.2.	Comparaison à la littérature .....	124
6.6.4.	Conclusion.....	127
<b>7.</b>	<b>CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....</b>	<b>128</b>
<b>8.</b>	<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>129</b>
<b>9.</b>	<b>ANNEXES .....</b>	<b>144</b>



## 3. RESUMES

### Résumé :

**INTRODUCTION :** La rupture du ligament croisé antérieur (LCA) est une lésion fréquente en traumatologie du sport et nécessite généralement une reconstruction chirurgicale par autogreffe chez les patients jeunes et sportifs. Il existe différentes possibilités de greffes principalement représentées par le tendon rotulien et les tendons ischio jambiers recommandés par la Haute Autorité de Santé de 2008. Aucun greffon préférentiel n'a été retenu à ce jour pour donner de meilleurs résultats que tous les autres transplants. L'autogreffe de tendon quadricipital est une technique connue depuis des décennies, certes peu utilisée mais qui a présenté un regain d'intérêt récent. Les caractéristiques morphologiques et biomécaniques du tendon quadricipital en font une greffe de choix pour la reconstruction du LCA. L'objectif de ce travail est de comparer les résultats cliniques après reconstruction du LCA par autogreffe de tendon quadricipital (TQ) et de tendon du demi tendineux à 4 faisceaux (DT4).

**MATERIEL ET METHODE :** Il s'agit d'une étude prospective non randomisée incluant 75 patients (43 TQ et 32 DT4) opérés entre septembre 2016 et octobre 2018 au CHU Grenoble Alpes. De cette série dite « globale » sont issus 3 groupes d'analyse. Premièrement, l'ensemble de la série a permis d'étudier les scores fonctionnels de KOOS et Tegner-Lysholm ainsi que les données d'examen clinique à un recul moyen de 18 mois post opératoire (série « score fonctionnel »). Deuxièmement, 44 patients (25 TQ et 19 DT4) ont permis d'étudier la récupération musculaire de cuisse. Le pic de couple était évalué à travers la réalisation de tests iso cinétiques 6 mois après l'intervention (série « tests iso cinétiques »). Enfin 53 patients (28 TQ et 25 DT4) ont permis l'étude des troubles sensitif liés aux lésions des branches infra patellaire du nerf saphène par mesure de la surface cutanée atteinte et l'évaluation du type de troubles sensitifs 14,8 mois en moyenne après la chirurgie (série « troubles sensitifs »).

**RESULTATS :** Résultat de la série « scores fonctionnels ». Il n'existait pas de différence entre le groupe TQ et le groupe DT4 concernant le score de KOOS (93,7 versus 90,6 respectivement,  $p=0,31$ ), le score de Tegner-Lysholm (93,7 versus 91,5 respectivement,  $p=0,41$ ), le taux de rupture itérative (1 par groupe) ainsi que le taux de complications (23% versus 28%,  $p = 0,51$ ).

Résultats de la série « tests iso cinétiques ». Le déficit de force musculaire (pourcentage de déficit par rapport au membre inférieur sain) du muscle quadriceps n'était pas statistiquement différent dans les groupes TQ et DT4 (26% versus 22% respectivement,  $p=0,37$ ). La différence concernant les muscles ischio jambiers était proche de la significativité statistique avec une forte tendance à un déficit plus important dans le groupe DT4 (14%) par rapport au groupe TQ (5%,  $p = 0,05$ ) pour les vitesses angulaires élevées (180 et 240°.s<sup>-1</sup>). Dans les deux groupes, le déficit de force du muscle quadriceps était négativement corrélé aux scores fonctionnels (coefficient de Pearson = -0,41,  $p = 0,005$ ).

Résultats de la série « troubles sensitifs ». La surface de troubles sensitifs sur le territoire des branches infra patellaire du nerf saphène était réduite le groupe TQ (5cm<sup>2</sup>) rapport au groupe DT4 (21,2cm<sup>2</sup>) de manière statistiquement significative ( $p=0,007$ ). Aucun trouble sensitif n'étaient rapportés en regard du site donneur du TQ.

**CONCLUSION :** L'utilisation du tendon du muscle quadriceps comme autogreffe du LCA apparaît dans ce travail et dans la littérature comme une technique fiable et reproductible donnant des résultats similaires aux greffes classiques représentées dans notre étude par le DT4. Le TQ présente l'avantage d'une morbidité liée au site de prélèvement moindre en termes de troubles sensitifs et il ne semble pas induire de déficit supplémentaire de force du muscle quadriceps à 6 mois post opératoire par rapport à une greffe de tendon ischio-jambier.

**Abstract :**

**INTRODUCTION:** Anterior cruciate ligament (ACL) rupture is a frequent lesion in sport traumatology. For young and athletic patients, a surgical reconstruction is recommended. Among the various grafts described, patellar tendon and hamstring tendon are the most commonly used as recommended by the French national authority for health in 2008. No graft has proven its superiority compared to other grafts in terms of functional outcomes. Quadriceps tendon autograft procedure has been described and used for decades but remained rarely performed. Nevertheless, its uses and interest has recently risen since its morphological et biomechanical properties make it an excellent graft choice for ACL reconstruction. The aim of this work was to compare the clinical outcome after ACL reconstruction using either quadriceps tendon (QT) autograft or a 4 strands semitendinosus tendon autograft (ST4).

**MATERIAL AND METHODS:** This is a prospective non randomized study including 75 patients (43 QT and 32 ST4) who underwent surgery between September 2016 and October 2018 at Grenoble teaching hospital. From this “global” cohort came 3 different groups for various analysis. First, the “global” cohort allowed for the analysis of functional outcome through the KOOS score and the Tegner-Lysholm score as well as clinical examination data with 18 months of average follow-up (“functional outcome” cohort). Then, thigh muscle strength recovery was assessed in 44 patients (25 QT and 19 ST4). The peak torque was evaluated while performing iso kinetic tests 6 months after the surgery (“iso kinetic test” cohort). Finally, 53 patients (28 QT and 25 ST4) were included for the study of the sensory sequelae linked to saphenous nerve injuries (infrapatellar branches). This evaluation was done by measuring the area of sensory disorder in the area supplied by the infrapatellar branches of the saphenous nerve (“sensory disorder” cohort).

**RESULTS:** Results of the “functional outcome” cohort. There was no difference between the QT group and the ST4 group concerning the KOOS score (93,7 versus 90,6 respectively,  $p=0,31$ ), the re rupture rate (1 in each group) as well as the rate of complications (23% versus 28%,  $p = 0,51$ ).

Results of the “iso kinetic tests” cohort. The loss of strength (percentage compared to the non-injured lower limb) of the quadriceps muscle was not different in the QT group and ST4

group (26% versus 22% respectively,  $p=0,37$ ). The difference concerning the hamstring muscles was nearing statistical significance with a strong tendency to a greater strength deficit in the ST4 group (14%) compared to the QT group (5%,  $p=0,05$ ) for high angular velocities (180 and  $240^{\circ}.s^{-1}$ ). In both groups, the quadriceps strength deficit was negatively correlated to the KOOS score (Pearson coefficient =  $-0,41$ ,  $p=0,005$ ).

Results of the “sensory disorder” cohort. The surface of sensory disorder on the cutaneous area supplied by the infra patellar branches of the saphenous nerve was reduced in the QT group ( $5cm^2$ ) compared to the ST4 group ( $21,2cm^2$ ). This difference was statistically significant ( $p=0,007$ ). No sensory disorders were reported on the QT donor site.

**CONCLUSION:** The use of quadriceps tendon as ACL autograft appears in this work, as well as in the current literature, as a reliable and reproductive surgical procedure. Results are similar to the classical grafts represented in our study by the ST4. Quadriceps tendon autograft leads to a lower morbidity rate of the donor site concerning sensory disorders and muscular strength recovery compared to hamstring tendon autograft.

## 4. INTRODUCTION

Les lésions traumatiques du ligament croisé antérieur (LCA) sont très fréquentes en traumatologie du sport. Chez le patient jeune et sportif, le traitement est généralement chirurgical par ligamentoplastie avec de très bon résultats cliniques[1,2].

En l'absence de traitement, l'évolution peut conduire à une instabilité chronique compromettant la fonction du genou à court terme. Selon le degré d'instabilité, le retentissement fonctionnel peut ne perturber que la pratique de sports « pivot », comme occasionner une gêne permanente dans la vie quotidienne pour les instabilités les plus marquées.

A long terme, l'instabilité chronique peut conduire au développement secondaire de lésions méniscales et cartilagineuses[3]. Celles-ci font basculer le patient dans la pathologie dégénérative du genou avec un risque accru d'apparition d'arthrose précoce[4].

Bien que la protection apportée par une reconstruction du LCA contre le développement d'arthrose soit un sujet controversé, l'instabilité justifie pleinement la pratique d'une reconstruction chirurgicale. Ainsi en France, la Haute Autorité de Santé recommande, en cas d'entorse grave du genou avec rupture du LCA, la pratique d'une reconstruction chirurgicale systématique chez tout patient jeune et sportif.[2]

En France, 45000 reconstructions de ligaments croisés antérieurs ont lieu chaque année et ce chiffre ne cesse d'augmenter[1]. Malgré la fréquence de cette pathologie et le nombre important d'études, le choix de la greffe à utiliser reste controversé[5–8]. Il n'existe ainsi à ce jour pas de transplant idéal.

Les transplants donnant les meilleurs résultats et donc les plus utilisés (recommandation de l'HAS 2008[2]) sont représentés par le tendon patellaire (technique de Kenneth Jones – KJ) et les ischio-jambiers : le demi tendineux en 4 faisceaux (DT4) et le tendon du droit interne associé au tendon du demi tendineux en 2 faisceaux (DIDT). Le tendon quadricipital (TQ) comme autogreffe a été jusqu'à la fin des années 2000 peu étudié et peu utilisé (entre 2,5% et 10% des greffes en 2010)[9]. Pourtant, les caractéristiques morphologiques et biomécaniques de ce tendon en font un excellent choix de greffe pour les reconstructions du ligament croisé antérieur[10–12]. Ainsi, le tendon quadricipital comme autogreffe pour

reconstruction du LCA a très récemment fait l'objet de nombreuses études. Mulford et al.[13] ainsi que Slone et al.[9] rapportent dans deux revues de la littérature de 2012 et 2015 des résultats cliniques aussi bons que ceux des transplants classiquement utilisés et considèrent le tendon quadricipital comme une technique fiable et reproductible.

Le tendon quadricipital s'apparente à un greffon hybride entre une greffe courte selon la définition de la SFA (longueur de greffe dans les tunnels osseux inférieure à 20mm) et une greffe « os-tendon-os » du tendon rotulien. Si le tendon quadricipital a été à plusieurs reprises comparé au tendon rotulien et aux ischio-jambiers, il n'existe à ce jour qu'une seule étude comparant le tendon quadricipital spécifiquement à une greffe courte aux ischio-jambiers (technique DT4)[14]

La première partie de ce travail présentera les fondements historiques et scientifiques conduisant à l'utilisation du tendon quadricipital comme autogreffe pour les reconstructions du LCA. Nous détaillerons la procédure chirurgicale avec l'ensemble des variantes techniques décrites et étudiées à ce jour. Notre protocole de rééducation post opératoire sera également décrit.

Dans une deuxième partie, la validité clinique de cette technique s'appuiera sur l'étude d'une cohorte prospective de patients (reconstruction du LCA par techniques DT4 et TQ) de notre institution. Un groupe « TQ » sera alors comparé à un groupe « DT4 » considéré comme une des greffes de référence selon la HAS[2]. Trois axes de recherche seront ainsi comparés entre les deux groupes :

- Les résultats cliniques à travers des scores fonctionnels
- La récupération de force musculaire par l'intermédiaire de tests iso cinétiques dont les principes de bases seront présentés dans un chapitre dédié.
- Les complications neurologiques sensibles avec une attention particulière pour les lésions des BIPNS.

Pour chacun des 3 axes étudiés, une mise au point et une justification de l'étude seront précisées au préalable. Les critères de jugements principaux et secondaires seront détaillés pour chaque axe dans le chapitre « Objectifs ». Enfin, après une description globale de la série, trois chapitres dédiés présenteront la méthodologie de chaque axe d'étude ainsi que leur résultat, discussion et conclusion.

## 5. CONNAISSANCES THEORIQUES

### 5.1. Historique

L'utilisation du tendon quadricipital remonte au début de la chirurgie de reconstruction du LCA dans les années 1970. En 1974, Mac Intosh[15] proposa une plastie de reconstruction intra et extra articulaire par un greffon prélevé au dépend de l'ensemble de l'appareil extenseur (image 1, d'après Kornblatt et al.[16]) . Ce dernier était continu et emportait successivement de distal en proximal : une baguette osseuse de la tubérosité tibiale antérieure, le tendon rotulien sur son tiers médian, le surtout patellaire et enfin le tendon quadricipital. Ce long transplant permettait à lui seul de réaliser d'une plastie mixte intra et extra articulaire.

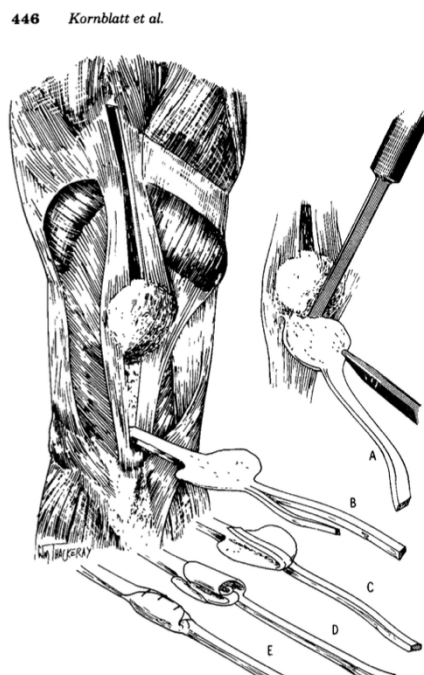


Image 1 : Greffe selon Mac Intosh d'après Kornblatt et al.

Cette technique initialement réalisée avec une fixation fémorale « over the top » sans tunnel osseux a été reprise par Marshall et al en 1979 avec réalisation d'un tunnel fémoral[17]. Cette procédure présente des suites post-opératoires et une rééducation difficile. Par conséquent, celle-ci ne s'est pas imposée comme une intervention de 1<sup>ère</sup> intention face aux greffons à plus faibles morbidités (tendons ischio-jambiers et tendon rotulien) développés

plus tard. Certains auteurs ont même déconseillé l'utilisation de ce greffon en première intention en raison des suites opératoires difficiles marquées par un fort déficit musculaire de l'appareil extenseur[18]. En parallèle des autres greffons, l'utilisation d'un greffon limité au tendon quadricipital avec une baguette osseuse a été décrite pour la première fois par BLAETH en 1984[19]. Il s'agissait alors d'une reconstruction à double faisceau qui fut de nouveau décrite par Sonnery-Cottet et Chambat [20] plus de 20 ans après. En 1995, Fulkerson et Langeland [21] recommandaient le tendon quadricipital comme alternative au tendon rotulien pour les autogreffes du LCA à simple faisceau, en particulier chez les patients jeunes et sportifs. Plus tard, STAUBLI publia 3 articles entre 1996 et 1999 [12, 22, 23] décrivant les caractéristiques morphologiques et les propriétés biomécaniques du tendon quadricipital comme compatibles à une autogreffe de reconstruction du LCA. Il faudra attendre CHEN et al.[24] en 1999 pour voir publiée la première série de reconstruction du LCA au TQ. Il s'agissait d'une série de 12 patients avec 15 à 24 mois de recul. CHEN et al. décrivaient un retour au sport à un niveau égal ou supérieur pour 10 patients sur 12 et concluait à une alternative raisonnable au tendon rotulien ou aux tendons ischio-jambiers. Ils proposèrent également le tendon quadricipital pour la reconstruction du ligament croisé postérieur à travers une seconde série[25].

Néanmoins, cette technique à priori prometteuse n'en fut pas pour autant populaire et son utilisation resta minoritaire face aux célèbres tendons rotuliens et ischio-jambiers. Au début des années 1990, la technique de Kenneth Jones (tendon rotulien) avait déjà été largement étudiée et popularisée ne laissant pas de place pour le développement d'une autre greffe prélevée au dépend de l'appareil extenseur. Ainsi durant toute cette période, l'utilisation du tendon quadricipital en première intention demeura une pratique confidentielle limitée à quelques équipes. Son indication principale était celle des chirurgies de reprise[26]. Van Eck et al.[27] dans une revue de littérature incluant des études publiées entre 1995 et 2009 estimaient à 2,5% l'utilisation du tendon quadricipital comme autogreffe de reconstruction du LCA.

Cependant, l'avènement de l'arthroscopie et l'augmentation du nombre de ligamentoplastie pratiquées (figure 1, page suivante) a permis un développement majeur des techniques chirurgicales et par conséquent l'essor de la recherche concernant les possibilités d'autogreffe. Malgré de très nombreuses études, aucune greffe classique n'a reçu le titre de « greffon idéal » puisque toutes présentent des inconvénients. Certains chirurgiens ont



envisagé obtenir à travers une autogreffe de tendon quadricipital les avantages du tendon rotulien et des tendons IJ en termes de qualité de greffe et de faible morbidité du prélèvement respectivement, sans les inconvénients inhérents à chaque technique. De plus, l'augmentation du nombre de reconstruction du LCA a logiquement fait augmenter le nombre de rupture itérative et donc de reprise chirurgicale. La problématique d'une 1<sup>ère</sup> ou d'une 2<sup>ème</sup> reprise soulève nécessairement celle de la greffe à utiliser.

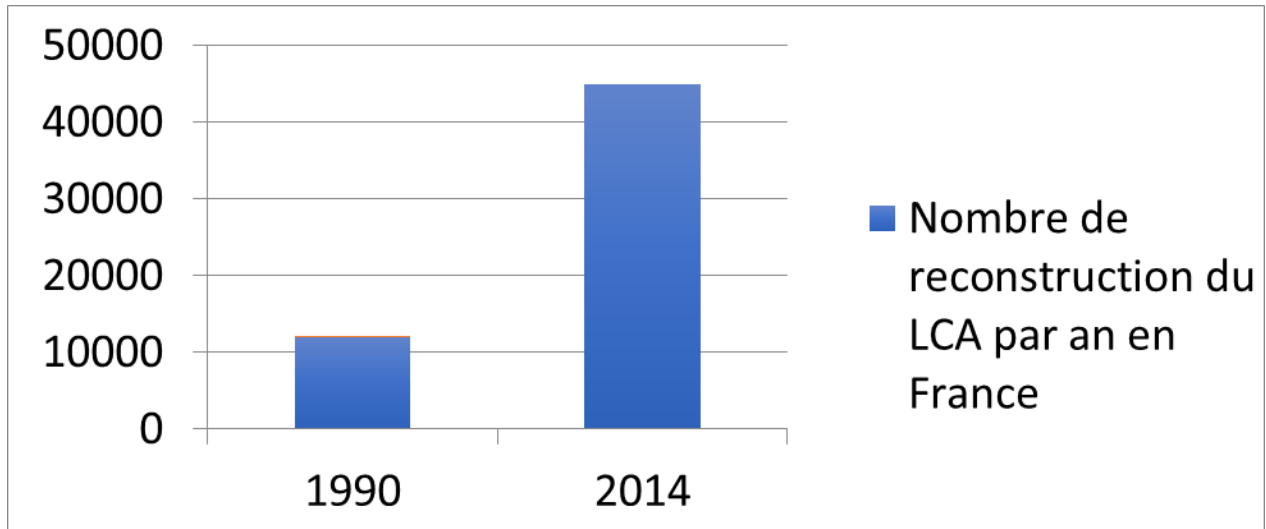


Figure 1 : Évolution du nombre de reconstruction du LCA en France[1, 28]

Les équipes chirurgicales ont ainsi été amenées à rechercher des greffons alternatifs aux greffons classiquement utilisés. Dans ce contexte, un regain d'intérêt pour celui que Van Eck et al.[27] ont baptisé « la greffe oubliée » s'est manifesté depuis le début des années 2010. Le taux estimé d'utilisation du TQ dans le monde pour les reconstructions du LCA était alors estimé entre de 2,5% et 10% selon les études[9, 29]. De nombreuses équipes ont ainsi publié sur le sujet avec des résultats confirmant la fiabilité et l'efficacité de cette technique. Enfin, certains auteurs prédisaient que l'utilisation du tendon quadricipital allait continuer d'augmenter avec le temps comme Lubowitz[30] en 2016 ou encore Xerogeanes[31] qui décrit le tendon quadricipital comme « la greffe du futur ». Cette technique continue effectivement de voir sa popularité croître avec une augmentation exponentielle du nombre de publications sur le sujet ces dernières années (figure 2, page suivante).

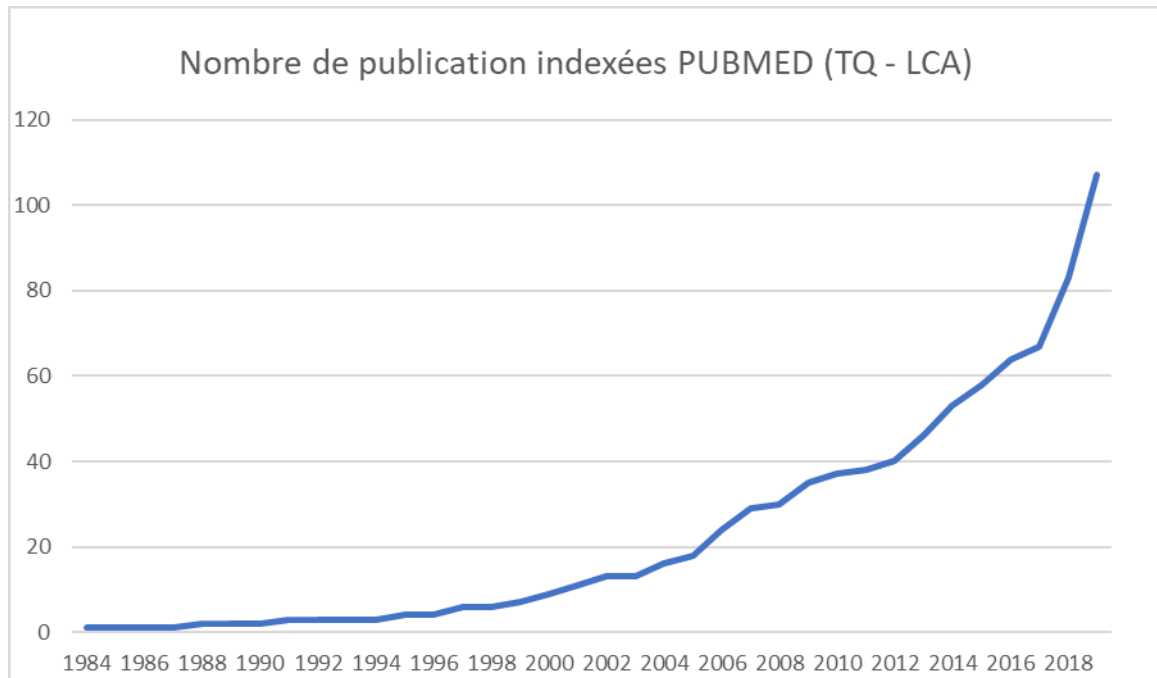


Figure 2 : Nombre de publications référencées pubmed. Mots clés de recherche : « quadriceps tendon » et « anterior cruciate ligament ».

Sous l'impulsion de différents chirurgiens ayant étudié et développé cette technique, un groupe d'intérêt pour le tendon quadricipital composé d'un panel d'experts a été créé ([www.iqti.org](http://www.iqti.org) : « International quadriceps tendon interest group »). Ce groupe organise des rencontres et contribue à diverses publications à travers ses membres. Une de leur dernière publication témoigne de l'essor actuel [32] (image 2):

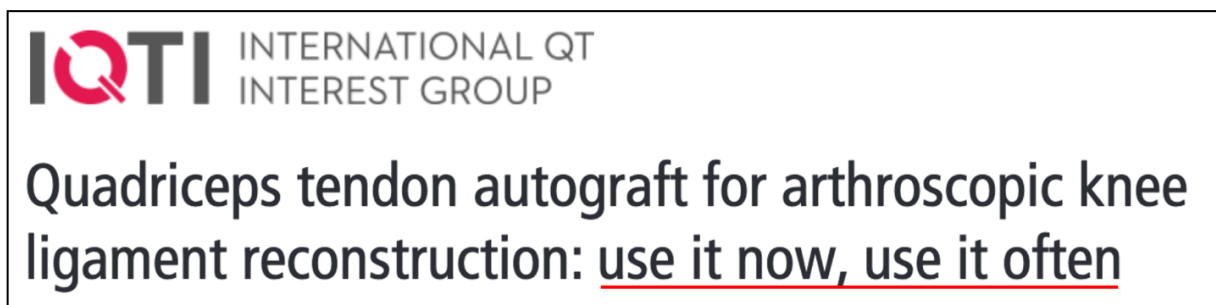


Image 2 : Publication de Sheehan et al.[32] co-signée par le « international quadriceps tendon interest group ».

## 5.2.Fondements scientifiques

### 5.2.1. Caractéristiques morphologiques

Les propriétés d'une autogreffe pour reconstruction du LCA doivent satisfaire des critères morphologiques et biomécaniques semblables à ceux du LCA natif pour prétendre en assumer la fonction. Une autogreffe doit également présenter une bonne capacité d'intégration osseuse.

#### 5.2.1.1. Morphologie du LCA

Les études cadavériques ont permis de décrire les caractéristiques morphologiques du LCA : il mesure en moyenne 35mm de long en intra articulaire avec un diamètre variant de 7 à 12mm et une surface de section de 35 à 40mm<sup>2</sup>[33, 34]. Ces mêmes valeurs sont observées en étude IRM du LCA normal[35]. Ses mensurations dépendent de la taille de chaque individu et sont donc volontiers plus importantes chez l'homme que chez la femme. Il a longtemps été décrit comme un ligament à 2 faisceaux, mais ce concept a récemment été remis en cause par les travaux de Smigielski et al. [36] en 2016 qui décrivent le LCA comme un « ruban plat » d'environ 9 à 10mm de largeur et 5mm d'épaisseur. Ces résultats ont ensuite été confirmés par d'autres études[33].

#### 5.2.1.2. Morphologie du TQ

Les études morphologiques du tendon quadricipital ont montré que le prélèvement d'un greffon aux mensurations adaptées à la reconstruction du LCA est parfaitement possible. En effet, les études cadavériques décrivent le tendon quadricipital comme une structure multi laminaire mesurant en moyenne 8mm d'épaisseur, 27mm de largeur et 85mm de longueur[9, 10, 22] (images 3 et 4 page suivante). Il est ainsi possible de prélever un transplant de 7 à 8cm de long, 10mm de large et 6 à 7mm d'épaisseur. Une baguette osseuse emportant l'enthèse distale du tendon peut être prélevée au dépend du pôle proximal de la rotule. L'épaisseur est variable selon le respect ou non lors du prélèvement du feuillet profond du tendon quadricipital (correspondant aux fibres du tendon du muscle droit antérieur).

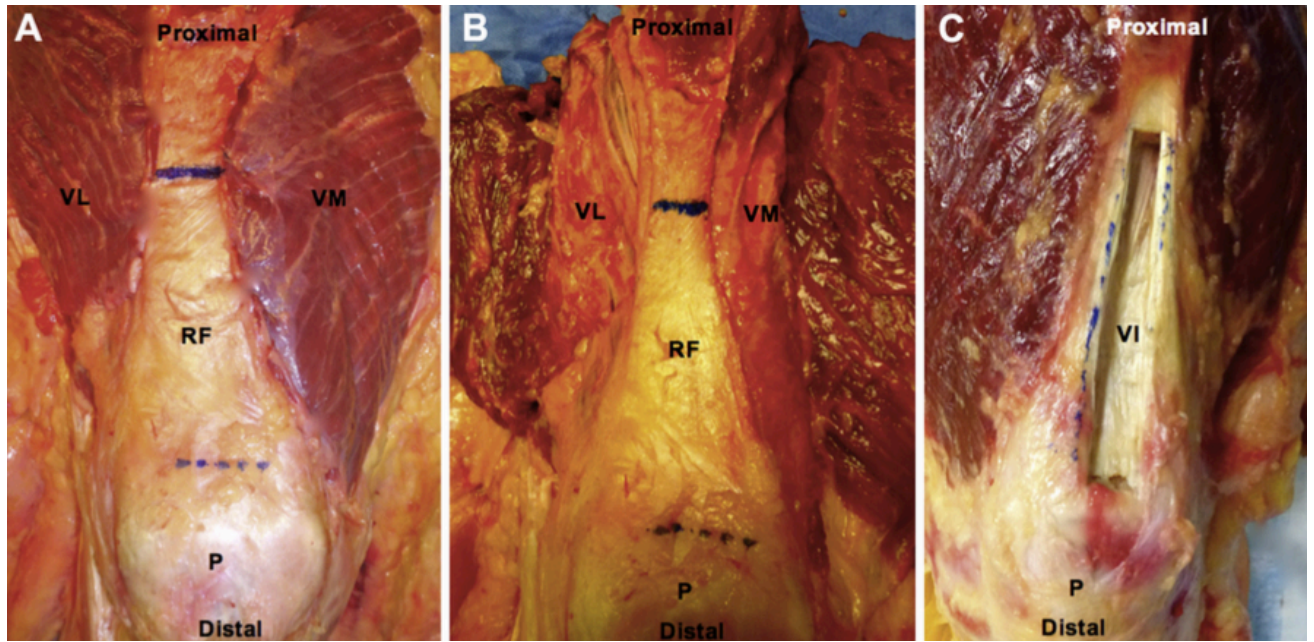


Image 3 : Dissection cadavérique du muscle quadriceps et de son tendon, d'après Slone et al.[9]

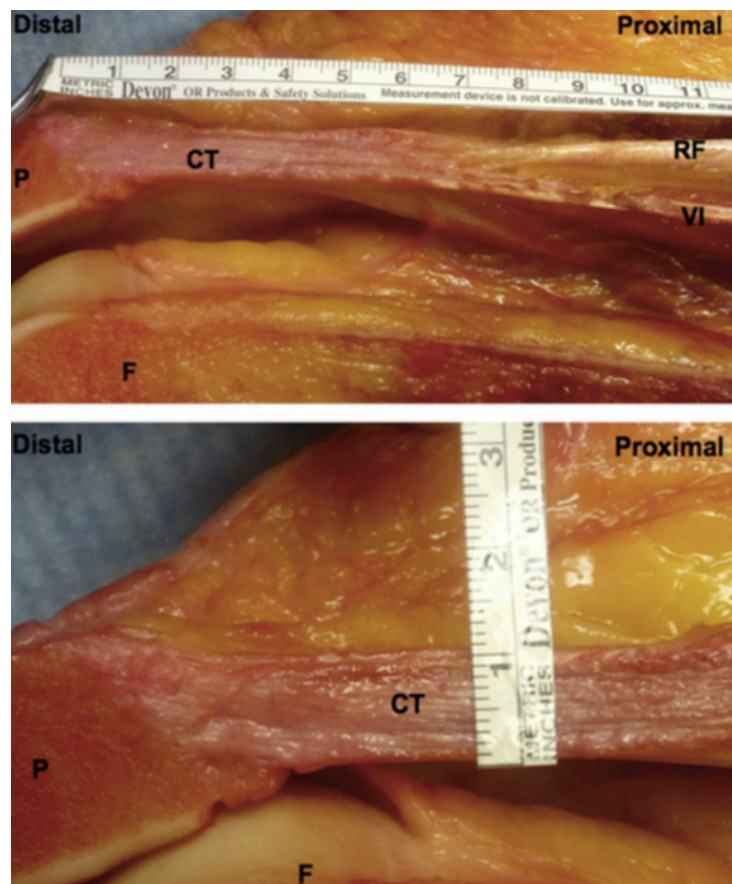
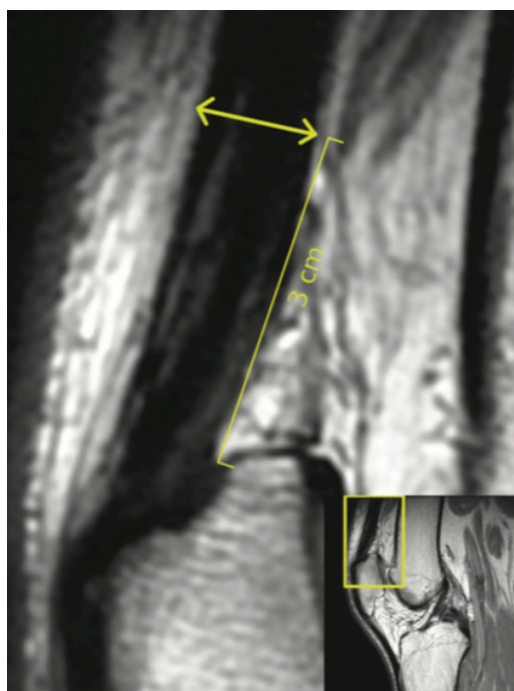


Image 4 : Coupe cadavérique sagittale du TQ, d'après Slone et al.[9]

Les mensurations observées sur cadavre ont été confirmées chez le sujet jeune en âge de bénéficier d'une reconstruction du LCA par étude IRM (image 5). Xerogenaes et al. [37] ont ainsi étudié 30 IRM d'hommes et 30 IRM de femmes âgés en moyenne de 35 ans. Le tendon quadricipital présente dans cette étude une longueur et un volume reproductibles et prédictibles selon la taille, le poids et le sexe du patient.



*Image 5 : IRM de genou, reconstruction sagittale du tendon quadricipital selon Xerogenaes et al.*

Ces données ont été confirmées chez l'enfant à travers une série de 151 patients âgés de 4 à 16 ans pour qui une étude échographique de la morphologie du TQ a été réalisée. Dans cette série, le poids, la taille et l'âge étaient corrélés à l'épaisseur et à la longueur du tendon quadricipital[38].

### **5.2.2. Propriétés biomécaniques et biologiques**

Les propriétés de résistance mécanique d'une structure ligamentaire se définissent par deux critères. La charge à la rupture est exprimée en Newton et correspond à la force nécessaire à la rupture du ligament. Le deuxième critère correspond à la rigidité : c'est la force à appliquer (en Newton) pour obtenir l'étirement de la structure d'une longueur définie (exprimé en Newton / unité de longueur). L'évaluation biomécanique du LCA natif montre

une rupture à la charge d'environ 2000N et une rigidité d'environ  $250\text{N}\cdot\text{mm}^{-1}$  selon la première étude réalisée par Woo et al.[39].

Les études biomécaniques ont rapporté des niveaux de résistance suffisants pour légitimer l'utilisation du tendon quadricipital. Urchek et Karas[40] ont mesuré une charge à la rupture de 2119N et une rigidité de  $809\text{N}\cdot\text{mm}^{-1}$  lors d'une étude cadavérique sur 6 sujets anatomiques âgés en moyenne de 61 ans. On peut aisément envisager que ces valeurs soient supérieures chez le sujet jeune en considérant la dégénérescence des tissus évalués lors cette étude (tissus de cadavre et âge avancé). D'autres études ont comparé les propriétés mécaniques des autogreffes au TQ par rapport aux autres autogreffes considérées comme Gold Standard et recommandées par la HAS[2]. Ainsi la résistance du TQ serait supérieure à celle du tendon rotulien pour Harris et al.[10] et similaire à celle des IJ à 6 faisceaux selon Urchek et Karas[40]. Il est donc parfaitement légitime de proposer le TQ comme alternative aux greffes classiques en termes de résistance mécanique.

La capacité d'intégration d'un tissu tendineux au sein d'os spongieux a été largement démontrée par l'ensemble des études sur les plasties aux IJ. Il en est de même pour l'intégration du bloc osseux semblable à la technique au tendon rotulien. Les capacités d'intégration osseuse du TQ comme autogreffe du LCA sont donc évidentes et ne justifient pas de nouvelles études comme cela a été fait pour le TR[41] et les tendons IJ[42]. L'intégration du TQ a néanmoins été étudiée en IRM. Emerson et al.[43] décrivent, après reconstruction du LCA par TQ, un hyper signal de « ligamentisation » et revascularisation présent en post opératoire et disparaissant après le 12<sup>ème</sup> mois, similaire aux observations IRM réalisées pour les greffes aux IJ. Ma et al.[44] proposent, dans une étude IRM à 6 mois post opératoire, de comparer l'intégration des greffons entre un groupe de greffes au TQ avec baguette osseuse au fémur et un groupe de greffes aux IJ fixés par endo bouton. Le critère de jugement est l'hyper signal localisé entre l'os et la greffe au sein des tunnels : plus cet hyper signal est présent moins le processus d'intégration de la greffe est avancé. Dans cette étude[44] les auteurs concluent à une intégration supérieure de la baguette osseuse du TQ par rapport aux IJ côté fémoral, comme cela pouvait être attendu. Côté tibial l'hyper signal était similaire dans les deux groupes témoignant de processus d'intégration comparables.

Les capacités d'intégration osseuse d'une greffe de TQ avec ou sans baguette osseuse est donc certaine.

## 5.3. Technique opératoire

Nous détaillerons dans cette partie les techniques opératoires utilisées pour l'ensemble des patients composant la cohorte de l'étude clinique.

### 5.3.1. Installation

Sous rachi anesthésie ou anesthésie générale, le patient est installé en décubitus dorsal avec un garrot pneumatique placé en racine de cuisse. Une cale latérale permet de bloquer la rotation externe de hanche et une cale distale permet de maintenir le pied afin d'obtenir un genou fléchi à 90°. Une contre cale est placée contre le grand trochanter controlatéral afin d'éviter toute déviation du bassin dans le plan frontal lors de la mise en contrainte du genou opéré en valgus. Avant l'intervention et une fois l'anesthésie installée, le ressaut rotatoire est testé en valgus/rotation interne (absent, ébauche, franc, explosif) ainsi que la translation tibiale antérieure au KT1000. L'ensemble de ces données sont consignées dans un cahier d'observation.

Après préparation cutanée stérile, les repères cutanés sont dessinés au stylo dermographique. Sont ainsi repérés : la tubérosité tibiale antérieure, le tendon patellaire, la rotule et l'interligne fémoro-tibiale.

L'ensemble du matériel d'arthroscopie est installé et prêt à être utilisé : chemise et trocart introducteur, arthroscope, arthropompe, couteau de shaver motorisé, pinces arthroscopiques et suture méniscales au besoin.

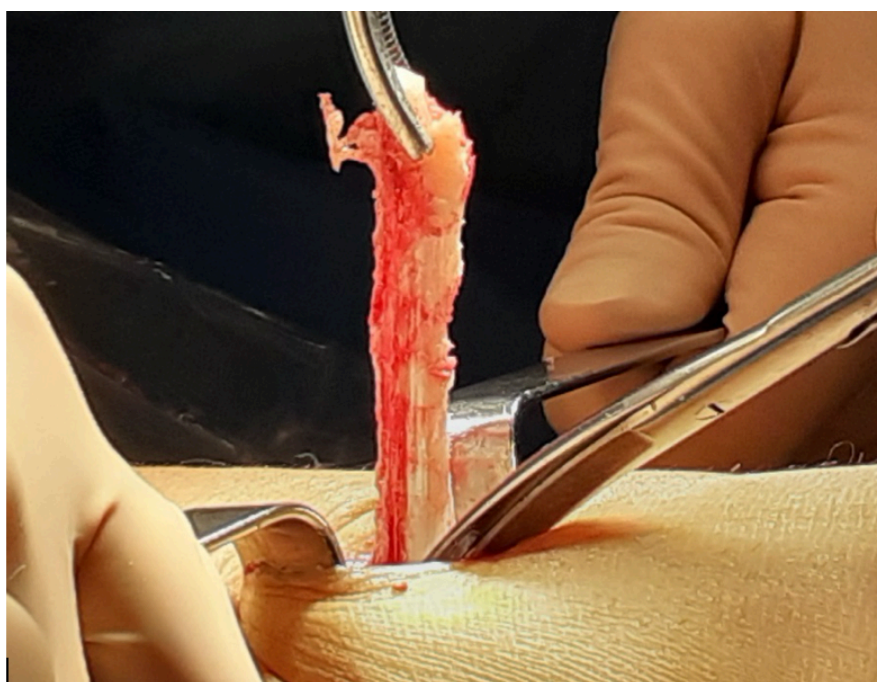
### 5.3.2. Technique TQ

#### 5.3.2.1. Prélèvement

Le premier temps opératoire est le prélèvement du greffon. Il est pratiqué une incision cutanée de 3 à 4 cm de long partant du pôle proximal de la rotule vers la partie proximale du tendon. Le tissu sous cutané est incisé en prenant soin d'effectuer les hémostases des vaisseaux sanguins superficiels jusqu'à exposition du tendon rotulien et du pôle proximal de la rotule. L'élasticité de la peau et la mobilisation du genou en flexion / extension permet,



grâce à un jeu d'écarteur, d'exposer à travers une fenêtre de travail mobile le tendon quadricipital de son extrémité crâniale jusqu'au pôle proximal de la patella. L'incision du tendon quadricipital se fait de proximal en distal à 5mm du bord médial du vaste interne de manière à prélever sur la zone la plus épaisse[10] et de pouvoir suturer les deux berges du site de prélèvement en zone tendon-tendon. Pour cette étape, nous utilisons un bistouri bi-lame de 10mm de largeur montée avec 2 lames de 23. L'incision du tendon rejoint le pôle supérieur de la rotule en son centre. Une baguette osseuse mesurant 10 à 15mm de long et 10mm de large est alors dessinée au bistouri électrique puis découpée à la scie oscillante puis libérée aux ciseaux à frapper. La baguette osseuse est alors maintenue par une pince et le greffon est prélevé en détachant sa face profonde à la lame de 10 ou aux ciseaux (image 6) en prenant de soin de respecter le feuillet profond du TQ correspondant à l'insertion du muscle vaste intermédiaire. Le greffon est ensuite libéré de son attache proximale une fois la longueur souhaitée obtenue.



*Image 6 : Prélèvement du tendon quadricipital. La baguette osseuse est maintenue par une pince (haut de l'image)*



### 5.3.2.2. Préparation de la greffe

La greffe est alors préparée avec un faufilage de sa partie tendineuse au fil tressé non résorbable décimale 2 (POLYTRESSE®) qui servira de brins tracteurs. Un tunnel à la mèche de 2mm est réalisé dans la baguette osseuse afin d'y passer un fil tracteur (POLYSORB® Décimale 2) avec également 4 à 6 passages intra tendineux. Le diamètre du greffon est alors mesuré afin de déterminer la taille des tunnels à réaliser. Le tendon quadricipital est refermé par plusieurs points de fil tressé résorbable décimale 2 (POLYSORB®) (image 7, page suivante).



Image 7 : Greffon de TQ préparé. Flèche noir : extrémité tendineuse. Flèche blanche : baguette osseuse

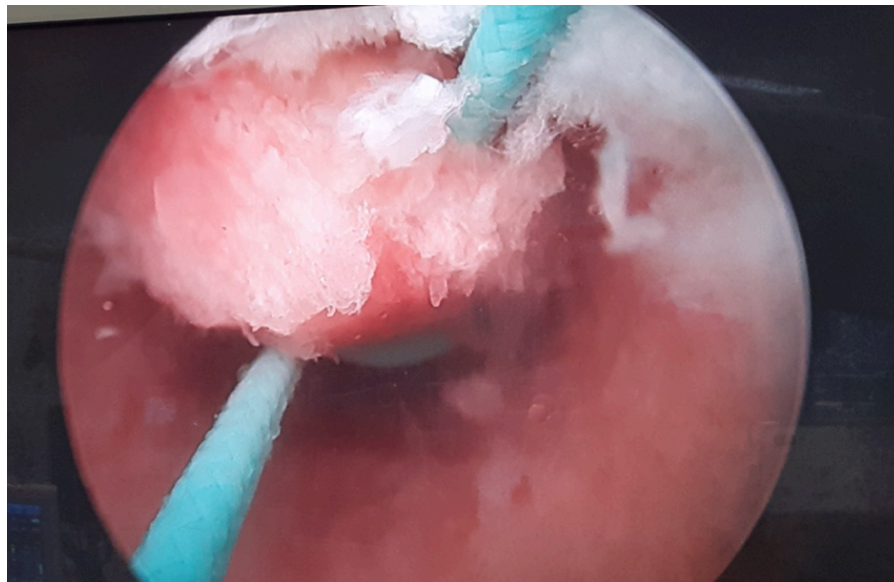
### 5.3.2.3. Temps arthroscopique et fixation

Une voie d'abord antéro latérale dans le « soft point » permet de pénétrer la cavité articulaire et de réaliser la voie d'abord antéro médiale sous contrôle de la vue. L'exploration intra articulaire examine l'atteinte éventuelle des surfaces cartilagineuses fémoro-patellaires, fémoro-tibiales internes et fémoro-tibiales externes. L'intégrité des ménisques est vérifiée à la palpation avec au besoin un passage dans le compartiment postéro médial afin de mettre en évidence une lésion de l'insertion postérieure du ménisque externe. Les lésions méniscales et cartilagineuses sont traitées au besoin, immédiatement après la phase d'exploration intra articulaire. Les fibres restantes du LCA rompu sont réséquées du condyle

fémoral externe au couteau de shaver motorisé afin de bien visualiser la zone d'orifice du tunnel fémoral. Celui-ci est située au tiers postérieur de la ligne de Blumenstat et à la moitié supérieure de la face interne du condyle externe.

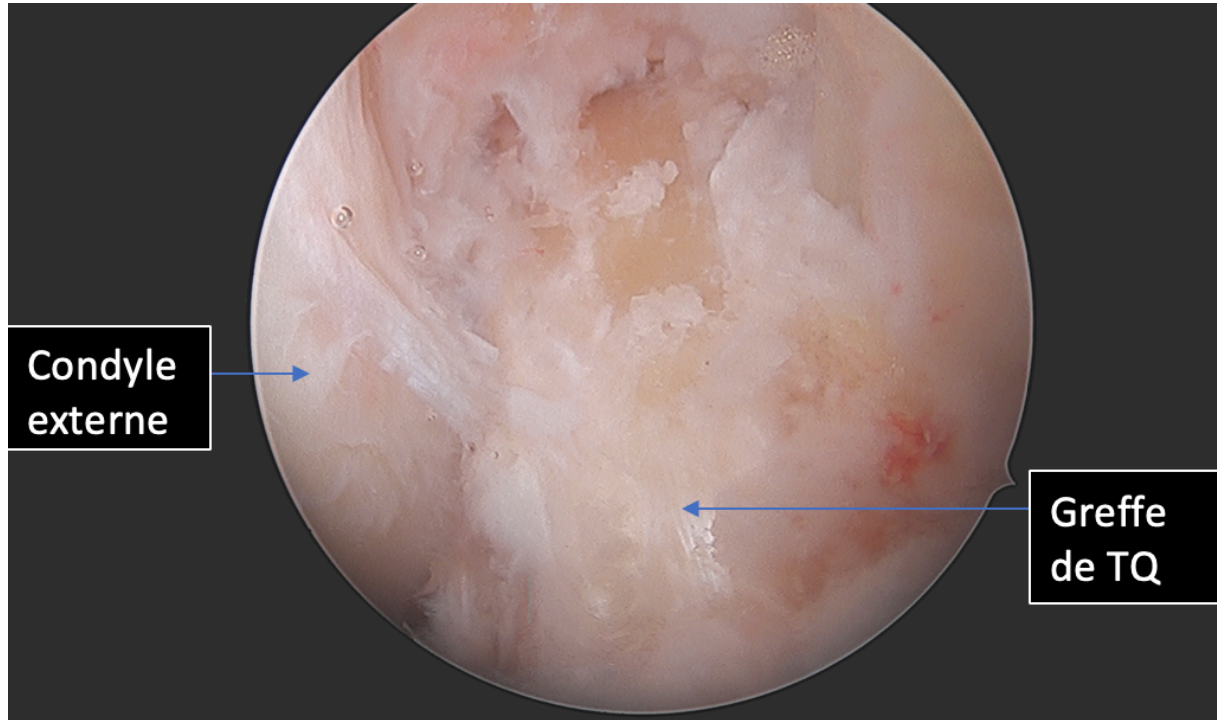
L'orifice d'abouchement extra articulaire du tunnel fémoral se situe 1 à 2cm en proximal de l'épicondyle latéral où une incision cutanée longitudinale d'environ 1,5cm est pratiquée. Le tunnel est réalisé par une visée out-in et méchage sur broche de diamètre adapté au calibre de la greffe. Au tibia, le pied du LCA est préservé au maximum et le tunnel tibial est réalisé en visée out-in (incision 1,5cm à la face antéro médiale du tibia, viseur angulé à 55°) avec abouchement du tunnel dans le pied du LCA rompu. L'os spongieux collecté lors du forage du tunnel tibial est conservé et sera utilisé en fin d'intervention pour greffer le site de prélèvement de la baguette rotulienne. Au tibia comme au fémur, il s'agit de tunnels complets.

Les fils tracteurs de l'extrémité tendineuse du greffon sont passés par un passe-fil de distal en proximal afin de faire monter la greffe dans sa position intra articulaire avec la baguette osseuse dans le tunnel tibial (image 8) et l'extrémité tendineuse de la greffe dans le tunnel fémoral. La greffe est fixée définitivement par une vis d'interférence (image 10, page suivante) dans chaque tunnel avec le genou fléchi à 30° en réduisant le tiroir antérieur.

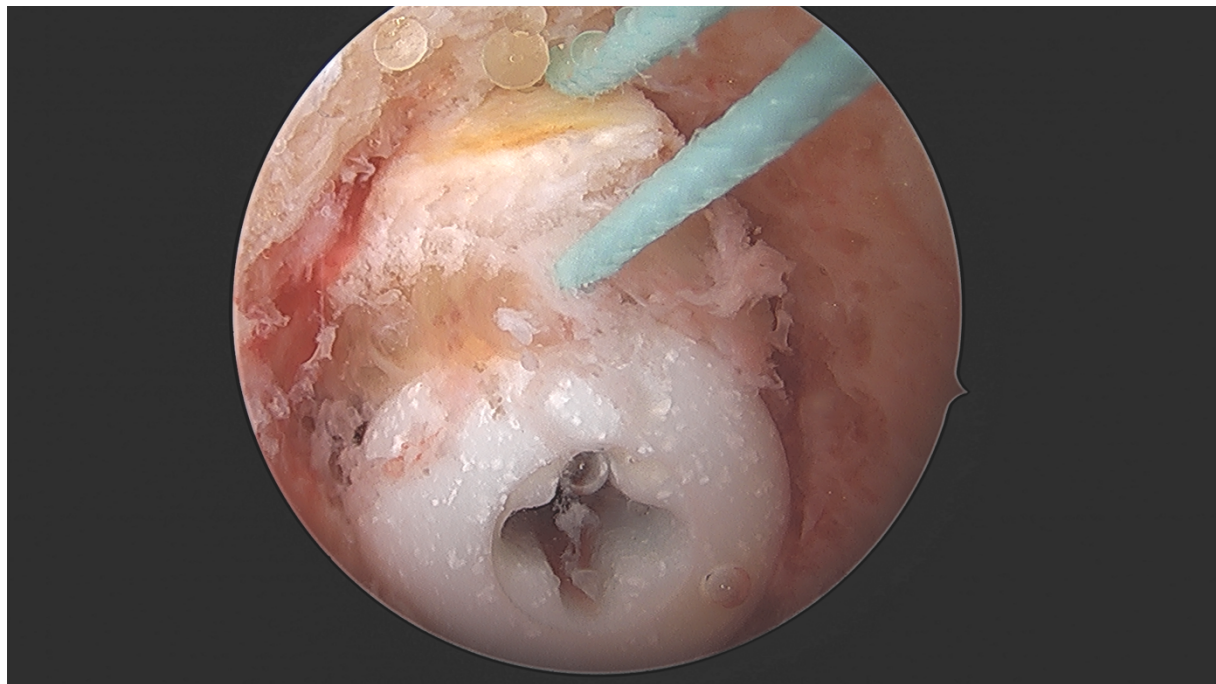


*Image 8 : Visualisation en vidéo scolie de la position de la baguette osseuse dans le tunnel tibial*

Un contrôle intra articulaire (image 9) permet de vérifier le bon positionnement de la greffe ainsi que sa tension. L'arthroscope est placé dans les tunnels osseux afin de s'assurer que les vis d'interférence compriment bien le greffon dans le tunnel fémoral et la baguette osseuse dans le tunnel tibial (image 10)



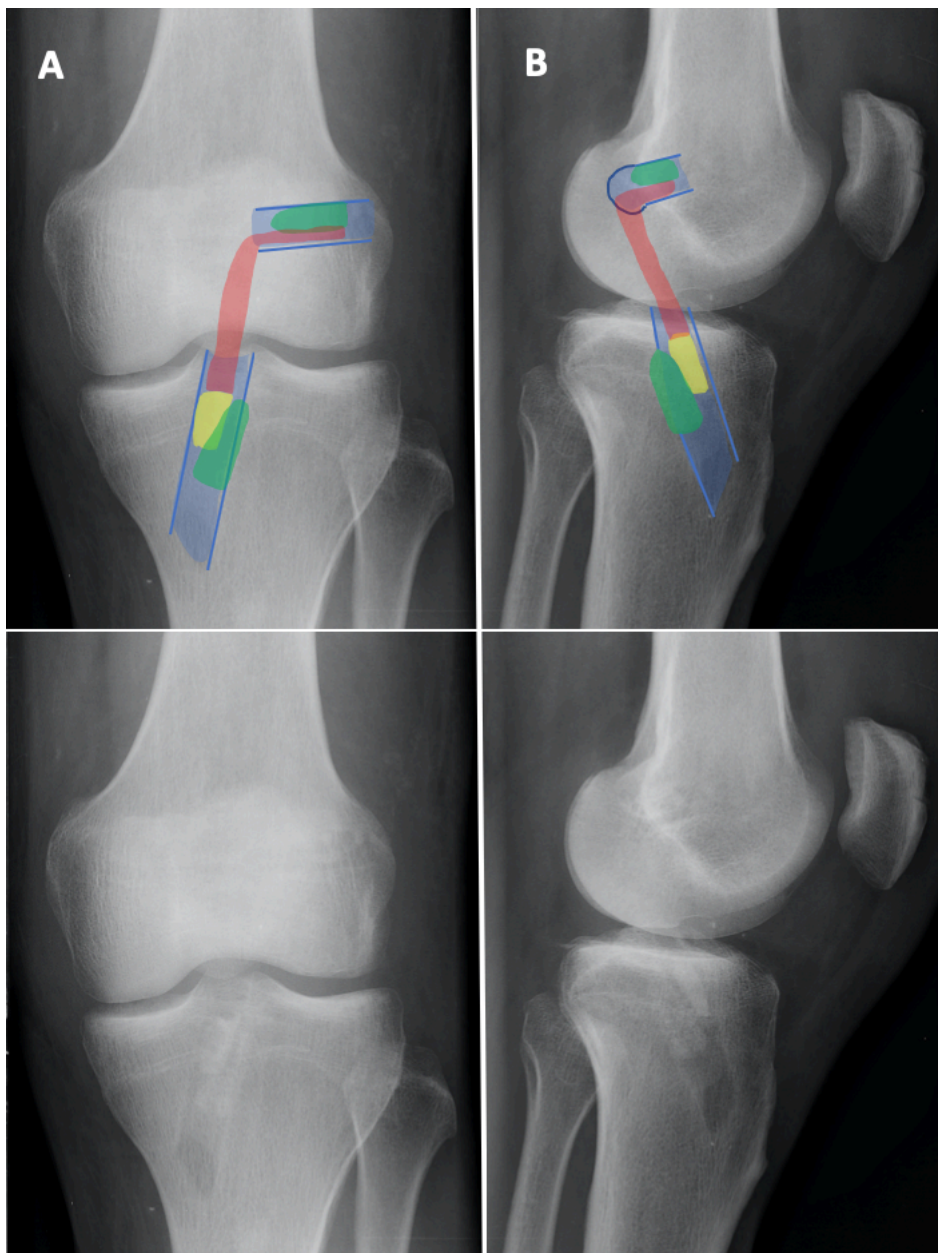
*Image 9 : Vue arthroscopique de la greffe de TQ en fin d'intervention*



*Image 10 : Vue en vidéo scopie de la position de la vis et de la baguette osseuse au tunnel tibial après fixation*



Le genou est testé afin de s'assurer de la disparition de la laxité antérieure anormale au test de Lachmann et de la disparition d'un éventuel ressaut rotatoire pré opératoire. Aucune plastie extra articulaire antéro latérale n'est réalisée lors de cette procédure. La fermeture est effectuée plan par plan par des surjets intradermiques et des points séparés au MONOSYN® 3-0. Une radiographie de contrôle post opératoire (image 11) permet de contrôler la position des tunnels et de la greffe.



*Image 11 : Contrôle post opératoire radiographique. A : incidence de face. B : incidence de profil. En bleu : tunnels fémoral et tibial. En jaune : baguette osseuse. En vert : vis d'interférence. En rouge : position intra articulaire de la greffe.*

### 5.3.3. Technique DT4

Nous avons utilisé la technique décrite par Colombet et Gravelleau[45]. Pour la procédure au DT4 seul le prélèvement de la greffe et sa fixation diffèrent de la technique au TQ. L'installation et le temps arthroscopique sont strictement identiques à la procédure au TQ avec pour la technique DT4, le méchage du tunnel tibial via l'abord chirurgical du prélèvement de la greffe.

#### 5.3.3.1. Prélèvement

Une incision cutanée verticale de 4cm est réalisée en regard des tendons de la patte d'oie qui sont palpés à travers la peau à la face antéro-interne du tibia. En cas de palpation impossible, l'incision est centrée en regard d'un repère situé à 2 travers de doigts distal et 2 travers de doigt médial de la tubérosité tibiale antérieure. Le tissu graisseux sous cutané est disséqué afin d'exposer l'aponévrose de tendon du muscle Sartorius. Celle-ci est incisée dans l'axe des tendons et permet d'exposer le plan entre le ligament collatéral médial et les tendons de la patte d'oie. Le tendon du muscle demi tendineux est alors repéré sous le tendon du muscle droit interne. En cas de doute, les tendons droit interne et demi tendineux sont tous deux repérés et comparés, le demi tendineux correspondant au tendon de plus gros diamètre. Le tendon du demi tendineux est alors libéré de ses vinculae généralement au nombre de 2 à 3 et prélevé sur toute sa longueur (image 12). On obtient ainsi une greffe d'environ 25cm de long qui est libéré de son insertion tibiale.



*Image 12 : Prélèvement du tendon du muscle demi - tendineux*

### 5.3.3.2. Préparation de la greffe

La greffe est préparée pour obtenir un greffon de 4 brins, de 6cm de long et passé dans un endo bouton à chaque extrémité (PULLUP XL – SBM). Deux points de suture au POLYSORB décimale 2 sont réalisés à chaque extrémité afin de maintenir les 4 brins solidaires. Un dernier point situé au centre du transplant servira de repère pour le positionnement intra articulaire de la greffe. La greffe est pré tendue ce qui augmente sa longueur d'environ 1cm.

### 5.3.3.3. Fixation

La greffe est montée en intra articulaire par le tunnel tibial, la bonne application des endo boutons sur les corticales tibiale et fémorale est vérifiée sous contrôle de la vue au tibia et à la palpation au fémur. La position est contrôlée grâce au repère situé au milieu du transplant de façon à avoir autant de greffe dans les deux tunnels osseux. La greffe est mise en tension jusqu'à obtention d'une rigidité satisfaisante à la palpation intra articulaire. Le testing clinique et la fermeture étaient réalisés de la même manière que pour la procédure au TQ. Une radiographie de contrôle post opératoire est systématiquement pratiquée (image 13, page suivante).

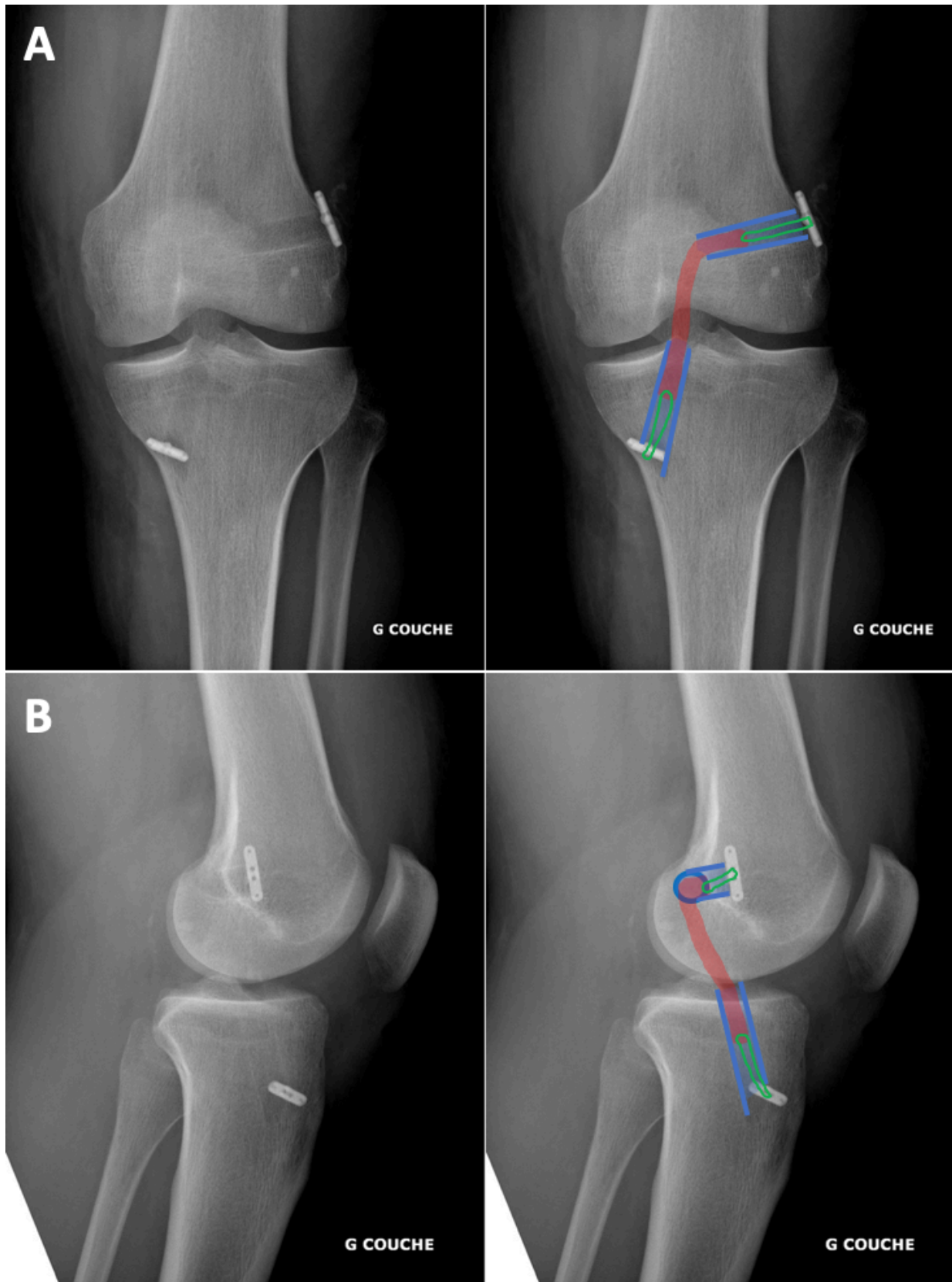


Image 13 : Contrôle radiographique post opératoire DT4. A : incidence de face. B : incidence de profil. En bleu : tunnels osseux. En vert : système de fixation ajustable. En rouge : position intra articulaire de la greffe.

## 5.4. Variations/alternatives techniques

De nombreuses variations techniques ont été proposées et étudiées concernant les reconstructions du LCA au tendon quadricipital. La discussion des différentes options se fait principalement autour du mode de prélèvement de la greffe, de son mode de fixation et de l'ajout éventuel d'une plastie extra articulaire antéro latérale.

### 5.4.1. Prélèvement

Si l'ensemble des auteurs s'accordent à dire qu'il convient de prélever un greffon de 8cm de long, 10mm de large et environ 7 mm d'épaisseur, les techniques pour y parvenir sont multiples et controversées.

#### 5.4.1.1. Baguette osseuse

La prise ou non d'une baguette osseuse fait débat entre les auteurs soutenant l'intérêt d'une fixation os-os au tibia ou au fémur et les défenseurs de la greffe courte « all soft ». L'intérêt de la baguette osseuse est donc d'avoir une fixation os-os au tibia où la qualité osseuse est un facteur limitant de fixation quelle que soit la technique utilisée. Il est largement admis que la fixation os - os est celle qui offre l'ostéo-intégration la plus rapide et la plus efficace pour les reconstructions du LCA[46]. De plus, la baguette osseuse permet d'allonger le transplant de 1 à 2 cm et ainsi d'avoir plus de tendon dans l'autre tunnel osseux. La fixation apparaît ainsi plus sereine si une vis d'interférence est utilisée avec une surface de contact vis – tendon la plus longue possible. Enfin certains auteurs stipulent que la large insertion rectangulaire du TQ sur la baguette osseuse permet une meilleure tension des fibres postéro-latérales et ainsi un meilleur contrôle de la laxité en flexion par rapport à une insertion de greffe ronde[47, 48].

Néanmoins il existe une certaine morbidité liée au prélèvement de cette baguette, rare mais lourde de conséquence : la fracture de rotule. Dans la série de Lee et al.[49], 2 cas de fracture sagittale per opératoire de rotule ont été décrits sur une série de 247 patients. Toutes deux ont nécessité un vissage per opératoire et le résultat fonctionnel à distance apparaissait moins bon que dans le reste de la série. Il est intéressant de remarquer que



dans cette série, les auteurs décrivaient une technique de prélèvement avec une baguette relativement volumineuse de 10mm de marge, 7mm d'épaisseur et 25mm de longueur ce qui est supérieur à la plupart des autres séries (longueur 15 à 20mm). Néanmoins, dans les séries plus larges, cette complication survient dans seulement 0,3% des cas [32]. Il s'agit du même ordre de grandeur que pour la technique au TR (0,1%)[32]. Ainsi il semble justifiable de prélever une baguette osseuse et de bénéficier d'une fixation os-os tout en limitant le risque de complication en réduisant la taille de la baguette à 15mm de long, 10mm de large et ne dépassant pas 30% de l'épaisseur de la rotule comme recommandé par Sheehan et al.[32] Aucune étude comparative de bon niveau de preuve n'existe à ce jour entre une technique « all soft » et une technique avec baguette osseuse. Néanmoins les résultats des différentes séries sont parfaitement similaires pour les deux techniques.

#### 5.4.1.2. Épaisseur du prélèvement

Concernant l'épaisseur du prélèvement en plein corps tendineux, deux options sont possibles : soit le greffon est prélevé en emportant toute l'épaisseur du TQ, soit le feuillet profond correspondant au vaste intermédiaire est respecté. Slullitel et al.[50] proposent de prendre toute l'épaisseur du greffon pour plusieurs raisons. Premièrement parce que cela est facile techniquement et qu'il n'y a pas de risque d'effectuer de dissection intra tendineuse aléatoire pouvant aboutir à un greffon de calibre discontinu et potentiellement trop fin. De plus, un greffon de plus gros diamètre permet d'en augmenter sa résistance. Enfin, prélever toute l'épaisseur du tendon permet d'obtenir un diamètre élevé et surtout constant sur toute la longueur du transplant. Cela permet de limiter les disparités de calibre entre le tunnel osseux et la greffe et de réduire le risque d'élargissement secondaire des tunnels et de défaut d'intégration. En effet, un greffon de calibre insuffisant ou irrégulier autorise le passage de liquide synovial au sein des tunnels. Ce dernier étant chargé de cytokines inflammatoires, une réaction de résorption osseuse limitant l'intégration du transplant se produit et aboutit, à terme, à l'élargissement des tunnels[51, 52].

Cependant, le prélèvement sur toute l'épaisseur crée une importante effraction articulaire qu'il est difficile de suturer de manière étanche par la suite. Le temps chirurgical arthroscopique se trouve ainsi perturbé par une fuite du liquide d'irrigation au niveau du tendon quadricipital rendant le maintien de la pression intra articulaire plus difficile. Cette

fuite est en elle-même un désagrément puisque qu'elle vient mouiller de façon importante l'ensemble du champ opératoire et favorise les saignements par diminution de la pression intra articulaire du liquide d'irrigation. Le confort chirurgical lors du temps arthroscopique fait donc partie des arguments pour respecter le feuillet profond du TQ. Un greffon de trop gros peut également s'avérer difficile à positionner dans les tunnels osseux ou nécessiter d'en élargir le diamètre.

Les études biomécaniques[10] ont montré qu'un prélèvement de 7mm d'épaisseur avait une résistance suffisante et qu'un greffon prenant systématiquement toute l'épaisseur du TQ aurait tendance à sur dimensionner la taille de greffe réellement nécessaire selon Offerhaus et al.[53]. De plus, la courbe d'apprentissage pour réaliser ce prélèvement sans risque de dissection intra tendineuse incontrôlée est relativement courte dans notre expérience (<10 interventions) et l'erreur classique du chirurgien junior est représentée par le prélèvement d'un greffon trop épais avec brèche intra articulaire plutôt que par un prélèvement trop fin.

Se pose également la question de la résistance du TQ après prélèvement. Le respect du feuillet profond inséré à la rotule augmente-t-il la résistance mécanique du TQ en post opératoire par rapport à un prélèvement sur toute l'épaisseur du TQ ? Il n'existe aucune étude biomécanique ayant comparé ces deux modes de prélèvement. Néanmoins la rupture du TQ après prélèvement semble être une complication rarissime voire inexistante puisqu'elle n'a été décrite qu'une seule fois dans la littérature par Pandey et al.[54]. Il s'agissait d'un patient victime d'un violent traumatisme du genou (en sautant d'un train) 10 ans après le prélèvement du TQ dans un contexte de reconstruction multi ligamentaire du genou. Enfin, Kanakamedala et al.[55] proposent une revue de la littérature comparant, à 42 mois de recul, 615 patients ayant bénéficié d'une ligamentoplastie au TQ avec prélèvement de toute l'épaisseur du TQ à 604 patients avec un prélèvement partiel. Les auteurs ne mettent en évidence aucune différence en termes de score fonctionnel et de rupture itérative.

Tout argument pris en compte, il nous semble raisonnable de préférer un prélèvement partiel de l'épaisseur du TQ respectant son feuillet profond.

#### 5.4.1.3. Ciel ouvert ou percutané

Les techniques de prélèvement à ciel ouvert dites mini invasives permettent de prélever le greffon à travers une incision supra patellaire médiane pouvant être réduite à 3 cm. En jouant avec la flexion / extension du genou et l'élasticité de la peau, l'exposition à travers la fenêtre de travail est possible du pôle proximal de la rotule jusqu'à l'extrémité proximale du TQ. D'autres auteurs ont proposé un prélèvement percutané en s'aidant d'un stripper[56–58]. L'intérêt des techniques percutanées est de diminuer encore la taille de l'incision (environ 2cm de long) et de ne pas être limité par l'exposition pour le geste de prélèvement du greffon. L'inconvénient majeur réside dans l'impossibilité de suturer la perte de substance du tendon quadricipital après le prélèvement. Slone et al.[57] proposent une technique originale avec une assistance endoscopique au prélèvement. Après incision cutanée et excision du tissu sous cutané, un plan de décollement est réalisé de manière à bien individualiser le tendon quadricipital des tissus adjacents. L'arthroscope est alors introduit et permet la visualisation directe du tendon. L'arthroscope est ensuite poussé jusqu'à l'extrémité proximale du tendon qui est repérée et marquée à la peau par trans luminescence (image 14, page suivante). L'opérateur peut ainsi mesurer la longueur du TQ et s'assurer d'obtenir un greffon de morphologie adéquate. La partie distale de la greffe est alors prélevée et fafilée avant d'être passée dans un stripper qui servira au prélèvement du reste de la greffe. Le repère cutané proximal guide le geste de « stripping » du chirurgien en indiquant la direction de la partie proximale du TQ. On évite ainsi tout risque de greffon trop court avec un geste de prélèvement se dirigeant dans le corps musculaire du vaste interne ou du vaste externe. Les techniques de prélèvement à ciel ouvert versus per cutané n'ont pas encore fait l'objet d'étude comparative. Néanmoins les différentes séries utilisant l'une et l'autre des méthodes rapportent des résultats similaires[31, 59] avec une morbidité du site de prélèvement extrêmement faible.



*Image 14 : Prélèvement du TQ percutané. Repérage de la partie proximale du tendon par transilluminescence endoscopique. D'après Slone et al.[58]*

L'intérêt de la fermeture chirurgicale du TQ fraîchement prélevé sur sa résistance immédiate et ultérieure n'a pas été étudié à ce jour. Comme mentionné ci-dessus, la rupture du tendon quadricipital post prélèvement semble être une complication extrêmement rare. Une étude biomécanique par traction sur l'appareil extenseur (tendon rotulien ou rotule) après prélèvement d'un greffon au sein du TQ avec suture de la zone de prélèvement versus pas de suture permettrait de répondre quant à l'intérêt biomécanique de réaliser cette suture. La rotule risquerait alors d'être le point faible en cas d'étude cadavérique sur des sujets anatomiques d'âge avancé. Chez eux, la fracture de rotule surviendrait probablement avant d'observer de rupture du TQ.

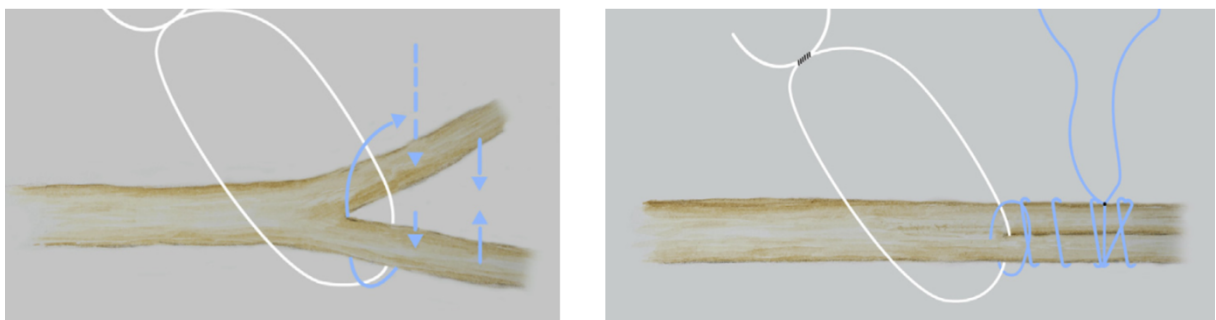
#### **5.4.2. Fixation**

Les différentes méthodes de fixation (vis d'interférence, cross-pin, endo bouton, baguette osseuse en press-fit) ont été largement étudiées pour les autres transplants dont les résultats paraissent logiquement extrapolables au tendon quadricipital. D'après les études de Gorschewski et al.[60] et de Crum et al.[61], les résultats fonctionnels et laximétriques ne diffèrent pas entre une fixation par cross-pin, endo bouton ou vis d'interférence. La fixation

par vis d'interférence offre l'avantage d'une fixation au plus près de l'articulation ce qui limite le risque d'effet « élastique » et d'effet « essuie-glace » par rapport à une fixation corticale par endobouton[62]. La vis d'interférence au fémur expose néanmoins au risque de fracture de la corticale postérieure du condyle externe et nécessite un greffon de longueur adéquate pour que la portion dans le tunnel fémoral soit suffisante (pour assurer une bonne tenue mécanique avec la vis). La fixation corticale à distance par endo bouton permet, quant à elle, d'obtenir une fixation rigide quel que soit la longueur de greffe dans le tunnel[63] et d'autoriser la réalisation de tunnel borgne économisant le stock osseux.

La préparation d'une greffe de TQ en cas de fixation par endo boutons peut cependant poser problème. Ceux-ci ont été développés pour être utilisés avec des greffes tendineuses longues (ischio-jambiers) préparées en plusieurs faisceaux qui permettent d'obtenir une « boucle » dans laquelle le fil ajustable de l'endo bouton peut facilement coulisser. En effet la greffe est repliée sur elle-même 2 fois à chaque extrémité créant ainsi cette « boucle ». Dans le cas d'une greffe mono faisceaux comme le TQ, il n'y a pas d'autre solution que de traverser la greffe avec le fil ajustable de l'endo bouton. On risque donc un effet « fil à couper le beurre » dans le sens des fibres lors de la mise en tension. Pour pallier ce problème, plusieurs méthodes ont été proposées par les auteurs préférant une technique au TQ, parfois sans baguette osseuse, fixée avec un ou deux endo boutons.

Crall et Gilmer[64] propose une technique consistant à inciser le tendon en deux brins, y passer le fil de l'endo bouton puis suturer cette incision. La boucle ajustable de l'endo bouton n'est alors retenue que par les fils de sutures transversaux (image 15) Sprowls et Robin[65] proposent eux une technique dite « Quad Link » dans laquelle le tendon est transfixé par deux passages d'une boucle de FiberTape® dans laquelle est passée la boucle ajustable de l'endo bouton. Cette technique présente l'avantage de limiter le risque de



*Image 15 : Préparation du transplant selon Crall et Gilmer*

cisaillement dans le sens des fibres du TQ grâce à la largeur du FiberTape® par rapport à un fil classique. Néanmoins les fils de l'endo bouton se trouvent fortement contraints dans la boucle de FIBERTAPE ce qui peut compromettre leur capacité à coulisser et donc perturber la mise en tension de la greffe (image 16)

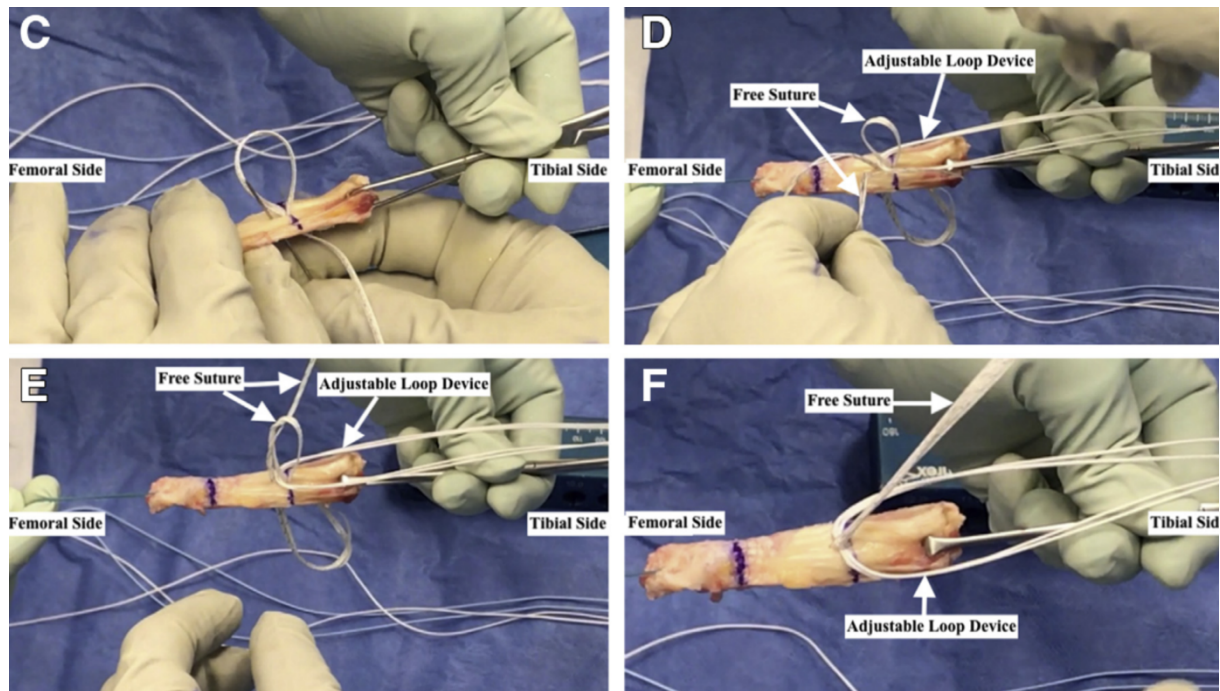


Image 16 : Préparation de la greffe selon Sprowls et Robin

Enfin Saper et al.[66] utilisent une technique hybride entre les deux techniques précédemment décrites. Après un fauillage rapproché de l'extrémité de la greffe au FiberLoop®, la boucle ajustable de l'endo bouton est passée à travers le tendon à l'aide d'une aiguille droite en regard de la zone fauillée. Cette technique offre donc un passage trans-tendineux dont l'effet de « fil à couper le beurre » est protégé par 5 à 6 passages transversaux de FiberLoop (image 17, page suivante).

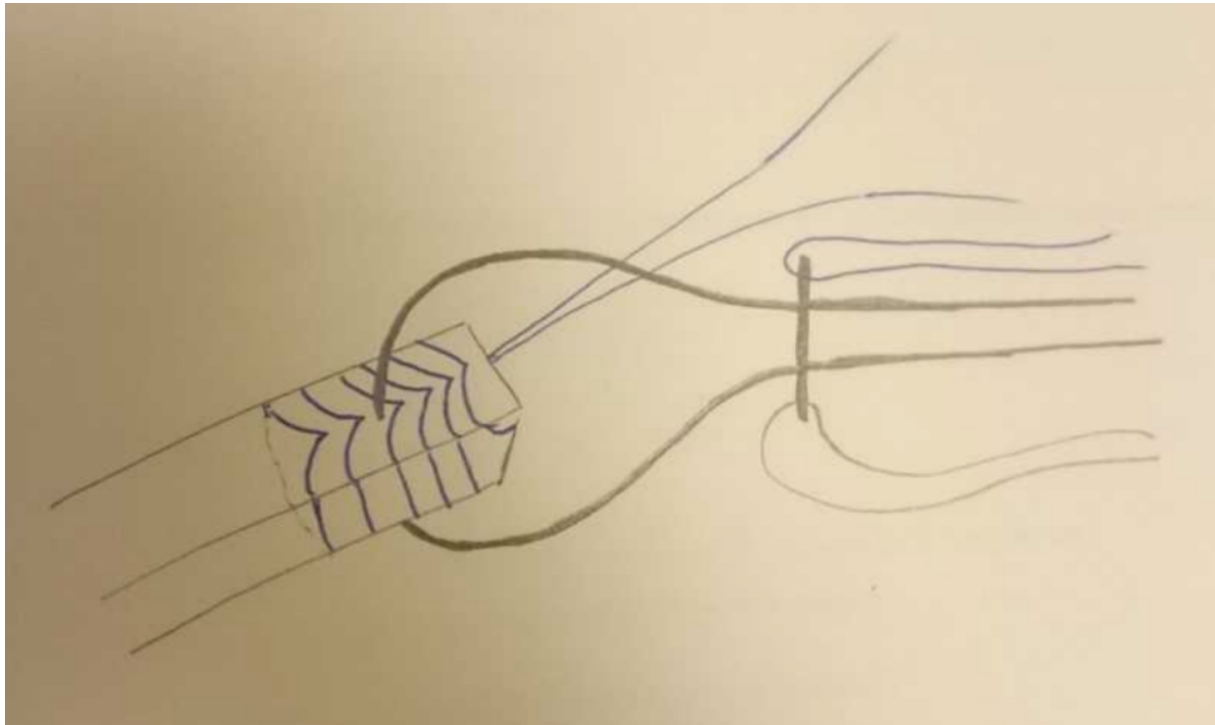


Image 17 : Préparation de la greffe selon le concept de Saper et al. (Technique Pr Ollivier, Marseille)

Cette technique a été validée bio mécaniquement par Karkosh et al. [63] qui rapportent une résistance plus élevée d'une fixation par endo bouton avec cette technique de préparation par rapport à une vis d'interférence.

### 5.4.3. Plastie antéro latérale

De nombreux auteurs recommandent actuellement l'ajout d'une plastie antéro latérale extra articulaire en première intention dans les cas de laxité majeure (laxité différentielle > 10mm), de ressaut rotatoire explosif et de pratique de sport à risque[67]. Lors d'une procédure au TQ et comme pour toute greffe courte, une plastie antéro latérale nécessite l'utilisation d'un autre transplant. La plastie décrite par Lemaire en 1967[1] puis modifiée par Christel et Djian[68] est une option couramment utilisée. Elle consiste à prélever une bande de fascia lata d'environ 1,2 cm de large et 7,5cm de long laissée pédiculée au tubercule de Gerdy et fixée après faufiletage par une vis d'interférence dans un tunnel borgne situé 5mm postérieur et 5mm proximal à l'épicondyle latéral. L'isométrie en flexion-extension est vérifiée avant de réaliser le tunnel. La position de ce dernier sera au besoin modifiée. La



direction du tunnel doit être divergente à celle du tunnel fémoral du LCA reconstruit afin éviter tout croisement des tunnels.

Ouabo et al.[69] proposent quant à eux l'ajout d'une allogreffe de tendon du muscle droit interne suturée au TQ. On se trouve alors dans la situation d'une greffe longue qui rend possible la réalisation d'une plastie intra et extra articulaire continue avec un tunnel fémoral unique selon la technique initialement décrite par Sonnery-Cottet et al. [67]: la plastie latérale est passée sous le fascia lata, puis dans le tubercule de Gerdy par un tunnel osseux et de nouveau sous le fascia lata pour être fixée à elle-même en regard de l'abouchement du tunnel fémoral (image 18).



*Image 18 : Plastie antéro latérale au tendon du droit interne selon Sonnery-Cottet et al.*

Avec ce transplant hybride (TQ + DI), la fixation de la plastie extra articulaire est possible selon toutes les autres techniques décrites pour les greffes continues aux IJ. Il suffit pour cela d'adapter la préparation de l'allogreffe de droit interne. On peut ainsi envisager : une tenodèse au fascia lata selon Saragaglia et al.[70], une fixation par endo bouton réglable au tibia selon Boutsiadis et al. [71] ou encore par vis d'interférence au tibia selon Colombet[72].

La nécessité d'utiliser un autre transplant pour réaliser une plastie extra articulaire (contrairement aux autogreffes d'IJ) nous conforte dans le choix du TQ (par rapport aux tendon IJ) en première intention sans indication de plastie extra articulaire. En effet, cela permet de conserver les tendons IJ qui permettraient, cas de rupture itérative, de réaliser une chirurgie de reprise avec plastie antéro latérale en utilisant un seul greffon[67].



## 5.5. Protocole de rééducation

### 5.5.1. Protocole

Le protocole de rééducation est conforme aux propositions de l'argumentaire de la HAS en 2008 concernant la rééducation après reconstruction du LCA[73]. Le séquençage proposé de rééducation semble actuellement faire consensus dans la majorité des centres. La rééducation s'échelonne sur une période de 9 mois allant du jour de l'intervention jusqu'à la possibilité de reprise des sports à risque (pivot – contact) sans aucune restriction et le cas échéant, en compétition.

#### 5.5.1.1. Jour de l'intervention

A la fin de l'intervention, une attelle de presso thérapie et cryothérapie (Game Ready®) est mise en place. Le traitement est débuté dès le retour dans le service de chirurgie ambulatoire ou conventionnelle (selon le type de d'hospitalisation choisie). L'attelle est maintenue jusqu'à la sortie d'hospitalisation du patient avec une programmation permettant d'obtenir des cycles réguliers de cryothérapie et presso thérapie. La tolérance du traitement est contrôlée par une équipe soignante formée à ce type de dispositif et pourra, en cas de besoin, adapter la programmation.

#### 5.5.1.2. Phase de repos : période de sortie d'hospitalisation à J15 / J21

Le retour à domicile s'effectue sans dispositif particulier (mis à part quelques rares patients ayant pu louer un système de cryothérapie et presso thérapie à domicile). Une prescription d'antalgiques associant des antalgiques de palier 1 (PARACETAMOL 1g 4 fois par jour - 15 jours), de palier 2 (TRAMADOL 50mg 4 fois par jour - 15 jours) et des anti-inflammatoires non stéroïdiens (KETOPROFEN LP 100mg matin et soir – 5 jours associé ou non à un protecteur gastrique) est remise au patient.

L'objectif de cette première période est d'obtenir la cicatrisation complète (ablation des points au 15<sup>ème</sup> jour), le maintien de l'extension complète et la reprise de l'appui à 100%. Une prévention de la maladie thromboembolique est nécessaire pendant les deux premières semaines. Le membre inférieur est protégé par une attelle en extension avec décharge selon

douleur jusqu'à obtention d'un verrouillage efficace. Le travail de kinésithérapie doit être doux avec respect de l'indolence : mobilisation passive avec comme objectif une flexion à 60 à 70° (90°maximum), lutte contre le flossum, massage drainant et réveil musculaire.

#### 5.5.1.3. Phase de mobilisation et réveil musculaire : période de J15 à J60 :

L'extension complète, le verrouillage et l'appui à 100% doivent être obtenus pendant cette période. L'éventuelle attelle et les cannes béquilles doivent être abandonnées au plus tard au 45<sup>ème</sup> jour. Une fois la cicatrisation parfaite, la rééducation à la marche peut se faire en balnéothérapie. La récupération des amplitudes articulaires s'intensifie avec pour objectif une flexion à 120° au 45<sup>ème</sup> jour avec un genou sec et indolore. Le maintien d'une extension complète reste en parallèle une nécessité absolue. Le renforcement musculaire est débuté d'abord par des co-contractions du quadriceps et des ischio-jambiers et des séances d'électrostimulation. Des exercices de proprioception statique (plan stable) bipodal puis unipodal sont possibles en fin de période et le vélo sans résistance peut être débuté si les amplitudes articulaires le permettent.

#### 5.5.1.4. Phase de consolidation : période de J60 à 4 mois :

L'objectif de cette phase de la rééducation est de permettre au patient de retrouver confiance en son genou pour les actes de la vie quotidienne. La récupération des amplitudes articulaires se fait sans limitation, le renforcement musculaire s'intensifie sans restriction pour les IJ et en privilégiant le travail isométrique et en chaînes cinétiques fermées pour le quadriceps (pour éviter tout incident d'hyper extension avant la fin du processus de ligamentisation). Le travail proprioceptif et de contrôle neuromusculaire est important à cette phase et doit être dynamique (sur plan instable), bi puis unipodal. A l'approche du 4<sup>ème</sup> mois, le course à pied sur terrain plat est envisageable.

#### 5.5.1.5. Début de la réathlétisation : Période de J60 à 4 mois :

La pratique du sport s'intensifie nettement. Sont possibles les sports suivants :

- Course à pied sur terrain plat avec accélération (pas de changement de direction brutal)

- Natation : crawl
- Vélo sans restriction
- Musculation : travail des différents groupes musculaires sans restriction.

Le travail proprioceptif est à poursuivre sans aucune restriction. Des sauts et changements de direction doux peuvent être débutés. Pour les patients y ayant accès, le travail iso cinétique peut être débuté. A ce stade tout sport pivot ou contact reste formellement contre indiqué.

#### 5.5.1.6. Réathlétisation : période de 6 mois à 9 mois

Réalisation de tests iso cinétiques, consultation en médecine du sport, et reprise progressive douce des sports pivot-contact.

Un test iso cinétique est prescrit au 6<sup>ème</sup> mois. Il permet de juger du pourcentage de récupération des groupes musculaires quadriceps et IJ par rapport au côté sain et d'évaluer le ratio de force entre ces deux groupes antagonistes (ratio H/Q). Il existe alors à ce stade 3 résultats possibles :

- La récupération est satisfaisante (>80% du côté sain, rare) sur le quadriceps et les IJ avec un ratio H/Q satisfaisant. La réathlétisation peut être poursuivie sans adaptation particulière avec reprise douce et prudente de sport pivot (en évitant tout contact) à l'entraînement. La reprise du sport pivot-contact sans restriction et en compétition est envisageable à partir du 9<sup>ème</sup> mois. Un test d'aptitude à la reprise du sport peut être réalisé par le médecin du sport (type sauts monopodaux bilatéraux comparatifs) pour valider la reprise sans restriction.
- La récupération est satisfaisante sur un seul groupe musculaire avec un mauvais ratio H/Q (cas le plus fréquent). La réathlétisation est poursuivie avec un programme spécifique visant à favoriser la récupération musculaire du groupe déficitaire. La reprise progressive du sport pivot-contact à l'entraînement peut être différée de quelques semaines mais comme dans le cas précédent la reprise sans restriction est généralement possible au 9<sup>ème</sup> mois.

- Dernier cas possible : la récupération musculaire est mauvaise (<60% du côté sain) pour les deux groupes musculaires. Cela signe d'un début de réathlétisation très insuffisant pour reprendre le sport en sécurité. Celle-ci doit donc être intensifiée et éventuellement adaptée au ratio H/Q. La reprise des sports pivot même prudemment à l'entraînement n'est pas recommandée avant d'avoir amélioré ce déficit musculaire. Il convient donc de réaliser un test d'aptitude à la reprise du sport et si possible de nouveaux tests iso cinétiques 2 à 3 mois plus tard afin de juger de l'évolution. Une fois la situation améliorée, le sport pivot-contact peut être repris à l'entraînement mais la reprise sans restriction ou en compétition est généralement différée au 12<sup>ème</sup> mois post opératoire. Il est en effet difficile de rattraper le retard pris en début de rééducation.

Deux consultations de suivi à 1 an et 2 ans post opératoire sont prévues. Elles permettent de juger des éventuelles difficultés à la pratique sportive et de s'assurer de la compétence de la greffe. D'éventuels conseils d'adaptation de la pratique sportive future peuvent alors être proposés.

### 5.5.2. Discussion

Si ce protocole de rééducation dite « classique » choisi dans notre établissement reste le plus utilisé, certains auteurs ont proposé un protocole de rééducation accélérée permettant une autonomisation à la marche plus rapide et un retour au sport dès le 5<sup>ème</sup> mois post opératoire. Shelbourne et Nitz[74] furent les premiers à proposer ce type de rééducation accélérée après avoir remarqué que les patients « indisciplinés », peu observant des consignes restrictives de début de rééducation, présentaient des résultats similaires à ceux ayant suivi le protocole à la lettre. Plus tard, Boileau et al.[75] ont proposé un « Plaidoyer pour une rééducation accélérée après ligamentoplastie du genou par un transplant ostendon rotulien-os » s'appuyant sur la solidité immédiate de la fixation, l'intégration rapide d'une fixation os - os et la diminution de la morbidité du site donneur lorsque le genou est soumis à des contraintes précoces. D'après Beynon et al[76] dans une étude prospective et randomisée, la rééducation accélérée donne les mêmes résultats qu'une rééducation

classique. Des résultats similaires sont également observés après ce type rééducation pour les greffes de tendons IJ[77].

Cependant, contrairement à l'intégration rapide os - os des transplants de tendon rotulien[78], l'intégration biologique des tendons est marquée par un remodelage qui perdure bien au-delà du 5<sup>ème</sup> mois post opératoire (jusqu'à 2 ans) selon plusieurs auteurs[79–81]. Les déficits des groupes musculaires stabilisateurs actifs du genou sont persistants à plus de 6 mois post opératoire et la période de récupération musculaire la plus importante semble se situer entre 3 et 6 mois[82]. Il paraît donc difficile de justifier, pour les patients bénéficiant d'une reconstruction du LCA par TQ ou DT4, le choix de protocoles de rééducation accélérée. Ceux-ci ont été encore peu étudiés, n'ont pas fait preuve de leur supériorité et ne respectent pas les connaissances actuelles concernant les délais de maturation et d'intégration des transplants purement tendineux. Enfin la plupart de nos patients sont des sportifs amateurs pour qui il n'existe pas d'enjeux économiques ou sportifs motivant une rééducation accélérée.

## 5.6. Iso cinétisme

### 5.6.1. Concepts

Le travail musculaire iso cinétique fut développé par Hislop et Perrine[83] en 1967. Ce concept répondait initialement au problème de l'atrophie musculaire lors de vols aérospatiaux où l'absence de résistance (secondaire à l'apesanteur) interdit tout travail musculaire efficace. Le principe est de faire travailler un groupe musculaire donné permettant une mobilisation articulaire à vitesse angulaire constante. Le contrôle de la vitesse est obtenu par l'intermédiaire d'un bras articulé générant une résistance auto-accommodante à la force de l'individu. L'évolution technologique a permis la conception de machines d'iso cinétisme fiables et dont la reproductibilité des mesures est excellente[84]. C'est donc à ce jour, la technique de référence pour la mesure de force musculaire. Les machines sont composées d'un siège sur lequel le patient est attaché et d'un bras articulé auquel le membre à tester est fixé. Le bras articulé est relié à un dynamomètre lui-même connecté à un système informatique (image 19, page suivante) permettant :

- De régler la vitesse angulaire du mouvement (habituellement de 0° à 400° par seconde)
- D'adapter la résistance dynamométrique à chaque instant de manière à conserver une vitesse angulaire constante quel que soit la force appliquée par le patient. La résistance est donc nulle en début de mouvement et apparaît lorsque la vitesse angulaire souhaitée est atteinte.
- De mesurer à chaque instant la force produite par le mouvement.

Dans le cas du genou, les mouvements se font en flexion/extension et les groupes musculaires quadriceps et IJ sont ainsi testés.



*Image 19 : Exemple de système de mesure iso cinétique*

Il existe différents modes de travail iso cinétique :

- Le travail isométrique : la vitesse est nulle, il n'y a donc aucun mouvement et la contraction du muscle se fait de manière statique sans modifier sa longueur.
- Le travail concentrique : le mouvement articulaire se fait dans le sens du raccourcissement du groupe musculaire en question (flexion de genou pour les IJ et extension de genou pour le quadriceps). Le mouvement est réalisé par le patient et freiné à vitesse constante par le bras articulé.

- Le travail excentrique : c'est l'inverse du mouvement concentrique, le mouvement articulaire induit l'allongement du groupe musculaire (extension de genou pour les JJ et flexion pour le quadriceps). Le mouvement est réalisé par le bras articulé auquel le patient tente de s'opposer.

Plus la vitesse du mouvement est élevée, plus la résistance du dynamomètre est faible. Ainsi chaque mode et vitesse de travail permet de tester des caractéristiques musculaires spécifiques. Classiquement, 3 principaux modes de travail sont utilisés :

- Les vitesses lentes à forte résistance (concentrique à 60°/s et excentrique à 30°/s) permettent de mesurer la force maximale pure.
- Les vitesses élevées à faible résistance (concentrique à 240°/s) évaluent l'explosivité : capacité à produire de l'énergie en un temps très faible.
- Les vitesses intermédiaires (concentrique à 180°/s) évaluent idéalement la puissance. L'endurance et la fatigabilité s'explorent lorsque les séries comportent la répétition de nombreux cycles (au moins 20) avec comparaison des résultats entre les premiers et derniers cycles de la série.

### 5.6.2. Réalisation et résultats d'un test

Les tests sont réalisés sur les deux membres successivement (généralement le côté sain en premier) après un rapide échauffement. Un cycle de mouvements correspond à une flexion et une extension selon les amplitudes articulaires choisies. Le test pour une vitesse angulaire et un mode de travail donnés est classiquement répété sur 5 cycles successifs sans phase de repos entre chaque cycle.

Les mesures réalisées au cours des acquisitions renseignent :

- La force appliquée par le patient sur le bras articulé qui est exprimée en moment de force. Lors d'un mouvement angulaire on parle de couple exprimé en N.m
- Le travail qui correspond au couple moyen sur la distance angulaire parcourue. C'est la capacité à induire un mouvement et s'exprime en Joule ( $J = N.m$ ). Cela correspond également à l'énergie.
- La puissance correspond au travail produit par unité de temps exprimée en watt ( $w = J.s^{-1}$ )

Pour toutes ces données, il est possible d'établir leur valeur à chaque instant (correspondant à une angulation donnée du mouvement ou pour l'ensemble du mouvement. Si les valeurs instantanées sont d'une grande fiabilité, la validité des moyennes peut être perturbée par différents facteurs source de variabilité[85]. Il existe, entre autres, un effet d'inertie lors de l'accélération en début de mouvement pendant laquelle le dynamomètre sous-estime la force appliquée puisqu'il n'oppose aucune résistance tant que la vitesse angulaire pré définie n'est pas atteinte[86]. De plus cette phase d'accélération crée une énergie cinétique du membre en mouvement qui vient s'ajouter à la force de contraction pure du groupe musculaire et surestime celle-ci à l'instant où le dynamomètre commence à produire une résistance. Cette composante peut être responsable d'un pic de force élevé sur la courbe dynamométrique (« torque overshoot », figure 3 page suivante) en début de mouvement et ne doit pas être confondue avec la réelle tension musculaire développée[87]. Pour pallier ce problème, les moyennes sont habituellement calculées sur la partie centrale du mouvement, éliminant les erreurs inhérentes aux phases d'accélération et de décélération en début et fin de mouvement.



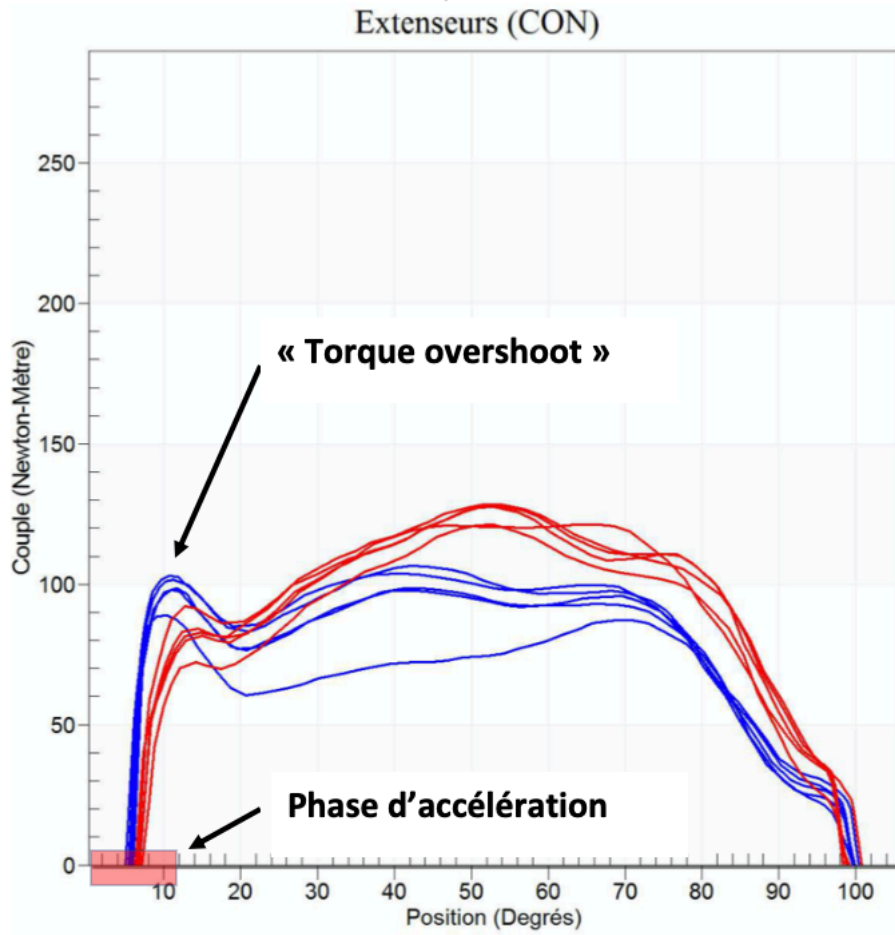


Figure 3 : Exemple de surestimation initiale du pic de couple en début de mouvement par effet « torque overshoot ».

De la même manière, la force exercée par la pesanteur est prise en compte lorsque le mouvement s'effectue dans le plan vertical[88] (flexion-extension de genou chez un patient assis). Ainsi certains appareils proposent une première acquisition lors d'un mouvement passif réalisé par simple pesanteur permettant de calculer ultérieurement une valeur de force ajustée à cette dernière. Sans cela, la force musculaire serait discrètement sous-estimée lors de l'extension de genou et surestimée lors de la flexion.

Les résultats sont présentés sous forme de graphique avec en abscisse la position angulaire du genou (en degrés) et en ordonnée le pic de couple. Les courbes des différentes répétitions sont toutes tracées avec un code couleur permettant de distinguer les courbes correspondant au membre inférieur droit et celles correspondant au gauche (figure 4, page suivante).

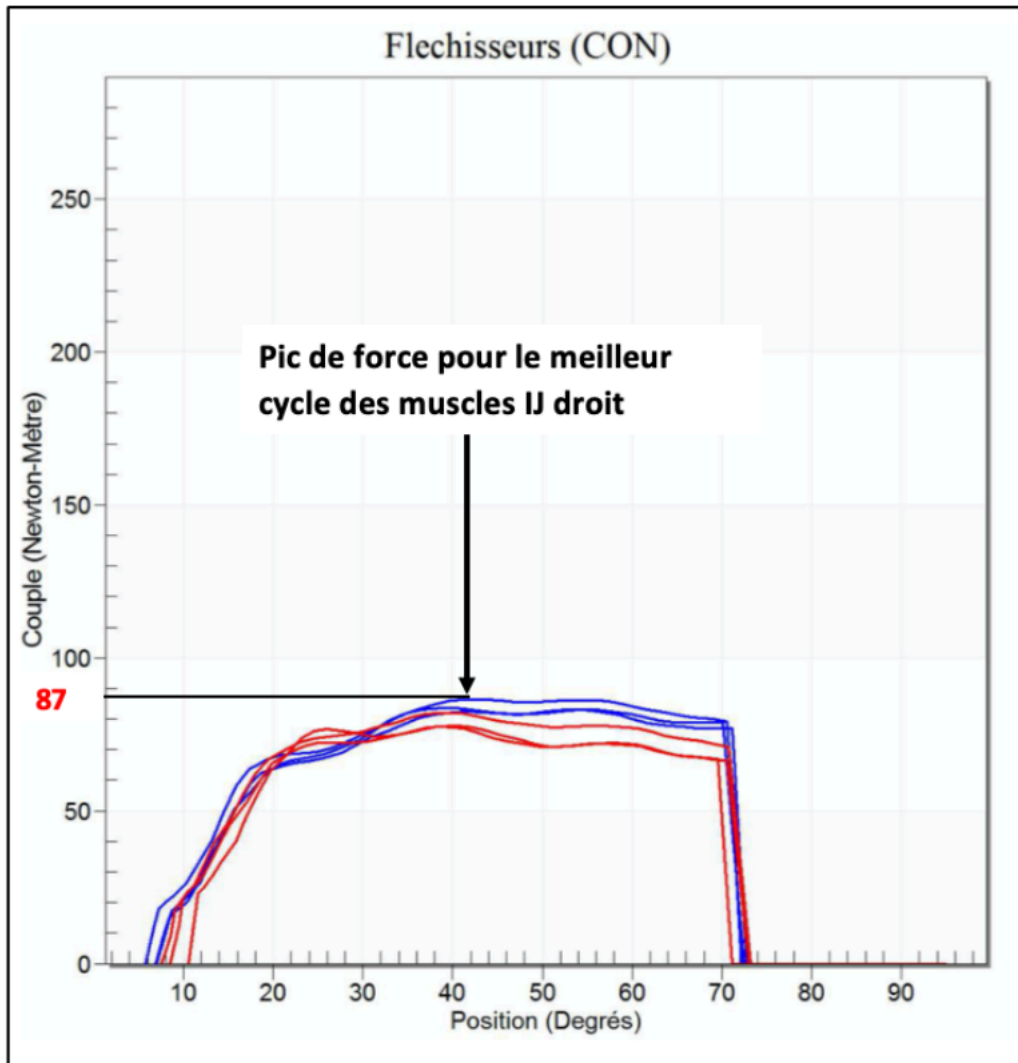


Figure 4 : Exemple de tracé physiologique sans différence entre les deux côtés. Test des muscles II en concentrique à  $180^{\circ}.s^{-1}$

Les valeurs chiffrées sont présentées séparément avec pour chaque série la meilleure valeur obtenue et un coefficient de variation représentant l'aspect reproductible des autres cycles. La variation entre les cycles est considérée faible lorsque le coefficient est inférieur à 0,1 (figure 5, pages suivantes) et mauvaise au-delà (figure 6, page suivante). Le nombre de cycle par série est classiquement fixé à 5 car la meilleure répétition apparaît généralement au 4<sup>ème</sup> cycle[89]. Cela permet d'augmenter la probabilité d'enregistrer le meilleur cycle possible sans induire de fatigue risquant de perturber la réalisation des séries suivantes. Le moment angulaire de force maximale correspond à la position de l'articulation où le pic de couple maximal est obtenu. La durée de maintien du pic de force ainsi que le délai entre le début du mouvement et le moment angulaire de couple maximal sont également renseignés.

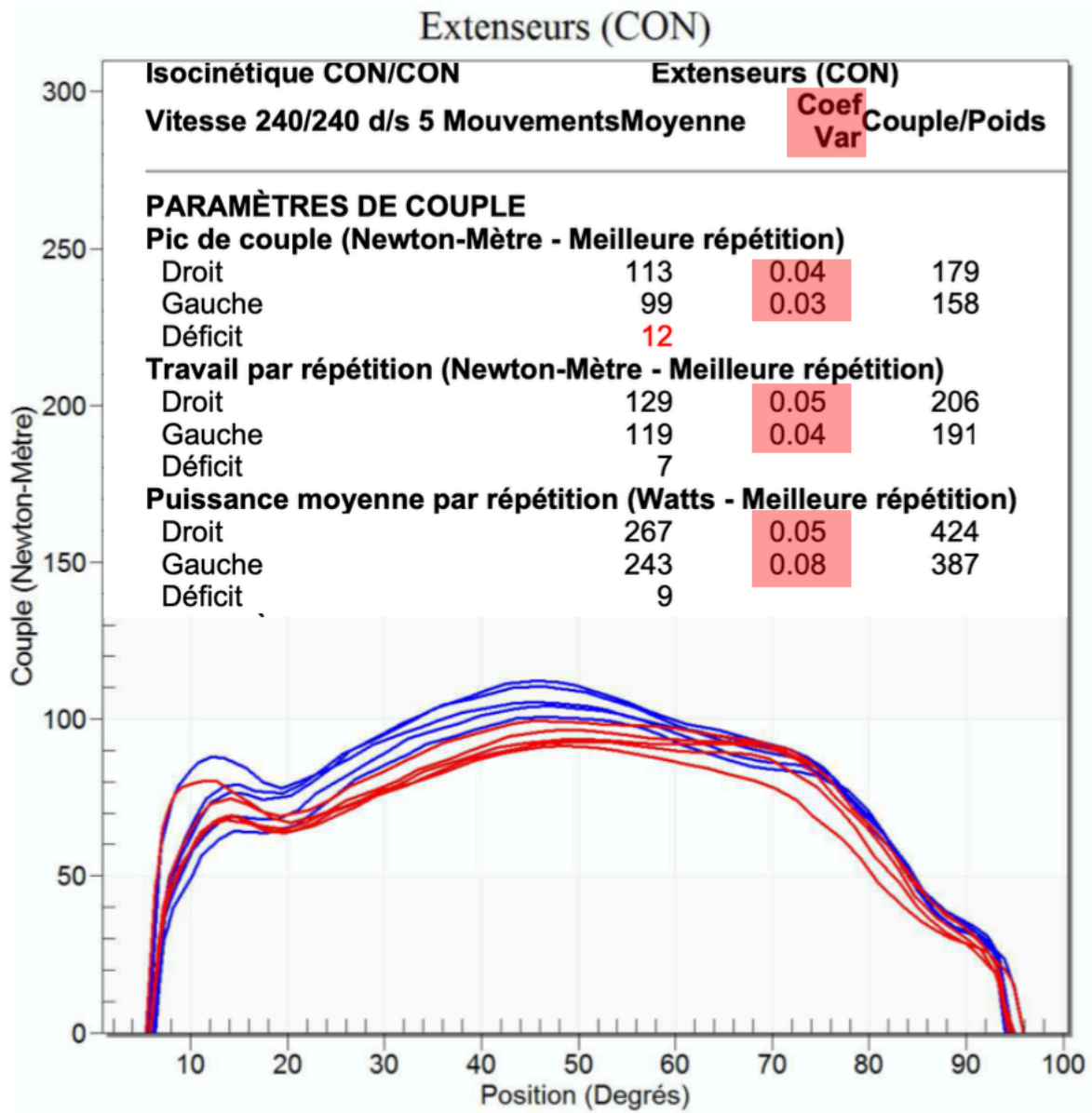
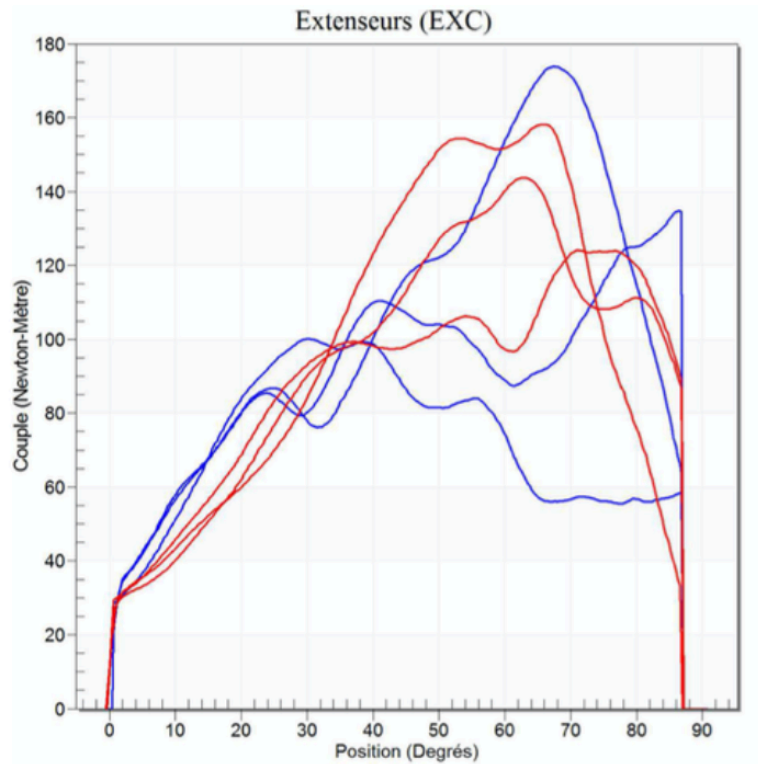


Figure 5 : La reproductibilité des mesures lors des différents cycles de cette série se traduit par des coefficients de variation très faibles (en rouge)



**Courbes coté Droit**                      **Courbes coté Gauche**  
**Isocinétique EXC/EXC**                      **Extenseurs (EXC)**  
**Vitesse 30/30 d/s 3 Mouvements Moyenne Coef Var Couple**

**PARAMÈTRES DE COUPLE**

<b>Pic de couple (Newton-Mètre - Meilleure répétition)</b>			
Droit	174	0.27	:
Gauche	159	0.12	:
Déficit	9		
<b>Travail par répétition (Newton-Mètre - Meilleure répétition)</b>			
Droit	157	0.18	:
Gauche	148	0.04	:
Déficit	6		
<b>Puissance moyenne par répétition (Watts - Meilleure répé</b>			
Droit	51	0.18	
Gauche	49	0.04	
Déficit	4		

Figure 6 : La mauvaise reproductibilité des mesures lors des différents cycles de cette série se traduit par des coefficients de variation plus élevé (en rouge)

### 5.6.3. Interprétation des résultats

La valeur d'analyse la plus utilisée est le pic de couple[90, 91] correspondant à la valeur la plus élevée atteinte lors du mouvement. Pour d'autres, le travail ou la puissance sont plus pertinent car ils prennent en compte l'ensemble de la course musculaire[92].

On utilise les valeurs du membre sain pour déterminer le pourcentage de déficit (Figure 7) de pic de couple, de puissance et de travail du membre étudié : il s'agit des ratios bilatéraux. Pour certains auteurs, il peut exister des valeurs excessives[18] ou déficitaires[93, 94] du côté sain lié au degré variable de sollicitations pendant la période de convalescence. Malgré tout, cette méthode de comparaison fait l'unanimité dans la littérature et la force musculaire est considérée sub-normale si le déficit est inférieur à 10%, intermédiaire si comprise entre 10 et 20° et pathologique au-delà de 20%. Ces valeurs proposées par Sapega[95] en 1990 restent les critères d'interprétation actuels.

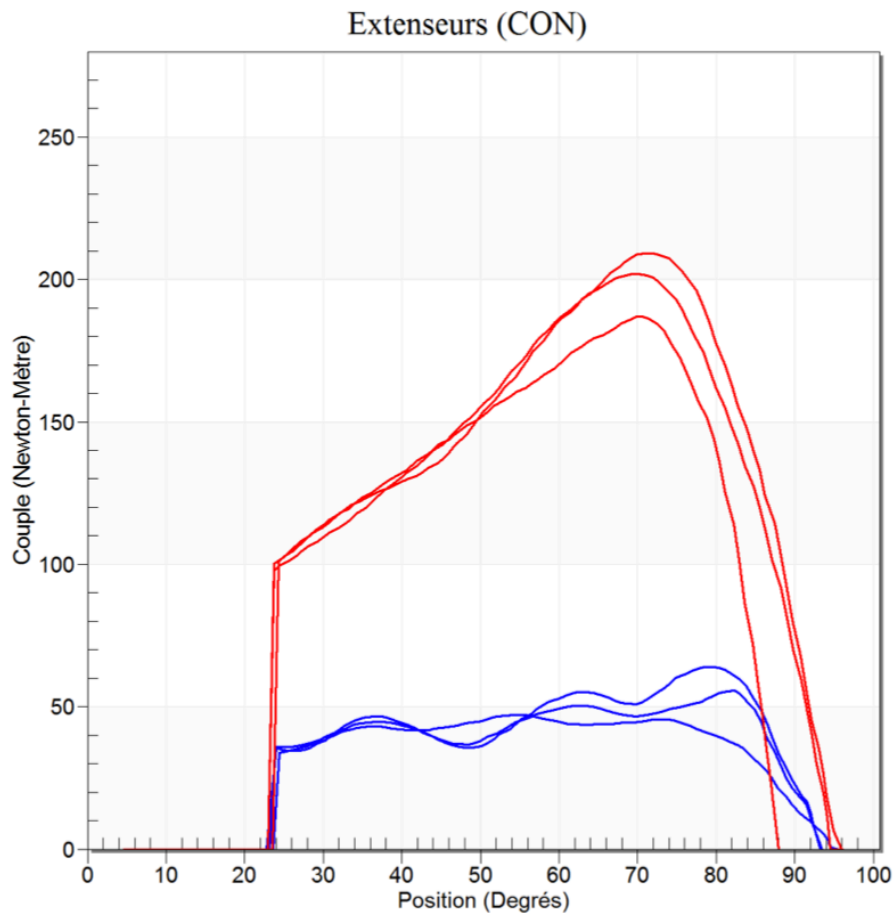


Figure 7 : Exemple de déficit majeur du muscle quadriceps lors d'un effort concentrique à  $180^{\circ}.s^{-1}$  (69% de déficit)

On étudie l'équilibre des groupes musculaires antagonistes stabilisateurs du genou à l'aide du ratio unilatéral H/Q (rapport de force des IJ par rapport au quadriceps). La valeur normale de ce ratio est d'environ 0,5. Enfin le ratio mixte de Croisier[96] compare deux contractions musculaires opposées mais synergiques entre IJ et quadriceps (IJ excentrique 30° / quadriceps concentrique 270°). Ce ratio mixte reflète une contraction des muscles de la cuisse bien plus proche de la réalité physiologique que celle des ratios unilatéraux. Ce ratio est dit « fonctionnel » par Aagard et al.[97] et par conséquent considéré comme le plus intéressant à étudier. Les valeurs normales de ces ratios ont été mesurées dans une population saine d'hommes jeunes dans l'étude de Croisier et al.[96] dont les résultats sont présentés dans le tableau 1.

Type de contraction		Vitesse angulaire		Ratio IJ / Q
Ischio-jambiers	Quadriceps	Ischio-jambier	Quadriceps	
Concentrique	Concentrique	60°	60°	0,47
Concentrique	Concentrique	240°	240°	0,46
Excentrique	Excentrique	30°	30°	0,38
Excentrique	Concentrique	30°	240°	0,80

*Tableau 1 : Valeur des ratios H/Q dans une population d'hommes jeunes, selon Croisier et al.*

L'étude chez des populations plus sportives montre des ratios plus élevés compris entre 0,57 et 0,68 à vitesses lentes et entre 0,70 et 0,87 à vitesses élevées[98–101]. La pratique sportive peut influencer ce ratio : les sports d'impulsions par exemple comme le volleyball favorisent un ratio bas par sollicitation préférentielle du quadriceps[102]. La taille et le poids influencent également les résultats[101]. Il est ainsi difficile d'établir des valeurs de référence : les populations des différentes études sont rarement comparables et les appareils de mesure diffèrent d'une étude à l'autre.

#### 5.6.4. Discussion

L'intérêt des tests iso cinétiques peut être critiquable devant leur trop faible ressemblance aux activités dynamiques pluri-segmentées de la vie quotidienne et sportive. Pour cause, leur réalisation se fait en chaînes cinétiques ouvertes ne correspondant pas à un travail en appui complet. Néanmoins c'est le seul moyen d'effectuer une évaluation sélective d'un groupe musculaire donné. En effet un travail en chaînes cinétiques fermées met en jeu d'autres articulations et d'autres groupes musculaires synergiques au mouvement conduisant à la mesure d'une force résultant de plusieurs vecteurs [103, 104]. Enfin le travail en chaînes cinétiques ouvertes avec contrôle des amplitudes articulaires par butées mécaniques et électroniques offre des conditions de sécurité parfaites pour un test de force maximale en phase de rééducation après reconstruction du LCA.

Les contre-indications principales concernent les pathologies cardiovasculaires rendant dangereux la réalisation d'un effort maximal, l'épilepsie non traitée ou encore les troubles cutanés du membre à tester. Les tests sont possibles mais peu pertinents en cas de douleurs importantes, de raideur articulaire ou d'incapacité du patient à comprendre les consignes de réalisation du test. Les contre-indications chez une population jeune et sportive à 6 mois d'une reconstruction du LCA sont donc exceptionnelles.

## 6. ETUDES CLINIQUES

### 6.1. Justifications des études

Dans ce chapitre seront détaillés les arguments justifiant l'intérêt d'étudier chacun des 3 axes de recherche.

#### 6.1.1. Résultats cliniques

La technique au tendon quadricipital est une technique récente ayant déjà été largement comparée aux techniques au tendon rotulien (KJ) et aux IJ. La majorité des études comparant les greffes aux IJ à celles au TQ concernent soit des séries de greffe longue type DIDT, soit des séries ne faisant pas de distinction entre greffe courte type DT4 et DIDT. Ainsi il n'existe à ce jour qu'une seule étude dans la littérature comparant spécifiquement les résultats de la technique TQ à ceux de la technique DT4[14]. Cette étude présente les résultats fonctionnels et les complications mais ne s'intéresse pas aux données cliniques de laximétrie. De plus il s'agit d'une comparaison avec des effectifs relativement faibles (40 patients par groupe). Une étude supplémentaire comparant les deux mêmes techniques permettrait ainsi d'enrichir la littérature pour ce qui concerne les scores fonctionnels et d'apporter les données laximétriques jusque-là non rapportées.

#### 6.1.2. Évaluation de force musculaire par test iso cinétiques

Le processus de rééducation après une reconstruction du LCA est long, nécessite des séances de kinésithérapie pluri hebdomadaires ainsi que des exercices d'auto rééducation quotidiens. Les modalités de rééducation ont été largement étudiées et ont fait l'objet en 2008 de recommandations professionnelles par la HAS[73]. L'utilisation d'un appareil permettant de réaliser un travail musculaire iso cinétique est à la fois un outil thérapeutique et diagnostique. Les systèmes musculaires extenseurs et fléchisseurs sont les stabilisateurs



dynamiques du genou. Même si leur rôle est plus faible que celui des structures ligamentaires et méniscales pour le contrôle de la translation tibiale antérieure[105], leur bon fonctionnement synergique est une condition indispensable à la protection de la greffe pendant la phase de maturation. C'est également nécessaire à distance pour prévenir le risque de rupture itérative. Selon Cvetovic et al.[106], la pratique de tests iso cinétiques est nécessaire au diagnostic et au traitement des déficits musculaires de cuisse après reconstruction du LCA. Nous nous intéresserons dans cette partie à l'intérêt diagnostique et pronostic au cours de la rééducation.

L'intérêt de ces tests est multiple à travers leur interprétation :

- Une estimation précise de la récupération de force musculaire permet d'autoriser la reprise de certains sports en phase de ré athlétisation.
- Les résultats sur les groupes musculaires quadriceps et IJ permettent d'adapter la rééducation si un groupe est plus déficitaire afin d'équilibrer le ratio entre ces deux stabilisateurs antagonistes du genou.
- La répétition des tests offre un suivi précis de l'efficacité de la rééducation et des mesures correctives mises en place.

Si les données concernant la récupération de force musculaire après reconstruction du LCA par techniques au tendon IJ ou au TR sont abondantes[92, 107], celles concernant les ligamentoplasties du LCA au TQ sont très rares. A ce jour, aucune étude ayant pour objectif principal de comparer la perte de force du quadriceps après reconstruction du LCA par DT4 et par TQ n'a fait l'objet de publication.

Les données des tests iso cinétiques permettent de comparer la rançon de déficit musculaire inhérente à chaque technique. Il est ainsi possible d'établir si une technique conduit préférentiellement à un état musculaire favorable au processus de rééducation et de maturation de la greffe, plutôt qu'une autre. L'analyse des données permet également d'évaluer le caractère pronostique sur le résultat fonctionnel des valeurs des forces musculaires comme cela a déjà étudié pour les IJ et le TR[92, 107].

De plus, l'étude du résultat fonctionnel selon la réalisation ou non de test iso cinétiques permettrait d'évaluer l'efficacité de l'adaptation potentielle du protocole de rééducation à l'issue des résultats.

### 6.1.3. Troubles sensitifs

#### 6.1.3.1. Contexte

La morbidité liée au site de prélèvement est une des principales complications des techniques courantes (KJ, DIDT, DT4)[108] due au risque de lésion des branches infra-patellaires du nerf saphène (BIPNS) lors de l'abord chirurgical du site de prélèvement du transplant (face interne du tibia et du tendon rotulien) et au risque de douleurs antérieures lié à la localisation de la cicatrice principalement pour la technique KJ. L'atteinte d'une des branches sensitives du nerf saphène interne entraîne classiquement une hypoesthésie (voir anesthésie) séquellaire de la face antéro médiale proximale de jambe. Plus rarement les troubles sensitifs sont dominés par une symptomatologie type paresthésie ou dysésthésie[108]. Ce problème ne se pose pas pour le prélèvement du TQ car l'incision médiane supra patellaire ne coupe pas le trajet d'un nerf sensitif significatif[31].

#### 6.1.3.2. Anatomie

Le nerf saphène est un nerf sensitif du membre inférieur issu du nerf fémoral. Il prend naissance après le passage du nerf fémoral dans le canal inguinal externe. Il chemine ensuite avec l'artère fémorale superficielle jusqu'au canal des adducteurs, d'où il sort accompagné de la branche saphène de l'artère descendante du genou sous le muscle Sartorius. Il se divise alors en deux branches qui cheminent en sous cutanée. La branche infra patellaire innerve la face antéro interne du genou et de la partie proximale de jambe. La branche terminale (=branche sartoriale) du nerf saphène innerve plus caudalement la face antéro médiale de la jambe et de la cheville (images 20 et 21, page suivante). Quelle que soit la technique de ligamentoplastie du LCA utilisée, il existe une incision cutanée en face antéro interne du tibia pouvant couper le trajet des BIPNS. Le site de prélèvement des tendons IJ est situé sur la partie proximale du trajet de la BIPSN et le site de prélèvement du TR est en regard de ses rameaux sensitifs terminaux. Pour les techniques dont le site de prélèvement est à distance, l'incision cutanée pour la réalisation du tunnel tibial se trouve elle aussi sur le trajet de la BIPNS[109]. La distribution des BIPNS et ses variations anatomiques ne permettent pas d'identifier une zone de sécurité pour l'incision tibiale[110].

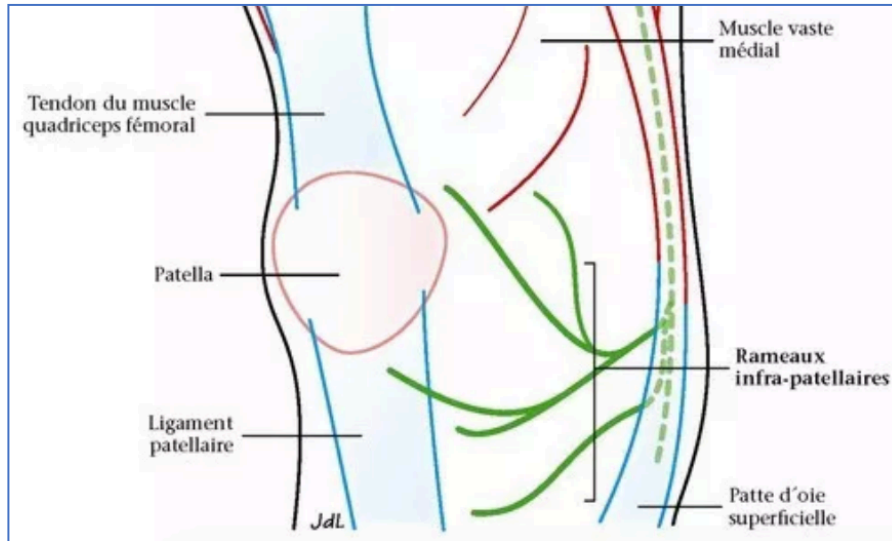


Image 21 : Trajet des branches infra patellaires du nerf saphène à la face interne du genou

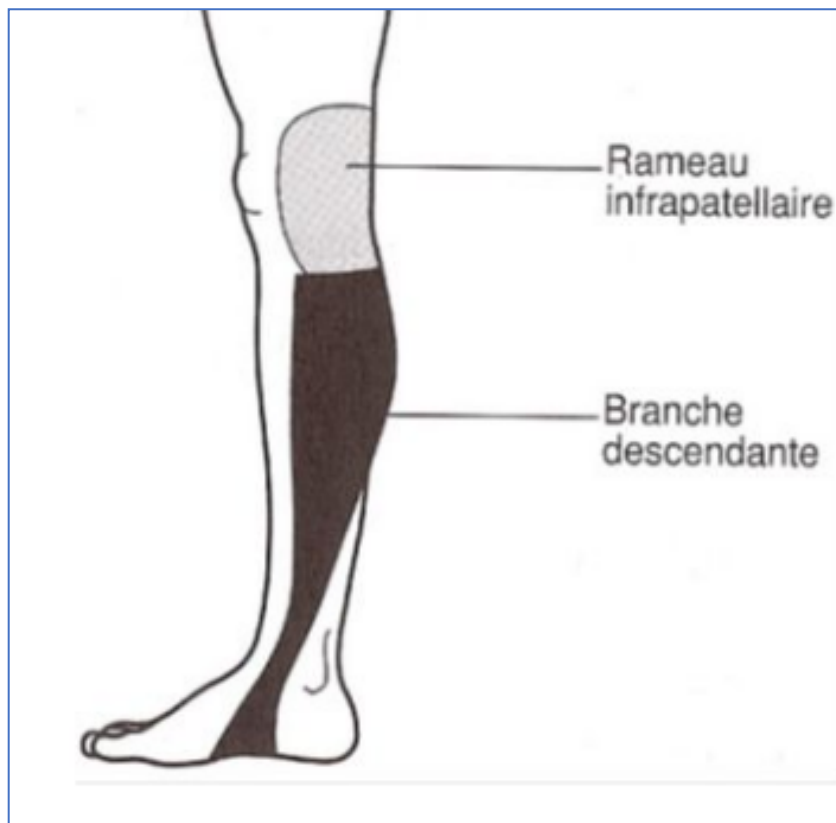


Image 20 : Territoires sensitifs du nerf saphène

### 6.1.3.3. Problématique

Les résultats fonctionnels des différentes techniques courantes de ligamentoplastie du LCA décrits dans la littérature sont bons à excellents sans supériorité évidente d'une technique par rapport aux autres. Dans ce contexte, il est désormais intéressant de rechercher la technique pourvoyant le moins de complications, aussi mineures soient-elles. Concernant l'atteinte des branches infra-patellaires du nerf saphène, la technique au TQ présente un avantage théorique par rapport aux KJ et IJ car l'incision tibiale ne sert qu'à la réalisation du tunnel tibial. Ceci permet d'en réduire la longueur, de limiter la dissection sous cutanée et ainsi diminuer le risque lésionnel des BIPNS. Cette hypothèse a été vérifiée concernant le prélèvement du tendon rotulien par méthode mini invasive[111] et de nombreux auteurs recommandent une incision oblique courte lors du prélèvement des IJ pour limiter le risque d'hypoesthésie séquellaire[112–115]. De plus, Cohen et al.[116] rapportent moins de lésions neurologiques lors des reconstructions du LCA par allogreffes pour lesquelles le geste au niveau du tibia proximal est le même que pour les reconstructions au TQ. Très récemment, Mouarbes et al.[117] ont publié une étude démontrant l'intérêt des reconstructions par TQ par rapport au greffes type DIDT ou TR pour minimiser l'atteinte des BIPNS.

Si cet avantage semble évident, il n'existait pas à notre connaissance d'étude clinique avant celle de Mouarbes et al.[117] (publiée en Février 2020) comparant la surface d'hypoesthésie secondaire à l'incision tibiale entre les reconstructions du LCA par TQ, DIDT et TR . Notre étude présente toutefois l'intérêt de comparer le TQ au DT4 dont le prélèvement est moins invasif que le DIDT puisqu'il n'y a qu'un seul tendon à prélever. Des résultats en faveur du TQ renforceraient l'hypothèse d'innocuité de cette technique vis-à-vis des BIPNS.

## 6.2. Objectifs des études

L'objectif des études cliniques de ce travail est de comparer au sein de notre établissement les résultats des reconstructions du ligament croisé antérieur par technique au tendon quadricipital par rapport aux résultats de la technique au demi tendineux à 4 faisceaux (DT4) recommandée par la HAS[2].

L'évaluation de nos résultats se veut la plus globale possible. Ainsi seront traités successivement trois axes d'étude avec une méthodologie propre pour chacun d'entre eux détaillée dans une partie respective. Les 3 axes d'analyses concerneront les résultats cliniques à distance, les résultats des tests iso-cinétiques réalisés au cours de la rééducation ainsi que les complications neurologiques sensibles par atteinte des branches infra patellaires du nerf saphène.

### **6.2.1. Évaluation des résultats cliniques :**

Le critère de jugement principal est l'évaluation du résultat clinique à distance à travers le score fonctionnel de KOOS (Knee injury and osteoarthritis outcome score sur 100 points)[118] et divisé en 5 sous-parties (Symptômes, Douleur, Fonction vie quotidienne, Fonction sport et loisir, Qualité de vie) sur 100 points chacune également. Les critères de jugements secondaires sont le score de Tegner-Lysholm[119], le taux de rupture itérative, la reprise du sport (niveau inférieur, égal ou supérieur au niveau pratiqué avant la rupture du LCA) ainsi que l'ensemble des critères cliniques évalués en consultation de suivi (test de Lachman, laximétrie, ressaut rotatoire et amplitudes articulaires). Les complications (hors troubles sensitifs) relevées pour chaque groupe seront également étudiées. Une comparaison en sous-groupes cherchera à évaluer l'impact des lésions méniscales et cartilagineuses initiales sur le résultat fonctionnel au dernier recul.

Nous formulons l'hypothèse que les résultats seraient comparables entre les deux groupes, conformément aux résultats de la littérature.

### **6.2.2. Évaluation de la récupération musculaire (par tests iso-cinétiques) :**

Le critère de jugement principal est la moyenne des déficits de pic de couple pour les 4 vitesses angulaires testées (240°, 180°, 60° en concentrique et 30° en excentrique) par rapport au côté sain pour le muscle quadriceps. Les critères de jugement secondaires sont :

- Cette même moyenne de déficit pour les muscles ischio-jambiers
- Les ratios H/Q (rapport ischio-jambier/quadriceps) unilatéraux et mixtes du pic ce couple.

- La moyenne des déficits de puissance des 4 vitesses angulaires par rapport au côté sain pour le quadriceps et les IJ.

Une éventuelle corrélation entre les résultats des tests iso cinétiques et les scores fonctionnels sera recherchée. Des corrélations avec l'âge et le délai accident – chirurgie seront également recherchées.

Nous supposons que la perte de force musculaire du quadriceps serait plus importante après reconstruction du LCA par technique au TQ comparé à la technique DT4 et inversement pour les muscles IJ.

### **6.2.3. Évaluation des lésions des branches infra patellaires du nerf saphène**

L'objectif principal de cette étude est de comparer la surface d'hypoesthésie du territoire des branches infra-patellaire du nerf saphène à distance d'une chirurgie de reconstruction du LCA par technique au TQ versus DT4. Les objectifs secondaires sont de comparer le taux de trouble sensitif et la longueur de la cicatrice entre les deux techniques ; de rechercher une corrélation entre la longueur de la cicatrice et la surface d'hypoesthésie ; et d'évaluer l'influence des troubles sensitifs sur les scores fonctionnels. Toute complication liée au prélèvement du TQ décrite par le patient était également recherchée afin de s'assurer de la faible innocuité du prélèvement comme décrit dans la littérature[31]. Nous posons l'hypothèse que la surface d'hypoesthésie serait moindre pour les reconstructions au TQ par rapport au DT4.

## **6.3. La série**

### **6.3.1. Méthodologie**

Il s'agit d'une étude observationnelle de cohorte comparative, prospective, mono centrique réalisée en accord avec les principes de la déclaration d'Helsinki. Tous les sujets inclus ont donné leur consentement éclairé et la gestion des données a été réalisée après enregistrement et déclaration de conformité auprès de la CNIL. Un premier avis éthique consultatif favorable a été obtenu le 18/12/2019 (CECIC Rhône-Alpes- Auvergne, Clermont-

Ferrand, IRB 5891) quant à la publication de nos résultats concernant les lésions des BIPNS et un deuxième le 04/05/2020 concernant les données issues des tests iso cinétiques (CECIC Rhône-Alpes- Auvergne, Clermont-Ferrand, IRB 5891) (Annexe 1).

L'inclusion avait lieu lors de la consultation pendant laquelle la chirurgie était programmée. Le choix de la technique opératoire entre DT4 et TQ était laissée au choix de l'opérateur sans indication préférentielle pour l'une ou l'autre des deux techniques. Les patients bénéficiaient tous du même suivi avec des consultations de contrôle clinique proposées à 3 mois, 6 mois, 1 an et 2 ans après l'intervention. Les patients bénéficiaient tous du même protocole de rééducation détaillé précédemment et d'un suivi par un même médecin du sport. Des tests iso cinétiques au 6<sup>ème</sup> mois post opératoire étaient prescrits conformément aux recommandations[73] et réalisés dans une même structure. Les résultats des test iso cinétique permettaient, en concertation avec le médecin du sport, de guider la phase de réathlétisation de la rééducation.

L'objectif était d'obtenir une série continue mono opérateur la plus importante possible sur la durée impartie à l'inclusion des patients (octobre 2016 à septembre 2018). Ainsi le calcul du nombre de sujets nécessaires préalable n'a pas été effectué puisque le nombre de sujets inclus allait être défini par le recrutement de notre centre sur la période d'inclusion. Les populations d'étude de chacun des trois axes sont issues de cette cohorte globale. Néanmoins, des calculs du nombre de sujet nécessaire ont été réalisés à posteriori pour juger de la pertinence statistique de nos résultats selon les 3 axes d'étude.

Les données cliniques étaient collectées prospectivement en consultation et consignées dans le dossier médical ainsi que dans un cahier d'observation dédié conservé dans le dossier du patient (Annexe 2). Les données per opératoires étaient issues du compte-rendu opératoire et les données radiologiques évaluées par interprétation directe des clichés. Les données des tests iso cinétiques étaient collectées à partir des données brutes du compte rendu de chaque test.

La méthodologie détaillée de chacun des trois axes d'étude sera présentée dans leur chapitre respectif.

### **6.3.2. Population**

Il s'agit d'une cohorte de 88 patients inclus prospectivement d'octobre 2016 à septembre 2018 ayant bénéficié d'une reconstruction du LCA par technique DT4 ou TQ par un opérateur unique (Pr PAILHE) dans le service d'orthopédie et traumatologie du sport du centre Hospitalo-Universitaire Grenoble Alpes (hôpital Sud).

#### 6.3.2.1. Critères d'inclusion et d'exclusion

Les critères d'inclusion étaient l'âge supérieur à 18 ans et l'indication d'une première reconstruction du LCA suite à une rupture isolée traumatique confirmé par IRM. Les critères d'exclusion comprenaient :

- Toute chirurgie antérieure du genou concerné
- Toute pathologie ou tout antécédent compromettant la fonction du membre inférieur concerné (tout antécédent traumatique ayant conduit à une symptomatologie séquellaire, pathologie neuro-musculaire dégénérative, arthrose visible en radiologie standard avec score d'Albäck supérieur ou égal à 2, pathologie inflammatoire rhumatismale, tendinopathie ou antécédent de rupture tendineuse).
- L'incapacité du patient à recevoir et comprendre une information claire, loyale et appropriée au sujet de l'étude et l'incapacité à pouvoir exprimer ou donner son consentement.
- L'absence totale de pratique d'activité sportive (pratique d'une activité physique au moins mensuelle)
- Un indice de masse corporelle supérieur à  $35\text{kg.m}^{-2}$
- Toute contre-indication à la réalisation d'une IRM (implant ou corps étranger ferromagnétique, dispositif médical non IRM-compatible)

#### 6.3.2.2. Flow chart

Voir figure 8, page suivante.

128 patients ont bénéficié d'une reconstruction du LCA entre octobre 2016 et septembre 2018 dans notre service. Parmi eux, 88 patients remplissaient les critères d'inclusion et d'exclusion. 13 patients ont été perdu de vue. Les données étaient ainsi disponibles pour 75 patients : 43 patients ayant bénéficié d'une reconstruction par TQ et 32 par DT4. Les



données cliniques et scores fonctionnels étaient disponibles pour l'ensemble des 75 patients. Les données de l'évaluation sensitive du territoire des BIPNS étaient disponibles pour 53 patients (28 TQ et 25 DT4) et celle des test iso-cinétiques chez 44 patients (25 TQ et 19 DT4).

Trente et un patients n'ont pas réalisé de test iso-cinétiques malgré la prescription de cet examen (problème d'observance) et 22 patients n'ont pas bénéficié d'évaluation sensitive par absence de l'évaluateur (indépendant de l'opérateur) le jour de la consultation de suivi.

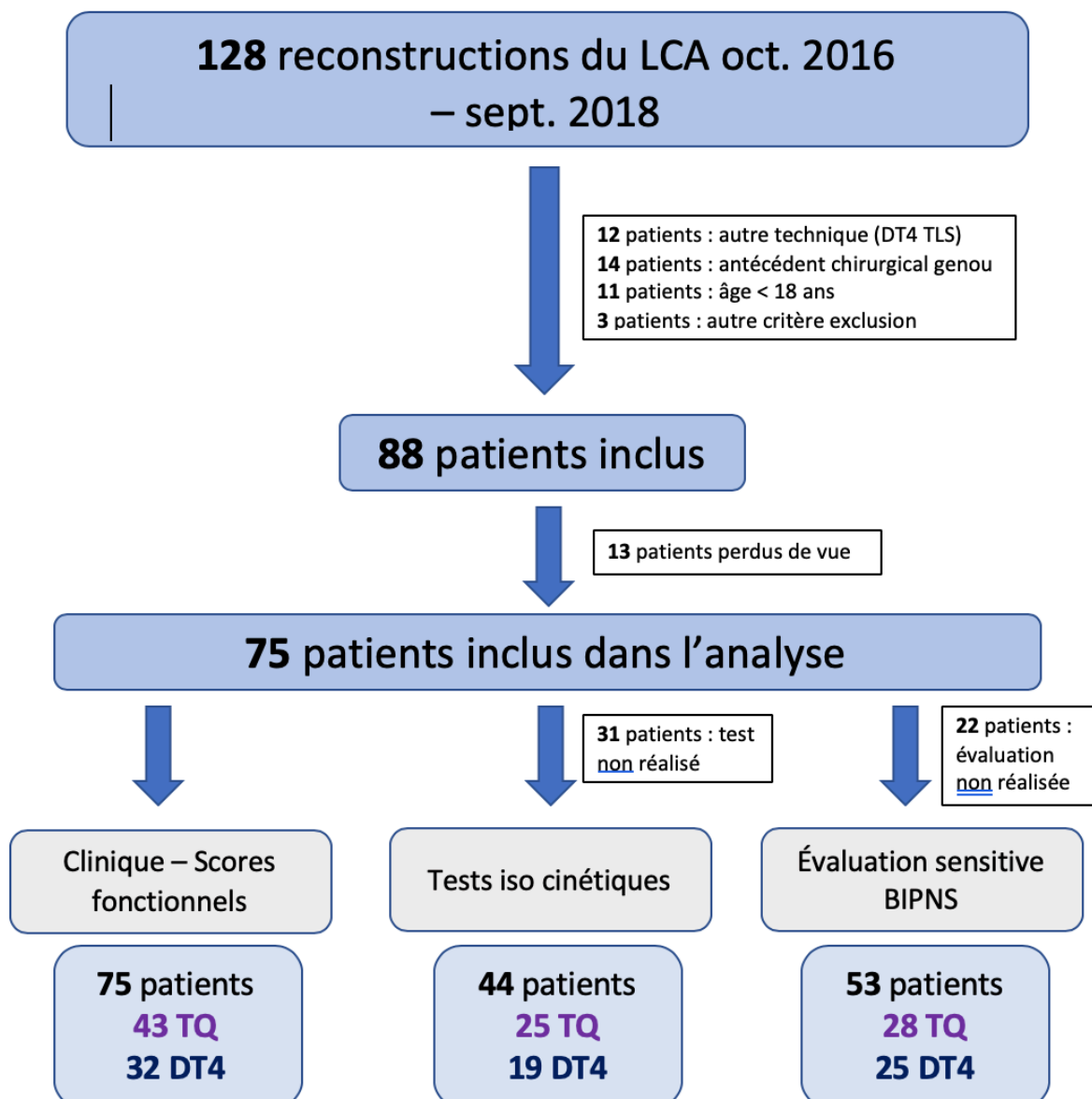


Figure 8 : Flow-chart

### 6.3.3. Caractéristiques de la série globale

#### 6.3.3.1. Description

Les caractéristiques de la série sont détaillées dans le tableau 2 (page suivante). L'âge moyen était de 31,6 ans et le recul moyen pour l'évaluation finale de 18 mois. La rupture du LCA était survenue lors d'un accident sportif dans 85% des cas. La moitié des patients étaient sportifs amateurs réguliers (hebdomadaire), un quart pratiquaient un sport en compétition et un quart d'entre eux étaient sportifs occasionnels (une fois par mois minimum).

Le recul moyen était supérieur d'un mois et demi en moyenne dans le groupe DT4 avec une différence proche de significativité statistique ( $p=0,07$ ). Les patients des groupes TQ et DT4 étaient comparables en termes d'âge lors de la chirurgie ( $31,6 \pm 11$  en moyenne, extrêmes : 18 – 69 ans), de côté, de recul ( $18 \pm 4,9$  mois en moyenne, extrêmes : 12 – 32 mois) et de délai entre le traumatisme et la prise en charge chirurgicale (6 mois en moyenne). Il faut préciser que ce délai moyen entre le traumatisme et la chirurgie était nettement majoré par quelques patients ayant attendu plusieurs années avant d'être opéré. Ainsi cette moyenne passait à  $108 \pm 80$  jours dans le groupe DT4 et à  $82 \pm 56$  jours dans le groupe TQ ( $p=0,15$ ) en excluant du calcul 4 patients du groupe DT4 et 3 patients du groupe TQ pour lesquels le délai était supérieur à un an.

Le groupe TQ comptait plus d'hommes et le groupe DT4 plus de femmes de manière statistiquement significative. Par conséquent la taille moyenne était supérieure dans le groupe TQ ( $174 \pm 8$ cm versus  $169 \pm 9$  en moyenne ;  $p = 0,006$ ). La pratique sportive apparaissait prépondérante dans le groupe TQ : un traumatisme sportif était la cause de la rupture du LCA dans la quasi-totalité des cas du groupe TQ (93% versus 75% dans le groupe DT4) et la pratique d'un sport en compétition était 3 fois plus fréquente dans le groupe TQ par rapport au groupe DT4 (30% versus 9,5%,  $p = 0,03$ ).

		Tendon quadricipital	Demi tendineux à 4 faisceaux	Toute la cohorte	p-value (TQ vs DT4)
<b>Effectif</b>		43	32	75	
<b>Sexe</b>	Homme	32 (74%)	13 (41%)	45 (60%)	<b>0,003</b>
	Femme	11 (26%)	19 (59%)	30 (40%)	<b>0,003</b>
<b>Age (années)</b>		29,7 ± 9	34,2 ± 12	31,6 ± 11	0,09
<b>Délai accident – chirurgie (jours)</b>		204	205	205	0,99
<b>Côté</b>	Droit	27 (63%)	15 (47%)	42 (56%)	0,17
	Gauche	16 (37%)	17 (53%)	33 (44%)	0,17
<b>Morphologie</b>	Taille (cm)	174 ± 8	169 ± 9	172 ± 9	<b>0,006</b>
	Poids (kg)	73 ± 13	68,6 ± 12	71,7 ± 13	0,08
	Indice de masse corporelle	24 ± 3,3	24 ± 3,5	24 ± 3,4	0,93
<b>Étiologie rupture LCA</b>	Accident sportif	40 (93%)	24 (75%)	64 (85%)	<b>0,029</b>
	Accident domestique	1 (2%)	5 (15%)	6 (8%)	0,07
	Autre	2 (5%)	3 (10%)	5 (7%)	
<b>Niveau sportif</b>	Occasionnel	10 (23%)	12 (37,5%)	22 (29%)	0,18
	Régulier	20 (47%)	17 (53%)	37 (49%)	0,57
	Compétition	13 (30%)	3 (9,5%)	16 (22%)	<b>0,03</b>
<b>Recul pour l'évaluation clinique – scores fonctionnels (mois)</b>		17,5 ± 4,6	19 ± 4	18 ± 4,9	0,07

Tableau 2 : Caractéristiques de la population globale

L'étiologie de rupture du LCA de loin la plus fréquente est le traumatisme sportif. Nous comptons ainsi sur l'ensemble de la série (figure 9) :

- 33% d'accident de ski
- 25% d'accident de football
- 15% d'accident de rugby
- 8% d'accident domestique
- 5,3% d'accident de basketball
- 4% d'accident de handball
- 4% d'accident de travail
- 2,6% d'accident de la voie publique (moto)
- 1,3% d'accident de course à pied (1 cas)
- 1,3% d'accident de chien de traîneau (1 cas)

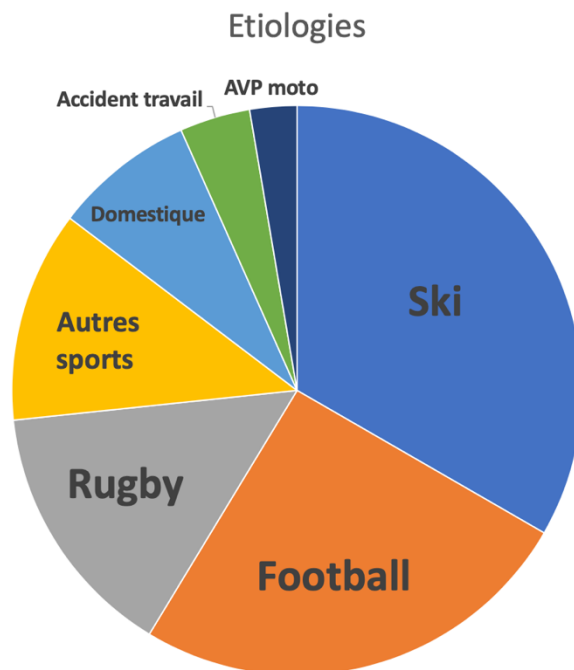


Figure 9 : Etiologies traumatiques de ruptures de LCA

#### 6.3.3.2. Caractéristiques per opératoires

Les données per opératoires sont détaillées dans le tableau 3 (page suivante).

		Tendon quadricipital	Demi tendineux à 4 faisceaux	Toute la cohorte	p-value (TQ vs DT4)
<b>Effectif</b>		43	32	75	
<b>Laximétrie (mm)</b>	Côté atteint	10,6 ± 2,9	10,1 ± 2,6	10,4 ± 2,8	0,33
	Côté sain	5,9 ± 1,8	5,5 ± 1,8	5,7 ± 1,8	0,34
	Différentielle	4,7 ± 2,7	4,2 ± 2,3	4,5 ± 2,5	0,68
<b>Lésions méniscale (toutes)</b>		10 (23%)	13 (41%)	23 (31%)	0,11
<b>Lésion méniscale interne</b>	Toutes	7 (16%)	7 (22%)	14 (18,5%)	0,21
	Suture / abstention	5 (11,5%)	4 (12,5%)	9 (12%)	
	Résection	2 (4,5%)	3 (9,5%)	5 (6,5%)	
<b>Lésion méniscale externe</b>	Toutes	4 (9%)	9 (28%)	13 (17,5%)	<b>0,03</b>
	Suture/ abstention	2 (4,5%)	5 (15,5%)	7 (9,5%)	
	Résection	2 (4,5%)	4 (12,5%)	6 (8%)	
<b>Ressaut rotatoire</b>	Absent	2 (4,5%)	1 (3%)	3 (4%)	1
	Ébauche	28 (65,5%)	11 (34%)	39 (52%)	<b>0,008</b>
	Net	5 (11,5%)	17 (53,5%)	22 (29%)	<b>0,0002</b>
	Explosif	8 (18,5%)	3 (9,5%)	11 (15%)	0,33
<b>Lésions chondrales en zone portante</b>	ICRS = 0	29 (70%)	17 (53,5%)	46 (61,5%)	0,2
	ICRS = 1	9 (21%)	8 (25%)	17 (23,5%)	0,68
	ICRS = 2	3 (7%)	6 (18%)	9 (12%)	0,12
	ICRS = 3	1 (2%)	1 (3%)	2 (3%)	
<b>Diamètre greffe (mm)</b>		9,3 ± 0,8	8,9 ± 0,8	9,1 ± 0,8	0,08
<b>Durée opératoire (min)</b>		57 ± 8	44 ± 10	51 ± 11	<b>&lt;0,0001</b>

Tableau 3 : Données per opératoires

L'examen clinique est facilité par rapport à celui réalisé en consultation grâce au relâchement parfait obtenu par l'anesthésie. Les deux groupes se sont avérés comparables en termes de laximétrie pré opératoire (laxité différentielle moyenne =  $4,5 \pm 2,5$ cm), de diamètre de la greffe ( $9,1 \pm 0,8$ mm en moyenne) et de lésions chondrales observées en per opératoire. Cependant, les ressauts rotatoires nets à explosif étaient 2 fois plus fréquents dans le groupe DT4 (63%) par rapport au groupe TQ (30%). De même, on observe une tendance à un taux de lésions méniscales plus élevé dans le groupe DT4. Cette différence n'est significative que pour le ménisque externe (28% versus 9%,  $p = 0,03$ ) et se situe proche de la significativité statistique si on considère les 2 ménisques (43% versus 21%,  $p = 0,11$ ). Il existe donc une tendance pour le groupe DT4 à présenter un bilan lésionnel et laximétrique initial plus péjoratif que celui du groupe TQ. Enfin la durée opératoire moyenne était significativement réduite de 13 minutes en moyenne dans le groupe DT4 par rapport au groupe TQ.

Les caractéristiques détaillées des 2 sous-groupes d'analyse des tests iso cinétiques et des lésions des BIPNS seront proposées dans leur chapitre respectif.

## 6.4. Résultats cliniques

Les données d'examen clinique de score fonctionnel étaient disponibles pour l'ensemble des 75 patients de la série qui est décrite dans le chapitre 6.3.

### 6.4.1. Méthode

#### 6.4.1.1. Évaluation

Un suivi clinique à 3, 6, 12 et 24 mois était proposé à tous les patients. Lors de la dernière consultation de suivi, une auto évaluation était réalisée par le patient qui complétait lui-même les scores fonctionnels de Tegner-Lysholm[119] et de KOOS[118]. Les critères d'interprétation[120] sont détaillés dans le tableau 4.

	Score de KOOS	Score de Tegner-Lysholm
Excellent	100 - 95	100-91
Bon	94-84	90 - 84
Moyen	83 - 65	83 - 65
Mauvais	< 65	< 65

Tableau 4 : Interprétation des scores de KOOS et Tegner-Lysholm

Les données classiques d'examen clinique étaient recueillies par un examinateur indépendant de l'opérateur : douleur (EVA), laximétrie bilatérale (testing par arthromètre KT1000), amplitudes articulaires, test de Lachman et ressaut rotatoire. Toutes complications éventuelles survenues lors du suivi étaient recherchées et recueillies. Un cliché radiographique était réalisé en post opératoire immédiat. Toute anomalie radiologique était relevée : position des tunnels et du matériel de fixation (vis interférences et endo boutons), ou une éventuelle fracture. Aucun autre examen radiologique n'était prescrit si l'évolution post opératoire était satisfaisante. Ces informations étaient conservées dans le dossier médical au sein d'un cahier d'observation (annexe 2) pour l'exploitation ultérieure des données.

Les patients n'ayant pas complété un suivi supérieur à 1 an étaient contactés par téléphone pour proposer une dernière consultation de suivi. Ceux n'ayant pu être contactés ou n'ayant pas souhaité terminer le suivi étaient considérés comme perdus de vue (13 patients).

#### 6.4.1.2. Analyse

Les moyennes des scores fonctionnels et des variables quantitatives d'examen clinique étaient comparées à l'aide d'un test T de Student. Les taux de complication et variables qualitatives d'examen clinique (ressaut rotatoire, niveau de reprise du sport etc.) par un test du CHI<sup>2</sup> ou test exact de Fischer selon les effectifs. Les troubles sensitifs n'étaient pas comptabilisés parmi les complications puisqu'ils font l'objet d'une analyse dédiée. Les patients ayant présenté une rupture de la plastie du LCA (confirmée par IRM) étaient exclus de l'analyse des scores fonctionnels et des données cliniques et seulement comptabilisés

parmi les complications comme « rupture itérative ». Les complications étaient considérées « mineures » si les deux scores fonctionnels étaient supérieurs ou égaux à la moyenne du groupe concerné moins l'écart type. Dans le cas contraire, la complication était considérée comme « sévère ». Une analyse en sous-groupes sur l'ensemble de la cohorte a été effectuée entre les patients ne présentant aucune lésions ménisco-cartilagineuses associées observées en peropératoire et ceux en présentant. Aucun calcul du nombre de sujet nécessaire n'a été réalisé car l'objectif était d'obtenir une série continue prospective aussi importante que pouvait offrir le recrutement de notre centre.

## **6.4.2. Résultats**

Le recul était en moyenne de 18 mois (comparable entre les deux groupes)

### 6.4.2.1. Complications

NB : Les complications sont résumées dans le tableau 5 situé à la fin de ce paragraphe.

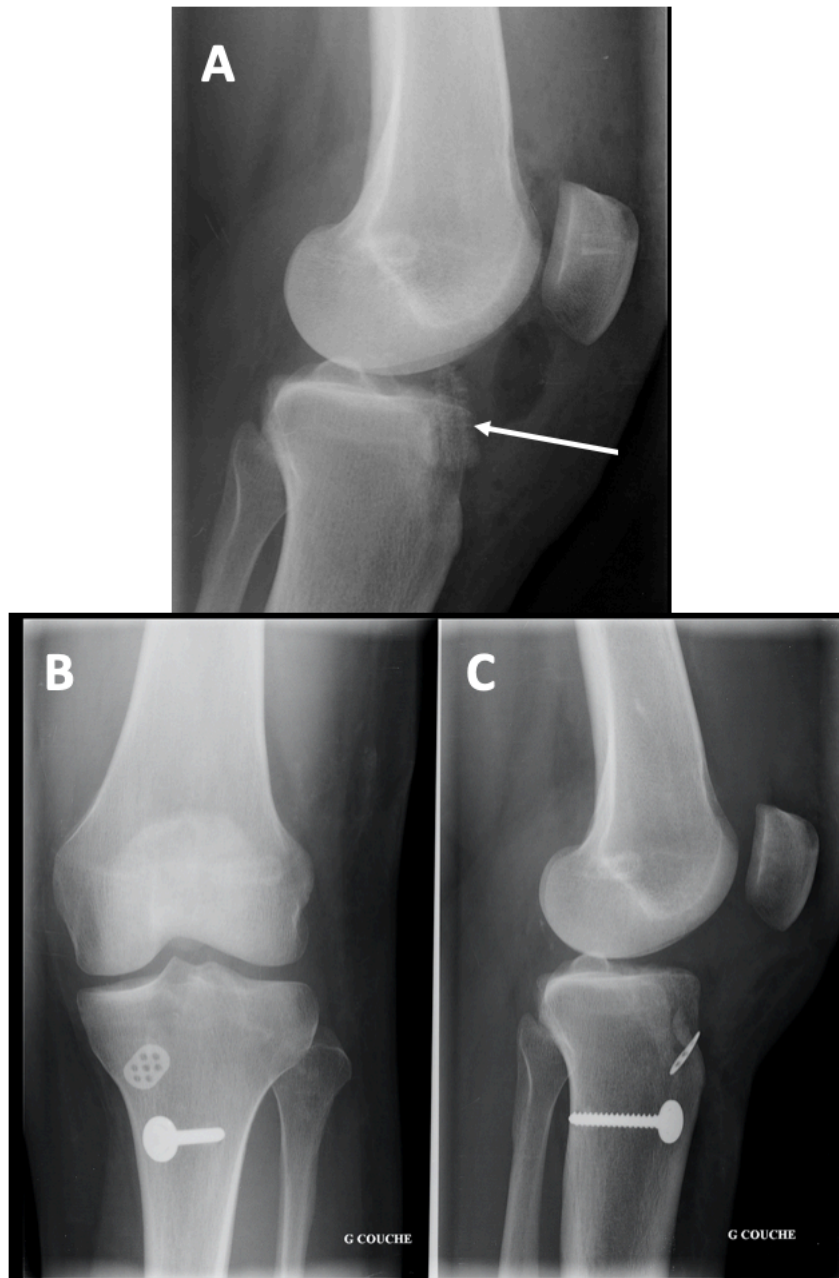
### **Per opératoire – Post opératoire immédiat**

#### Groupe TQ :

- 3 patients présentaient un tunnel tibial court et trop horizontal (sortie intra articulaire satisfaisante mais point d'entrée trop proximal sur le tibia) sur la radiographie de contrôle post – opératoire. Un d'eux a présenté une fracture de la corticale antérieure et une faillite de la fixation par vis d'interférence nécessitant une reprise chirurgicale à J1 avec méchage d'un nouveau tunnel tibial et fixation par vis et plaque-bouton (image 22). Pour les deux autres patients cette constatation radiologique resta sans conséquence au regard de l'évolution ultérieure.

Un cas d'incident lors du prélèvement du TQ : l'incision du TQ présentait une orientation trop latérale à sa partie distale. L'extrémité distale du greffon était ainsi insérée trop latéralement sur la patella pour pouvoir prélever une baguette osseuse de taille adéquate. La fixation s'est donc faite sans baguette osseuse au tibia.





*Image 22 : Faillite de la fixation tibiale (A), reprise chirurgicale et nouvelle fixation par plaque-bouton : radiographie de face (B) et profil (C)*

Groupe DT4 :

- Un cas de migration intra articulaire de l'endo-bouton tibial a été observée à la radiographie de contrôle de J1. Le patient a bénéficié d'une reprise chirurgicale à J2 avec reprise de la fixation par vis d'interférence au tibia et au fémur (image 23, page suivante).
- Pour un patient, l'endo-bouton fémoral était suspendu dans les tissus mou (fascia lata) et donc non appliqué à la cortical fémorale. Il a été décidé de tolérer cette

anomalie de fixation qui fut sans conséquence sur le résultat final (image 24, page suivante).

- Un patient présentait un tunnel fémoral trop antérieur d'environ 1cm à sa position idéale également sans retentissement sur l'évaluation clinique et fonctionnelle de fin de suivi



*Image 23 : Faillite de la fixation tibiale par migration intra articulaire de l'endo-bouton (A) et reprise chirurgicale avec fixation par vis d'interférence (B)*



*Image 24 : Endo bouton non appliqué à la corticale fémorale*

### **Ruptures itératives**

Un patient a présenté une rupture itérative dans chaque groupe. Dans le groupe TQ, la rupture de la greffe a eu lieu 12 mois après la chirurgie lors d'un traumatisme sportif (accident de basketball) chez un patient de 19 ans. Ce dernier a refusé toute reprise chirurgicale. Dans le groupe DT4 il s'agit d'un patient de 21 ans victime d'un accident domestique 5 mois après la chirurgie qui a bénéficié d'une reprise chirurgicale par TQ. Le taux de rupture s'élève ainsi à 2,7% sur l'ensemble de la série sans différence entre les deux groupes.

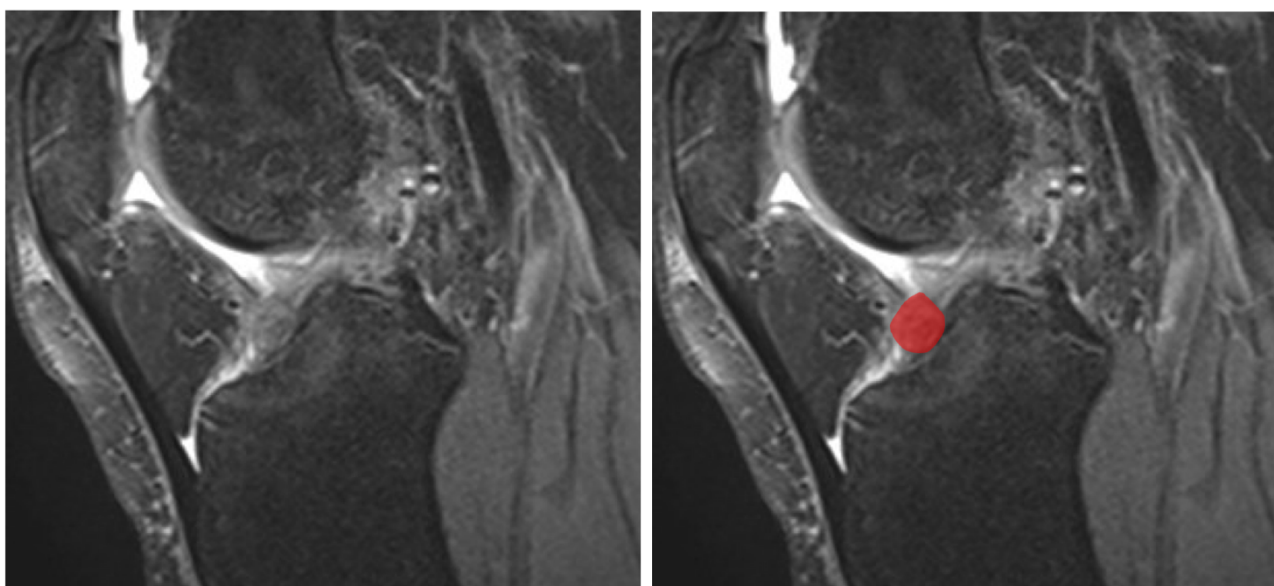
### **Autres complications**

#### Dans le groupe TQ :

Deux patients ont présenté des gonalgies diffuses post opératoire devenues chroniques empêchant la reprise du sport et impactant significativement le résultat fonctionnel (score de Tegner- Lysholm et score de KOOS compris entre 70 et 75 points). Un de ces patients avait 50 ans et présentait des lésions chondrales fémoro-tibiales internes et externes classées ICRS 2 avec des lésions dégénératives des deux ménisques pouvant expliquer les douleurs. L'indication opératoire avait été retenue devant une instabilité invalidante persistant après la rééducation initiale. Pour l'autre patient (femme de 23 ans), aucune étiologie expliquant les douleurs n'a été mise en évidence.

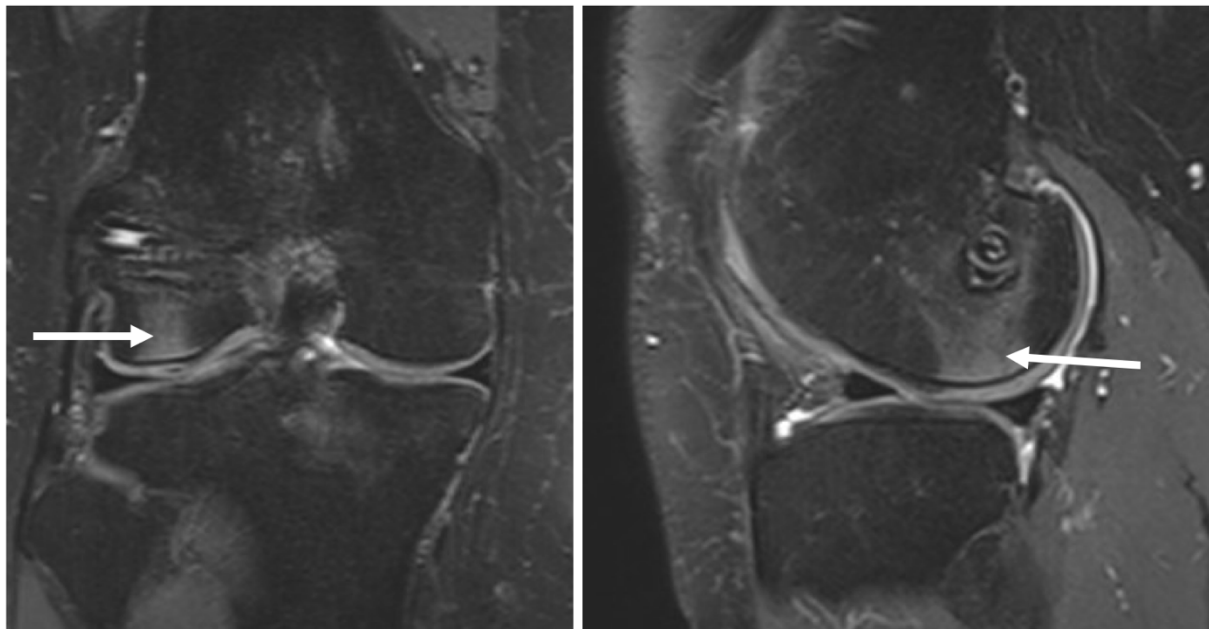
Une patiente a présenté une raideur post opératoire (flexion maximale 75°) nécessitant une mobilisation sous anesthésie générale au 3<sup>ème</sup> mois post opératoire. Au dernier recul le résultat final était satisfaisant puisque cette patiente avait atteint 130° de flexion, sans flessum.

Deux patients ont développé une arthrofibrose post opératoire responsable d'un « syndrome du cyclop ». La symptomatologie clinique était marquée par un défaut d'extension complète du genou ainsi que des douleurs aux amplitudes proche de l'extension maximale. Le diagnostic était confirmé par IRM ou arthroscanner (image 25).



*Image 25 : Syndrome du cyclop post opératoire diagnostiqué en IRM*

Un des deux patients était néanmoins peu gêné (flessum inférieur à 5° et douleurs faibles) et n'a pas souhaité de prise en charge particulière. L'autre patient a bénéficié d'une reprise chirurgicale pour exérèse arthroscopique du cyclop. Au dernier recul (14 mois) l'extension complète était acquise mais les scores fonctionnels demeuraient insatisfaisants (scores de Tegner-Lysholm et KOOS respectivement à 54 et 43,5) liés à des douleurs persistantes et une flexion limitée à 120°. Cette même patiente présentait un hyper signal IRM persistant à 7 mois post opératoire de l'os spongieux du condyle fémoral latérale en regard du tunnel et de la vis d'interférence (image 26, page suivante).



*Image 26 : Hyper signal du condyle fémoral externe*

L'hypothèse d'ostéonécrose potentiellement secondaire à la réalisation du tunnel fémoral semble envisageable. Au dernier recul, aucune imagerie ultérieure ne permettait d'étayer le diagnostic.

#### Dans le groupe DT4 :

Un patient a présenté un flessum séquellaire de 15°. Ce dernier n'avait pas effectué de rééducation et ne souhaitait aucune prise en charge particulière (contexte de pathologie psychiatrique déclarée après l'intervention avec idées suicidaires).

Un cas de « syndrome du cyclop » est à noter chez une patiente avec reprise chirurgicale par exérèse sous arthroscopie dans une autre structure à 15 mois de la chirurgie. L'évaluation finale était proche de la reprise chirurgicale (un mois) expliquant des scores fonctionnels médiocres pour cette patiente (Tegner-Lysholm = 57, KOOS = 59).

Une patiente présentait des douleurs précisément localisées à l'endo bouton tibial sans explication autre qu'une gêne secondaire à la présence du matériel de fixation. Elle a bénéficié d'une ablation de l'endo bouton à 2 ans de l'intervention permettant d'obtenir une nette diminution des douleurs.

Un patient était sujet à des douleurs chroniques non étiquetées (bilan IRM sans anomalies et examen clinique normal) altérant sévèrement les score fonctionnels (Tegner-Lysholm = 48, KOOS = 35).

Enfin un cas de raideur articulaire post opératoire a nécessité d'intensifier la kinésithérapie après le contrôle à partir du 3<sup>ème</sup> mois (flexion 100°). Au dernier recul la flexion atteignait 125° avec de bons scores fonctionnels.

	Groupe TQ	Groupe DT4	p-value
Toutes	10 (23%)	9 (28%)	0,51
Rupture itérative	1	1	-
Cyclop Syndrome	2	1	-
Douleurs chroniques	2	2	-
Raideur articulaire	1	2	-
Échec de fixation	1	1	-
Anomalie radiologique	2	2	-
Prélèvement (hors lésion BIPNS)	0	0	-
Nécessité d'une reprise chirurgicale	3 (7%)	4 (12,5%)	0,45
Complication sévère	4 (9%)	4 (12,5%)	0,71

*Tableau 5 : Complications (hors troubles sensitifs)*

Les taux de complications (hors troubles sensitifs) étaient similaires dans les deux groupes TQ et DT4. Les taux de complications ayant nécessité une reprise chirurgicale ou ayant influencé péjorativement le résultat fonctionnel final étaient également semblables entre les deux groupes (cf tableau 5).

Aucune complication du site de prélèvement du TQ n'a été rapportée : pas de rupture du tendon, pas de fracture de rotule, pas de tendinopathie, pas de douleur et pas de trouble sensitif en regard de la cicatrice.



Aucun patient n'a présenté de complication septique, aucune lésion méniscale suturée n'a nécessité de méniscectomie secondaire.

#### 6.4.2.2. Examen physique

La flexion de genou atteinte dans les deux groupes était satisfaisante avec une diminution de la flexion maximale par rapport au genou contro-latéral de seulement 5° dans le groupe TQ et 7,8° dans le groupe DT4. Les patients du groupe TQ présentaient en moyenne une flexion volontiers supérieure (+5°) à celle des patients du groupe DT4 (142° versus 137°,  $p=0,008$ ). A noter que les patients du groupe TQ présentaient également une flexion maximale du genou controlatérale légèrement supérieure à ceux du groupe DT4. Aucun des patients n'avait d'épanchement articulaire palpable cliniquement au dernier recul.

Le tiroir antérieur moyen du genou atteint mesuré par test au KT1000 était de  $4,9 \pm 1,6$ mm (extrêmes : 2 – 8mm) dans le groupe TQ et de  $5,2 \pm 1,5$  dans le groupe DT4 sans différence statistiquement significative. La laxité différentielle moyenne par rapport au genou controlatérale était inférieure à 1mm dans les deux groupes sans différence significative. On comptait quatre et deux cas de ressaut résiduel dans les groupes DT4 et TQ respectivement. Le test de Lachman montrait un arrêt dur pour l'ensemble des patients des deux groupes (arrêt du retardé pour 2 patients du groupe TQ).

Les données d'examen clinique au dernier recul figurent dans le tableau 6 page suivante.

		Groupe TQ	Groupe DT4	Cohorte complète	p-value
Laximétrie (KT 1000, mm)	Côté atteint	4,9 ± 1,6	5,2 ± 1,5	5 ± 1,5	0,39
	Côté sain	4,7 ± 2	4,6 ± 1,5	4,6 ± 1,8	0,17
	Différentiel (sain – atteint)	0,2 ± 1,4	0,6 ± 1,5	0,4 ± 1,4	0,19
Ressaut	Absent	40 (95%)	27 (87%)	67 (92%)	NS
	Ébauche	1 (2,5%)	4 (13%)	5 (6,5%)	0,16
	Net	1 (2,5)	0 (0%)	1 (1,5%)	NS
Test de Lachman	Arrêt dur	40 (95%)	31 (100%)	71 (97%)	NS
	Arrêt dur retardé	2 (5%)	0	2 (3%)	0,50
	Arrêt mou	0	0	0	
Clinique	Flexion côté opéré	142 ± 7	137 ± 8	140 ± 7,8	<b>0,008</b>
	Flexion côté sain	147 ± 6	145 ± 5	146 ± 5,8	0,14
	Différentiel flexion	5 ± 6	7,8 ± 9	6,2 ± 7,6	0,14
	Épanchement	0	0	0	

Tableau 6 : Données d'examen clinique au dernier recul



L'analyse des deux mesures de la laxité antérieure (avant et après l'intervention) du genou sain montre une mauvaise reproductibilité dans la réalisation de ce test dans notre étude. En effet pour 35 patients, l'écart entre les deux mesures était supérieur ou égal à 2mm (soit 40% de la valeur moyenne) avec des écarts allant jusqu'à 6 mm de différence. Pour 7 d'entre eux la variation était positive entre les mesures pré puis post opératoires, et négative pour les 28 autres (figure 10).

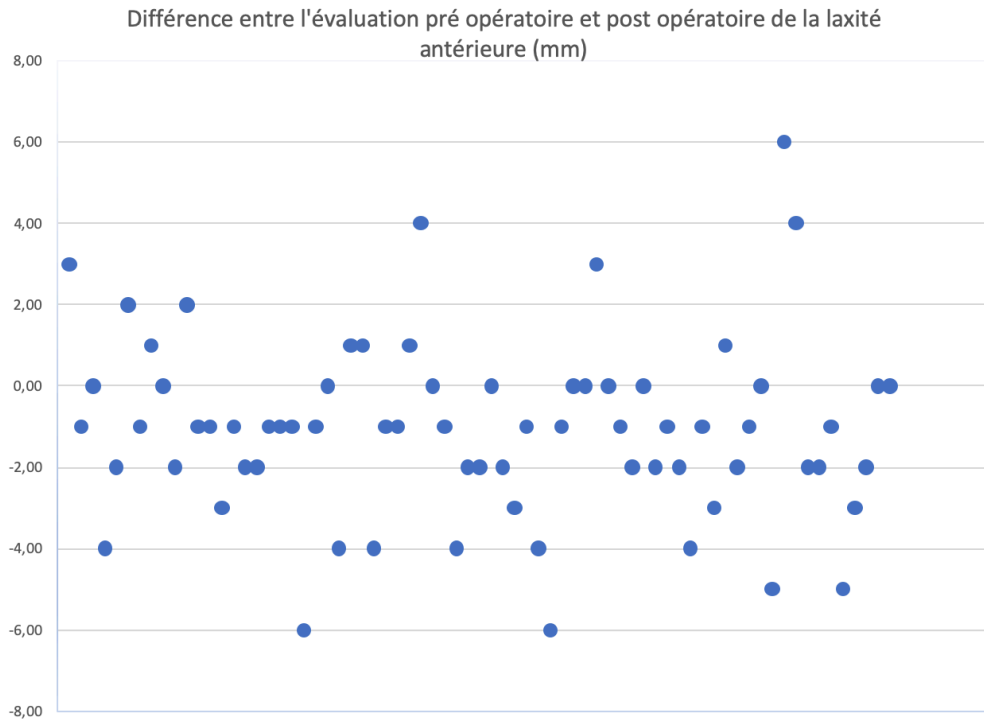


Figure 10 : Différence entre l'évaluation pré et post opératoire de la laxité antérieure du genou sain

#### 6.4.2.3. Scores fonctionnels

Les résultats des scores fonctionnels sont détaillés dans le tableau 7 page suivante.

Le score de Tegner-Lysholm est bon à excellent dans 90% des cas dans le groupe TQ avec en moyenne  $93,7 \pm 9,3$  points (extrêmes : 54 - 100) et dans 87% des cas dans le groupe DT4 avec en moyenne  $91,5 \pm 12,7$  points (extrêmes : 48 - 100).

Le score de KOOS est bon à excellent dans 93% des cas dans le groupe TQ avec en moyenne  $93,7 \pm 9,3$  points (extrêmes : 43,5 - 100) et dans 91% des cas dans le groupe DT4 avec en moyenne  $91,5 \pm 12,7$  points (extrêmes : 35 - 100). Pour ces deux scores ainsi que pour les 5 items du score de KOOS, les résultats sont systématiquement plus favorables dans le groupe

TQ avec des valeurs augmentées de 2,2% à 8,8% selon le score ou l'item concerné. Néanmoins, aucune de ces différences ne s'est avérée statistiquement significative.

	Groupe TQ	Groupe DT4	Cohorte complète	p-value
<b>Tegner – Lyshlom</b>	<b>93,7 ± 9,3</b>	<b>91,5 ± 12,7</b>	<b>92,7 ± 10,8</b>	<b>0,41</b>
Interprétation				
Excellent	31 (74%)	23 (74%)	54 (74%)	0,85
Bon	7 (16%)	4 (13%)	11 (14%)	0,65
Moyen	3 (7%)	2 (6,5%)	5 (7%)	0,90
Médiocre	1 (2%)	2 (6,5%)	3 (4%)	0,57
<b>KOOS</b>	<b>93,7 ± 10,2</b>	<b>90,6 ± 14,9</b>	<b>92,4 ± 12,4</b>	<b>0,31</b>
Détails				
Symptômes	92,5 ± 13	88,3 ± 18	90,7 ± 15	0,28
Douleur	94 ± 10	91,4 ± 12	92,9 ± 11	0,32
Activité quotidienne	97,4 ± 6,7	95,7 ± 11	96,7 ± 9	0,44
Activité sportive	88,8 ± 22	83,7 ± 26	86,6 ± 23	0,36
Qualité de vie	83,5 ± 18	76,7 ± 27	80,6 ± 22	0,22
Interprétation				
Excellent	31 (74%)	18 (58%)	49 (67%)	0,16
Bon	8 (19%)	7 (23%)	15 (21%)	0,71
Moyen	2 (5%)	3 (9,5%)	5 (7%)	0,64
Médiocre	1 (2%)	3 (9,5%)	4 (5%)	0,31

Tableau 7 : Résultats des scores fonctionnels de KOOS et Tegner-Lyshlom

Nous avons étudié l'influence des lésions associées cartilagineuses et méniscales en comparant au sein de la cohorte globale : un groupe de patients ne présentant aucune lésion méniscale et cartilagineuse (bilan lésionnel per opératoire : score ICRS = 0 en regard des compartiments fémoro-patellaire, fémoro-tibial interne et externe ; ménisques internes et externes sains) et un groupe de patients présentant des lésions associées). Le score de KOOS était en moyenne de  $90,8 \pm 12$  dans le groupe sain de toute lésion ménisco-cartilagineuse associée et de  $95,2 \pm 9$  dans le groupe présentant des lésions ( $p=0,39$ ). L'étude du score de Tegner – Lysholm montre la même observation.

La corrélation entre le score de Tegner et de KOOS sur l'ensemble de la cohorte était excellente, (coefficient de pearson = 0.9346, intervalle de confiance à 95% : [0.90 ; 0.96]) preuve de la concordance de nos 2 évaluations fonctionnelles pour chaque patient

### 6.4.3. Discussion

Notre étude montre des résultats équivalents entre les techniques DT4 et TQ après reconstruction du LCA avec 18 mois de recul. L'ensemble des données d'examen physique et de score fonctionnels sont comparables entre les deux groupes mais les différences, aussi minimales soient-elles, penchent toujours en faveur du TQ. Cependant, aucune d'entre elle ne s'est révélée statistiquement significative.

#### 6.4.3.1. Points forts

Les points forts de notre étude sont le caractère prospectif du recueil de données et le fait qu'il s'agisse, après l'étude de Runer et al.[14], de la deuxième série à notre connaissance comparant la technique au TQ spécifiquement à une technique de greffe courte au DT4. Il s'agit également de la première comparaison entre ces deux techniques intégrant des données laximétriques.

#### 6.4.3.2. Limites

Ce travail présente plusieurs limites. Le recul peut être considéré comme insuffisant puisqu'il n'est que d'une année pour certains patients. La durée de reprise d'une pratique sportive sans restriction est probablement trop faible pour voir apparaître toutes les complications

d'instabilité récidivante. Les complications tardives dégénératives ne peuvent pas être étudiées avec un recul de 18 mois mais ce n'était pas l'objectif de ce travail.

Même si le sexe ne semble pas être un facteur prédictif du résultat fonctionnel[121][122], il faut noter que le ratio homme / femme était très déséquilibré dans les deux groupes rendant discutable leur caractère comparable.

Notre étude manque de puissance. En effet, notre effectif est insuffisant pour établir une différence significative entre deux techniques ayant des résultats très proches. En considérant nos moyennes et écart type sur le score de KOOS, un effectif de plus de 500 patients par groupe serait nécessaire pour espérer montrer une différence significative.

Les résultats concernant la mesure du tiroir antérieur par KT1000 sont à considérer avec prudence puisque la reproductibilité entre les deux mesures pré et post opératoires sur le genou sain est mauvaise pour près de la moitié des patients. Comme soutenu par plusieurs auteurs[123][124], la fiabilité de cette mesure est critiquable mais il s'agit de notre seule option disponible pour obtenir une valeur chiffrée de laxité antérieure lors d'un examen clinique de routine.

Le chirurgien opérateur présentait au début de l'étude une grande expérience des reconstruction type DT4 tandis qu'il s'agissait du début d'expérience concernant les reconstructions au TQ. La courbe d'apprentissage était ainsi incluse parmi les cas de TQ et peut potentiellement affecter les résultats du groupe TQ.

Enfin, la faiblesse principale de cette série est le nombre de perdus de vue avec un taux proche de 15% responsable d'un biais de sélection certain.

#### 6.4.3.3. Comparaison à la littérature

##### Technique TQ

Nos résultats correspondent à ceux décrits dans la littérature. Mouarbes et al.[125] ont décrit, dans la revue de la littérature la plus récente et la plus exhaustive à ce jour (27 études) les résultats cliniques issus de l'analyse de plus de 2000 patients ayant bénéficié d'une reconstruction du LCA par TQ. La laxité différentielle mesurée au KT1000 était plus élevée d'environ 1,5mm par rapport à nos résultats. Cette différence apparaît négligeable d'autant plus que la laxité post opératoire n'est pas un facteur prédictif de mauvais résultat d'après Goodwillie et al.[126]. Avec plus de 15 ans de recul, ces auteurs ne rapportent pas

de différence en termes de scores fonctionnels entre deux groupes de patients présentant, pour l'un, une laxité différentielle supérieure à 5mm, et pour l'autre inférieure à 3mm.

Mouarbes et al.[125] rapportent, comme dans notre série, un test de Lachman avec arrêt dur et l'absence de ressaut rotatoire franc dans plus de 95% des cas (respectivement 96% et 97% des cas). Le score de Tegner-Lysholm atteignait en moyenne 91 points (93,7 dans notre série) et le taux de rupture itérative s'élevait à 2,1%. C'est également que nous observons parmi nos résultats avec toutefois, un effectif trop faible pour présenter notre taux de rupture itérative comme statistiquement valable. Le seul point pour lequel notre série ne rejoint pas les conclusions de Mouarbes et al.[125] concerne les douleurs du site de prélèvement du TQ. Ils rapportent des douleurs dans 6% des cas tandis que nous n'avons relevé aucune symptomatologie en regard du site de prélèvement. Xerogeanes[31] dans une série de plus de 1000 patients conclut également à une morbidité faible du site de prélèvement. La morbidité à type de douleur du tendon quadricipital existe bien comme peuvent en témoigner ces importantes séries de la littérature. Cependant, la rareté de cet évènement explique probablement son absence parmi les 43 patients de notre étude.

#### Technique DT4 :

Il existe de nombreuses méthodes de fixations d'une greffe courte aux IJ type DT4. La technique TLS® (tape locking screw) proposée par Colette et Cassaard[127] en 2011 consiste à relier le greffon à des bandelettes qui seront fixées dans le tunnel osseux par des vis d'interférence. Une étude réalisée dans notre service[128] montre des scores de Tegner et Lysholm et IKDC proche de 95 points à 19 mois de recul. Les suites opératoires étaient marquées par un taux de d'arthrofibrose de l'échancrure (« cyclop syndrom ») s'élevant à 4,9%. En 2012, Lubowitz[129] proposa une technique « all inside » avec réalisation de tunnels borgnes et fixation par deux endoboutons réglables (GRAFTLINK®) avec d'excellents résultats d'après l'étude indépendante de Volpi[130]: score de Tegner – Lysholm moyen à 91 points et score IKDC supérieur à 90 points dans 95% des cas.

La technique utilisée dans notre étude avec deux endo boutons sur tunnels complets (PULLUP XL®) a été initialement décrite par Colombet et Graveleau[45] en 2015. Celle-ci a fait l'objet d'une étude prospective par les mêmes auteurs[131] incluant 129 patients à 2 ans de recul. La laxité antérieure moyenne était de  $0,8 \pm 1,8$ mm, les scores de Tegner – Lysholm et IKDC atteignaient respectivement 91 et 88 points en moyenne avec un taux de rupture

itérative de 2,1%. Nos résultats sont ainsi parfaitement en accord avec ceux de la littérature quelle que soit la technique de fixation de la greffe. Notre groupe DT4 peut ainsi être considéré comme un groupe contrôle dans notre étude, représentant cette technique de ligamentoplastie.

Enfin la dernière technique de fixation d'une greffe type DT4 décrite dans la littérature utilise la mise en place d'une cage dans les tunnels fémoral et tibial[132] La greffe est fixée à des bandelettes de polyéthylène téréphtalate qui sont passées à travers la cage et fixée à celle-ci par l'intermédiaire d'une vis en PEEK (Poly Ether-Ether Kethon). Cette technique n'a pas encore fait l'objet de publication concernant les résultats cliniques. Elle semble néanmoins intéressante en cas de reconstructions itératives, pour lesquelles l'élargissement des tunnels et pertes de substances osseuses seraient comblés par le volume conséquent de la cage.

#### Études comparatives :

Le développement de la technique au TQ s'est évidemment accompagné de nombreuses études la comparant aux techniques conventionnelles (utilisant le tendon patellaire et les tendons IJ). Les équipes défendant cette technique mettent en avant différents avantages par rapport aux techniques au TR et IJ.

Le TQ permet d'obtenir une fixation os – os, certes unipolaire, sans s'exposer aux complications à type de douleurs antérieures fréquentes après prélèvement du tendon patellaire[108]. Cette plus faible morbidité s'est révélée largement significative dans la majorité des comparaisons entre TQ et TR[133–135]. Néanmoins, cette réduction de morbidité liée au site de prélèvement peut également être obtenue en préférant au TR une greffe de tendon IJ. Cette dernière implique le prélèvement de tendons au sein d'un groupe musculaire agoniste du LCA (réduction de la translation tibiale antérieure lors de la contraction des muscles IJ). Ainsi la conservation des tendons IJ peut être considérée comme un facteur protecteur de la maturation de la greffe faisant préférer l'utilisation du TQ aux IJ. De plus, de nombreuses séries[136, 137] rapportent une morbidité liée au site de prélèvement encore plus faible après technique au TQ par rapport aux IJ. C'est également ce que nous observons en termes de séquelles sensitives (cf 6.6). Mais cette plus faible

morbidité liée au site de prélèvement du TQ est à considérer avec prudence du fait du risque de fracture per opératoire de la rotule. Même si la survenue de cette complication est extrêmement faible (3 pour 1000)[32], celle-ci reste potentiellement très lourde de conséquence pour le patient. Il convient donc de considérer que le TQ (par rapport aux IJ) permet de s'exposer nettement moins fréquemment aux complications mineures au prix de rarissimes complications majeures.

Enfin, les qualités morphologiques et biomécaniques du TQ en font un excellent choix de greffe (cf paragraphe 4.2) dont le prélèvement est aisé avec une faible courbe d'apprentissage.

Ces quelques avantages théoriques du TQ ne semblent pas avoir de réelles répercussions cliniques. En effet, la littérature actuelle ne montre aucune supériorité de cette technique en termes de scores fonctionnels par rapport au TR et aux IJ. La majorité des études conclue à l'équivalence entre TQ et TR ou IJ[125, 135] et de rares études penchent en faveur d'une technique ou d'une autre[60]. Les quelques études prospectives et randomisées publiées ne mettent pas en évidence de différence sur les résultats fonctionnels entre les techniques aux IJ et au TQ[137] ni entre les techniques au TR et au TQ[133]. Il en est de même pour le taux de rupture itérative dont les résultats sont variables d'une étude à l'autre, tantôt en faveur du TQ[138], tantôt en faveur d'autre technique[139] et souvent sans différence significative[125].

La seule étude comparative entre technique au TQ et DT4 est celle de Runer et al.[14]. Il s'agit d'une étude prospective incluant 40 patients ayant bénéficié d'une reconstruction par TQ appariés selon l'âge, le sexe et le score fonctionnel préopératoire à 40 patients ayant bénéficié d'une reconstruction par DT4. Le tendon du demi tendineux était préparé selon la technique décrite dans notre étude et le TQ était prélevé avec une baguette osseuse. La fixation était identique dans les 2 groupes à savoir un endo bouton au fémur et une vis d'interférence au tibia. À deux ans de recul, le score de Tegner – Lysholm était identique dans les deux groupes (93,4 points). Un patient du groupe DT4 a présenté une rupture itérative lors d'un accident de football à haute énergie tandis qu'aucun n'est à signaler dans le groupe TQ. Aucune complication liée au prélèvement du TQ n'a été rapporté. Ces résultats sont parfaitement comparables à ceux de notre étude, ce qui valide, une fois de plus, la validité extrinsèque de notre travail.

La tendance à obtenir des résultats plus satisfaisants dans le groupe TQ aurait pu s'expliquer par les lésions méniscales et cartilagineuses plus importantes dans le groupe DT4. En effet les lésions chondrales initiales (principalement dégénératives) influencent péjorativement le résultat fonctionnel[122][140] tout comme les lésions méniscales[141]. Nous obtenons des résultats paradoxaux dans notre étude concernant ces lésions avec une tendance à avoir de moins bons résultats dans le groupe sain de toute lésion ménisco-cartilagineuses associées. La sévérité des lésions initiales n'explique donc pas les scores plus faibles du groupe DT4.

#### 6.4.4. Conclusion

L'équivalence semble être admise concernant les résultats fonctionnels à moyen terme entre la technique au TQ et les techniques classiques au TR ou aux IJ. Des études supplémentaires sont désormais nécessaires pour évaluer les résultats à long terme. A l'inverse, l'étude de la technique au TQ sur la période post opératoire immédiate et les premières semaines de rééducation nécessite de nouvelles investigations, notamment pour confirmer ou non les résultats rapportés par Buescu et al.[136] pour qui les douleurs post opératoire et la consommation d'antalgiques sont réduites après reconstruction par TQ par rapport au IJ.

## 6.5. Tests iso cinétiques

### 6.5.1. Méthode

#### 6.5.1.1. La série

L'évaluation de la force musculaire a été réalisée chez 44 patients de la série globale : 25 patients ayant bénéficié d'une reconstruction par TQ et 19 par DT4. Le nombre de 31 patients n'ayant pas pratiqué de test iso cinétique (les tests étaient prescrits à tous les patients au 6<sup>ème</sup> mois post opératoire) s'explique par diverses raisons. 30 patients n'ont pas pratiqué de test par manque de temps, doute sur l'utilité, simple oubli etc. Chez une patiente, les tests n'ont pas été réalisés sur décision médicale à causes de douleurs persistantes. Il n'existait aucune contre-indication absolue à la pratique de ces tests chez les 75 patients de la série globale.



Les caractéristiques des deux groupes sont résumées dans le tableau 8.

		Tendon quadricipital	Demi tendineux à 4 faisceaux	Toute la cohorte	p-value (TQ/DT4)
Effectif		25	19	44	
Sexe	Homme	20 (80%)	7 (37%)	27 (55%)	<b>0,003</b>
	Femme	5 (20%)	12 (63%)	17 (45%)	<b>0,003</b>
Age (années)		31,6 ± 11	35 ± 12	33,1 ± 11,7	0,34
Délai chirurgie – évaluation (mois)		7,3 ± 2	6,8 ± 1,5	7,1 ± 1,8	0,34
Côté	Droit	15 (60%)	6 (32%)	30 (57%)	0,06
	Gauche	10 (40%)	13 (68%)	23 (43%)	0,06
Morphologie	Taille (cm)	174 ± 9	169 ± 10	171 ± 9	0,07
	Poids (kg)	72 ± 15	68 ± 12	72,4 ± 13	0,33
	Indice de masse corporelle	23,4 ± 3	23 ± 2,7	24,4 ± 3	0,85

Tableau 8 : Caractéristiques de la population d'étude des tests iso cinétiques

#### 6.5.1.2. Protocole de réalisation des tests

Les tests iso cinétiques ont tous été réalisés sur la même machine (HUMAC® NORM™ isokinetic extremity system) du même centre de kinésithérapie (SportLab, Saint Martin le Vinoux). Le traitement des données était réalisé par le logiciel HUMAC2015®. Le protocole de réalisation des tests était identique pour les 44 patient. Après un échauffement doux de 15 minutes, les séries de test étaient réalisées successivement sur le même membre sain puis sur le membre opéré selon le schéma de 4 séries suivant :

- 5 cycles à 240°.s<sup>-1</sup> en concentrique

- 5 cycles à  $180^{\circ} \cdot s^{-1}$  en concentrique
- 5 cycles à  $60^{\circ} \cdot s^{-1}$  en concentrique
- 5 cycles à  $30^{\circ} \cdot s^{-1}$  en excentrique

Un cycle correspond à un mouvement de flexion-extension permettant une mesure de contraction des muscles IJ et une mesure pour le quadriceps. Il est demandé au patient de produire l'effort maximal qu'il est capable d'effectuer sur chaque cycle. Les 5 cycles sont enchainés le plus rapidement possible. Une période d'une minute de repos était respectée entre chaque série. L'amplitude articulaire du mouvement étaient paramétrée de  $5^{\circ}$  à  $100^{\circ}$  de flexion. Une marge de  $5^{\circ}$  avant l'extension complète était respectée afin d'éviter tout risque de traumatisme en hyper extension.

#### 6.5.1.3. Interprétation des données

Nous interprèterons 2 données principales : le pic de couple et la puissance du meilleur des 5 cycles. La force musculaire du côté sain fait référence pour établir l'éventuelle déficit du membre opéré (ratio bilatéral). Le déficit de pic de couple et de puissance sera calculé pour chacune des 4 séries. La plupart des études actuellement publiées décrivent leurs résultats pour chaque type de série (mode de contraction et vitesses angulaire donnée). Nous proposons dans cette étude, avec pour objectif de simplifier la description des résultats, de présenter le déficit moyen des 4 séries réalisées. La moyenne de déficit des 4 séries pour le pic de couple sera le critère de jugement principal nommé déficit du « pic de couple global ». Les ratios dit unilatéraux H/Q seront calculés ainsi que le ratio mixte de Croisier (cf paragraphe 4.6). La moyenne des 4 séries pour le ratio H/Q sera appelé « ratio H/Q global ».

Pour chaque patient, les données des scores fonctionnels disponibles permettent d'évaluer le potentiel facteur pronostic du résultat des tests iso cinétiques. La moyenne des coefficients de variabilité pour chaque série permettra de s'assurer de la validité de nos analyses en utilisant la valeur de la meilleure répétition de chaque série.

#### 6.5.1.4. Analyse statistique

Un calcul du nombre de sujet nécessaire montrait que 18 patients par groupe étaient nécessaires pour détecter une différence de 10% de récupération de force par rapport au côté sain.

Aucune analyse ne sera réalisée sur les valeurs brutes. Il existe trop de facteurs de variation inter individuelle de ces valeurs dont la normale reste difficile à établir dans une population hétérogène comme la nôtre[141, 142].

Les moyennes des pourcentages de déficit musculaire et de ratio H/Q seront comparées par test T de Student. Une étude en sous-groupe comparera les scores fonctionnels entre les 44 patients ayant réalisé les tests iso cinétiques et les 31 patients n'en ayant pas fait. Pour l'ensemble de la série, la recherche de corrélations entre âge, délai chirurgical et scores fonctionnels avec la force musculaire et les ratios H/Q sera effectuée à travers le test de corrélation de Pearson. Comme décrit dans la littérature[142], le coefficient attendu pour conclure à une corrélation devra être supérieur ou égal à 0,4 (en valeur absolue). Enfin, la comparaison des coefficients de variation entre les deux groupes pour les 4 séries permettra de vérifier la pertinence des valeurs obtenues lors du meilleur cycle. Toutes les p values étaient comparées à une valeur alpha = 0.05 afin de rechercher des différences statistiquement significatives.

## 6.5.2. Résultats

Le coefficient de variabilité moyen de l'ensemble des séries pour chaque patient était en moyenne de 0,062 dans chaque groupe. La meilleure répétition par série était donc une donnée fiable pour les analyses ultérieures.

### 6.5.2.1. Pic de couple

Le déficit de pic de couple global pour le muscle quadriceps était similaire entre le groupe TQ ( $26 \pm 10\%$  en moyenne, extrêmes : 3% - 60%) et le groupe DT4 ( $22 \pm 18\%$  en moyenne, extrêmes : 4% - 67%). Cette différence n'était pas significative ( $p= 0,37$ ). Le même constat était fait pour les quatre séries de tests individuellement. Concernant le déficit de pic de force global pour les muscles IJ, celui-ci était en moyenne plus important dans le groupe DT4 ( $12 \pm 11\%$ , extrêmes : 8% - 37%) par rapport au groupe TQ ( $5,6 \pm 11\%$ , extrêmes : 12% - 29%) (figure 11 page suivante).

## Pourcentage de force musculaire par rapport au côté sain

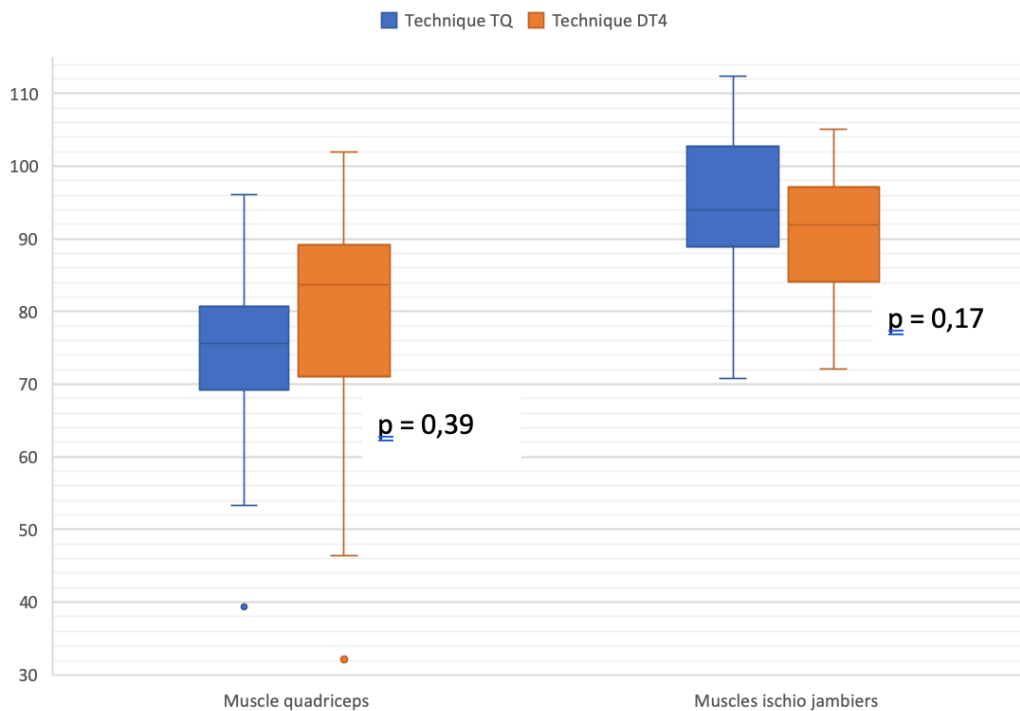


Figure 11 : Box-plot des pourcentages de pic de couple des muscles IJ et quadriceps après reconstruction par TQ ou DT4 par rapport au membre sain

Si cette différence n'était pas statistiquement significative pour le pic de couple global ( $p=0,17$ ), elle l'était pour les séries en concentrique à  $240^{\circ}\text{s}^{-1}$  ( $p=0,04$ ) et concentrique  $180^{\circ}\text{s}^{-1}$  ( $p=0,05$ ) correspondant aux efforts d'explosivité. A l'inverse, les efforts en force pure des IJ montraient une tendance paradoxale à être plus déficitaires dans le groupe TQ que dans le groupe DT4 (12% vs 7%). Les déficits étaient similaires quelle que soit la série, ne traduisant pas une atteinte spécifique selon le type d'effort (force pure ou explosivité) (tableau 9 page suivante)

	Déficit de pic de couple				P -value	
	TQ		DT4		pQ	pIJ
	Q	IJ	Q	IJ		
<b>Moyenne des 4 séries (pic couple global)</b>	<b>26%</b>	<b>5,3%</b>	<b>22%</b>	<b>12%</b>	<b>0,37</b>	<b>0,16</b>
Conc. 240°.s <sup>-1</sup>	25%	3%	25%	14%	NS	<b>0,04</b>
Conc. 180°.s <sup>-1</sup>	28%	5%	26%	14%	NS	<b>0,05</b>
Conc. 60°.s <sup>-1</sup>	33%	5%	28%	12%	NS	0,11
Exc. 30°.s <sup>-1</sup> /S	27%	12%	17%	7%	NS	NS

Tableau 9 : Déficits de pic de couple

## 6.5.2.2. Puissance

Les observations concernant le déficit de puissance sont parfaitement similaires à celles faites concernant le pic de couple. À noter, une tendance à avoir un déficit plus élevé des muscles IJ dans le groupe DT4 particulièrement pour les séries en concentrique à 240°.s<sup>-1</sup> et 180°.s<sup>-1</sup>. La puissance moyenne mesurée était donc précisément corrélée au pic de force ce qui semble en faire un critère de jugement de qualité (tableau 10 page suivante).

	Déficit de puissance				P -value	
	TQ		DT4		pQ	pIJ
	Q	IJ	Q	IJ		
<b>Moyenne des 4 séries</b>	<b>26%</b>	<b>7,7%</b>	<b>25</b>	<b>13</b>	<b>NS</b>	<b>0,37</b>
Conc. 240°.s <sup>-1</sup>	25%	4%	31%	15%	NS	0,13
Conc. 180°.s <sup>-1</sup>	28%	5%	28%	14%	NS	0,13
Conc. 60°.s <sup>-1</sup>	28%	8%	29%	12%	NS	NS
Exc. 30°.s <sup>-1°</sup>	25%	15%	18%	14%	NS	NS

Tableau 10 : Déficit de puissance

## 6.5.2.3. Ratios de H/Q

Les ratios H/Q étaient plus élevés dans les deux groupes au niveau du membre sain par rapport au membre opéré quels que soient la vitesse et le type de contraction. Ceci reflète les résultats décrits ci-dessus avec un déficit systématiquement plus important pour le muscle quadriceps que pour les muscles IJ. Les ratios étaient systématiquement plus faibles pour les efforts de force pure (excentrique 30°). Pour le membre opéré, les ratios H/Q globaux étaient similaires dans les groupes TQ et DT4 (0,65 vs 0,68 respectivement  $p = 0,57$ ). Concernant le membre sain, le ratio H/Q global était de 0,52 dans les deux groupes.

Les résultats sont différents pour le ratio de Croisier (figure 12 page suivante). Il était en moyenne dans le groupe DT4 de  $1,44 \pm 0,5$  et  $1,09 \pm 0,17$  pour les membres opérés et sains respectivement. Dans le groupe TQ, le ratio était de  $1,29 \pm 0,29$  du côté opéré et de  $1,10 \pm 0,21$  du côté sain. Comme pour les ratios H/Q globaux, les valeurs quasi identiques des deux groupes pour le côté sain rendent nos résultats pour le côté opéré comparables. La différence observée pour le côté opéré entre les deux groupes n'était pas statistiquement significative ( $p=0,27$ ).

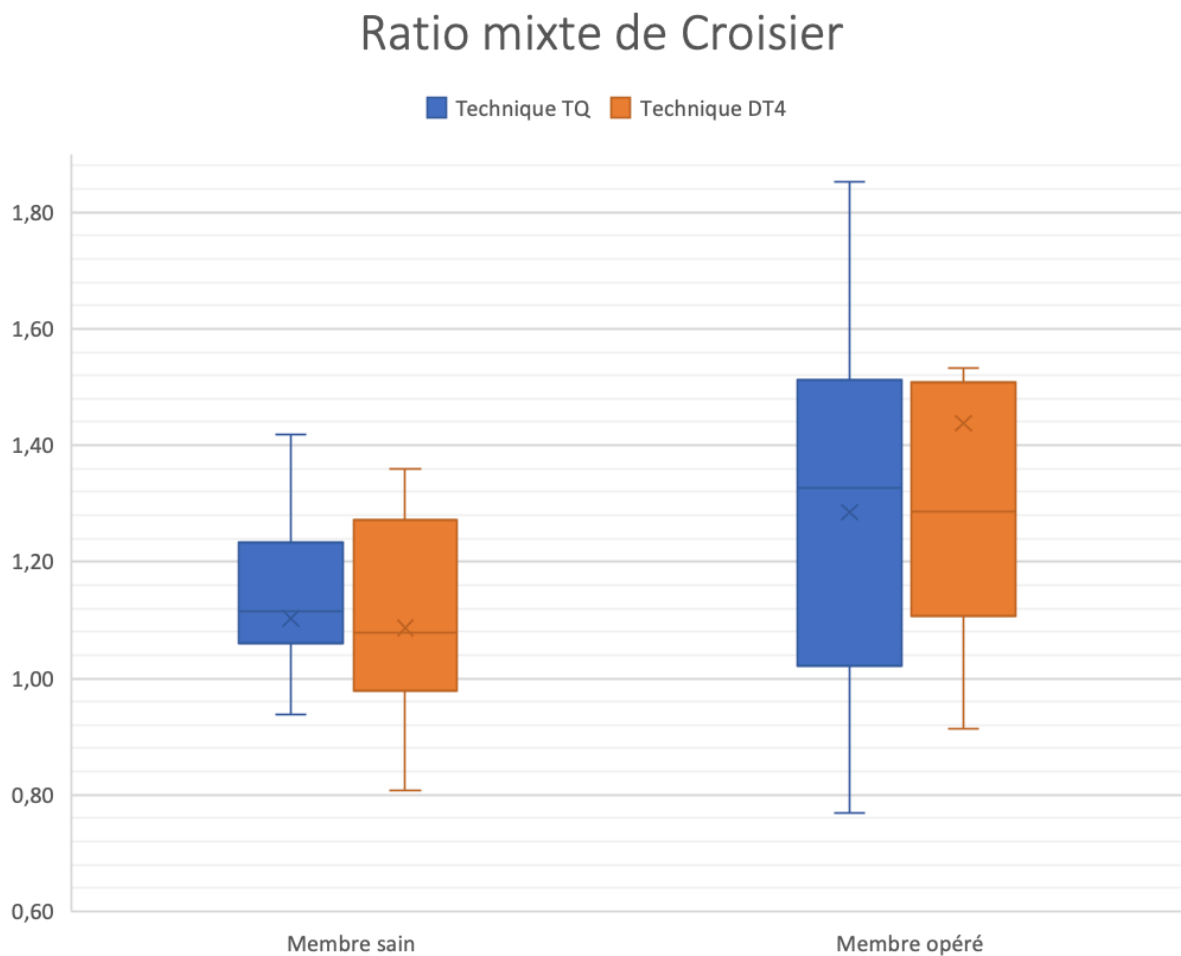


Figure 12 : Box plot des ratios mixte de Croisier

#### 6.5.2.4. Corrélation score fonctionnels, âge et délai opératoire

Le pourcentage du pic de couple du quadriceps par rapport au côté sain était statistiquement corrélé au score de KOOS (coefficient de Pearson = 0,41 ; p-value = 0,005). A l'inverse, cette corrélation était totalement absente pour l'étude des muscles IJ avec un coefficient de Pearson proche de 0 pour les scores de Tegner-Lysholm et de KOOS. Des corrélations négatives statistiquement significatives entre le score de KOOS et les ratio H/Q (ratios H/Q globaux et ratios mixtes de Croisier) étaient observées. Ces résultats sont consécutifs au précédent constat car plus la force musculaire du quadriceps est élevée, plus les ratio H/Q sont bas. La récupération musculaire du quadriceps à 6 mois peut ainsi être un facteur pronostic du résultat fonctionnel à distance contrairement à la récupération de force des muscles ischio-jambiers. Aucune corrélation entre la force des 2 groupes musculaires évalués n'était retenue avec l'âge ni avec le délai accident – chirurgie (tableau 11).

Tableau 11 : Corrélation selon le coefficient de Pearson. <sup>1</sup>Pourcentage de pic de couple global par

		Coefficient de Pearson	Intervalle de confiance à 95%	p-value
Force du quadriceps <sup>1</sup>	Score de Koos	0,41	[0.1364 ; 0.6348]	<b>0,005</b>
	Score de Tegner	0,32	[0.0254 ; 0.5633]	<b>0,03</b>
	Délai opératoire	0.29	[-0.0059 ; 0.5415]	0,054
	Âge	0.08	[-0.2202 ; 0.3699]	0,59
Force des IJ <sup>1</sup>	Score de Koos	0,06	[-0.348 ; 0.244]	0,71
	Score de Tegner	0,05	[-0.3426 ; 0.2497]	0,74
	Délai opératoire	0.20	[-0.1045 ; 0.4678]	0,20
	Âge	0.23	[-0.0756 ; 0.4903]	0,14
Ratio de Croisier	Score de Koos	-0,37	[-0.6035 ; -0.0863]	<b>0,01</b>
	Score de Tegner	-0,16	[-0.4391 ; 0.1402]	0.29
	Délai opératoire	-0,12	[-0.4041 ; 0.1817]	0,43
	Âge	-0,089	[-0.3757 ; 0.2138]	0,57
Ratio H/Q global	Score de Koos	-0,41	[-0.632 ; -0.1318]	<b>0,005</b>
	Score de Tegner	-0,28	[-0.5307 ; 0.0211]	0,07
	Délai opératoire	-0,20	[-0.4739 ; 0.0968]	0,18
	Âge	-0,19	[-0.4618 ; 0.1121]	0,21

*rapport au côté sain.*

Enfin, la comparaison des scores fonctionnels entre les 44 patients ayant réalisé les tests isométriques et les 31 patients ne les ayant pas faits ne montrait pas de différence. Le score de KOOS était respectivement de 93,3 points et 91,8 points respectivement (p=0,5).



### 6.5.3. DISCUSSION

#### 6.5.3.1. Comparaison à la littérature (tableau de revue de la littérature en Annexe 4)

Les résultats de notre étude montrent une perte de force plus importante du muscle quadriceps par rapport aux muscles IJ, quelle que soit la greffe utilisée. La perte de force du quadriceps est légèrement plus élevée dans le groupe TQ que dans le groupe DT4 et inversement pour les muscles IJ. Même si les différences ne sont pas statistiquement significatives, la perte de force des IJ semble plus importante dans le groupe DT4 par rapport au groupe TQ (12% vs 5,3 ;  $p=0,16$ ) que ne l'est la perte de force du quadriceps dans le groupe TQ par rapport au groupe DT4 (26% versus 22% ;  $p=0,37$ ).

Les données concernant le groupe DT4 sont comparables aux résultats de multiples études rapportées par Dauty et al.[107] avec des déficits décrits entre 5 et 16 % pour les IJ et entre 8 et 20% pour le quadriceps. Si pour certains auteurs, le déficit des IJ n'apparaît pas significatif[143, 144], la plupart s'accordent pour dire qu'il est au moins présent en course interne au-delà de 70° de flexion[145][146] lorsque la co-contraction des muscles gastrocnémiens n'est plus efficace[147]. Les déficits pourraient perdurer plusieurs années après la chirurgie[92, 148] et des études à très long terme seraient nécessaires pour évaluer un potentiel caractère définitif. A 5 ans de recul, Lautamies et al.[149] rapportent de minimes déficits entre 3% et 9% pour les IJ et le quadriceps dans une cohorte de 288 patients ayant bénéficié d'une reconstruction par TR ou IJ. Dans cette étude, le déficit du quadriceps était statistiquement plus important dans le groupe TR par rapport au groupe IJ.

Contrairement aux techniques aux IJ et consécutivement au développement récent de la technique au TQ, les données concernant cette dernière sont rares. Tandis que Fisher et al.[150] rapportent une perte de force musculaire du quadriceps significativement plus élevée après reconstruction par TQ par rapport aux IJ, Cavaignac et al.[151] ne montrent aucune différence entre 44 reconstructions du LCA par TQ et 39 par DIDT. Dans les deux études, la perte de force des ischio-jambiers prédomine dans le groupe IJ avec une différence proche de la significativité statistique dans l'étude de Cavaignac et al. Dans cette étude, les valeurs de déficit à 6 mois post opératoire sont très proches de nos résultats : le déficit du quadriceps est de 26,3% versus 23,1% ( $p=0,61$ ) et celui des IJ de 8,2% versus 17,4%

( $p=0,09$ ) dans groupes TQ et DIDT respectivement (travail concentrique à  $90^{\circ}.s^{-1}$ ). Les autogreffes de TR et de TQ sont toutes deux prélevées au dépend de l'appareil extenseur du genou et méritent d'être mise en parallèle. Les données des tests iso cinétiques comparant les reconstructions aux IJ et au TR sont très nombreuses et largement décrites dans la littérature[92, 149, 152–155]. Les résultats divergent d'une étude à l'autre mais la tendance globale rapportée par Dauty et al.[107] dans une revue de la littérature de 2005 correspond aux constatations de notre étude. Le muscle quadriceps est toujours le plus déficitaire, et la nature du transplant tend à majorer le déficit du groupe musculaire au dépend duquel il est prélevé. Ceci apparait nettement plus marqué sur l'appareil fléchisseur que sur l'appareil extenseur comme si le prélèvement du TQ était moins lourd de conséquence pour le quadriceps que le prélèvement du tendon du demi-tendineux pour les muscles IJ.

#### 6.5.3.2. Causes de déficit musculaire du quadriceps

Le déficit musculaire important du quadriceps pour les techniques aux IJ laisse suggérer un rôle majeur de la rupture du LCA et de l'agression chirurgicale qui s'en suit sur la perte de force observée. Celle-ci s'explique par différents facteurs présents quel que soit le type de greffe.

Tout d'abord, l'inactivité les premières semaines post opératoire provoque systématiquement une atrophie musculaire conséquente et prédominante sur les fibres musculaires de type II[156, 157]. Ensuite, la perte des mécanorécepteurs proprioceptifs du LCA natif, non restaurés par la chirurgie, diminue les boucles de rétrocontrôle actif sur le quadriceps et réduit sa contraction à plus long terme[158]. C'est, entre autres, pour cette raison que certains auteurs suggèrent de préserver au maximum le pied du LCA natif selon Sonnery-Cottet et al.[159] (technique SAMBBA) afin de conserver au mieux les récepteurs proprioceptifs. Enfin, l'hypothèse d'une inhibition arthrogène de la contraction du quadriceps secondaire à une instabilité résiduelle pour limiter la translation tibiale antérieure a été vérifiée chez l'animal[160, 161] et semble plausible chez l'homme. Nous n'avons pas recherché de corrélation entre les résultats des tests iso cinétiques et les données laximétriques post opératoire car la mesure de ces dernières nous paraissaient trop peu reproductible dans notre étude.

Le rôle du prélèvement du TQ sur le déficit du quadriceps semble ainsi minoritaire mais s'explique par deux hypothèses principales extrapolées des études sur les techniques au TR. Une potentielle symptomatologie douloureuse du site de prélèvement inhibe logiquement le contrôle moteur du quadriceps[18]; et selon McNair et al.[157], la fermeture du tendon après prélèvement du transplant aboutirait après cicatrisation à un raccourcissement de ce dernier. Cette modification morphologique serait responsable d'une augmentation de la tension musculaire qui diminuerait, in fine, l'efficacité de la contraction. Enfin, comme suggéré par Dauty et al.[107] pour les techniques au TR, le prélèvement au dépend de l'appareil extenseur pourrait modifier la cinématique fémoro-patellaire et nuire au bon fonctionnement de l'ensemble de l'appareil extenseur.

#### 6.5.3.3. Causes de déficit musculaire des IJ

Le déficit musculaire IJ est globalement plus faible, environ 12% dans le groupe IJ et apparaît presque nul dans le groupe TQ. Contrairement au muscle quadriceps, on peut supposer que le prélèvement du tendon du DT est la principale cause du déficit des IJ. En effet des arguments simples soutiennent cette hypothèse. Contrairement au TQ, le tendon est prélevé en entier, amputant au muscle en question l'ensemble de son insertion distale et compromettant de manière certaine sa fonction. Les phénomènes douloureux postérieurs secondaires au prélèvement exercent certainement un rétrocontrôle inhibiteur sur les muscles IJ. Dauty et al.[152] ont vérifié cliniquement cette hypothèse en rapportant une corrélation positive significative entre douleur postérieure et faiblesse des IJ. Enfin, les études concernant les techniques aux TR permettent également d'incriminer le prélèvement comme principal responsable du déficit IJ car leur déficit y est généralement décrit comme faible voir nul[92]. Yasuda et al.[162] soutiennent dans ce sens que toute chirurgie intra articulaire du genou (avec ou sans reconstruction du LCA) aboutit au même faible déficit des IJ sauf lorsqu'il s'agit d'une reconstruction du LCA par IJ.

D'autres hypothèses peuvent expliquer le faible déficit constaté pour le groupe DT4. L'adaptation musculaire dynamique liée à la rupture du LCA et aux potentielles instabilités résiduelles post opératoire pourrait s'avérer favorable aux IJ. Si comme pour le quadriceps, le repos post opératoire est source d'amyotrophie, une éventuelle instabilité résiduelle pourrait en revanche stimuler la contraction des IJ afin de limiter le tiroir antérieur et les contraintes sur la greffe[163]. La perte théorique du DT n'ampute le groupe musculaire IJ

que d'une faible partie de son volume total représenté principalement par les deux chefs du biceps fémoral et par le muscle semi-membraneux. Ces deux muscles ont théoriquement la capacité de compenser le déficit (par hypertrophie) du DT même si ce phénomène reste incertain[164, 165]. De plus, certains auteurs[166–168] rapportent la possibilité d'une cicatrisation fibreuse voir d'une régénération du tendon restaurant la fonction du muscle. Certaines équipes soutiennent même la possibilité de prélèvements itératifs des tendons IJ[169]. Néanmoins cette « repousse » tendineuse est aléatoire en terme de qualité tissulaire et de localisation anatomique de la néo-enthèse souvent plus proximale à l'insertion native[167, 168]. Ce phénomène s'accompagne aussi volontiers d'une amyotrophie importante du corps musculaire du DT compromettant sa fonction[170]. Enfin il reste imprévisible puisque qu'il est totalement absent dans 15% des cas[168] et les causes d'apparition ou non de cette régénération sont inconnues.

#### 6.5.3.4. Incidence sur le résultat fonctionnel

Le déficit du quadriceps est le principal facteur de déséquilibre du fonctionnement des deux groupes musculaires antagonistes de cuisse. En effet les ratios H/Q dans notre étude comme dans la littérature[150, 151] sont supérieurs aux valeurs normales et aux valeurs du membre sain. Ce déséquilibre en faveur des IJ apparait pour Fischer et al.[150] comme un avantage de la technique au TQ puisqu'il offre une protection musculaire dynamique à la greffe lors de sa phase de maturation. Cependant, les résultats de notre étude suggèrent une interprétation prudente de l'intérêt d'un ratio H/Q élevé. Tout d'abord, l'élévation du ratio se fait avant tout par un déficit du quadriceps supérieur à celui des IJ et ne traduit en aucun cas une force musculaire élevée en flexion. Ainsi, si le tonus musculaire IJ favorable à la maturation de la greffe est un argument recevable, la protection du tiroir antérieur en cas de nouveau traumatisme à haute énergie ne l'est pas pour autant. Le déficit du quadriceps semble corrélé à de moins bons résultats fonctionnels (quelle que soit la technique utilisée) dans notre étude comme dans la littérature[171]. Coudouret et al.[92] confirment cette constatation à plus long terme dans une étude de 127 patients opérés par technique au TR ou IJ. A 2 ans de recul, les patients présentant un score IKDC inférieur à 90 points avaient en moyenne 15% de déficit musculaire (quadriceps et IJ). Ceux avec un score IKDC supérieur à 90 points montraient une force musculaire proche de la normale (déficit < 5%). A plus long terme, le déficit du quadriceps semble même lié au développement d'arthrose fémoro-

tibiale d'après Tourville et al.[172]. Comme dans l'étude de Wilk et al.[171], aucune corrélation entre les scores fonctionnels et le déficit des IJ n'était observée dans notre étude. L'avantage théorique de protection de la greffe qu'offre en ratio H/Q élevé se traduit dans notre étude par une dégradation significative des scores fonctionnel (coefficient de Pearson = - 0,41, p = 0,005)

Se pose alors la question de la cause et de la conséquence. La faiblesse quadricipitale est-elle la cause du moins bon résultat? Ou le déficit musculaire est-il la conséquence de l'inactivité physique liée à un résultat insuffisant de la chirurgie (douleur, instabilité persistante) ? Cette distinction semble essentielle car une rééducation initiale plus intensive du quadriceps serait une solution à envisager dans le premier cas mais vouée à l'échec dans le deuxième. L'évolution clinique après une chirurgie de reconstruction du LCA est trop multifactorielle pour faire la part des choses, l'amyotrophie quadricipitale est donc certainement cause et conséquence. La technique chirurgicale doit être d'une rigueur stricte et traiter l'ensemble des lésions associées. La lutte contre l'amyotrophie quadricipitale doit être un objectif majeur sans pour autant pratiquer une rééducation trop précoce et trop intensive source de complications douloureuses (hémarthrose, syndrome douloureux régional complexe, syndrome fémoro-patellaire etc. [107]).

#### 6.5.3.5. Rôle du délai opératoire

Nous considérons que l'obtention d'un genou rééduqué (récupération complète des amplitudes articulaire, absence d'hydarthrose et renforcement musculaire) est un prérequis nécessaire avant toute chirurgie de reconstruction du LCA. Le rôle du délai et de l'atrophie pré opératoire est un sujet controversé. Certains auteurs soutiennent qu'une période d'inactivité pré opératoire peut aboutir à une amyotrophie partielle irréversible si celle-ci est trop longue, conduisant à majorer le déficit du quadriceps post opératoire[94]. Selon Natri et al.[173], le déficit du quadriceps post opératoire serait majoré lorsque le délai accident – chirurgie dépasse 5 semaines. Pour d'autres, le délai et l'état musculaire pré opératoire ne conditionne en rien le résultat final. Ainsi, Olivier et al.[174] ne montrent aucune corrélation entre force musculaire pré opératoire et post opératoire (6 mois). Pour ces auteurs, l'intérêt du renforcement musculaire pré opératoire est avant tout psychologique car permet au patient de se familiariser avec l'équipe de rééducation. Il permettrait également

d'augmenter la fiabilité de l'évaluation iso cinétique post opératoire puisque que la répétition des tests chez un même sujet permet d'en augmenter la reproductibilité. Nous n'observons pas dans notre étude de corrélation entre force musculaire et délai opératoire. Aucun consensus n'existe à ce jour concernant le délai accident – chirurgie idéal[175]. Un délai compris entre 1 et 3 mois semble raisonnable pour laisser le temps d'une rééducation pré opératoire satisfaisante et éviter l'aggravation des lésions méniscales inhérentes à l'instabilité chronique[176].

#### 6.5.3.6. Outil pour la reprise du sport

Réalisés au-delà de 6 mois post opératoire, les tests iso cinétiques offrent une mesure objective de l'état musculaire permettant d'évaluer la capacité à reprendre le sport sans restriction. Des valeurs de déficit inférieur à 10% (par rapport au côté sain), soit une récupération de force musculaire subnormal, permettent logiquement d'autoriser la reprise sportive. Néanmoins, le choix d'une valeur « seuil » de déficit fait débat. Selon les auteurs, les propositions varient de 5 à 30%[153, 177, 178]. Les déficits supérieurs à 20% semblent excessifs pour la reprise du sport puisqu'il s'agit des valeurs que nous observons à 6 mois post opératoire. Il conviendrait également de définir une valeur seuil propre à chaque groupe musculaire notamment pour les muscles IJ qui sont généralement peu déficitaires. Des études évaluant la qualité de la reprise sportive et le taux de re rupture en fonction des déficits musculaires sur d'importantes cohortes permettraient de définir ces valeurs seuils.

Malheureusement, l'accès aux évaluations iso cinétiques n'est pas systématiquement possible. Premièrement, elle représente un coût (environ 100 euros avec remboursement de la sécurité sociale sur la base de 25 euros). Ensuite, seuls certains cabinets de kinésithérapie ou de médecine du sport en sont équipés dans les grandes villes, rendant l'accès plus difficile en milieu rural. Néanmoins, de nombreux tests cliniques simples ont été développés afin d'évaluer la force musculaire. Comme pour les tests iso cinétique il s'agit d'une comparaison avec le côté sain. Le plus utilisé d'entre eux consiste à réaliser un saut sans élan, en appui uni podal, en cherchant à aller le plus loin possible (single leg hop for distance souvent appelé « single hop test »). La longueur du saut constitue le critère de jugement du test. Plusieurs études ont montré une bonne corrélation entre la valeur de ce test et celles des tests iso

cinétiques[148, 154, 179]. Il s'agit ainsi d'une alternative simple réalisable en consultation lorsqu'une évaluation iso cinétique n'est pas réalisable.

#### 6.5.3.7. Limites

L'interprétation et la comparaison des différentes données de la littérature sont limités par l'hétérogénéité des protocoles de réalisation des tests iso cinétiques. En effet, le choix de vitesse angulaire, d'amplitudes articulaire, du nombre de répétitions ainsi que du délai post opératoire sont autant de facteurs susceptibles de faire varier le résultat des tests. Pour cette raison, Undehiem et al[180] ont suggéré de standardiser la réalisation de ses tests en proposant le protocole suivant : 5 cycles de flexion – extension entre 0 et 100° en travail concentrique à  $60^{\circ}.s^{-1}$  avec comme critère de jugement le pic de couple. Ce protocole correspond à une des 4 série de notre évaluation. À l'avenir, les investigateurs devraient inclure ce protocole parmi leurs explorations afin de rendre comparables entre elles toutes les nouvelles données de la littérature.

Notre étude présente plusieurs limites. Les 31 patients n'ayant pas réalisé de tests constituent un biais de sélection. L'impact de celui-ci est certainement limité car la population étudiée est similaire à la cohorte globale et les résultats des scores fonctionnels ne différaient pas entre les 44 patients analysés et les 31 n'ayant pas pratiqué d'évaluation iso cinétique. Notre critère de jugement correspondant à la moyenne de déficit des 4 séries est critiquable. Il avait pour objectif de simplifier la présentation des résultats notamment pour les analyses de corrélation et de proposer une valeur prenant en compte tous les modes de contraction testés. Aucune série de la littérature ne présente ces données de cette manière. Néanmoins ce critère de jugement nous paraît pertinent car les déficits de force observés étaient similaires sur toutes les séries. Cela simplifie également la présentation des résultats, notamment pour les analyses de corrélation, sans à avoir à choisir un mode de contraction plutôt d'un autre.

#### 6.5.4. Conclusion

Les conséquences du prélèvement du TQ sur la force musculaire du quadriceps à distance semblent faibles. La rééducation du quadriceps apparait primordiale à un bon résultat fonctionnel quelle que soit la greffe utilisée. Les protocoles de rééducation doivent ainsi, au

sein d'une rééducation globale du membre inférieur, prioriser le renforcement musculaire du quadriceps. Des études supplémentaires sont nécessaires pour confirmer les tendances observées dans notre étude.

## 6.6. Troubles sensitifs

### 6.6.1. Méthode

#### 6.6.1.1. La série

L'évaluation sensitive a pu être réalisée chez 53 patients de la cohorte globale : 25 patients ayant bénéficié d'une reconstruction du LCA par DT4 et 28 patients par TQ. Les 22 cas manquants correspondaient aux patients revus après que le nombre de sujets nécessaire à inclure soit atteint. Toute cicatrice (plaies traumatique, brûlures) et tout trouble sensitif (neuropathie sensitive) antérieur à la chirurgie constituaient un critère d'exclusion à l'étude sensitive.

Les caractéristiques des deux groupes sont présentées dans le tableau 12 page suivante.

Comme observé pour la série globale, il existe un déséquilibre du sex-ratio en faveur des hommes dans le groupe TQ et en faveur des femmes dans le groupe DT4 avec comme conséquence logique une taille moyenne supérieure dans le groupe TQ. L'évaluation sensitive a eu lieu plus précocement après l'intervention dans le groupe TQ avec une différence significative de 4 mois en moyenne ( $p=0,002$ ). L'étiologie traumatique, l'âge et le côté étaient, comme pour la série globale, comparable entre les deux groupes.



		Tendon quadricipital	Demi tendineux à 4 faisceaux	Toute la cohorte	p-value (TQ/DT4)
Effectif		28	25	53	
Sexe	Homme	21 (75%)	8 (32%)	29 (55%)	<b>0,004</b>
	Femme	7 (25%)	17 (68%)	24 (45%)	<b>0,004</b>
Age (années)		29,7 ± 7,6	33 ± 10,9	31,3 ± 9,4	0,21
Délai chirurgie – évaluation (mois)		12,9 ± 4,9	17 ± 4,4	14,8 ± 5,1	<b>0,002</b>
Côté	Droit	17 (61%)	13 (52%)	30 (57%)	0,52
	Gauche	11 (39%)	12 (48%)	23 (43%)	0,52
Morphologie	Taille (cm)	174 ± 8,6	169 ± 9	171 ± 9	<b>0,03</b>
	Poids (kg)	75,2 ± 14	69,3 ± 13	72,4 ± 13	0,11
	Indice de masse corporelle	24,6 ± 3	24,3 ± 2,9	24,4 ± 3	0,70
Étiologie rupture LCA	Accident sportif	27 (96%)	20 (80%)	47 (88%)	0,09
	Accident domestique	0 (0%)	2 (8%)	2 (3,7%)	0,14
	Autre	1 (4%)	3 (12%)	4 (8,3%)	0,33

Tableau 12 : Caractéristiques de la série « troubles sensitifs »

### 6.6.1.2. Méthode d'évaluation

Chez tous les patients, une évaluation des troubles sensitifs lors d'une consultation de suivi à un an post opératoire minimum a été réalisée. Les patients étaient installés sur table d'examen, la cicatrice tibiale était mesurée précisément (mm) et marquée au stylo dermographique afin de la rendre bien visible. Comme décrit par Sabat et Kumar[181], un évaluateur indépendant de l'opérateur délimitait la zone d'hypoesthésie. L'examen s'effectuait par une palpation à la pointe mousse, le patient devait signaler lorsque la sensibilité se modifiait de manière à repérer la limite entre sensibilité normale et anormale. Cette procédure était répétée en distal, proximal, externe et interne de la cicatrice afin d'obtenir une série de points séparés délimitant la zone de trouble sensitif. Tout trouble sensitif était retenu : anesthésie, hypoesthésie, paresthésie et dysesthésie. Ces points étaient reliés les uns aux autres au stylo dermographique afin d'obtenir une ligne continue délimitant précisément la zone de troubles sensitifs (image 27).

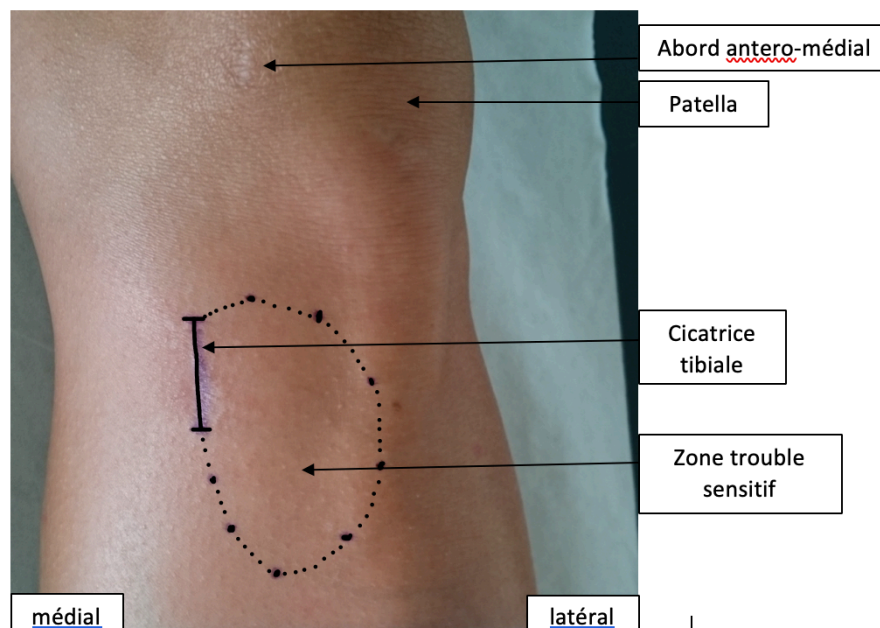
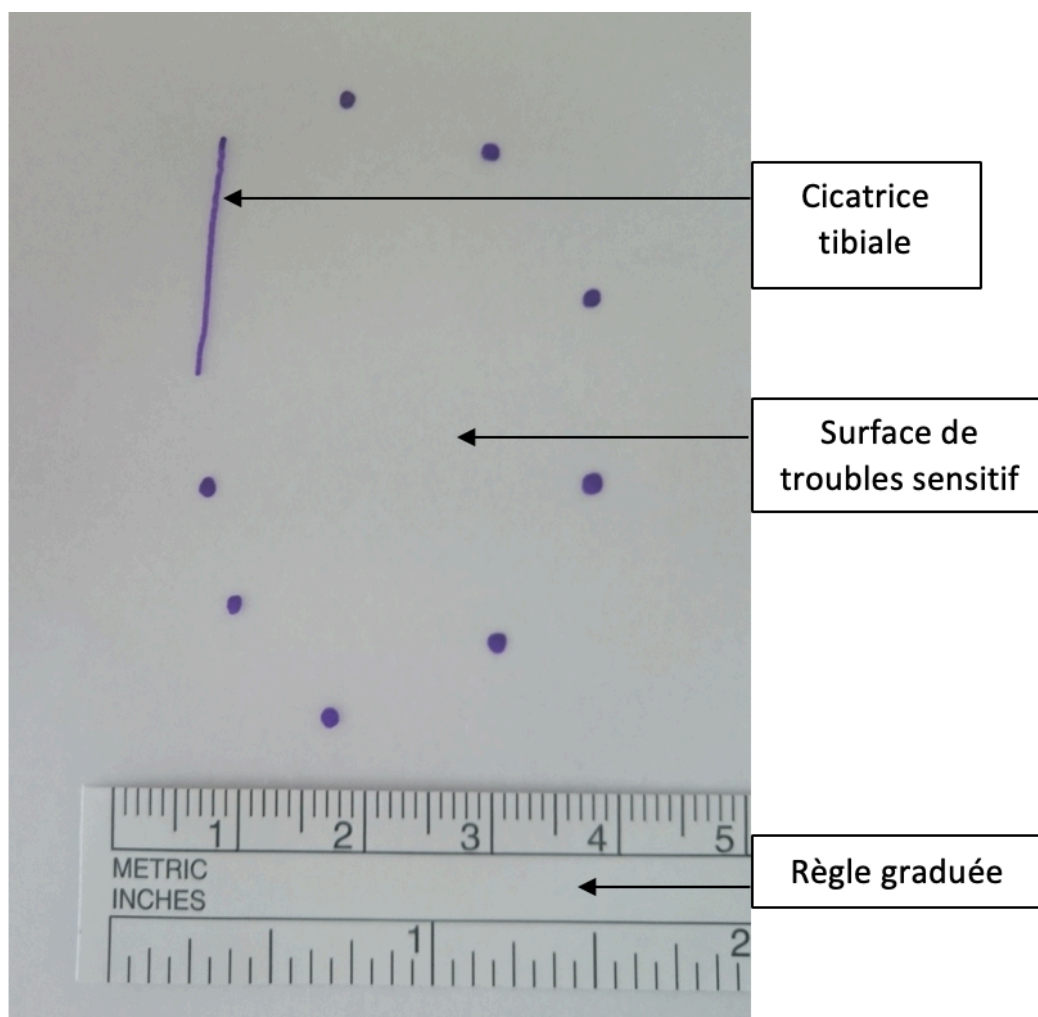


Image 27 : Délimitation de la zone de trouble sensitif au stylo dermographique

Une feuille transparente type papier calque était alors appliquée sur la peau du patient en regard de la zone de trouble sensitif. Celle-ci était soigneusement recopiée par transparence. Le dessin obtenu permettait d'avoir une représentation précise de la surface d'hypoesthésie sur un support à 2 dimensions. On s'affranchissait alors des erreurs inhérentes à l'anatomie 3D du membre inférieur. Si la mesure de la zone d'hypoesthésie avait été faite sur une

simple photographie du membre, la courbure de la jambe aurait induit une mesure sous-estimée de la surface atteinte. Une règle graduée en centimètres était ensuite posée sur le papier calque afin de connaître l'échelle pour l'exploitation ultérieure des données. Une photographie du papier calque avec la règle était réalisée pour chaque patient afin d'être exploitable sur un logiciel informatique (image 28).



*Image 28 : Reproduction de la zone d'hypoesthésie sur papier calque*

L'exploitation des photographies a été réalisée avec le logiciel MESURIUM PRO V3.4. L'étalonnage de l'échelle de mesure était réalisé grâce à la règle graduée en cm présente sur l'image. Le logiciel permettait alors une mesure directe de la longueur de la cicatrice en millimètre (mm) en plaçant un point à chaque extrémité. Ceci permettait un contrôle précis de la mesure direct réalisée en consultation. La mesure de la surface d'hypoesthésie était obtenue en dessinant avec le curseur le contour de la zone d'hypoesthésie et exprimée en centimètre carré (cm<sup>2</sup>) (Image 29 page suivante).

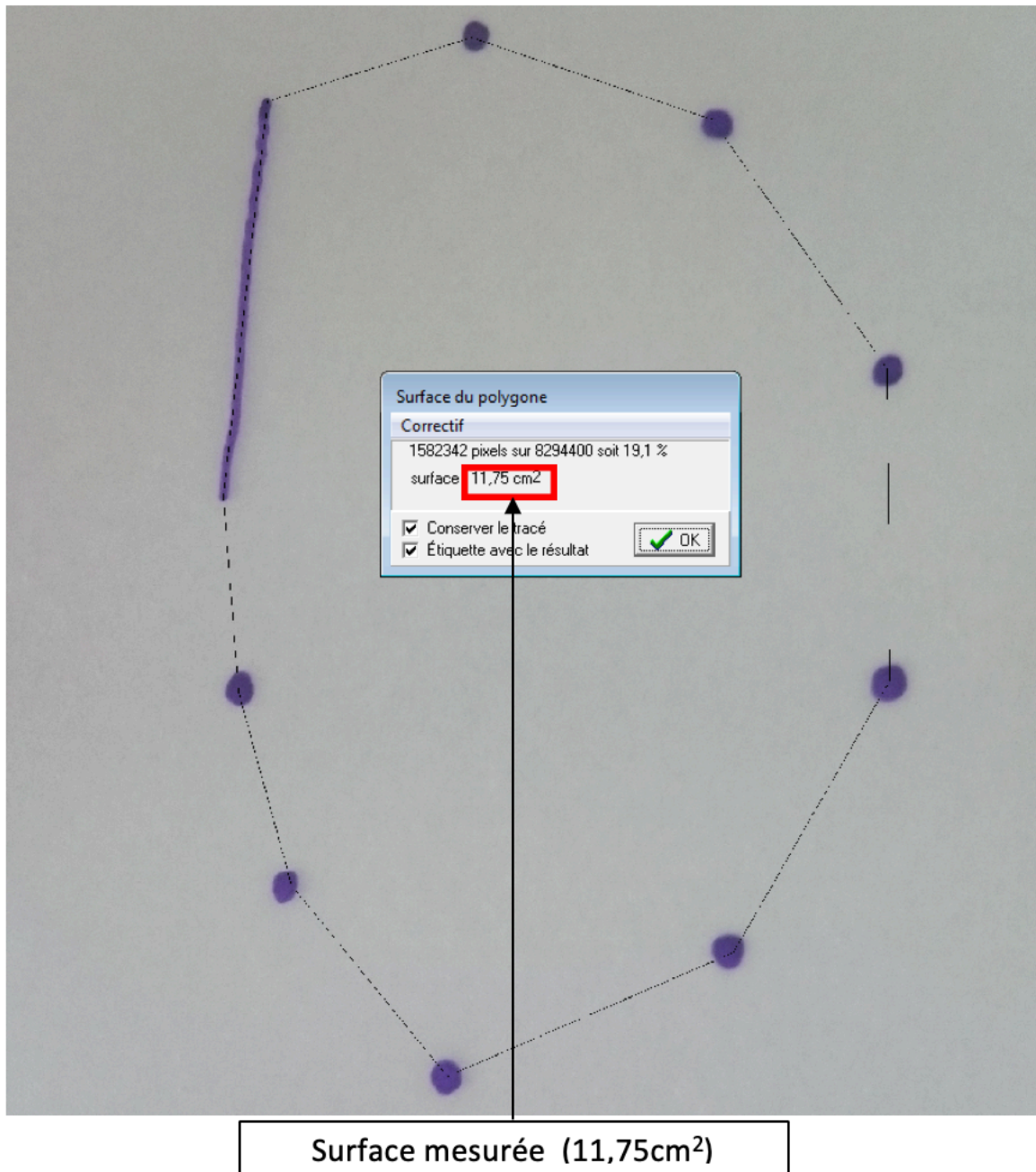


Image 29 : Mesure de la surface d'hypoesthésie par logiciel informatique

Une « hypoesthésie vraie » par atteinte d'une branche infra patellaire du nerf saphène interne était retenue si la zone d'hypoesthésie s'étendait à plus d'un centimètre de distance en externe ou distal de la cicatrice. Dans le cas inverse, on considérait l'hypoesthésie comme péri-cicatricielle inhérente à toute incision cutanée sans atteinte préférentielle d'une branche infra patellaire du nerf saphène interne.

### 6.6.1.3. Analyses

Le calcul du nombre de sujets nécessaires estimait à 20 patients par groupe l'effectif suffisant pour mettre en évidence une différence de 10cm<sup>2</sup> de surface de trouble sensitif.

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel XL STAT 2019. Les variables quantitatives (longueur de cicatrice et surface d'hypoesthésie) étaient comparées en utilisant un test de Student et les variables qualitatives (« hypoesthésies vraies ») en utilisant un test exact de Fisher préféré au test du Chi<sup>2</sup> car les effectifs de la série sont faibles. La corrélation entre 2 variables était étudiée par un test de corrélation de Pearson. Toutes les p values étaient comparées à une valeur alpha = 0.05 afin de rechercher des différences statistiquement significatives.

### 6.6.2. Résultats

Les résultats sont consignés dans le tableau 13 page suivante.

Le recul moyen était 14,8 ± 5,1 mois (extrême : 12 – 25 mois). Celui-ci était plus long dans le groupe DT4 (17 ± 4,4 mois en moyenne) comparé au groupe TQ (12,9 ± 4,9 mois en moyenne).

	Tendon quadricipital	Demi tendineux 4 faisceaux	Toute la cohorte	p-value (TQ vs DT4)
Effectif avec lésion des BIPNS	5/28 (17,8%)	19/25 (76%)	24/53 (45%)	0,0002
Surface trouble sensitif (cm <sup>2</sup> ) / SD	<b>5 (± 10)</b>	<b>21,2 (± 19)</b>	<b>12 (± 8)</b>	<b>0,0007</b>
Tous les patients				
Patients avec atteinte BIPNS	23,4 (± 13)	27,7 (± 17)	19 (± 8)	0,59
Longueur cicatrice (cm) / SD	13,3 (± 2,8)	31,3 (± 5,6)	21,8 (± 10)	<0,0001
Type de trouble sensitif				
Hypoesthésie	5/5 (100%)	16/19 (84%)	21/24 (87,5%)	-
Hyperesthésie / Douleur	0/5 (0%)	2/19 (10,5%)	2/24 (8,5%)	-
Anesthésie	0/5 (0%)	1/19 (5,5%)	1/24 (4%)	-
Localisation troubles sensitifs				
Territoire BIPNS	4/5 (80%)	17/19 (90%)	21/24 (88%)	0.57
Territoire branche sartoriale n. saphène interne	0/5 (0%)	1/19 (5%)	0/24 (0%)	-
Territoire nerf sural cutané latéral	1/5 (20%)	1/19 (5%)	2/24 (8%)	-
Corrélation entre longueur de cicatrice et surface d'hypoesthésie (Pearson coefficient + p value)	0,14 (p=0,46)	0,35 (p=0,079)	0,54 (p=0,0003)	-

Tableau 13 : Résultats série « troubles sensitif »

## 6.6.2.1. Surface d'hypoesthésie

La surface de trouble sensitif était moins étendue dans le groupe TQ par rapport au groupe DT4 avec une surface moyenne de  $5 \pm 10$  cm<sup>2</sup> (range : 0 - 42) et  $21,2 \pm 19$  cm<sup>2</sup> (range : 0 - 77) dans les groupes TQ et DT4 respectivement. Cette différence était statistiquement



significative ( $p = 0,0007$ ). Une atteinte sélective d'une ou plusieurs BIPNS était considérée réelle dans 5 cas sur 28 (17,8%) dans le groupe TQ et dans 19 cas sur 25 (78%) dans le groupe DT4 ( $p=0,0002$ ). Parmi ces patients, la surface de trouble sensitif était mesurée à  $23,4 \pm 13 \text{ cm}^2$  (range : 20 - 42) dans le groupe TQ et à  $27,7 \pm 17 \text{ cm}^2$  (range : 6 - 77) dans le groupe DT4 sans différence significative.

La localisation de la surface de troubles sensitifs était généralement distale et externe à la cicatrice ce qui correspond au territoire sensitif suppléé les BIPNS. Chez deux patients, la zone de trouble sensitif était très externe (à plus de 10cm de la cicatrice) et semblait déborder sur le territoire cutané innervé par le nerf cutané latéral sural (image 30).

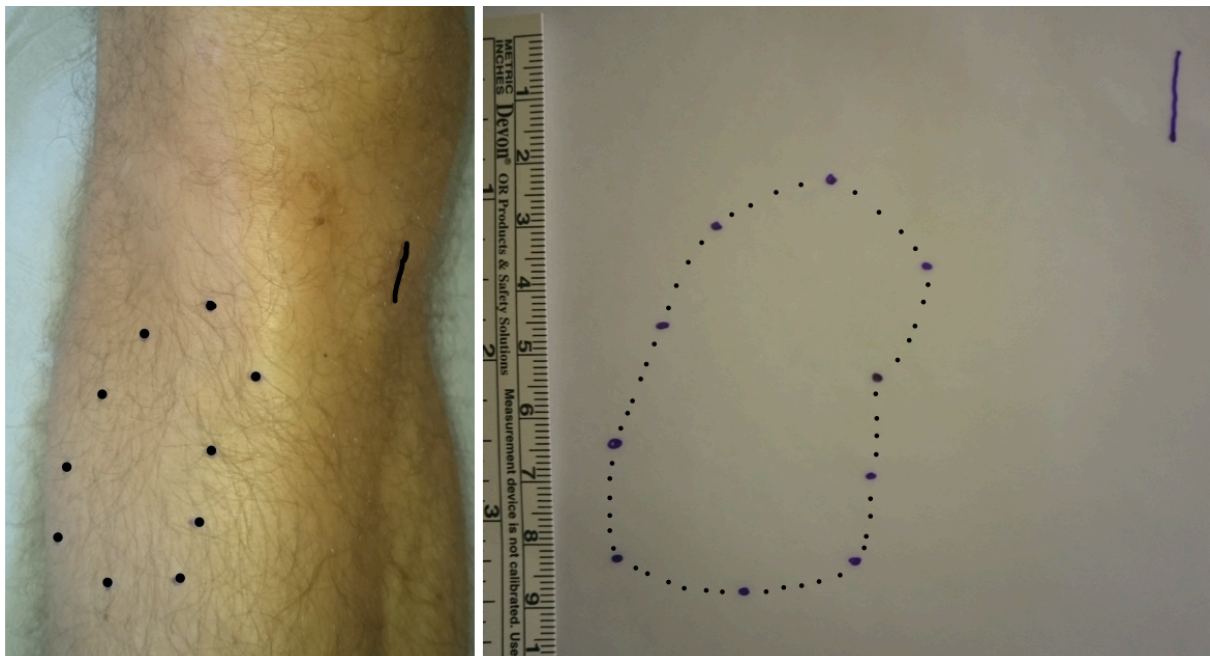


Image 30 : Localisation très externe de la zone de trouble sensitif

Chez un patient, l'atteinte sensitive s'étendait suffisamment en distal pour suspecter une lésion de la branche sartoriale du nerf saphène.

#### 6.6.2.2. Longueur de la cicatrice

La cicatrice tibiale était en moyenne plus longue de 18 mm dans le groupe DT4 et mesurait  $13,3 \pm 2,8 \text{ mm}$  (extrêmes : 9,5 - 20) versus  $31,3 \pm 5,6 \text{ mm}$  (extrêmes : 23 - 40) dans les groupes TQ et DT4 respectivement ( $p<0,0001$ ). Aucune corrélation entre la surface de

trouble sensitif et la longueur de la cicatrice n'était établie au sein de chaque groupe : le coefficient de Pearson était de 0,14 ( $p=0,46$ ) dans le groupe TQ et de 0,35 ( $p=0,079$ ) dans le groupe DT4. En considérant l'ensemble de la cohorte, la corrélation était légèrement positive (coefficient de Pearson= 0,54,  $p = 0,0003$ ). En ne considérant que les patients avec une atteinte considérée réelle des BIPNS (5 patients du groupe TQ et 19 du groupe DT4), la surface d'hypoesthésie était comparable entre les deux groupes

Dans 21 cas sur 24 (87,5%), le trouble sensitif était une hypoesthésie. Nous avons relevé deux cas d'hyperesthésie discrètement douloureuse à la palpation et un cas d'anesthésie complète.

#### 6.6.2.3. Scores fonctionnels

Sur l'ensemble de la cohorte, il n'existait pas de différence significative concernant les scores fonctionnels entre les 24 patients avec une atteinte des BIPNS et les 29 patients ne présentant pas de troubles sensitifs (tableau 14). Il n'existait pas non plus de corrélation entre le score de Tegner – Lysholm et la surface d'hypoesthésie dans le groupe avec déficit (coefficient de Pearson 0,09,  $p$ -value = 0,67). On note cependant dans ce même groupe une corrélation positive entre de la surface d'hypoesthésie et le score de KOOS (coefficient de Pearson 0,54,  $p$ -value = 0,05).



		Lésion BIPNS	Pas de lésion des BIPNS	p-value
Effectif	Total	24	29	
	TQ	5 (21%)	23 (79%)	<b>&lt;0,0001</b>
	DT4	19 (79%)	6 (21%)	<b>&lt;0,0001</b>
Score de Tegner-Lysholm (+ écart type)		89 (± 13,7)	93 (± 7,5)	0,16
Score de KOOS (+ écart type)		87 (± 13,7)	93,5 (± 7)	0,08
Corrélation score fonctionnel et surface d'hypoesthésie : coefficient de Pearson				
	Tegner-Lysholm	0,09		0,67
	KOOS	0,54		<b>0,005</b>

Tableau 14 : Résultats selon la présence ou non d'une lésion des BIPNS

### 6.6.3. Discussion

Notre étude confirme l'avantage des reconstructions du LCA par tendon quadricipital concernant le risque de lésion des BIPNS. Le taux de patients avec une lésion certaine des BIPNS était en effet quatre fois plus élevé dans le groupe DT4 avec une diminution moyenne de la surface de trouble sensitif de 16,2cm<sup>2</sup> dans le groupe TQ. Considérant la moyenne de chaque groupe et l'écart type des deux groupes, le nombre de sujets inclus était suffisant pour permettre une analyse avec un risque de première espèce alpha inférieur à 1% une puissance supérieure à 99%.

### 6.6.3.1. Limites

Notre étude montre plusieurs limites. La mesure de la surface d'hypoesthésie est une valeur absolue qui ne prend pas en compte la morphologie propre à chaque patient. Une valeur ajustée indexée sur la longueur de la jambe et sa circonférence permettrait de rendre les patients comparables en s'affranchissant d'éventuels erreurs d'évaluation dues aux variations morphologiques interindividuelles. La taille moyenne des patients était cependant inférieure dans le groupe DT4 ce qui aurait tendance à sous-estimer nos résultats. Cette différence de taille était limitée à 5cm en moyenne avec un indice de masse corporelle similaire dans les deux groupes. Enfin, le délai de récupération sensitive classiquement admis dans la littérature est de 18 à 24 mois[182]. L'examen neurologique a peut-être été réalisé un peu tôt dans notre étude. L'importante différence en termes d'atteinte des BIPNS mise en évidence entre les deux groupes laisse suggérer que le résultat aurait été similaire si l'évaluation avait été réalisée 2 ans ou plus après la chirurgie. De plus, le délai post opératoire de réalisation de cette évaluation sensitive était plus long dans le groupe DT4 qui présente le plus de trouble sensitif. Cela sous-estime donc également la différence trouvée entre les deux groupes et renforce nos résultats.

### 6.6.3.2. Comparaison à la littérature

L'hypoesthésie consécutive au prélèvement des tendons IJ est très fréquente et largement décrite dans plusieurs études. Nos résultats rejoignent ceux de Mouarbes et al.[117] qui rapportent une surface d'hypoesthésie nettement plus faible dans le groupe TQ (8,7cm<sup>2</sup> en moyenne) par rapport au groupe IJ (70,3 cm<sup>2</sup> en moyenne). Pour le groupe DT4, nos observations sont semblables à celles de la littérature avec une fréquence d'atteinte des BIPNS variant de 39 à 88% selon les séries[108].

Différents auteurs ont proposé des adaptations techniques lors du geste de prélèvement des IJ afin de réduire le risque d'atteinte iatrogène des BIPNS. En 2005, Prodromos et al.[183] ont décrit un abord postérieur mini-invasif pour prélever les IJ et rendre plus facile l'identification du tendon du droit interne et du demi-tendineux l'un de l'autre. Plus tard, Roussignol et al.[184] ont rapporté dans une étude cadavérique la sécurité de cette méthode de prélèvement vis-à-vis des BIPNS. Cette hypothèse était également corroborée par Franz et Baumann[185] à travers une étude prospective et randomisée montrant une réduction significative des trouble sensitifs après prélèvement par voie postéro médiale

comparée à la classique voie antéro médiale (0% versus 14%,  $p=0,01$ ). La longueur de l'incision tout comme la durée du prélèvement étaient également réduites au prix d'une perte de longueur moyenne de la greffe de 2cm. D'autres auteurs[112–115] ont suggéré de pratiquer le prélèvement des IJ à travers une incision cutanée oblique. Cette stratégie permet à l'incision cutanée d'être la plus parallèle possible au trajet des BIPNS[186] et par conséquent de réduire le risque de les couper. Pekala et al.[112] ont même proposé de pratiquer une échographie pré opératoire afin d'identifier la position anatomique des BIPNS pour guider la localisation de l'incision cutanée. Enfin, l'ultime modification de la technique opératoire pour préserver le plus possible les BIPNS serait de ne pas réaliser le prélèvement de la greffe sur leur trajet. Ceci est possible pour toutes les techniques, qui, comme la procédure au TQ, ne nécessite une incision tibiale que pour réaliser le tunnel tibial. Cohen et al[116] ont rapporté un taux d'hypoesthésie très faible pour les reconstructions du LCA par allogreffe, procédure pour laquelle le temps tibial est strictement identique à celui des reconstructions au TQ.

Xerogenaes dans la plus grosse cohorte de reconstruction au TQ publiée à ce jour (1000 cas avec recueil de données prospectif)[31] conclue à une très faible morbidité du site de prélèvement du TQ. Ainsi, la protection des BIPNS n'est pas obtenue au prix d'une morbidité « déplacée » vers ce nouveau site de prélèvement. C'est également ce que nous avons observé dans notre série. Les fractures sagittales per opératoire de rotule sont très rares : 3 pour 1000[32]. Concernant les autres complications envisageables telles que les tendinopathies et rupture post opératoire du TQ, d'autres études sont nécessaires pour confirmer leur extrême rareté, celle-ci n'ayant pas été encore décrites dans la littérature actuelle.

Néanmoins, cet avantage de la procédure au TQ doit être considéré d'un point de vue global concernant l'impact des troubles sensitifs sur le résultat fonctionnel à long terme. Malgré la fréquence élevée de cette complication, le résultat final de la chirurgie en est rarement impacté par un déficit sensitif des BIPNS. Ochiai et al.[187] n'ont pas rapporté de différence concernant le résultat fonctionnel avec deux ans de recul post opératoire d'une reconstruction du LCA (IJ) entre un groupe de patient présentant un déficit sensitif du territoire des BIPNS et un groupe contrôle ne présentant aucun déficit. C'est également ce que nous observons dans notre étude avec une légère tendance à avoir de meilleurs scores fonctionnels en l'absence de toute lésion neurologique. Cette tendance est largement

attribuable au principal biais de la comparaison que représente la technique chirurgicale. En effet, le groupe sans lésion des BIPNS est principalement composé de patient ayant bénéficié d'une reconstruction par TQ (79%) pour lesquels les scores fonctionnels sont discrètement supérieur aux patients du groupe DT4 (cf paragraphe 5.4). Les lésions des BIPNS sont donc bien tolérées et les symptomatologies sévères secondaires restent exceptionnelles. A ce jour, seulement 2 cas de lésion des BIPNS influençant le résultat fonctionnel après reconstruction du LCA ont été décrits. Un névrome traumatique[188] et une névralgie[189] des BIPNS ont nécessité une reprise chirurgicale par excision et neurolyse respectivement, avec un excellent résultat.

Deux études ont rapporté des troubles sensitifs après reconstruction du LCA au tendon patellaire (KJ) avec une surface d'hypoesthésie moyenne d'environ 10cm<sup>2</sup>[190, 191]. Cette valeur est deux fois plus importante dans notre étude (21,8cm<sup>2</sup> pour le groupe DT4). L'incision cutanée localisée proximale sur le trajet des BIPNS de notre groupe DT4 comparée à une incision plus externe et donc plus distale sur le trajet des BIPNS nécessaire au prélèvement du tendon patellaire peut expliquer cette différence. Par conséquent, latéraliser l'incision tibiale proche de la tubérosité tibiale antérieure (dans la mesure du raisonnable pour réaliser un tunnel tibial suffisamment long et pas trop antérieur) semble être une autre option à explorer pour minimiser, encore plus, les lésions iatrogènes des BIPNS.

Pour finir, se pose la question de la nature exacte du geste lésionnel. Au sein de chaque groupe de notre étude, nous n'observons aucune corrélation entre longueur de la cicatrice et surface de trouble sensitif. Ceci fait suggérer que les lésions des BIPNS ne sont pas le fait de l'incision cutanée mais plus probablement de la dissection sous cutanée et du stripping pour les IJ. Cette hypothèse est également soutenue de la même manière par Mouarbes et al.[117]. Ceci explique potentiellement la différence de surface d'hypoesthésie après prélèvement d'un seul tendon IJ (DT) dans notre étude (21,2 cm<sup>2</sup>) par rapport au stripping du DI et du DT dans l'étude de Mouarbes et al.

#### **6.6.4. Conclusion**

La surface de troubles sensitifs cutanés du territoire des BIPNS après reconstruction du LCA est réduite en utilisant une autogreffe de TQ par rapport aux autogreffes d'ischio-jambiers. Bien que les résultats fonctionnels soient très peu affectés par ses troubles sensitifs, d'autres propositions telles que le repérage échographique pré opératoire ou la réalisation d'une incision cutanée tibiale oblique nécessitent de nouvelles études cliniques.

## 7. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'utilisation du tendon du muscle quadriceps comme auto greffe du ligament croisé antérieur est actuellement largement validée par les données de la littérature. Les études morphologiques et biomécaniques sont également parfaitement favorables à son utilisation. Le tendon quadricipital se présente donc comme une greffe de choix pour les ligamentoplasties de première intention et sera probablement proposé dans les prochaines recommandations nationales ou issues des sociétés savantes, au même titre que le tendon rotulien ou les tendons ischio-jambiers. L'autogreffe de tendon quadricipital ne montre pas de supériorité par rapport aux greffes de tendons ischio-jambiers (DT4) en termes de résultats fonctionnels, dans la littérature comme dans notre étude. Néanmoins l'utilisation du TQ semble intéressante pour réduire la morbidité liée au site de prélèvement concernant les troubles sensitifs iatrogènes (résultats significatifs dans notre étude) et les déficits de force musculaire (simple tendance dans notre étude).

Des études à plus long terme sur de plus grandes cohortes sont nécessaires pour confirmer les résultats actuels et préciser en détail la technique TQ idéale parmi toutes les options décrites (prélèvement d'une baguette osseuse ou non, moyen de fixation, méthode de prélèvement etc.). L'évaluation de la résistance de l'enthèse en cas de prélèvement d'une baguette osseuse n'a pas encore fait l'objet d'étude biomécanique. Les conséquences de la suture ou non du TQ après prélèvement nécessitent des évaluations biomécaniques et cliniques dédiées afin de valider les techniques de prélèvement percutanée de la greffe. Enfin l'étude de la morphologie du tendon quadricipital en imagerie (échographie ou IRM) à distance de la chirurgie permettrait d'évaluer ses capacités de cicatrisation et la possibilité d'envisager ou non un prélèvement itératif en cas de rupture du LCA reconstruit.

## 8. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Hulet C, Lebel B, Colombet P, et al (2011) Traitement chirurgical des lésions du ligament croisé antérieur. //www.em-premium.com/data/traites/t06/44-50332/
2. Haute autorité de santé Recommandations professionnelles 2008 : prise en charge thérapeutique des lésions méniscales et des lésions isolées du ligament croisé antérieur du genou chez l'adulte
3. Hagmeijer MH, Hevesi M, Desai VS, et al (2019) Secondary Meniscal Tears in Patients With Anterior Cruciate Ligament Injury: Relationship Among Operative Management, Osteoarthritis, and Arthroplasty at 18-Year Mean Follow-up. *Am J Sports Med* 47:1583–1590. <https://doi.org/10.1177/0363546519844481>
4. Chen T, Wang S, Li Y, et al (2019) Radiographic Osteoarthritis Prevalence Over Ten Years After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Int J Sports Med*. <https://doi.org/10.1055/a-0902-8539>
5. Reinhardt KR, Hetsroni I, Marx RG (2010) Graft selection for anterior cruciate ligament reconstruction: a level I systematic review comparing failure rates and functional outcomes. *Orthop Clin North Am* 41:249–262. <https://doi.org/10.1016/j.ocl.2009.12.009>
6. Macaulay AA, Perfetti DC, Levine WN (2012) Anterior cruciate ligament graft choices. *Sports Health* 4:63–68. <https://doi.org/10.1177/1941738111409890>
7. Mehran N, Moutzouros VB, Bedi A (2015) A Review of Current Graft Options for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *JBJS Rev* 3:. <https://doi.org/10.2106/JBJS.RVW.O.00009>
8. Shelton WR, Fagan BC (2011) Autografts commonly used in anterior cruciate ligament reconstruction. *J Am Acad Orthop Surg* 19:259–264
9. Slone HS, Romine SE, Premkumar A, Xerogeanes JW (2015) Quadriceps tendon autograft for anterior cruciate ligament reconstruction: a comprehensive review of current literature and systematic review of clinical results. *Arthroscopy* 31:541–554. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2014.11.010>
10. Harris NL, Smith DA, Lamoreaux L, Purnell M (1997) Central quadriceps tendon for anterior cruciate ligament reconstruction. Part I: Morphometric and biomechanical evaluation. *Am J Sports Med* 25:23–28. <https://doi.org/10.1177/036354659702500105>
11. Sasaki N, Farraro KF, Kim KE, Woo SL-Y (2014) Biomechanical evaluation of the quadriceps tendon autograft for anterior cruciate ligament reconstruction: a cadaveric study. *Am J Sports Med* 42:723–730. <https://doi.org/10.1177/0363546513516603>
12. Stäubli HU, Schatzmann L, Brunner P, et al (1999) Mechanical tensile properties of the quadriceps tendon and patellar ligament in young adults. *Am J Sports Med* 27:27–34. <https://doi.org/10.1177/03635465990270011301>
13. Mulford JS, Hutchinson SE, Hang JR (2013) Outcomes for primary anterior cruciate reconstruction with the quadriceps autograft: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 21:1882–1888. <https://doi.org/10.1007/s00167-012-2212-2>

14. Runer A, Wierer G, Herbst E, et al (2018) There is no difference between quadriceps- and hamstring tendon autografts in primary anterior cruciate ligament reconstruction: a 2-year patient-reported outcome study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 26:605–614. <https://doi.org/10.1007/s00167-017-4554-2>
15. MacIntosh DL (1974) The anterior cruciate ligament. Over the top repair. *J Bone Joint Surg*
16. Kornblatt I, Warren RF, Wickiewicz TL (1988) Long-term followup of anterior cruciate ligament reconstruction using the quadriceps tendon substitution for chronic anterior cruciate ligament insufficiency. *Am J Sports Med* 16:444–448. <https://doi.org/10.1177/036354658801600503>
17. Marshall JL, Warren RF, Wickiewicz TL, Reider B (1979) The anterior cruciate ligament: a technique of repair and reconstruction. *Clin Orthop Relat Res* 97–106
18. Yasuda K, Ohkoshi Y, Tanabe Y, Kaneda K (1991) Muscle weakness after anterior cruciate ligament reconstruction using patellar and quadriceps tendons. *Bull Hosp Jt Dis Orthop Inst* 51:175–185
19. Blauth W (1984) [2-strip substitution-plasty of the anterior cruciate ligament with the quadriceps tendon]. *Unfallheilkunde* 87:45–51
20. Sonnery-Cottet B, Chambat P (2006) Anatomic double bundle: a new concept in anterior cruciate ligament reconstruction using the quadriceps tendon. *Arthroscopy* 22:1249.e1–4. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2006.07.042>
21. Fulkerson JP, Langeland R (1995) An alternative cruciate reconstruction graft: the central quadriceps tendon. *Arthroscopy* 11:252–254. [https://doi.org/10.1016/0749-8063\(95\)90078-0](https://doi.org/10.1016/0749-8063(95)90078-0)
22. Stäubli HU, Schatzmann L, Brunner P, et al (1996) Quadriceps tendon and patellar ligament: cryosectional anatomy and structural properties in young adults. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 4:100–110. <https://doi.org/10.1007/bf01477262>
23. Stäubli HU, Jakob RP (1997) Central quadriceps tendon for anterior cruciate ligament reconstruction. Part I: morphometric and biochemical evaluation. *Am J Sports Med* 25:725–727
24. Chen CH, Chen WJ, Shih CH (1999) Arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction with quadriceps tendon-patellar bone autograft. *J Trauma* 46:678–682. <https://doi.org/10.1097/00005373-199904000-00020>
25. Chen CH, Chen WJ, Shih CH (1999) Arthroscopic posterior cruciate ligament reconstruction with quadriceps tendon-patellar bone autograft. *Arch Orthop Trauma Surg* 119:86–88. <https://doi.org/10.1007/s004020050362>
26. Noyes FR, Barber-Westin SD (2006) Anterior cruciate ligament revision reconstruction: results using a quadriceps tendon-patellar bone autograft. *Am J Sports Med* 34:553–564. <https://doi.org/10.1177/0363546505281812>
27. Van Eck CF, Illingworth KD, Fu FH (2010) Quadriceps tendon: the forgotten graft. *Arthroscopy* 26:441–442; author reply 442–443. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2010.02.021>
28. Colombet P, Allard M, Bousquet V et al. (1999) Histoire de la chirurgie du LCA. *Maitrise Orthopédique* N°87.
29. Middleton KK, Hamilton T, Irrgang JJ, et al (2014) Anatomic anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction: a global perspective. Part 1. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 22:1467–1482. <https://doi.org/10.1007/s00167-014-2846-3>



30. Lubowitz JH (2016) Editorial Commentary: Quadriceps Tendon Autograft Use for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Predicted to Increase. *Arthroscopy* 32:76–77. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2015.11.004>
31. Xerogeanes JW (2019) Quadriceps Tendon Graft for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: THE GRAFT OF THE FUTURE! *Arthroscopy* 35:696–697. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2019.01.011>
32. Sheean AJ, Musahl V, Slone HS, et al (2018) Quadriceps tendon autograft for arthroscopic knee ligament reconstruction: use it now, use it often. *Br J Sports Med* 52:698–701. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-098769>
33. Boisrenoult P, Noailles T, Steltzen C, et al (2015) Anatomie moderne du ligament croisé antérieur – un seul faisceau plat torsadé. *Revue de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique* 101:S250–S251. <https://doi.org/10.1016/j.rcot.2015.09.268>
34. Livres: L'Arthroscopie, SFA, Christophe Hulet, Jean-françois Potel, Elsevier Masson, 9782294743542, livres-medicaux.com. <https://www.livres-medicaux.com/arthroscopie.html>. Accessed 26 Nov 2019
35. Ng WHA, Griffith JF, Hung EHY, et al (2011) Imaging of the anterior cruciate ligament. *World J Orthop* 2:75–84. <https://doi.org/10.5312/wjo.v2.i8.75>
36. Śmigielski R, Zdanowicz U, Drwięga M, et al (2016) The anatomy of the anterior cruciate ligament and its relevance to the technique of reconstruction. *Bone Joint J* 98-B:1020–1026. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.98B8.37117>
37. Xerogeanes JW, Mitchell PM, Karasev PA, et al (2013) Anatomic and morphological evaluation of the quadriceps tendon using 3-dimensional magnetic resonance imaging reconstruction: applications for anterior cruciate ligament autograft choice and procurement. *Am J Sports Med* 41:2392–2399. <https://doi.org/10.1177/0363546513496626>
38. Todd DC, Ghasem AD, Xerogeanes JW (2015) Height, weight, and age predict quadriceps tendon length and thickness in skeletally immature patients. *Am J Sports Med* 43:945–952. <https://doi.org/10.1177/0363546515570620>
39. Woo SL, Hollis JM, Adams DJ, et al (1991) Tensile properties of the human femur-anterior cruciate ligament-tibia complex. The effects of specimen age and orientation. *Am J Sports Med* 19:217–225. <https://doi.org/10.1177/036354659101900303>
40. Urchek R, Karas S (2019) Biomechanical Comparison of Quadriceps and 6-Strand Hamstring Tendon Grafts in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Orthop J Sports Med* 7:. <https://doi.org/10.1177/2325967119879113>
41. Suzuki T, Shino K, Nakagawa S, et al (2011) Early integration of a bone plug in the femoral tunnel in rectangular tunnel ACL reconstruction with a bone-patellar tendon-bone graft: a prospective computed tomography analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 19 Suppl 1:S29-35. <https://doi.org/10.1007/s00167-011-1481-5>
42. Pinczewski LA, Clingeleffer AJ, Otto DD, et al (1997) Integration of hamstring tendon graft with bone in reconstruction of the anterior cruciate ligament. *Arthroscopy* 13:641–643. [https://doi.org/10.1016/s0749-8063\(97\)90194-8](https://doi.org/10.1016/s0749-8063(97)90194-8)

43. Emerson CP, Bernstein JM, Nham F, et al (2019) Magnetic resonance imaging of the quadriceps tendon autograft in anterior cruciate ligament reconstruction. *Skeletal Radiol* 48:1685–1696. <https://doi.org/10.1007/s00256-019-03235-8>
44. Ma Y, Murawski CD, Rahnama-Azar AA, et al (2015) Graft maturity of the reconstructed anterior cruciate ligament 6 months postoperatively: a magnetic resonance imaging evaluation of quadriceps tendon with bone block and hamstring tendon autografts. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 23:661–668. <https://doi.org/10.1007/s00167-014-3302-0>
45. Colombet P, Graveleau N (2015) An Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Technique With 4-Strand Semitendinosus Grafts, Using Outside-In Tibial Tunnel Drilling and Suspensory Fixation Devices. *Arthrosc Tech* 4:e507-511. <https://doi.org/10.1016/j.eats.2015.05.014>
46. Gulotta LV, Rodeo SA (2007) Biology of autograft and allograft healing in anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Sports Med* 26:509–524. <https://doi.org/10.1016/j.csm.2007.06.007>
47. Herbort M, Tecklenburg K, Zantop T, et al (2013) Single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a biomechanical cadaveric study of a rectangular quadriceps and bone–patellar tendon–bone graft configuration versus a round hamstring graft. *Arthroscopy* 29:1981–1990. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2013.08.030>
48. Mae T, Shino K, Matsumoto N, et al (2010) Graft tension during active knee extension exercise in anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 26:214–222. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2009.07.016>
49. Lee S, Seong SC, Jo CH, et al (2007) Anterior cruciate ligament reconstruction with use of autologous quadriceps tendon graft. *J Bone Joint Surg Am* 89 Suppl 3:116–126. <https://doi.org/10.2106/JBJS.G.00632>
50. Slullitel D, Blasco A, Periotti G (2001) Full-thickness quadriceps tendon: An easy cruciate reconstruction graft. *Arthroscopy* 17:781–783. <https://doi.org/10.1053/jars.2001.25326>
51. Paessler HH, Mastrokalos DS (2003) Anterior cruciate ligament reconstruction using semitendinosus and gracilis tendons, bone patellar tendon, or quadriceps tendon-graft with press-fit fixation without hardware. A new and innovative procedure. *Orthop Clin North Am* 34:49–64. [https://doi.org/10.1016/s0030-5898\(02\)00070-6](https://doi.org/10.1016/s0030-5898(02)00070-6)
52. Han HS, Seong SC, Lee S, Lee MC (2008) Anterior cruciate ligament reconstruction : quadriceps versus patellar autograft. *Clin Orthop Relat Res* 466:198–204. <https://doi.org/10.1007/s11999-007-0015-4>
53. Offerhaus C, Albers M, Nagai K, et al (2018) Individualized Anterior Cruciate Ligament Graft Matching: In Vivo Comparison of Cross-sectional Areas of Hamstring, Patellar, and Quadriceps Tendon Grafts and ACL Insertion Area. *Am J Sports Med* 46:2646–2652. <https://doi.org/10.1177/0363546518786032>
54. Pandey V, Madi S, Joseph A, Acharya K (2015) Late quadriceps tendon rupture at the donor site following cruciate ligament reconstruction using central quadriceps tendon graft. *BMJ Case Rep* 2015:. <https://doi.org/10.1136/bcr-2015-212621>
55. Kanakamedala AC, de Sa D, Obioha OA, et al (2019) No difference between full thickness and partial thickness quadriceps tendon autografts in anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 27:105–116. <https://doi.org/10.1007/s00167-018-5042-z>

56. Fink C, Lawton R, Förschner F, et al (2018) Minimally Invasive Quadriceps Tendon Single-Bundle, Arthroscopic, Anatomic Anterior Cruciate Ligament Reconstruction With Rectangular Bone Tunnels. *Arthrosc Tech* 7:e1045–e1056. <https://doi.org/10.1016/j.eats.2018.06.012>
57. Slone HS, Ashford WB, Xerogeanes JW (2016) Minimally Invasive Quadriceps Tendon Harvest and Graft Preparation for All-Inside Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Arthrosc Tech* 5:e1049–e1056. <https://doi.org/10.1016/j.eats.2016.05.012>
58. Slone HS, Xerogeanes JW (2014) Anterior Cruciate Ligament Reconstruction with Quadriceps Tendon Autograft: A Minimally Invasive Harvest Technique. *JBJS Essent Surg Tech* 4:e16. <https://doi.org/10.2106/JBJS.ST.N.00012>
59. Schulz AP, Lange V, Gille J, et al (2013) Anterior cruciate ligament reconstruction using bone plug-free quadriceps tendon autograft: intermediate-term clinical outcome after 24-36 months. *Open Access J Sports Med* 4:243–249. <https://doi.org/10.2147/OAJSM.S49223>
60. Gorschewsky O, Klakow A, Pütz A, et al (2007) Clinical comparison of the autologous quadriceps tendon (BQT) and the autologous patella tendon (BPTB) for the reconstruction of the anterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 15:1284–1292. <https://doi.org/10.1007/s00167-007-0371-3>
61. Crum RJ, de Sa D, Kanakamedala AC, et al (2019) Aperture and Suspensory Fixation Equally Efficacious for Quadriceps Tendon Graft Fixation in Primary ACL Reconstruction: A Systematic Review. *J Knee Surg*. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1685160>
62. Dargel J, Gotter M, Mader K, et al (2007) Biomechanics of the anterior cruciate ligament and implications for surgical reconstruction. *Strategies Trauma Limb Reconstr* 2:1–12. <https://doi.org/10.1007/s11751-007-0016-6>
63. Karkosch RF, Ettinger M, Bachmaier S, et al (2018) Adjustable-length loop cortical button versus interference screw fixation in quadriceps tendon anterior cruciate ligament reconstruction - A biomechanical in vitro study. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 60:60–65. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2018.10.001>
64. Crall TS, Gilmer BB (2015) Anatomic All-Inside Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using Quadriceps Tendon Autograft. *Arthrosc Tech* 4:e841–e845. <https://doi.org/10.1016/j.eats.2015.08.004>
65. Sprowls GR, Robin BN (2018) The Quad Link Technique for an All-Soft-Tissue Quadriceps Graft in Minimally Invasive, All-Inside Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Arthrosc Tech* 7:e845–e852. <https://doi.org/10.1016/j.eats.2018.04.004>
66. Saper MG (2018) Quadriceps Tendon Autograft Anterior Cruciate Ligament Reconstruction With Independent Suture Tape Reinforcement. *Arthrosc Tech* 7:e1221–e1229. <https://doi.org/10.1016/j.eats.2018.08.007>
67. Sonnery-Cottet B, Thauinat M, Freychet B, et al (2015) Outcome of a Combined Anterior Cruciate Ligament and Anterolateral Ligament Reconstruction Technique With a Minimum 2-Year Follow-up. *Am J Sports Med* 43:1598–1605. <https://doi.org/10.1177/0363546515571571>
68. Christel P, Djian P (2008) Plastie extra-articulaire antéro-latérale du genou utilisant une ténodèse courte au fascia lata. [//www.em-premium.com/data/revues/00351040/00880005/508/](http://www.em-premium.com/data/revues/00351040/00880005/508/)

69. Ouabo EC, Gillain L, Saithna A, et al (2019) Combined Anatomic Anterior Cruciate and Anterolateral Ligament Reconstruction With Quadriceps Tendon Autograft and Gracilis Allograft Through a Single Femoral Tunnel. *Arthrosc Tech* 8:e827–e834. <https://doi.org/10.1016/j.eats.2019.03.021>
70. Saragaglia D, Lateral tenodesis combined with anterior cruciate ligament reconstruction using a unique semitendinosus and gracilis transplant. - PubMed - NCBI. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23824520>. Accessed 18 Dec 2019
71. Boutsiadis A, Brossard P, Panisset J-C, et al (2017) Minimally Invasive Combined Anterior and Anterolateral Stabilization of the Knee Using Hamstring Tendons and Adjustable-Loop Suspensory Fixation Device: Surgical Technique. *Arthrosc Tech* 6:e419–e425. <https://doi.org/10.1016/j.eats.2016.10.019>
72. Colombet PD (2011) Navigated intra-articular ACL reconstruction with additional extra-articular tenodesis using the same hamstring graft. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 19:384–389. <https://doi.org/10.1007/s00167-010-1223-0>
73. HAS 2008 Critères de suivi en rééducation et d'orientation en ambulatoire ou en SSR après ligamentoplastie du croisé antérieur du genou - Recommandations professionnelles
74. Shelbourne KD, Nitz P (1990) Accelerated rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 18:292–299. <https://doi.org/10.1177/036354659001800313>
75. Boileau P, Rémi M, Lemaire M et al. (1999) Plaidoyer pour une rééducation accélérée après ligamentoplastie du genou par un tansplant os-tendon rotulien-os. *Rev Chir Orthop* 85 (5) : 475-90.
76. Beynon BD, Johnson RJ, Naud S, et al (2011) Accelerated versus nonaccelerated rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective, randomized, double-blind investigation evaluating knee joint laxity using roentgen stereophotogrammetric analysis. *Am J Sports Med* 39:2536–2548. <https://doi.org/10.1177/0363546511422349>
77. Janssen RPA, van Melick N, van Mourik JBA, et al (2018) ACL reconstruction with hamstring tendon autograft and accelerated brace-free rehabilitation: a systematic review of clinical outcomes. *BMJ Open Sport Exerc Med* 4:e000301. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2017-000301>
78. Rougraff B, Shelbourne KD, Gerth PK, Warner J (1993) Arthroscopic and histologic analysis of human patellar tendon autografts used for anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 21:277–284. <https://doi.org/10.1177/036354659302100219>
79. Janssen RPA, van der Wijk J, Fiedler A, et al (2011) Remodelling of human hamstring autografts after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 19:1299–1306. <https://doi.org/10.1007/s00167-011-1419-y>
80. Pauvert A, Robert H, Gicquel P, et al (2018) MRI study of the ligamentization of ACL grafts in children with open growth plates. *Orthop Traumatol Surg Res* 104:S161–S167. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2018.09.003>
81. Chu CR, Williams AA (2019) Quantitative MRI UTE-T2\* and T2\* Show Progressive and Continued Graft Maturation Over 2 Years in Human Patients After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Orthop J Sports Med* 7:2325967119863056. <https://doi.org/10.1177/2325967119863056>
82. Czaplicki A, Jarocka M, Walawski J (2015) Isokinetic Identification of Knee Joint Torques before and after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *PLoS ONE* 10:e0144283. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144283>

83. Hislop HJ, Perrine JJ (1967) The isokinetic concept of exercise. *Phys Ther* 47:114–117
84. Brosky JA, Nitz AJ, Malone TR, et al (1999) Intrarater reliability of selected clinical outcome measures following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther* 29:39–48. <https://doi.org/10.2519/jospt.1999.29.1.39>
85. Kannus P (1994) Isokinetic evaluation of muscular performance: implications for muscle testing and rehabilitation. *Int J Sports Med* 15 Suppl 1:S11-18. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1021104>
86. Iossifidou AN, Baltzopoulos V (1998) Inertial effects on the assessment of performance in isokinetic dynamometry. *Int J Sports Med* 19:567–573. <https://doi.org/10.1055/s-2007-971961>
87. Sapega AA, Nicholas JA, Sokolow D, Saraniti A (1982) The nature of torque “overshoot” in Cybex isokinetic dynamometry. *Med Sci Sports Exerc* 14:368–375
88. Myer GD, Ford KR, Hewett TE (2004) Rationale and Clinical Techniques for Anterior Cruciate Ligament Injury Prevention Among Female Athletes. *J Athl Train* 39:352–364
89. Kannus P (1988) Peak torque and total work relationship in the thigh muscles after anterior cruciate ligament injury. *J Orthop Sports Phys Ther* 10:97–101. <https://doi.org/10.2519/jospt.1988.10.3.97>
90. de Carvalho Froufe Andrade ACP, Caserotti P, de Carvalho CMP, et al (2013) Reliability of Concentric, Eccentric and Isometric Knee Extension and Flexion when using the REV9000 Isokinetic Dynamometer. *J Hum Kinet* 37:47–53. <https://doi.org/10.2478/hukin-2013-0024>
91. Gransberg L, Knutsson E (1983) Determination of dynamic muscle strength in man with acceleration controlled isokinetic movements. *Acta Physiol Scand* 119:317–320. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1983.tb07346.x>
92. Condouret J, Cohn J, Ferret J-M, et al (2008) [Isokinetic assessment with two years follow-up of anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon or hamstring tendons]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 94:375–382. <https://doi.org/10.1016/j.rco.2008.09.006>
93. Hiemstra LA, Webber S, MacDonald PB, Kriellaars DJ (2007) Contralateral limb strength deficits after anterior cruciate ligament reconstruction using a hamstring tendon graft. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 22:543–550. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2007.01.009>
94. Snyder-Mackler L, De Luca PF, Williams PR, et al (1994) Reflex inhibition of the quadriceps femoris muscle after injury or reconstruction of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Am* 76:555–560. <https://doi.org/10.2106/00004623-199404000-00010>
95. Sapega AA (1990) Muscle performance evaluation in orthopaedic practice. *J Bone Joint Surg Am* 72:1562–1574
96. Croisier J-L, Crielaard J-M (1999) Exploration isocinétique : analyse des paramètres chiffrés. *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique* 42:. [https://doi.org/10.1016/S0168-6054\(00\)88381-6](https://doi.org/10.1016/S0168-6054(00)88381-6)
97. Aagaard P, Simonsen EB, Trolle M, et al (1995) Isokinetic hamstring/quadriceps strength ratio: influence from joint angular velocity, gravity correction and contraction mode. *Acta Physiol Scand* 154:421–427. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1995.tb09927.x>

98. Holmes JR, Alderink GJ (1984) Isokinetic strength characteristics of the quadriceps femoris and hamstring muscles in high school students. *Phys Ther* 64:914–918. <https://doi.org/10.1093/ptj/64.6.914>
99. Cheung RTH, Smith AW, Wong DP (2012) H:Q Ratios and Bilateral Leg Strength in College Field and Court Sports Players. *J Hum Kinet* 33:63–71. <https://doi.org/10.2478/v10078-012-0045-1>
100. Le Gall, F, Laurent T, Rochcongar P, 1999. Évolution de la force musculaire des fléchisseurs et extenseurs du genou mesurée par dynamomètre isocinétique concentrique chez le footballeur de haut niveau. *Science & Sports*, 14(4), pp.167–172
101. Rochcongar P, 2004. [Isokinetic thigh muscle strength in sports: a review]. *Annales de réadaptation et de médecine physique : revue scientifique de la Société française de rééducation fonctionnelle de réadaptation et de médecine physique*, 47(6), pp.274–81.
102. Magalhães J, Oliveira J, Ascensão A, Soares J (2004) Concentric quadriceps and hamstrings isokinetic strength in volleyball and soccer players. *J Sports Med Phys Fitness* 44:119–125
103. Noyes FR, Barber SD, Mangine RE (1991) Abnormal lower limb symmetry determined by function hop tests after anterior cruciate ligament rupture. *Am J Sports Med* 19:513–518. <https://doi.org/10.1177/036354659101900518>
104. Fitzgerald GK (1997) Open versus closed kinetic chain exercise: issues in rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstructive surgery. *Phys Ther* 77:1747–1754. <https://doi.org/10.1093/ptj/77.12.1747>
105. Machado F, Debieux P, Kaleka CC, et al (2018) Knee isokinetic performance following anterior cruciate ligament reconstruction: patellar tendon versus hamstrings graft. *Phys Sportsmed* 46:30–35. <https://doi.org/10.1080/00913847.2018.1418592>
106. Cvjetkovic DD, Bijeljic S, Palija S, et al (2015) Isokinetic Testing in Evaluation Rehabilitation Outcome After ACL Reconstruction. *Med Arch* 69:21–23. <https://doi.org/10.5455/medarh.2015.69.21-23>
107. Dauty M, Tortellier L, Rochcongar P (2005) Isokinetic and anterior cruciate ligament reconstruction with hamstrings or patella tendon graft: analysis of literature. *Int J Sports Med* 26:599–606. <https://doi.org/10.1055/s-2004-821342>
108. Hardy A, Casabianca L, Andrieu K, et al (2017) Complications following harvesting of patellar tendon or hamstring tendon grafts for anterior cruciate ligament reconstruction: Systematic review of literature. *Orthop Traumatol Surg Res* 103:S245–S248. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2017.09.002>
109. Kerver ALA, Leliveld MS, den Hartog D, et al (2013) The surgical anatomy of the infrapatellar branch of the saphenous nerve in relation to incisions for anteromedial knee surgery. *J Bone Joint Surg Am* 95:2119–2125. <https://doi.org/10.2106/JBJS.L.01297>
110. Patterson DC, Cirino CM, Gladstone JN (2019) No safe zone: The anatomy of the saphenous nerve and its posteromedial branches. *Knee* 26:660–665. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2019.02.010>
111. Beaufile P, Gaudot F, Drain O, et al (2011) Mini-invasive technique for bone patellar tendon bone harvesting: its superiority in reducing anterior knee pain following ACL reconstruction. *Curr Rev Musculoskelet Med* 4:45–51. <https://doi.org/10.1007/s12178-011-9077-8>

112. Pękala PA, Miza E, Henry BM, et al (2017) Injury to the infrapatellar branch of the saphenous nerve during tendon graft harvesting for knee ligament reconstruction: An ultrasound simulation study. *Clin Anat* 30:868–872. <https://doi.org/10.1002/ca.22904>
113. Henry BM, Tomaszewski KA, Pękala PA, et al (2018) Oblique incisions in hamstring tendon harvesting reduce iatrogenic injuries to the infrapatellar branch of the saphenous nerve. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 26:1197–1203. <https://doi.org/10.1007/s00167-017-4590-y>
114. Mousavi H, Mohammadi M, Aghdam HA (2018) Injury to the Infrapatellar Branch of the Saphenous Nerve during ACL Reconstruction with Hamstring Tendon Autograft: A Comparison between Oblique and Vertical Incisions. *Arch Bone Jt Surg* 6:52–56
115. Ruffilli A, De Fine M, Traina F, et al (2017) Saphenous nerve injury during hamstring tendons harvest: Does the incision matter? A systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 25:3140–3145. <https://doi.org/10.1007/s00167-016-4217-8>
116. Cohen SB, Flato R, Wascher J, et al (2018) Incidence and Characterization of Hypoesthesia in the Distribution of the Infrapatellar Branch of the Saphenous Nerve after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Prospective Study of Patient-Reported Numbness. *J Knee Surg* 31:585–590. <https://doi.org/10.1055/s-0037-1605559>
117. Mouarbes D, Dagneaux L, Olivier M, et al (2020) Lower donor-site morbidity using QT autografts for ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. <https://doi.org/10.1007/s00167-020-05873-1>
118. Salavati M, Akhbari B, Mohammadi F, et al (2011) Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS); reliability and validity in competitive athletes after anterior cruciate ligament reconstruction. *Osteoarthr Cartil* 19:406–410. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2011.01.010>
119. Tegner Y, Lysholm J (1985) Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries. *Clin Orthop Relat Res* 43–49
120. COLLINS NJ, MISRA D, FELSON DT, et al (2011) Measures of Knee Function. *Arthritis Care Res (Hoboken)* 63:S208–S228. <https://doi.org/10.1002/acr.20632>
121. Ryan J, Magnussen RA, Cox CL, et al (2014) ACL reconstruction: do outcomes differ by sex? A systematic review. *J Bone Joint Surg Am* 96:507–512. <https://doi.org/10.2106/JBJS.M.00299>
122. Heijne A, Ang BO, Werner S (2009) Predictive factors for 12-month outcome after anterior cruciate ligament reconstruction. *Scand J Med Sci Sports* 19:842–849. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2008.00852.x>
123. Forster IW, Warren-Smith CD, Tew M (1989) Is the KT1000 knee ligament arthrometer reliable? *J Bone Joint Surg Br* 71:843–847
124. Klasan A, Putnis SE, Kandhari V, et al (2019) Healthy knee KT1000 measurements of anterior tibial translation have significant variation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. <https://doi.org/10.1007/s00167-019-05768-w>
125. Mouarbes D, Menetrey J, Marot V, et al (2019) Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis of Outcomes for Quadriceps Tendon Autograft Versus Bone-Patellar Tendon-Bone and Hamstring-Tendon Autografts. *Am J Sports Med* 47:3531–3540. <https://doi.org/10.1177/0363546518825340>

126. Goodwillie AD, Shah SS, McHugh MP, Nicholas SJ (2017) The Effect of Postoperative KT-1000 Arthrometer Score on Long-Term Outcome After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med* 45:1522–1528. <https://doi.org/10.1177/0363546517690525>
127. Collette M, Cassard X (2011) The Tape Locking Screw technique (TLS): A new ACL reconstruction method using a short hamstring graft. *Orthop Traumatol Surg Res* 97:555–559. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2011.03.016>
128. Orfeuvre B, Pailhé R, Sharma A, et al (2019) Independent clinical appraisal of the Tape Locking Screw (TLS®) anterior cruciate ligament reconstruction technique compared with the hamstring graft technique with a minimum of 12-month follow-up. *Eur J Orthop Surg Traumatol* 29:1271–1276. <https://doi.org/10.1007/s00590-019-02418-2>
129. Lubowitz JH (2012) All-inside anterior cruciate ligament graft link: graft preparation technique. *Arthrosc Tech* 1:e165-168. <https://doi.org/10.1016/j.eats.2012.06.002>
130. Volpi P, Bait C, Cervellin M, et al (2014) No difference at two years between all inside transtibial technique and traditional transtibial technique in anterior cruciate ligament reconstruction. *Muscles Ligaments Tendons J* 4:95–99
131. Colombet P, Saffarini M, Bouguennec N (2018) Clinical and Functional Outcomes of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction at a Minimum of 2 Years Using Adjustable Suspensory Fixation in Both the Femur and Tibia: A Prospective Study. *Orthop J Sports Med* 6:2325967118804128. <https://doi.org/10.1177/2325967118804128>
132. Calas P, Dorval N, Bloch A, et al (2012) A new anterior cruciate ligament reconstruction fixation technique (quadrupled semitendinosus anterior cruciate ligament reconstruction with polyetheretherketone cage fixation). *Arthrosc Tech* 1:e47-52. <https://doi.org/10.1016/j.eats.2012.01.001>
133. Lund B, Nielsen T, Faunø P, et al (2014) Is quadriceps tendon a better graft choice than patellar tendon? a prospective randomized study. *Arthroscopy* 30:593–598. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2014.01.012>
134. Riaz O, Aqil A, Mannan A, et al (2018) Quadriceps Tendon-Bone or Patellar Tendon-Bone Autografts When Reconstructing the Anterior Cruciate Ligament: A Meta-analysis. *Clin J Sport Med* 28:316–324. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000451>
135. Hurley ET, Calvo-Gurry M, Withers D, et al (2018) Quadriceps Tendon Autograft in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review. *Arthroscopy* 34:1690–1698. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2018.01.046>
136. Buescu CT, Onutu AH, Lucaciu DO, Todor A (2017) Pain level after ACL reconstruction: A comparative study between free quadriceps tendon and hamstring tendons autografts. *Acta Orthop Traumatol Turc* 51:100–103. <https://doi.org/10.1016/j.aott.2017.02.011>
137. Lind M, Nielsen TG, Soerensen OG, et al (2019) Quadriceps tendon grafts does not cause patients to have inferior subjective outcome after anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction than do hamstring grafts: a 2-year prospective randomised controlled trial. *Br J Sports Med*. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-101000>
138. Nyland J, Collis P, Huffstutler A, et al (2020) Quadriceps tendon autograft ACL reconstruction has less pivot shift laxity and lower failure rates than hamstring tendon autografts. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 28:509–518. <https://doi.org/10.1007/s00167-019-05720-y>



139. Lind M, Strauss MJ, Nielsen T, Engebretsen L (2019) Quadriceps tendon autograft for anterior cruciate ligament reconstruction is associated with high revision rates: results from the Danish Knee Ligament Registry. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* <https://doi.org/10.1007/s00167-019-05751-5>
140. Kowalchuk DA, Harner CD, Fu FH, Irrgang JJ (2009) Prediction of patient-reported outcome after single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 25:457–463. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2009.02.014>
141. Rochcongar G, Cucurulo T, Ameline T, et al (2015) Meniscal survival rate after anterior cruciate ligament reconstruction. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research* 101:S323–S326. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2015.09.005>
142. Pua YH, Bryant AL, Steele JR, et al (2008) Isokinetic dynamometry in anterior cruciate ligament injury and reconstruction. *Ann Acad Med Singap* 37:330–340
143. Lipscomb AB, Johnston RK, Snyder RB, et al (1982) Evaluation of hamstring strength following use of semitendinosus and gracilis tendons to reconstruct the anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med* 10:340–342. <https://doi.org/10.1177/036354658201000603>
144. Nakamura N, Horibe S, Sasaki S, Kitaguchi T, Tagami M, Mitsuoka T, et al. Evaluation of active knee flexion and hamstring strength after anterior cruciate ligament reconstruction using hamstring tendons. *Arthroscopy* 2002;18:598-602.
145. Tashiro T, Kurosawa H, Kawakami A, et al (2003) Influence of medial hamstring tendon harvest on knee flexor strength after anterior cruciate ligament reconstruction. A detailed evaluation with comparison of single- and double-tendon harvest. *Am J Sports Med* 31:522–529. <https://doi.org/10.1177/31.4.522>
146. Elmlinger BS, Nyland JA, Tillett ED. Knee flexor function 2 years after anterior cruciate ligament reconstruction with semitendinosus-gracilis autografts. *Arthroscopy* 2006;22:650-5.
147. Parisaux J-M, Boileau P, Desnuelle C (2004) [Isokinetic evaluation of the knee flexor muscles after anterior cruciate ligament reconstruction using gracilis and semitendinous tendon grafts]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 90:33–39. [https://doi.org/10.1016/s0035-1040\(04\)70004-5](https://doi.org/10.1016/s0035-1040(04)70004-5)
148. Xergia SA, McClelland JA, Kvist J, et al (2011) The influence of graft choice on isokinetic muscle strength 4-24 months after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 19:768–780. <https://doi.org/10.1007/s00167-010-1357-0>
149. Lautamies R, Harilainen A, Kettunen J, et al (2008) Isokinetic quadriceps and hamstring muscle strength and knee function 5 years after anterior cruciate ligament reconstruction: comparison between bone-patellar tendon-bone and hamstring tendon autografts. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 16:1009–1016. <https://doi.org/10.1007/s00167-008-0598-7>
150. Fischer F, Fink C, Herbst E, et al (2018) Higher hamstring-to-quadriceps isokinetic strength ratio during the first post-operative months in patients with quadriceps tendon compared to hamstring tendon graft following ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 26:418–425. <https://doi.org/10.1007/s00167-017-4522-x>
151. Cavaignac E, Coulin B, Tscholl P, et al (2017) Is Quadriceps Tendon Autograft a Better Choice Than Hamstring Autograft for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction? A Comparative Study With a Mean Follow-up of 3.6 Years. *Am J Sports Med* 45:1326–1332. <https://doi.org/10.1177/0363546516688665>

152. Dauty M, Tortelier L, Huguet D, et al (2006) [Consequences of pain on isokinetic performance after anterior cruciate ligament reconstruction using a semitendinosus and gracilis autograft]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 92:455–463. [https://doi.org/10.1016/s0035-1040\(06\)75832-9](https://doi.org/10.1016/s0035-1040(06)75832-9)
153. Carter TR, Edinger S (1999) Isokinetic evaluation of anterior cruciate ligament reconstruction: hamstring versus patellar tendon. *Arthroscopy* 15:169–172. <https://doi.org/10.1053/ar.1999.v15.0150161>
154. Sueyoshi T, Nakahata A, Emoto G, Yuasa T (2017) Single-Leg Hop Test Performance and Isokinetic Knee Strength After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in Athletes. *Orthop J Sports Med* 5:2325967117739811. <https://doi.org/10.1177/2325967117739811>
155. Shi D-L, Yao Z-J (2011) Knee function after anterior cruciate ligament reconstruction with patellar or hamstring tendon: a meta-analysis. *Chin Med J* 124:4056–4062
156. Bryant AL, Kelly J, Hohmann E (2008) Neuromuscular adaptations and correlates of knee functionality following ACL reconstruction. *J Orthop Res* 26:126–135. <https://doi.org/10.1002/jor.20472>
157. McNair PJ, Wood GA (1993) Frequency analysis of the EMG from the quadriceps of anterior cruciate ligament deficient individuals. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 33:43–48
158. Konishi Y, Fukubayashi T, Takeshita D (2002) Possible mechanism of quadriceps femoris weakness in patients with ruptured anterior cruciate ligament. *Med Sci Sports Exerc* 34:1414–1418. <https://doi.org/10.1097/00005768-200209000-00003>
159. Sonnery-Cottet B, Freychet B, Murphy CG, et al (2014) Anterior Cruciate Ligament Reconstruction and Preservation: The Single-Anteromedial Bundle Biological Augmentation (SAMBBA) Technique. *Arthrosc Tech* 3:e689-693. <https://doi.org/10.1016/j.eats.2014.08.007>
160. Fuller MS, Grigg P, Hoffman AH (1991) Response of joint capsule neurons to axial stress and strain during dynamic loading in cat. *J Neurophysiol* 65:1321–1328. <https://doi.org/10.1152/jn.1991.65.6.1321>
161. Khalsa PS, Grigg P (1996) Responses of mechanoreceptor neurons in the cat knee joint capsule before and after anterior cruciate ligament transection. *J Orthop Res* 14:114–122. <https://doi.org/10.1002/jor.1100140119>
162. Yasuda K, Ohkoshi Y, Tanabe Y, Kaneda K (1992) Quantitative evaluation of knee instability and muscle strength after anterior cruciate ligament reconstruction using patellar and quadriceps tendon. *Am J Sports Med* 20:471–475. <https://doi.org/10.1177/036354659202000420>
163. More RC, Karras BT, Neiman R, et al (1993) Hamstrings--an anterior cruciate ligament protagonist. An in vitro study. *Am J Sports Med* 21:231–237. <https://doi.org/10.1177/036354659302100212>
164. Aune AK, Holm I, Risberg MA, et al (2001) Four-strand hamstring tendon autograft compared with patellar tendon-bone autograft for anterior cruciate ligament reconstruction. A randomized study with two-year follow-up. *Am J Sports Med* 29:722–728. <https://doi.org/10.1177/03635465010290060901>
165. Croisier JL, Crielaard JM (2001) [Isokinetic exercise and sports injuries]. *Rev Med Liege* 56:360–368
166. Ferretti A, Conteduca F, Morelli F, Masi V (2002) Regeneration of the semitendinosus tendon after its use in anterior cruciate ligament reconstruction: a histologic study of three cases. *Am J Sports Med* 30:204–207. <https://doi.org/10.1177/03635465020300021001>

167. Nakamae A, Deie M, Yasumoto M, et al (2005) Three-dimensional computed tomography imaging evidence of regeneration of the semitendinosus tendon harvested for anterior cruciate ligament reconstruction: a comparison with hamstring muscle strength. *J Comput Assist Tomogr* 29:241–245. <https://doi.org/10.1097/01.rct.0000153779.86663.92>
168. Papalia R, Franceschi F, D'Adamio S, et al (2015) Hamstring Tendon Regeneration After Harvest for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review. *Arthroscopy* 31:1169–1183. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2014.11.015>
169. Yoshiya S, Matsui N, Matsumoto A, et al (2004) Revision anterior cruciate ligament reconstruction using the regenerated semitendinosus tendon: analysis of ultrastructure of the regenerated tendon. *Arthroscopy* 20:532–535. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2004.01.031>
170. Cross MJ, Roger G, Kujawa P, Anderson IF (1992) Regeneration of the semitendinosus and gracilis tendons following their transection for repair of the anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med* 20:221–223. <https://doi.org/10.1177/036354659202000223>
171. Wilk KE, Romaniello WT, Soscia SM, et al (1994) The relationship between subjective knee scores, isokinetic testing, and functional testing in the ACL-reconstructed knee. *J Orthop Sports Phys Ther* 20:60–73. <https://doi.org/10.2519/jospt.1994.20.2.60>
172. Tourville TW, Jarrell KM, Naud S, et al (2014) Relationship between isokinetic strength and tibiofemoral joint space width changes after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 42:302–311. <https://doi.org/10.1177/0363546513510672>
173. Natri A, Järvinen M, Latvala K, Kannus P (1996) Isokinetic muscle performance after anterior cruciate ligament surgery. Long-term results and outcome predicting factors after primary surgery and late-phase reconstruction. *Int J Sports Med* 17:223–228. <https://doi.org/10.1055/s-2007-972836>
174. Olivier N, Rogez J, Masquellier B (2007) [Benefit of isokinetic evaluations of knee before and after anterior cruciate ligament reconstruction in soccer players]. *Ann Readapt Med Phys* 50:564–569. <https://doi.org/10.1016/j.annrmp.2007.03.004>
175. Matthewson G, Kooner S, Rabbani R, et al (2019) Does a Delay in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Increase the Incidence of Secondary Pathology in the Knee? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Clin J Sport Med*. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000762>
176. Gupta R, Masih GD, Chander G, Bachhal V (2016) Delay in surgery predisposes to meniscal and chondral injuries in anterior cruciate ligament deficient knees. *Indian J Orthop* 50:492–498. <https://doi.org/10.4103/0019-5413.189606>
177. Osterås H, Augestad LB, Tøndel S (1998) Isokinetic muscle strength after anterior cruciate ligament reconstruction. *Scand J Med Sci Sports* 8:279–282. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.1998.tb00483.x>
178. Kobayashi A, Higuchi H, Terauchi M, et al (2004) Muscle performance after anterior cruciate ligament reconstruction. *Int Orthop* 28:48–51. <https://doi.org/10.1007/s00264-003-0502-5>
179. Petschnig R, Baron R, Albrecht M (1998) The relationship between isokinetic quadriceps strength test and hop tests for distance and one-legged vertical jump test following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther* 28:23–31. <https://doi.org/10.2519/jospt.1998.28.1.23>

180. Undheim MB, Cosgrave C, King E, et al (2015) Isokinetic muscle strength and readiness to return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction: is there an association? A systematic review and a protocol recommendation. *Br J Sports Med* 49:1305–1310. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-093962>
181. Sabat D, Kumar V (2013) Nerve injury during hamstring graft harvest: a prospective comparative study of three different incisions. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 21:2089–2095. <https://doi.org/10.1007/s00167-012-2243-8>
182. Sunderland, S (1978) *Nerves and nerve injuries*, 2d edition. Churchill Livingstone Inc., Edinburgh London and New York.
183. Prodromos CC, Han YS, Keller BL, Bolyard RJ (2005) Posterior mini-incision technique for hamstring anterior cruciate ligament reconstruction graft harvest. *Arthroscopy* 21:130–137. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2004.09.010>
184. Roussignol X, Bertiaux S, Rahali S, et al (2015) Minimally invasive posterior approach in the popliteal fossa for semitendinosus and gracilis tendon harvesting: an anatomic study. *Orthop Traumatol Surg Res* 101:167–172. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2014.12.009>
185. Franz W, Baumann A (2016) Minimally invasive semitendinosus tendon harvesting from the popliteal fossa versus conventional hamstring tendon harvesting for ACL reconstruction: A prospective, randomised controlled trial in 100 patients. *Knee* 23:106–110. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2015.09.001>
186. Tifford CD, Spero L, Luke T, Plancher KD (2000) The relationship of the infrapatellar branches of the saphenous nerve to arthroscopy portals and incisions for anterior cruciate ligament surgery. An anatomic study. *Am J Sports Med* 28:562–567. <https://doi.org/10.1177/03635465000280042001>
187. Ochiai S, Hagino T, Senga S, et al (2017) Injury to infrapatellar branch of saphenous nerve in anterior cruciate ligament reconstruction using vertical skin incision for hamstring harvesting: risk factors and the influence of treatment outcome. *J Orthop Surg Res* 12:101. <https://doi.org/10.1186/s13018-017-0596-x>
188. Nelissen E, van Arkel ERA, Hazelbag HM (2010) Traumatic neuroma of the infrapatellar branch of the saphenous nerve after hamstring harvesting. *J Knee Surg* 23:233–236
189. Bertram C, Porsch M, Hackenbroch MH, Terhaag D (2000) Saphenous neuralgia after arthroscopically assisted anterior cruciate ligament reconstruction with a semitendinosus and gracilis tendon graft. *Arthroscopy* 16:763–766. <https://doi.org/10.1053/jars.2000.4820>
190. Ioncu A, Mader R, Bonin N, et al (2012) Bone-patellar tendon-bone graft via a single minimally-invasive approach versus a classical approach in anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective study. *Orthop Traumatol Surg Res* 98:426–431. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2012.03.003>
191. Gaudot F, Leymarie J-B, Drain O, et al (2009) Double-incision mini-invasive technique for BTB harvesting: its superiority in reducing anterior knee pain following ACL reconstruction. *Orthop Traumatol Surg Res* 95:28–35. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2008.09.006>



## 9. ANNEXES

### Annexe 1 : accords du comité éthique

**Comité d’Ethique des Centres d’Investigation Clinique  
de l’inter-région Rhône-Alpes-Auvergne**



**Dr Christian Dualé**  
*Chair*  
Centre de Clermont-Ferrand  
**IRB n°0005891**  
cdualé@chu-clermontferrand.fr  
Tél. 04.73.17.84.18  
Fax 04.73.17.94.12



**Inserm**  
Institut national  
de la santé et de la recherche médicale



**Dr Aréline Paris**  
*Chair*  
Centre de Grenoble  
**IRB n°0005921**  
cic@chu-grenoble.fr  
Tél. 04 76 76 73 83  
Fax 04 76 76 92 62

Clermont-Ferrand, le 18/12/2019

Cher Monsieur,

Nous vous prions de prendre connaissance de l'évaluation de votre projet présenté au CECIC en date du 17/12/2019.

Cette décision a été rendue après revue de votre projet selon la loi Française sur la Recherche Impliquant la Personne Humaine [1] et la déclaration de Déclaration d'Helsinki de l'Association Médicale Mondiale [2]. Le présent avis n'est rendu qu'à titre consultatif et n'exempte pas le porteur du présent projet du respect de la législation en vigueur à la date d'émission dudit avis. De même, les données doivent avoir été collectées en conformité avec la loi « Informatique et Libertés » [3], ainsi qu'avec toute autre disposition légale ultérieure relative à la protection des données. Nous vous rappelons en parallèle que vous devez être en conformité avec le RGPD, et avoir pris contact avec le DPD de votre établissement, afin de vous assurer du respect des modalités d'information des sujets.

[1] Chapitre Ier du titre II du livre Ier de la première partie du Code de la Santé Publique relatif aux recherches impliquant la personne humaine.

[2] Déclaration d'Helsinki de l'Association Médicale Mondiale. Principes éthiques applicables aux recherches médicales sur des sujets humains [<http://www.wma.net/f/policy/b3.htm>].

[3] Loi n° 78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés, modifiée par la loi n°2004-801 du 6 août 2004.

Date de la réunion	17/12/2019
N° IRB	5891
Membres présents	Dualé C, Gouby G, Lambert C, Mourgues C, Mulliez A, Pereira B, Rubio M.
Membres excusés	Richard R.
Expertise extérieure	n/a
Titre du projet soumis	<i>Saphenous nerve injury after anterior cruciate ligament reconstruction: reduced numbness area after ligamentoplasty using quadriceps tendon compared to hamstring tendon.</i>
Porteur du projet	Horteur C.
N° de dossier IRB	2019-20
Service	Chirurgie de la main et des brûlés
CHU de rattachement	Grenoble
Autres destinataires	CECIC

Le CECIC, à la lecture du rapport d'une recherche sur des données existantes issues du soin hospitalier, réalisé chez des patients ayant eu une ligamentoplastie de genou, pour lesquels un simple examen clinique cutané du genou opéré a été réalisé sans autre exploration physique, et, considérant le caractère courant et usuel d'un suivi des patients, ne relève pas de problème éthique à la publication de ce travail.

En cas de publication de ce travail, voici une suggestion de formulation pour attester de l'obtention de l'avis favorable du CECIC Clermont-Ferrand :

*« Un avis éthique consultatif favorable a été obtenu le 18/12/2019 (CECIC Rhône-Alpes-Auvergne, Clermont-Ferrand, IRB 5891) ».*

*« Study ethics approval was obtained on 18 December 2019 (CECIC Rhône-Alpes-Auvergne, Clermont-Ferrand, IRB 5891) ».*

Avec nos sentiments les meilleurs.

Dr Christian DUALÉ, *Chair*









Clermont-Ferrand, le 19/05/2020

Cher Monsieur,

Nous vous prions de prendre connaissance de l'évaluation de votre projet présenté au CECIC en date du 14/05/2020.

Cette décision a été rendue après revue de votre projet selon la loi Française sur la Recherche Impliquant la Personne Humaine [1] et la déclaration de Déclaration d'Helsinki de l'Association Médicale Mondiale [2]. Le présent avis n'est rendu qu'à titre consultatif et n'exempte pas le porteur du présent projet du respect de la législation en vigueur à la date d'émission dudit avis. De même, les données doivent avoir été collectées en conformité avec la loi « Informatique et Libertés » [3], ainsi qu'avec toute autre disposition légale ultérieure relative à la protection des données. Nous vous rappelons en parallèle que vous devez être en conformité avec le RGPD, et avoir pris contact avec le DPD de votre établissement, afin de vous assurer du respect des modalités d'information des sujets.

- [1] Chapitre Ier du titre II du livre Ier de la première partie du Code de la Santé Publique relatif aux recherches impliquant la personne humaine.  
 [2] Déclaration d'Helsinki de l'Association Médicale Mondiale. Principes éthiques applicables aux recherches médicales sur des sujets humains [<http://www.wma.net/epolicy/b3.htm>].  
 [3] Loi n° 78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés, modifiée par la loi n°2004-801 du 6 août 2004.

Date de la réunion	14/05/2020
N° IRB	5891
Membres présents	Bernard L, Duale C, Laclautre L, Lambert C, Mourgues C, Mulliez A, Rubio M.
Membres excusés	Pereira B, Richard R.
Expertise extérieure	Coudeyre E.
Titre du projet soumis	<i>Knee extensor muscle strength after anterior cruciate ligament reconstruction using QT autograft: Cohort study and literature review.</i>
Porteur du projet	Horteur C.
N° de dossier IRB	2020-10
Service	Chirurgie Orthopédique et Traumatologique
CHU de rattachement	Grenoble
Autres destinataires	CECIC

Le CECIC, à la lecture du rapport d'une recherche sur des données existantes issues du soin hospitalier, réalisé chez des patients ayant été opérés d'une réparation du ligament croisé antérieur du genou, selon une technique référencée et avec un recueil des données en conditions courantes, ne relève pas de problème éthique à la publication de ce travail.

En cas de publication de ce travail, voici une suggestion de formulation pour attester de l'obtention de l'avis favorable du CECIC Clermont-Ferrand :

*« Un avis éthique consultatif favorable a été obtenu le 19/05/2020 (CECIC Rhône-Alpes-Auvergne, Clermont-Ferrand, IRB 5891) ».*

*« Study ethics approval was obtained on 19 May 2020 (CECIC Rhône-Alpes-Auvergne, Clermont-Ferrand, IRB 5891) ».*

Avec nos sentiments les meilleurs.

Dr Christian DUALÉ, *Chair*



**Annexe 2** : Cahier d'observation



## INFORMATIONS GENERALES PATIENT

NOM : H F

PRENOM :

DATE DE NAISSANCE :

DATE CHIRURGIE : DT4 TQ

DATE TRAUMATISME :

COTE ATTEINT : D G

CIRCONSTANCES TRAUMATISME :

PROFESSION :

DATE REPRISE POST OP :

SPORTS PRATIQUES :

NIVEAU SPORTIF : NON SPORTIF OCCASIONNEL REGULIER COMPETION PRO

DATE REPRISE SPORT :

REPRISE SPORT/PRATIQUE ANTERIEUR : IDEM SUBNORMALE INFERIEURE PAS DE SPORT

TAILLE ET POIDS :



## DONNEES PER OPERATOIRE

TIROIR ANT KT1000 – COTE ATTEINT :

- COTE SAIN :

RESSAUT :

ABSENT

EBAUCHE

NET

EXPLOSIF

LESION MENISCALE :

-ME

LOCALISATION :

TRAITEMENT :

-MI

LOCALISATION :

TRAITEMENT :

LESION CHONDRALES (ICRS) :

-PTI :

-PTE :

-CI :

- CE :

TRANSPLANT :

- DIAMETRE :

- LONGUEUR :

DIAMETRE TUNNELS :

- TIBIA

- FEMUR

DUREE GAROT :

DUREE OPERATOIRE :



Pour chaque item choisissez la description qui vous paraît correspondre le mieux à votre ressenti

### **BOITERIE**

0..... Aucune

0..... Modérée et occasionnelle

0..... Sévère et constante

### **UTILISATION D'UNE CANNE**

0..... Jamais

0..... En permanence

0..... Station debout impossible

### **DOULEUR**

0..... Jamais

0..... Légère et intermittente si effort important

0..... Pendant ou après un effort important

0..... Pendant ou après effort modéré

0..... Pendant ou après effort léger

0..... Constante

### **INSTABILITÉ**

0..... Jamais de dérobement

0..... Rarement lors d'efforts importants

0..... Fréquemment lors d'efforts importants

0..... Parfois dans les activités quotidiennes

0..... Souvent dans les activités quotidiennes

0..... A chaque pas

### **BLOCAGE**

0..... Jamais

0..... Arrêt brusque occasionnel

0..... Blocage occasionnel

0..... Blocage fréquent

0..... Blocage aigü

### **GONFLEMENT**

0..... Jamais 10 points

0..... Lors de exercices intenses

0..... Lors d'une activité courante

0..... Constant

### **DANS LES ESCALIERS**

0..... Pas de gêne

0..... Léger handicap

0..... Une marche à la fois

0..... Impossible

### **LORS DES ACCROUPEMNTS**

0..... Pas de gêne

0..... Léger handicap

0..... Pas plus de 90°

0..... Impossible

Répondez à chaque question. Veuillez cocher une seule case par question. En cas de doute, cochez la case qui vous semble la plus adaptée à votre cas.

**Symptômes** Ces questions concernent vos symptômes au cours des huit derniers jours

- Est-ce que votre genou gonfle?  Jamais  Rarement  Parfois  Souvent  Toujours
- Ressentez-vous des ou entendez-vous des craquements ou n'importe quel autre type de bruit en bougeant le genou?  Jamais  Rarement  Parfois  Souvent  Toujours
- Est-ce que votre genou accroche ou se bloque en bougeant?  Jamais  Rarement  Parfois  Souvent  Toujours
- Pouvez-vous étendre votre genou complètement?  Toujours  Souvent  Parfois  Rarement  Jamais
- Pouvez-vous plier votre genou complètement?  Toujours  Souvent  Parfois  Rarement  Jamais

**SCORE DE KOOS**

**2 ans**

**Raideur**

Ces questions concernent la raideur de votre genou au cours des huit derniers jours. La raideur est la sensation d'avoir du mal à bouger le genou.

- Le matin au réveil la raideur de votre genou est  Absente  Légère  Modérée  Forte  Extrême
- Après être resté(e) assis(e) couché(e) ou au repos pendant la journée la raideur de votre genou est  Absente  Légère  Modérée  Forte  Extrême
- Score KOOS symptôme et raideur

**Douleur**

Avez-vous souvent mal au genou ?  Jamais  Une fois par mois  Une fois par semaine  Tous les jours  Tout le temps

Au cours des huit derniers jours quelle a été l'importance de votre douleur du genou en faisant les activités suivantes?

- En tournant/pivotant sur votre jambe  Absente  Légère  Modérée  Forte  Extrême
- En étendant complètement le genou  Absente  Légère  Modérée  Forte  Extrême
- En pliant complètement le genou  Absente  Légère  Modérée  Forte  Extrême
- En marchant sur un terrain plat  Absente  Légère  Modérée  Forte  Extrême
- En montant ou en descendant les escaliers  Absente  Légère  Modérée  Forte  Extrême
- En restant assis(e) ou couché(e)  Absente  Légère  Modérée  Forte  Extrême
- En restant debout  Absente  Légère  Modérée  Forte  Extrême
- Au lit la nuit  Absente  Légère  Modérée  Forte  Extrême
- Score douleur

**Fonction** Les questions suivantes concernent ce que vous êtes capable de faire. Au cours des huit derniers jours quelle a été votre difficulté pour chacune des activités suivantes?

- Descendre les escaliers  Absente  Légère  Modérée  Forte  Extrême
- Monter les escaliers  Absente  Légère  Modérée  Forte  Extrême
- Vous relevez d'une position assise  Absente  Légère  Modérée  Forte  Extrême
- Rester debout  Absente  Légère  Modérée  Forte  Extrême
- Vous penchez en avant pour ramasser un objet  Absente  Légère  Modérée  Forte  Extrême
- Marcher sur un terrain plat  Absente  Légère  Modérée  Forte  Extrême
- Monter ou descendre de voiture  Absente  Légère  Modérée  Forte  Extrême
- Faire vos courses  Absente  Légère  Modérée  Forte  Extrême
- Mettre vos chaussettes ou vos collants  Absente  Légère  Modérée  Forte  Extrême
- Sortir du lit  Absente  Légère  Modérée  Forte  Extrême
- Enlever vos chaussettes ou vos collants  Absente  Légère  Modérée  Forte  Extrême
- Vous retournez ou garder le genou dans la même position  Absente  Légère  Modérée  Forte  Extrême
- En étant couché(e)  Absente  Légère  Modérée  Forte  Extrême
- Entrer ou sortir d'une baignoire  Absente  Légère  Modérée  Forte  Extrême
- Rester assis(e)  Absente  Légère  Modérée  Forte  Extrême
- Vous asseoir ou vous relever des toilettes  Absente  Légère  Modérée  Forte  Extrême
- Faire de gros travaux ménagers (déplacer des objets lourds/récupérer les sols...)  Absente  Légère  Modérée  Forte  Extrême
- Faire des petits travaux ménagers (faire la cuisine/faire la poussière...)  Absente  Légère  Modérée  Forte  Extrême

**Activités, sport et loisirs**

Les questions suivantes concernent ce que vous êtes capable de faire au cours d'autres activités. Au cours des huit derniers jours, quelle a été votre difficulté pour les activités suivantes ?

- Rester accroupi(e)  Absente  Légère  Modérée  Forte  Extrême
- Courir  Absente  Légère  Modérée  Forte  Extrême
- Sauter  Absente  Légère  Modérée  Forte  Extrême
- Tourner, pivoter sur votre jambe  Absente  Légère  Modérée  Forte  Extrême
- Rester à genoux  Absente  Légère  Modérée  Forte  Extrême
- Score sport

**Qualité de vie**

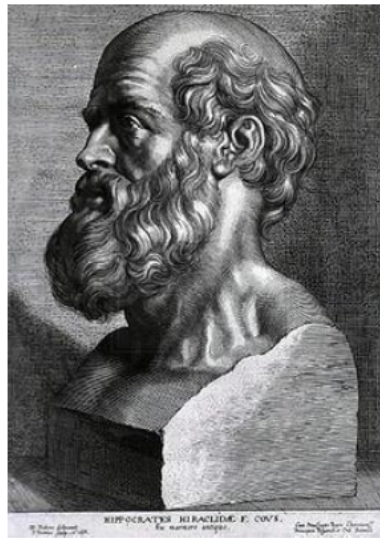
- Pensez-vous souvent à votre problème de genou?  Jamais  Une fois par mois  Une fois par semaine  Tous les jours  Tout le temps
- Avez-vous modifié votre façon de vivre pour éviter les activités qui pourraient aggraver votre problème de genou?  Pas du tout  Un peu  Modérément  Beaucoup  Totalemment
- Est-ce qu'un manque de confiance dans votre genou vous gêne?  Pas du tout  Un peu  Modérément  Beaucoup  Totalemment
- Finalement, êtes-vous gêné(e) par votre genou?  Pas du tout  Un peu  Modérément  Beaucoup  Totalemment

**Annexe 3** : Revue de la littérature de la force musculaire après reconstruction du LCA par TQ (tableau issu d'un article en cours de soumission : cf avis comité éthique CECIC 19/05/2020)

Authors	Years	Level of evidence	Effective	Evaluation	Analysis	Follow up (months)	Extension strength deficit	Flexor strength deficit	Control group (CG)	Significant differences with CG
Pigozzi et al.	2004	2	-	Counter movement jump test	LSI	6	11%	-	PT	$QT^{ES} > PT^{ES}$
Lee et al.	2016	3	48	Iso. Con. 60/180° s <sup>-1</sup>	LSI	12 24	28% / 26% 19% / 16%	13% / 5% 8% / 0,4%	HT	$QT^{ES} > HT^{ES}$ at 180° s <sup>-1</sup> (6-12 months)
Cavaignac et al.	2017	3	44	Iso. Con. 90° s <sup>-1</sup>	LSI	6,4	26%	8%	HT	No
Kwak et al.	2018	4	45	Iso. Con. 60/180° s <sup>-1</sup>	LSI	6 12 24	50% / 48% 42% / 38% 22% / 17%	- - -	OT allograft (QT a)	No except OT a <sup>ES</sup> > QT <sup>ES</sup> at 60° s <sup>-1</sup> (6 months)
Fischer et al.	2018	3	61	Iso. Con. 60° s <sup>-1</sup>	LSI	5,5 7,8	30% 16%	6% 2%	HT	$QT^{ES} < HT^{ES}$ and $QT^{ES} > HT^{ES}$
Martin-Aguacil et al.	2018	2	28	Iso. Con. 60/180/300° s <sup>-1</sup>	repeated measures analyses of the covariance (ANCOVA)	3, 6 and 12	-	-	HT	greater increase of extensor peak torque in HT than OT with time
Hunnicut et al.	2019	3	15	Iso. Con. 60/180° s <sup>-1</sup>	LSI	8	31% / 22%	-	PT	No
Sinding et al.	2020	2	42	Iso. Con. 60/180° s <sup>-1</sup>	LSI	12	26% / 16%	4% / 0%	HT	$QT^{ES} < HT^{ES}$ $QT^{ES} > HT^{ES}$

Table V : *Literature review. LSI: limb symmetry index, ES: extensor strength, FS: flexor strength, QT: quadriceps tendon, HT: hamstring tendon, PT: patellar tendon, Iso: Iso kinetic evaluation, Conc: concentric contraction.*





## **SERMENT D'HIPPOCRATE**

*En présence des Maîtres de cette Faculté, de mes chers condisciples et devant l'effigie d'HIPPOCRATE,*

*Je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la Médecine.*

*Je donnerai mes soins gratuitement à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au dessus de mon travail. Je ne participerai à aucun partage clandestin d'honoraires.*

*Admis dans l'intimité des maisons, mes yeux n'y verront pas ce qui s'y passe ; ma langue taira les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs, ni à favoriser le crime.*

*Je ne permettrai pas que des considérations de religion, de nation, de race, de parti ou de classe sociale viennent s'interposer entre mon devoir et mon patient.*

*Je garderai le respect absolu de la vie humaine.*

*Même sous la menace, je n'admettrai pas de faire usage de mes connaissances médicales contre les lois de l'humanité.*

*Respectueux et reconnaissant envers mes Maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.*

*Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses.*

*Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque.*

**THÈSE SOUTENUE PAR :** Clément HORTEUR

**TITRE :**

INTERÊTS DE L'AUTOGREFFE DE TENDON QUADRICIPITAL POUR LA RECONSTRUCTION DU LIGAMENT CROISÉ ANTÉRIEUR: ÉTAT DES CONNAISSANCES ACTUELLES ET COMPARAISON AU DEMI TENDINEUX EN 4 FAISCEAUX

**CONCLUSION :**

L'utilisation du tendon du muscle quadriceps comme auto greffe du ligament croisé antérieur est actuellement largement validée par les données de la littérature. Les études morphologiques et biomécaniques sont également parfaitement favorables à son utilisation. Le tendon quadricipital se présente ainsi comme une greffe de choix pour les ligamentoplasties de première intention et sera probablement proposé dans les prochaines recommandations nationales ou issues des sociétés savantes, au même titre que le tendon rotulien ou les tendons ischio-jambiers. L'autogreffe de tendon quadricipital ne montre pas de supériorité par rapport aux greffes de tendons ischio-jambiers (DT4) en termes de résultats fonctionnels, dans la littérature comme dans notre étude. Néanmoins l'utilisation du TQ semble intéressante pour réduire la morbidité liée au site de prélèvement par rapport au DT4 concernant les troubles sensitifs iatrogènes (résultats significatifs dans notre étude) et les déficits de force musculaire du site donneur (simple tendance).

**VU ET PERMIS D'IMPRIMER**

Grenoble, le : 26/08/12

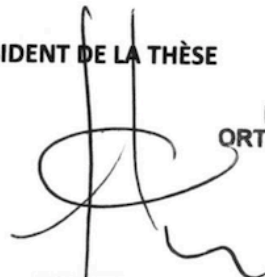
**LE DOYEN**



Pour le Président  
et par délégation  
—  
Le Doyen de Médecine  
Pr. Patrice MORAND

**Pr. Patrice MORAND**

**LE PRÉSIDENT DE LA THÈSE**



**Pr. Jérôme TONETTI**

**CHU De GRENOBLE  
HOPITAL A. MICHALLON  
ORTHOPÉDIE-TRAUMATOLOGIE  
Pr. J. TONETTI  
—  
Chef de Service**