



**HAL**  
open science

# Quelle croissance pour la greffe du ligament croisé antérieur sur physe ouverte ?

Thomas Hacquart

► **To cite this version:**

Thomas Hacquart. Quelle croissance pour la greffe du ligament croisé antérieur sur physe ouverte ?. Médecine humaine et pathologie. 2021. dumas-03538570

**HAL Id: dumas-03538570**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03538570>**

Submitted on 21 Jan 2022

**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.



UNIVERSITÉ CLERMONT AUVERGNE  
UFR DE MÉDECINE ET DES PROFESSIONS PARAMÉDICALES

THÈSE D'EXERCICE  
pour le  
DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE  
par

HACQUART, Thomas

Présentée et soutenue publiquement le 08 mars 2021

Quelle croissance pour la greffe du  
ligament croisé antérieur sur physe ouverte ?

**Directeur de thèse :**

Monsieur CHOTEL Franck, Professeur, UFR de médecine et des Professions paramédicales de Lyon,  
Service de Chirurgie orthopédique pédiatrique

**Président du jury :**

Monsieur BOISGARD Stéphane, Professeur, UFR de médecine et des Professions paramédicales de  
Clermont-Ferrand, Service de Chirurgie orthopédique adulte

**Membres du jury :**

Monsieur DESCAMPS Stéphane, Professeur, UFR de médecine et des Professions paramédicales de  
Clermont-Ferrand, Service de Chirurgie orthopédique adulte

Monsieur ERIVAN Roger, Docteur, UFR de médecine et des Professions paramédicales de Clermont-  
Ferrand, Service de Chirurgie orthopédique adulte





UNIVERSITÉ CLERMONT AUVERGNE  
UFR DE MÉDECINE ET DES PROFESSIONS PARAMÉDICALES

THÈSE D'EXERCICE  
pour le  
DIPLOME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE  
par

HACQUART, Thomas

Présentée et soutenue publiquement le 08 mars 2021

Quelle croissance pour la greffe du  
ligament croisé antérieur sur physe ouverte ?

**Directeur de thèse :**

Monsieur CHOTEL Franck, Professeur, UFR de médecine et des Professions paramédicales de Lyon,  
Service de Chirurgie orthopédique pédiatrique

**Président du jury :**

Monsieur BOISGARD Stéphane, Professeur, UFR de médecine et des Professions paramédicales de  
Clermont-Ferrand, Service de Chirurgie orthopédique adulte

**Membres du jury :**

Monsieur DESCAMPS Stéphane, Professeur, UFR de médecine et des Professions paramédicales de  
Clermont-Ferrand, Service de Chirurgie orthopédique adulte

Monsieur ERIVAN Roger, Docteur, UFR de médecine et des Professions paramédicales de Clermont-  
Ferrand, Service de Chirurgie orthopédique adulte

## UNIVERSITE CLERMONT AUVERGNE

---

PRESIDENTS HONORAIRES  
UNIVERSITE D'AUVERGNE

: **JOYON** Louis  
: **DOLY** Michel  
: **TURPIN** Dominique  
: **VEYRE** Annie  
: **DULBECCO** Philippe  
: **ESCHALIER** Alain

PRESIDENTS HONORAIRES  
UNIVERSITE BLAISE PASCAL

: **CABANES** Pierre  
: **FONTAINE** Jacques  
: **BOUTIN** Christian  
: **MONTEIL** Jean-Marc  
: **ODOUARD** Albert  
: **LAVIGNOTTE** Nadine

PRESIDENT DE L'UNIVERSITE et  
PRESIDENT DU CONSEIL ACADEMIQUE PLENIER  
PRESIDENT DU CONSEIL ACADEMIQUE RESTREINT  
VICE-PRESIDENTE DU CONSEIL D'ADMINISTRATION  
VICE-PRESIDENT DE LA COMMISSION DE LA RECHERCHE  
VICE PRESIDENTE DE LA COMMISSION DE LA  
FORMATION ET DE LA VIE UNIVERSITAIRE  
DIRECTEUR GENERAL DES SERVICES

: **BERNARD** Mathias  
: **DEQUIEDT** Vianney  
: **FOGLI** Anne  
: **HENRARD** Pierre  
: **PEYRARD** Françoise  
: **PAQUIS** François



## UFR DE MEDECINE ET DES PROFESSIONS PARAMEDICALES

DOYENS HONORAIRES

: **DETEIX** Patrice  
: **CHAZAL** Jean

DOYEN  
RESPONSABLE ADMINISTRATIVE

: **CLAVELOU** Pierre  
: **ROBERT** Gaëlle

## LISTE DU PERSONNEL ENSEIGNANT

### PROFESSEURS HONORAIRES :

MM. BACIN Franck - BEGUE René-Jean - BEYTOUT Jean - BOMMELAER Gilles - BOUCHER Daniel - BUSSIERE Jean-Louis - CANO Noël - CASSAGNES Jean - CATILINA Pierre - CHABANNES Jacques - CHAZAL Jean - CHIPPONI Jacques - CHOLLET Philippe - CITRON Bernard - COUDERT Jean - DASTUGUE Bernard - DAUPLAT Jacques - DECHELOTTE Pierre - DEMEOCQ François - DE RIBEROLLES Charles - DETEIX Patrice - ESCANDE Georges - Mme FONCK Yvette - MM. GENTOU Claude - Mme GLANDDIER Phyllis - MM. IRTIUM Bernard - JACQUETIN Bernard - Mme LAVARENNE Jeanine - MM. LAVERAN Henri - LESOURD Bruno - LEVAI Jean-Paul - MAGE Gérard - MARCHEIX Jean-Claude - MICHEL Jean-Luc - MONDIE Jean-Michel - PHILIPPE Pierre - PLAGNE Robert - PLANCHE Roger - PONSONNAILLE Jean - REY Michel - Mme RIGAL Danièle - MM. ROZAN Raymond - SCHOEFFLER Pierre - SIROT Jacques - RIBAL Jean-Pierre - SOUTEYRAND Pierre - TANGUY Alain - TERVER Sylvain - THIEBLOT Philippe - TOURNILHAC Michel - VANNEUVILLE Guy - VIALLET Jean-François - Mlle VEYRE Annie

### PROFESSEURS EMERITES :

MM. AUMAITRE Olivier - BOITEUX Jean-Paul - CHAMOIX Alain - DUBRAY Claude - ESCHALIER Alain - KEMENY Jean-Louis - LABBE André - Mme LAFEUILLE Hélène - MM. LEMERY Didier - LUSSON Jean-René

## PROFESSEURS DES UNIVERSITES-PRATICIENS HOSPITALIERS

### PROFESSEURS DE CLASSE EXCEPTIONNELLE

M. VAGO Philippe	Histologie-Embryologie Cytogénétique
M. AVAN Paul	Biophysique et Traitement de l'Image
M. DURIF Franck	Neurologie
M. BOIRE Jean-Yves	Biostatistiques, Informatique Médicale et Technologies de Communication
M. BOYER Louis	Radiologie et Imagerie Médicale option Clinique
M. POULY Jean-Luc	Gynécologie et Obstétrique
M. CANIS Michel	Gynécologie-Obstétrique
Mme PENAULT-LLORCA Frédérique	Anatomie et Cytologie Pathologiques
M. BAZIN Jean-Etienne	Anesthésiologie et Réanimation Chirurgicale
M. BIGNON Yves Jean	Cancérologie option Biologique
M. BOIRIE Yves	Nutrition Humaine
M. CLAVELOU Pierre	Neurologie
M. GILAIN Laurent	O.R.L.
M. LEMAIRE Jean-Jacques	Neurochirurgie
M. CAMILLERI Lionel	Chirurgie Thoracique et Cardio-Vasculaire
M. DAPOIGNY Michel	Gastro-Entérologie
M. LLORCA Pierre-Michel	Psychiatrie d'Adultes
M. PEZET Denis	Chirurgie Digestive
M. SOUWEINE Bertrand	Réanimation Médicale

M.	BOISGARD Stéphane	Chirurgie Orthopédique et Traumatologie
Mme	DUCLOS Martine	Physiologie
M.	SCHMIDT Jeannot	Médecine d'Urgence
M.	BERGER Marc	Hématologie
M.	GARCIER Jean-Marc	Anatomie-Radiologie et Imagerie Médicale
M.	ROSSET Eugénio	Chirurgie Vasculaire
M.	SOUBRIER Martin	Rhumatologie
M.	ABERGEL Armando	Hépatologie
Mle	BARTHELEMY Isabelle	Chirurgie Maxillo-Faciale
M.	RUIVARD Marc	Médecine Interne

**PROFESSEURS DE**  
**1ère CLASSE**

M.	CAILLAUD Denis	Pneumo-phtisiologie
M.	VERRELLE Pierre	Radiothérapie option Clinique
M.	D'INCAN Michel	Dermatologie -Vénérologie
Mme	JALENQUES Isabelle	Psychiatrie d'Adultes
M.	GERBAUD Laurent	Epidémiologie, Economie de la Santé et Prévention
M.	TAUVERON Igor	Endocrinologie et Maladies Métaboliques
M.	MOM Thierry	Oto-Rhino-Laryngologie
M.	RICHARD Ruddy	Physiologie
M.	SAPIN-DEFOUR Vincent	Biochimie et Biologie Moléculaire
M.	BAY Jacques-Olivier	Cancérologie
M.	COUDEYRE Emmanuel	Médecine Physique et de Réadaptation
Mme	GODFRAIND Catherine	Anatomie et Cytologie Pathologiques
M.	LAURICHESSE Henri	Maladies Infectieuses et Tropicales
M.	TOURNILHAC Olivier	Hématologie
M.	CHIAMBARETTA Frédéric	Ophthalmologie
M.	FILAIRE Marc	Anatomie – Chirurgie Thoracique et Cardio-Vasculaire
M.	GALLOT Denis	Gynécologie-Obstétrique
M.	GUY Laurent	Urologie
M.	TRAORE Ousmane	Hygiène Hospitalière
M.	ANDRE Marc	Médecine Interne
M.	BONNET Richard	Bactériologie, Virologie
M.	CACHIN Florent	Biophysique et Médecine Nucléaire
M.	COSTES Frédéric	Physiologie
M.	FUTIER Emmanuel	Anesthésiologie-Réanimation
Mme	HENG Anne-Elisabeth	Néphrologie
M.	MOTREFF Pascal	Cardiologie
Mme	PICKERING Gisèle	Pharmacologie Clinique
M.	RABISCHONG Benoît	Gynécologie Obstétrique
M.	CHABROT Pascal	Radiologie et Imagerie Médicale
M.	DESCAMPS Stéphane	Chirurgie Orthopédique et Traumatologique
Mme	HENQUELL Cécile	Bactériologie Virologie
M.	POMEL Christophe	Cancérologie – Chirurgie Générale

**PROFESSEURS DE  
2ème CLASSE**

Mme CREVEAUX Isabelle	Biochimie et Biologie Moléculaire
M. FAICT Thierry	Médecine Légale et Droit de la Santé
Mme KANOLD LASTAWIECKA Justyna	Pédiatrie
M. TCHIRKOV Andréï	Cytologie et Histologie
M. CORNELIS François	Génétique
M. LESENS Olivier	Maladies Infectieuses et Tropicales
M. AUTHIER Nicolas	Pharmacologie Médicale
M. BROUSSE Georges	Psychiatrie Adultes/Addictologie
M. BUC Emmanuel	Chirurgie Digestive
M. LAUTRETTE Alexandre	Néphrologie Réanimation Médicale
Mme BRUGNON Florence	Biologie et Médecine du Développement et de la Reproduction
M. ESCHALIER Romain	Cardiologie
M. MERLIN Etienne	Pédiatrie
Mme TOURNADRE Anne	Rhumatologie
M. DURANDO Xavier	Cancérologie
M. DUTHEIL Frédéric	Médecine et Santé au Travail
Mme FANTINI Maria Livia	Neurologie
M. SAKKA Laurent	Anatomie – Neurochirurgie
M. BOURDEL Nicolas	Gynécologie-Obstétrique
M. GUIEZE Romain	Hématologie
M. POINCLOUX Laurent	Gastroentérologie
M. SOUTEYRAND Géraud	Cardiologie
M. EVRARD Bertrand	Immunologie
M. POIRIER Philippe	Parasitologie et Mycologie
Mme PHAM DANG Nathalie	Chirurgie Maxillo-Faciale et Stomatologie
Mme SARRET Catherine	Pédiatrie

**PROFESSEURS DES UNIVERSITES**

M. CLEMENT Gilles	Médecine Générale
Mme MALPUECH-BRUGERE Corinne	Nutrition Humaine
M. VORILHON Philippe	Médecine Générale

**PROFESSEURS ASSOCIES DES UNIVERSITES**

Mme BOTTET-MAULOUBIER Anne	Médecine Générale
M. CAMBON Benoît	Médecine Générale
M. TANGUY Gilles	Médecine Générale



## MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS

### *MAITRES DE CONFERENCES HORS CLASSE*

Mme CHAMBON Martine	Bactériologie Virologie
Mme BOUTELOUP Corinne	Nutrition

### *MAITRES DE CONFERENCES DE 1ère CLASSE*

M. MORVAN Daniel	Biophysique et Traitement de l'Image
Mlle GOUMY Carole	Cytologie et Histologie, Cytogénétique
Mme FOGLI Anne	Biochimie Biologie Moléculaire
Mlle GOUAS Laetitia	Cytologie et Histologie, Cytogénétique
M. MARCEAU Geoffroy	Biochimie Biologie Moléculaire
Mme MINET-QUINARD Régine	Biochimie Biologie Moléculaire
M. ROBIN Frédéric	Bactériologie
Mlle VERONESE Lauren	Cytologie et Histologie, Cytogénétique
M. DELMAS Julien	Bactériologie
Mlle MIRAND Audrey	Bactériologie Virologie
M. OUCHCHANE Lemlih	Biostatistiques, Informatique Médicale et Technologies de Communication
M. LIBERT Frédéric	Pharmacologie Médicale
Mlle COSTE Karen	Pédiatrie
Mlle AUMERAN Claire	Hygiène Hospitalière
Mme CASSAGNES Lucie	Radiologie et Imagerie Médicale
M. LEBRETON Aurélien	Hématologie
M. BUISSON Anthony	Gastroentérologie

### *MAITRES DE CONFERENCES DE 2ème CLASSE*

Mme PONS Hanaë	Biologie et Médecine du Développement et de la Reproduction
M. JABAUDON-GANDET Matthieu	Anesthésiologie – Réanimation Chirurgicale
M. BOUVIER Damien	Biochimie et Biologie Moléculaire
M. COLL Guillaume	Neurochirurgie
M. MAQDASY Salwan	Endocrinologie, Diabète et Maladies Métaboliques
Mme NOURRISSON Céline	Parasitologie - Mycologie
M. GODET Thomas	Anesthésiologie-Réanimation et Médecine Péri-Opératoire
M. LACHAL Jonathan	Pédopsychiatrie
M. MOUSTAFA Farès	Médecine d'Urgence

## MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

Mme VAURS-BARRIERE Catherine	Biochimie Biologie Moléculaire
M. BAILLY Jean-Luc	Bactériologie Virologie
Mle AUBEL Corinne	Oncologie Moléculaire
M. BLANCHON Loïc	Biochimie Biologie Moléculaire
Mle GUILLET Christelle	Nutrition Humaine
M. BIDEY Yannick	Oncogénétique
M. MARCHAND Fabien	Pharmacologie Médicale
M. DALMASSO Guillaume	Bactériologie
M. SOLER Cédric	Biochimie Biologie Moléculaire
M. GIRAUDET Fabrice	Biophysique et Traitement de l'Image
Mme VAILLANT-ROUSSEL Hélène	Médecine Générale
Mme LAPORTE Catherine	Médecine Générale
M. LOLIGNIER Stéphane	Neurosciences – Neuropharmacologie
Mme MARTEIL Gaëlle	Biologie de la Reproduction
M. PINEL Alexandre	Nutrition Humaine
M. PIZON Frank	Santé Publique

## MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES DES UNIVERSITES

M. BERNARD Pierre	Médecine Générale
Mme ESCHALIER Bénédicte	Médecine Générale
Mme RICHARD Amélie	Médecine Générale
M. TESSIERES Frédéric	Médecine Générale
Mme ROUGE Laure	Médecine Générale

## Remerciements

**Aux membres du jury,**

**Monsieur le Professeur BOISGARD,**

Vous m'avez fait l'honneur d'être président du jury de cette thèse.

En tant que chef de service, vous assurez par votre droiture et votre bienveillance la formation de tous les futurs chirurgiens. Je vous remercie pour vos conseils, votre attention durant mon parcours. Soyez assuré de mon profond respect et de ma plus grande estime à votre égard.

**Monsieur le Professeur CHOTEL,**

Je vous remercie d'avoir accepté de diriger ce travail de thèse. En me confiant, ce sujet et en m'accompagnant dans cette recherche, j'espère que vous trouverez en ce travail l'intérêt immense que je porte à cette spécialité.

**Monsieur le Professeur DESCAMPS,**

Vous m'avez fait l'honneur de partager votre expérience et votre savoir. Vous me faites maintenant l'honneur de votre présence dans ce jury. Veuillez trouver ici l'expression de ma plus sincère reconnaissance.

**Monsieur le Docteur ERIVAN,**

Je tenais à te remercier pour tous ces enseignements, ces conseils que tu m'as apportés. J'ai eu un réel plaisir à travailler avec toi durant ces années d'internat. Ta disponibilité, ton efficacité, ta bienveillance sont pour moi autant d'outils nécessaires à la réussite des projets que nous avons portés.

**A Coralie,**

Pour tout l'amour et le soutien que tu me portes

**A ma famille,**

Parce que c'est celle qui sera toujours présente

**A mes amis,**

Pimouss et Malau, Alex et Juju, Moumou, Loïc, Philippe et Domi, Aude et Stéphane et tous les autres

A Margot, Antoine et Adrien pour m'avoir aidé dans ce travail !

**A mes maitres d'antan et d'aujourd'hui et à mes futurs confrères,**

**A la mémoire du Dr Luc WILLEMEN.**

## Liste des abréviations

- DIDT : droit interne et semi-membraneux
- DT4 : semi-tendineux
- FL : Fascia Lata
- IC<sub>95%</sub> : Intervalle de confiance à 95%
- IRM : Imagerie par Résonance Magnétique
- LCA : Ligament Croisé Antérieur
- SFA : Société Française d'Arthroscopie
- TQ : Tendon quadricipital

## Table des matières

1. Introduction .....	11
2. Matériels et méthode .....	12
2.1. Population.....	12
2.2. Technique chirurgicale .....	13
2.3. Analyse IRM .....	14
2.4. Analyses statistiques.....	16
3. Résultats .....	17
3.1. Ligamentisation.....	17
3.2. Evolution de la greffe .....	18
3.3. Evolution des tunnels .....	20
4. Discussion .....	21
5. Conclusions .....	24
6. Références .....	25
7. Annexes.....	28

## **1. Introduction**

Les lésions du pivot central sont en recrudescence depuis plusieurs années chez l'enfant (1). L'intensification des sports à risque et à haute énergie chez des enfants de plus en plus jeunes a entraîné un nombre considérable de lésions ligamentaires et méniscales (2). On retrouve couramment le ski, le football, le football américain, le rugby, le handball, le basketball (3–6).

Le traitement conservateur est souvent mis en défaut dans les études car responsable d'arthrose précoce (7,8), d'un taux plus important de lésions méniscales et de ménisectomies médiales (9). De plus en plus d'études prouvent que la chirurgie ligamentaire chez l'enfant a sa place dans la prévention des lésions méniscales et permettrait une reprise sportive plus rapide (9,10). Les techniques utilisées dans le monde sont nombreuses (11). Les passages fémoraux peuvent être transphysaires (12–14), épiphysaires (15) ou « over the top »(16). De même pour le tibia, il existe des techniques transphysaires (12–14) et épiphysaires (15). Les greffes utilisées peuvent être de différents types : semi-tendineux (DT4), droit interne et semi-membraneux (DIDT), fascia lata (FL), tendon quadricipital (TQ).

La ligamentoplastie chez l'enfant peut engendrer des troubles de croissance (11,17). Par ailleurs, les taux de re-rupture de la greffe sont plus importants que chez l'adulte (4.4%) (18) et peuvent atteindre 18% à long terme dans la population pédiatrique (19,20). Un diamètre de greffe trop faible serait prédictif de re-rupture chez l'adulte (21,22).

Peu d'études ont analysé l'évolution de la greffe au cours du suivi de la croissance et le devenir des tunnels. De plus ces études à faibles effectifs sont parfois en contradiction et concernent des enfants à faible croissance résiduelle.

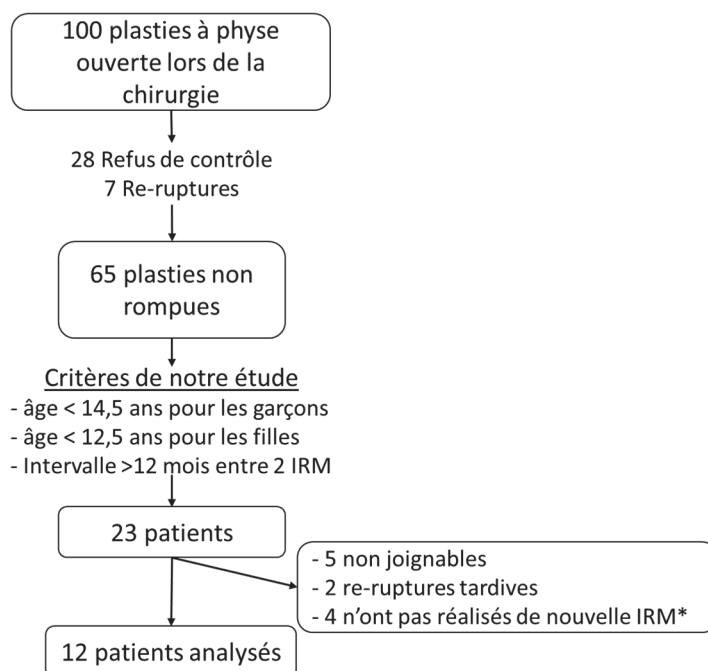
L'objectif de cette étude est de déterminer quelle est l'évolution au cours de la croissance de la greffe osseuse du LCA réalisée à physe ouverte. Cette étude morphologique de la greffe en Imagerie par Résonance Magnétique (IRM) se centre sur des sujets à forte croissance résiduelle. L'hypothèse est que la greffe du LCA s'amincit au cours de la croissance dans les tunnels et dans sa portion intra-articulaire.

## 2. Matériels et méthode

### 2.1. Population

Les patients de cette étude sont issus de l'étude prospective du symposium de la Société Française d'Arthroscopie (SFA) en 2018 (23). Cent patients étaient inclus initialement dans une étude multicentrique (10 centres) après plastie du LCA de première intention entre janvier et octobre 2015. Ces patients avaient tous une physe ouverte à la chirurgie et un âge osseux inférieur à 15.5 ans pour les garçons et 13.5 ans pour les filles. Il s'agissait d'une étude portant sur la ligamentisation de la greffe au cours d'IRM successives. Ce travail étudiant les croissances de la greffe de LCA à 5 ans post-opératoire est en cours d'approbation par le comité éthique. Après exclusion des re-ruptures et des refus de contrôle IRM, il ne restait que 65 patients dans l'analyse.

Le but de notre étude étant d'analyser l'évolution de la greffe au cours de la croissance, nous avons sélectionné les patients les plus jeunes avec une forte croissance résiduelle. Ainsi ont été exclus les patients avec un âge à la première IRM > 14.5 ans pour les garçons et > 12.5 ans pour les filles. Au total 23 patients de l'étude du symposium 2018 correspondaient à ces critères. 5 ont été perdus de vue, 2 ont présenté une re-rupture de leur greffe en 2019. 16 patients ont donné leur accord pour faire une nouvelle imagerie IRM de contrôle et seulement 12 l'ont réalisée. Cette étude porte donc sur 12 patients et genoux ayant bénéficié de 2 IRM de contrôle espacées d'au moins 3 ans (Figure 1).



\*mais ont donné leur accord pour en réaliser une nouvelle en 2021

Figure 1. Flow-Chart

## 2.2. Technique chirurgicale

Différentes techniques ont été réalisées dans les centres experts inclus dans l'étude SFA 2017. Les 12 patients retenus avaient bénéficié de 3 techniques de reconstruction du LCA différentes : transphysaire fémur et tibia (n=6), épiphysaire fémur et transphysaire tibia (n=5) et une technique « over the top » fémur et épiphysaire tibiale (n=1) (Figure 2). Les greffes utilisées étaient une greffe au DT4 (n=5) et DIDT (n=2), au tendon quadricipital (n=3), et au Fascia Lata (n=2). Le délai accident-chirurgie était de 51 jours  $\pm$  5 jours. Cinq genoux sur les 12 inclus avaient des lésions méniscales lors de la chirurgie (3 lésions internes et 4 lésions externes) mais aucune ménissectomie n'a été réalisée (6 sutures et 1 abstention).

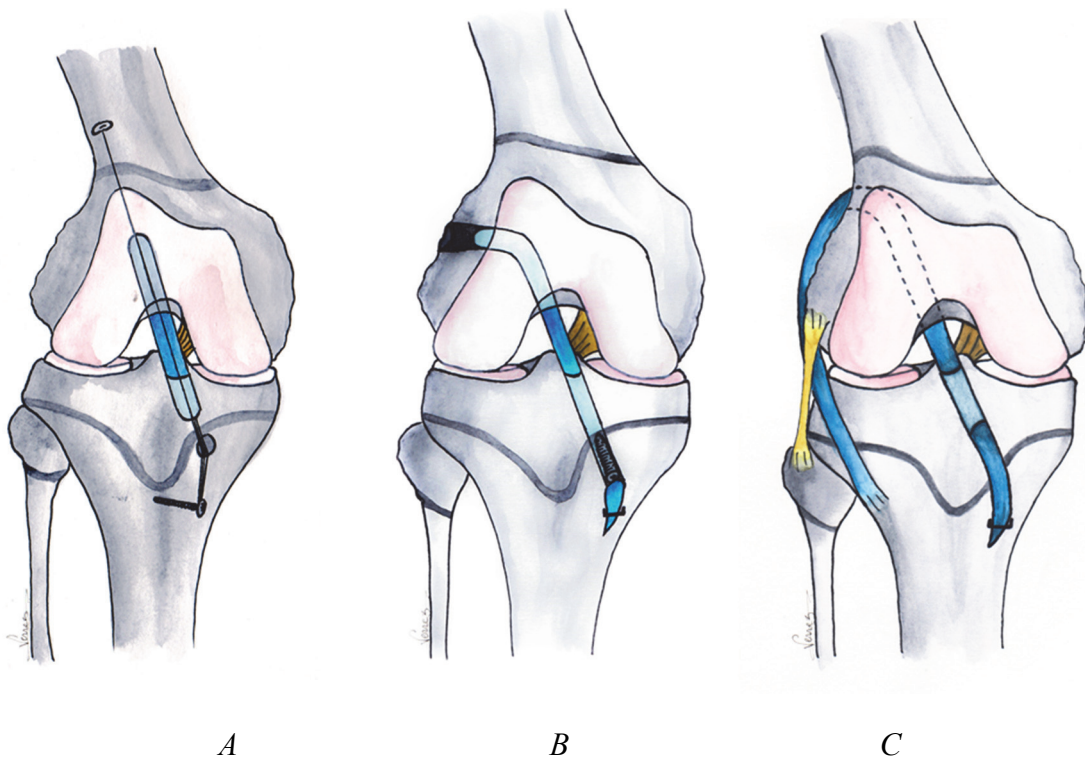


Figure 2. Techniques chirurgicales de Ligamentoplastie du LCA.  
A. transphysaire fémur et transphysaire tibia ; B. épiphysaire fémur et transphysaire tibia ;  
C. over the top et épiphysaire tibia



### **2.3. Analyse IRM**

Chaque patient avait 2 IRM post-opératoires à analyser. Il s'agissait d'IRM à  $\geq 1.5$  Tesla. La première IRM était réalisée à 6.8 mois post-opératoires  $\pm 1.6$  [4,8 ; 11]. La seconde IRM était réalisée à 5.5 ans post-opératoires  $\pm 0.5$  [4 ; 6]. Le logiciel utilisé était RadiAnt DICOM Viewer version 2020.2.3 Copyright© Medixant et les différents paramètres ont été mesurés sur des coupes d'une épaisseur de 3 mm sur la séquence DP FAT-SAT. L'évaluation portait sur les critères suivants :

- la ligamentisation dans la zone moyenne de la greffe selon le grade de Howell (24) pour s'assurer de la qualité de celle-ci et éviter le biais d'une greffe distendue. En séquence T2 IRM, le stade 1 correspond à un hyposignal complet de la greffe, le stade 2 à un hyposignal  $> 50\%$ , le stade 3 à un hyposignal  $< 50\%$ , le stade 4 à un hypersignal complet. Plus le stade est élevé, moins la ligamentisation est achevée.
- les dimensions (longueur et largeur) de la greffe dans sa portion intra-articulaire, mais aussi dans son tunnel fémoral et tibial (Figure 3). Un index  $\frac{\text{largeur}}{\text{longueur}}$  pour la portion intra-articulaire a été défini. Lorsque la différence d'index entre les 2 IRM est négative, la greffe s'affine ; elle s'épaissit dans le cas contraire.
- les dimensions (longueur et largeur) et angulations (par rapport aux axes anatomiques osseux) des tunnels fémoraux et tibiaux (Figure 3 et Figure 4).

Pour l'étude des longueurs et largeurs, la plus grande mesure a été prise en compte via la reconstruction 3D. Les mesures ont été réalisées d'une part à partir de la reconstruction sagittale pour les mesures tibiales et intra-articulaires, et d'autre part à partir de la reconstruction coronale pour les mesures fémorales.

Les moyennes de mesures ont été réalisées pour le groupe épiphysaire, le groupe transphysaire et pour toutes techniques confondues (Annexe I et Annexe II) . Puis nous avons comparé ces différences selon les mêmes critères (Annexe II et Annexe IV). La ligamentisation a été étudiée dans la portion intra-articulaire moyenne. Le groupe « over the top » ne correspondant pas à un tunnel, nous n'avons pas pu effectuer de mesures chez le patient en question pour les portions fémorales de la greffe et du tunnel.

Chaque IRM a été analysée en double aveugle par 2 observateurs : un chirurgien orthopédique et une radiologue ostéo-articulaire.

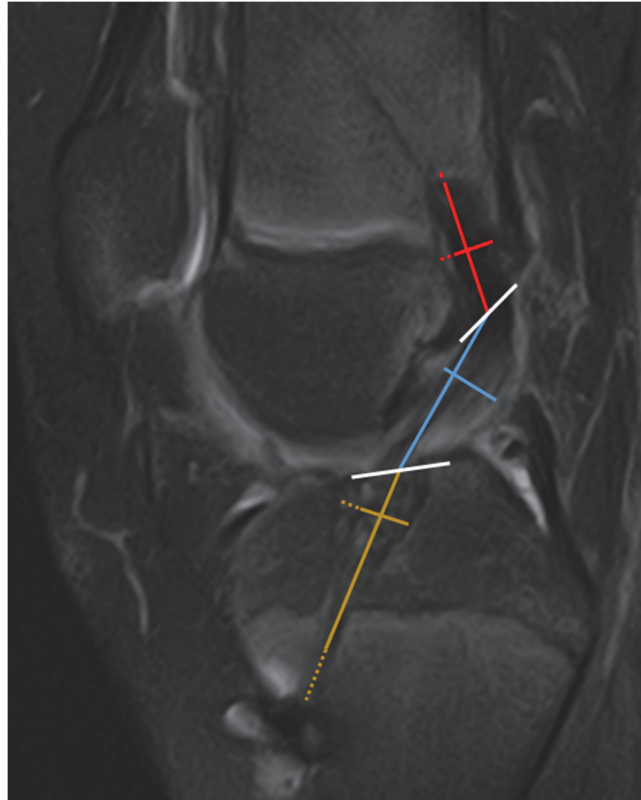


Figure 3. Mesures du greffon (traits pleins) et de son tunnel (traits pointillés) dans ses portions intra-articulaire (bleu), fémorale (rouge) et tibiale (jaune)

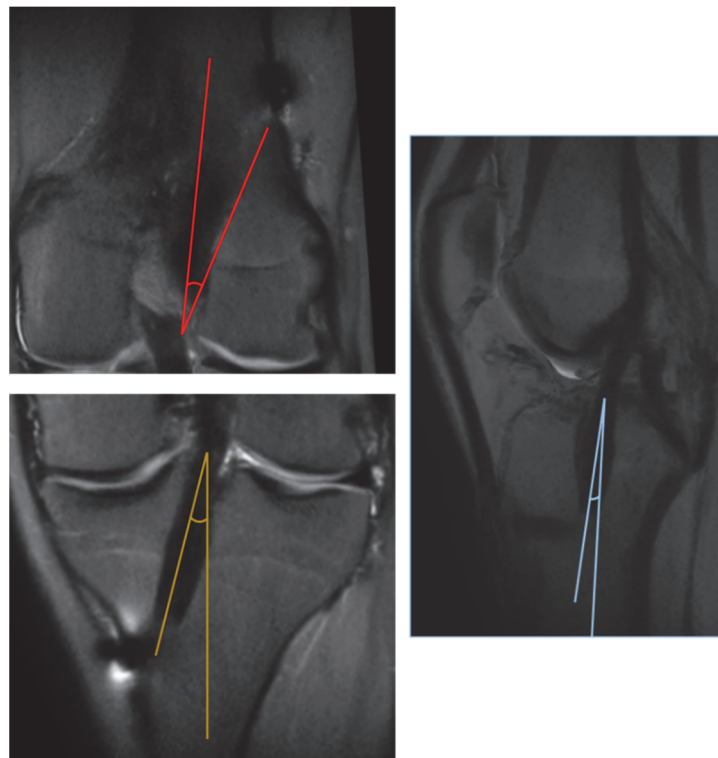


Figure 4. Angulation par rapport à l'axe anatomique du tibia de face (jaune), de profil (bleu) et du fémur de face (rouge).

## **2.4. Analyses statistiques**

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le département de Biostatistiques du CHU de Clermont-Ferrand avec le logiciel Stata 15 (StataCorp, College Station, Texas, USA). Les tests non paramétriques de Kruskal et Wallis ont été utilisés pour comparer les variables non-gaussiennes (moyenne  $\pm$  écart-type [min ; max]) entre les 2 IRM. Dans le cas de variables gaussiennes, les mensurations des greffes et des tunnels ont été décrites en moyenne  $\pm$  écart-type [min ; max], et le modèle linéaire mixte a été utilisé pour comparer les différences entre les 2 temps de mesures IRM (moyenne  $\pm$  écart-type [IC<sub>95%</sub>]). Le coefficient de correspondance inter-observateur de Lin (CCC) a été calculé pour évaluer la concordance et la cohérence entre les 2 mesures paramétriques pour toutes les IRM. Le niveau de significativité était  $p \leq 0.05$ .

### 3. Résultats

La population totale comprenait 12 patients, 11 garçons et 1 fille. L'âge moyen lors de la ligamentoplastie était de 11.7 ans  $\pm$  1.5 [8.9; 13.9].

Les premières IRM étaient réalisées à l'âge de 12.3 ans  $\pm$  1.5 [9.3 ; 14.4] et les dernières IRM à l'âge de 17.2 ans  $\pm$  1.7 [14.2 ; 19.7]. Ces 2 mesures étaient séparées de 4.9 ans  $\pm$  0.5 [3.5 ; 5.4].

Les variations de mesures entre 2 IRM étaient reproductibles entre les 2 observateurs avec un coefficient de concordance de Lin supérieur à 0.8.

Tous les patients ont été revus cliniquement par leur chirurgien lors d'une visite de contrôle et aucun n'a présenté de trouble de croissance ni d'anomalie d'axes des membres inférieurs.

#### 3.1. Ligamentisation

La ligamentisation était étudiée dans la partie intra-articulaire moyenne. Selon le grade de Howell, à la première IRM, il y avait 4 greffes de stade 1, 4 de stade 2, et 4 greffes de stade 3. Cette ligamentisation s'est accentuée de manière significative avec 10 de stade 1 et 2 de stade 2 à la dernière IRM ( $p=0.009$ ).

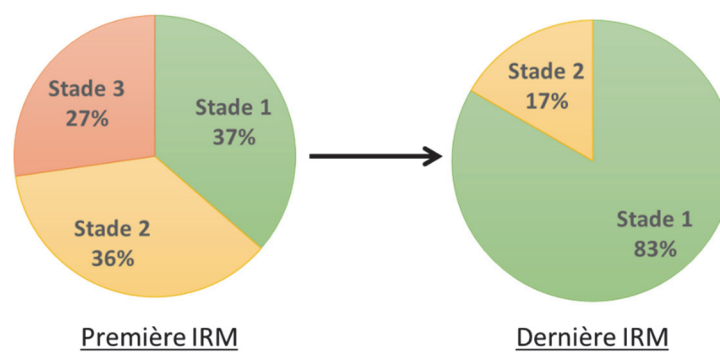


Figure 5. Evolution de la ligamentisation des greffes selon la classification de Howell (24).

### **3.2. Evolution de la greffe**

Dans sa **portion intra-articulaire**, la greffe avait une longueur moyenne de 31.3 mm  $\pm$  5 [25 ; 41.4] et une largeur moyenne de 6.1 mm  $\pm$  1.8 [4.3 ; 9.6] sur la première IRM. La greffe s'allongeait de 2.7 mm  $\pm$  0.5 (+9%) en moyenne ( $p < 0.001$ ) pour atteindre une longueur de 34.6 mm  $\pm$  4.6 [29 ; 43.6] sur la dernière IRM. La greffe s'épaississait de 0.6 mm  $\pm$  0.3 (+13%) en moyenne ( $p = 0.037$ ) soit une largeur moyenne de 6.7 mm  $\pm$  1.2 [5 ; 8.8] sur la dernière IRM (Figure 6). L'index  $\frac{\text{largeur}}{\text{longueur}}$  sur la première IRM était en moyenne de 19.6 %  $\pm$  4.8 ; il était de 20 %  $\pm$  4.1 sur le dernière IRM. Cette différence d'index (+0,4%) n'étant pas significative ( $p = 0.69$ ), la greffe est considérée comme stable dans ses proportions, sans s'affiner ni s'épaissir.

Dans sa **portion fémorale** et proche de l'articulation, la greffe avait une longueur moyenne de 19 mm  $\pm$  6.9 [7.7 ; 28] et une largeur moyenne de 5.3 mm  $\pm$  1.6 [2.7 ; 7.2] sur la première IRM. La greffe s'allongeait pour atteindre en moyenne 25 mm  $\pm$  7.7 [9.2 ; 36.3] de longueur et 6.2 mm  $\pm$  1.9 [3.6 ; 9] de largeur à la dernière IRM. La greffe s'allongeait de 6 mm  $\pm$  1.9 (+40.1%) ( $p = 0.001$ ) et s'épaississait de 0.85 mm  $\pm$  0.4 (+19.5%) ( $p = 0.023$ ) entre les deux IRM. En mesurant la greffe à la partie médiane du tunnel, on a pu remarquer une diminution de sa largeur, passant de 4.9 mm  $\pm$  1.5 [2.7 ; 7.2] à 4.2 mm  $\pm$  1.6 [1.5 ; 6.8] en moyenne. Cette variation était significative de -0.7 mm  $\pm$  0.4 (-17%) ( $p < 0.001$ ) entre la première et la dernière IRM, confirmant que la croissance métaphysaire du fémur distal entraîne un allongement de la greffe avec un amincissement, une élongation et un phénomène d'ostéo-intégration (Figure 6 et Figure 7). Un patient n'a pas pu avoir de mesure de longueur et de largeur car il avait une intégration complète de sa greffe de LCA dans le tunnel fémoral.

Dans sa **portion tibiale** et proche de l'articulation, la greffe avait une longueur moyenne de 20.3 mm  $\pm$  6.6 [1.3 ; 33.4] et une largeur de 5.9  $\pm$  1.4 [4.2 ; 8.8] à la première IRM. Elle s'allongeait pour aboutir en moyenne de 26.2 mm  $\pm$  12.6 [8.1 ; 49.4] pour la longueur et de 6.4 mm  $\pm$  1.6 [4.5 ; 9.1] pour la largeur. La greffe grandissait significativement en longueur de 5.8 mm  $\pm$  2.6 (+30%) en moyenne ( $p = 0.027$ ) et était stable en largeur à 0.5 mm  $\pm$  0.4 près ( $p = 0.21$ ). Cependant dans la partie médiane du tunnel tibial, la greffe diminuait significativement, passant de 5.1 mm  $\pm$  1.2 [3.5 ; 7.4] à 3.8 mm  $\pm$  2.1 [0 ; 6.2] en moyenne. Cette diminution de -1.3 mm  $\pm$  1.4 (-29%) entre les deux imageries était significative ( $p = 0.001$ ), montrant

à nouveau que la greffe est étirée et tend à disparaître dans sa zone de fixation distale (Figure 6 et Figure 7). Elle avait d'ailleurs totalement disparu dans sa partie médiane chez deux patients.

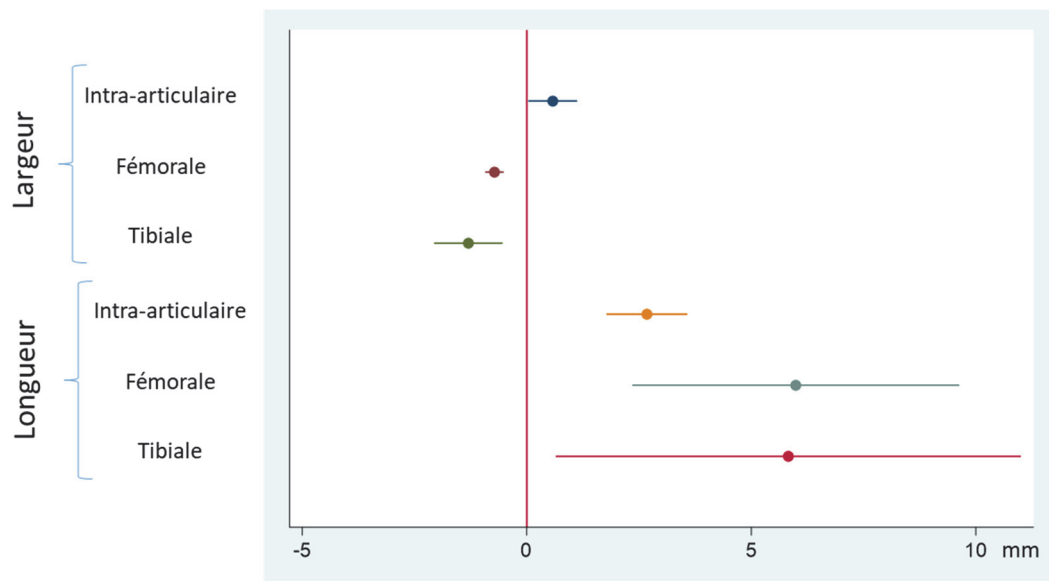


Figure 6. Evolution moyenne de la largeur médiane et de la longueur du tunnel dans sa portion intra-articulaire, fémorale et tibiale entre la première IRM et la dernière IRM. A gauche du graphique, il s'agit d'une diminution de la mesure et à droite une augmentation en millimètres. Tous les résultats sont significatifs.

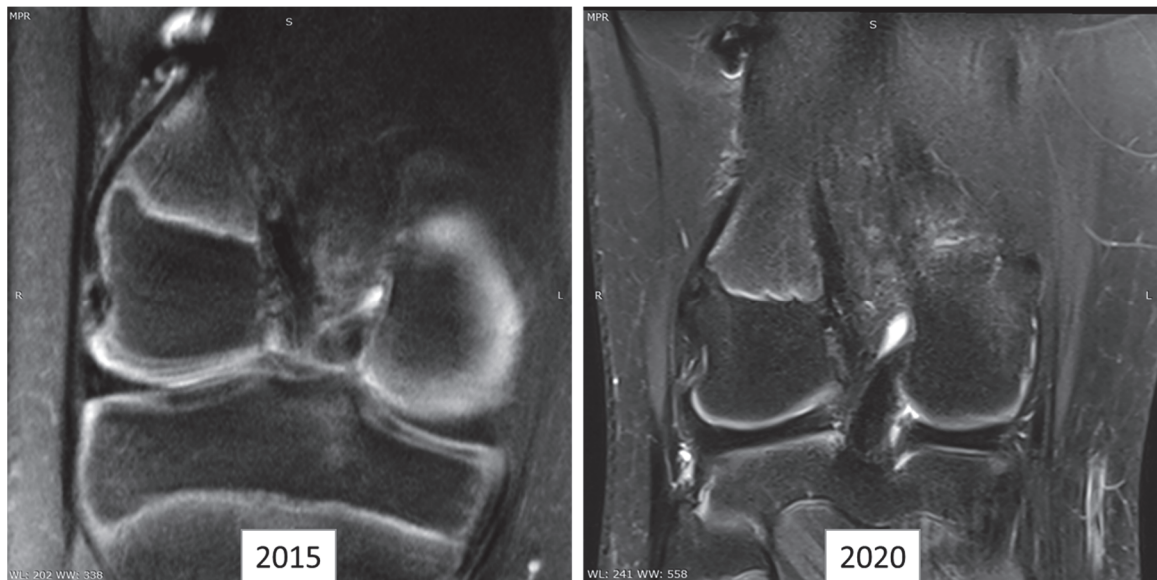


Figure 7. Evolution de la greffe dans le tunnel fémoral avec allongement, amincissement et disparition à distance de l'articulation. Evolution en « entonnoir » entre 2 IRM successives chez le même patient.

### **3.3. Evolution des tunnels**

Le **tunnel fémoral** mesurait  $21.7 \text{ mm} \pm 8$  [7.7 ; 32] de long et  $6.85 \text{ mm} \pm 1.2$  [4.6 ; 8.6] de large à la première IRM. A la dernière IRM, il mesurait en moyenne  $26.8 \text{ mm} \pm 8.5$  [9.2 ; 37] de long et  $6.7 \text{ mm} \pm 1.7$  [4.1 ; 9] de large. Il augmentait significativement en longueur de  $1.5 \text{ mm} \pm 0.7$  (+12%) dans les tunnels épiphysaires ( $p=0.02$ ) et  $7.4 \text{ mm} \pm 2.3$  (+39%) dans les tunnels transphysaires ( $p=0.001$ ). La largeur ne présentait pas de variation significative :  $-0.13 \text{ mm} \pm 0.3$  (-2%) ( $p=0.83$ ) quelque-soit le groupe. Un patient n'a pas pu avoir de mesure en largeur et en longueur de sa greffe du fait d'une intégration à la matrice osseuse.

Le **tunnel tibial** mesurait  $24.6 \text{ mm} \pm 11$  [11 ; 46] de long et  $7.45 \text{ mm} \pm 1.8$  [4.2 ; 9.4] de large à la première IRM. Il n'évoluait que peu en longueur et en largeur pour atteindre respectivement en moyenne  $29.7 \text{ mm} \pm 13.7$  [8.1 ; 49.4] et  $7.4 \text{ mm} \pm 1.8$  [4.5 ; 11.6] à la dernière IRM. Ces mesures restaient stables avec une différence de  $+5.2 \text{ mm} \pm 2.7$  (+26%) ( $p=0.07$ ) en longueur et de  $-0.08 \text{ mm} \pm 0.4$  (-0.1%) ( $p=0.83$ ) en largeur. Un tunnel tibial n'a pas pu être mesuré dans sa longueur du fait d'un artefact causé par l'agrafe de fixation du greffon.

Ces tunnels avaient tendance à se rapprocher de l'axe anatomique du fémur et du tibia. Pour le tunnel fémoral, l'angulation diminuait, passant de  $22^\circ \pm 9$  [7 ; 30] à  $16^\circ \pm 10$  [1 ; 30], perdant en moyenne  $-5.8^\circ \pm 1.7$  ( $p<0.001$ ) entre les 2 IRM. Cette verticalisation était plus importante dans le groupe transphysaire avec une perte de  $-8.6^\circ \pm 2.4$  contre  $-2.5^\circ \pm 1.1$  dans le groupe épiphysaire. En ce qui concerne le tunnel tibial, cette angulation diminuait également, passant de  $18^\circ \pm 6$  [6 ; 30] à  $15^\circ \pm 6$  [8 ; 30] de face et de  $20^\circ \pm 10$  [5 ; 40] à  $16^\circ \pm 9$  [4 ; 38] de profil. Il perdait en moyenne  $-2.9^\circ$  ( $p=0.027$ ) entre les 2 IRM de face et  $-4.4^\circ \pm 2.3$  ( $p=0.0034$ ) de profil sans différence entre le groupe épiphysaire et le groupe transphysaire pour le tunnel tibial.

## 4. Discussion

La greffe du LCA chez l'enfant, dans sa portion intra-articulaire, grandit en longueur et en largeur proportionnellement. En revanche, elle s'étire et s'ostéo-intègre dans les tunnels au cours de la croissance. Notre hypothèse n'est donc pas validée pour la portion intra-articulaire de la greffe.

L'évolution du diamètre d'un LCA normal chez un enfant a été étudiée dans 2 travaux (25,26). Le diamètre correspond dans notre étude à une largeur de la greffe. **Tomaszweski, 2020** a démontré chez 132 patients âgés de 14.9 ans en moyenne [8 ; 18] que le diamètre dans sa portion intra-articulaire évolue de façon linéaire entre 8 et 18 ans (26). **Putur, 2020** a réalisé une analyse selon l'âge de 162 genoux chez 147 enfants entre 0 et 18 ans et a pu mettre en évidence que la croissance du LCA était de 0.45 mm/an entre 1.5 et 14.5 ans et qu'elle devient quasi nulle après 14.5 ans jusqu'à l'âge adulte. C'est pourquoi il était vraisemblablement plus intéressant de se concentrer sur les enfants ayant un fort potentiel de croissance et âgés de moins de 14.5 ans pour les garçons et 12.5 ans chez les filles en accord avec les courbes de **Green et Anderson (27)**.

Le rapport  $\frac{\text{largeur}}{\text{longueur}}$  mesuré dans notre étude sur la greffe semble être en accord avec ce qu'on observe sur un LCA normal chez l'enfant de la même tranche d'âge (25). Par ailleurs, l'étude de **Putur, 2020 (25)** montre que la croissance en longueur du LCA natif est d'environ 3 mm entre 12 ans et 17 ans, ce qui tend à se rapprocher des variations d'une greffe de LCA (2.7 mm [min ; max: 0.2 ; 5]). La largeur du LCA natif augmente de 1.7 mm dans cette tranche d'âge (25), elle ne serait que de 0.6 mm [min ; max : -1.2 ; 2] pour une greffe de LCA.

En ce qui concerne la croissance de la greffe, elle n'a été étudiée que dans 3 études. Toutefois, le biais de ces études était de ne pas avoir effectué des mesures évolutives sur des IRM consécutives. En effet, les mesures initiales étaient réalisées en per-opératoires (28) ou sur des radiographies post-opératoires (29). De plus, ces 3 études conduisent à des résultats contradictoires sur l'évolution du diamètre de la greffe. **Bollen, 2008** a mesuré la longueur intra-articulaire de la greffe mais pas la largeur. Il a démontré une meilleure croissance en longueur de la greffe intra-articulaire (+3.8 mm [2 ; 5]) que dans la présente étude. **Astur, 2016**, démontre une décroissance de la largeur de la greffe, passant de 7.9 mm ± 0.87 lors de la chirurgie à 5.9 mm ± 0.65 durant son suivi de 6.7 ans en moyenne mais s'étendant de 1.1 à 10 ans (28).



Au contraire, dans cette présente étude, la largeur évolue de  $6.1 \text{ mm} \pm 1.8$  [4.3 ; 9.6] à  $6.7 \pm 1.2$  [5 ; 8.8] sur un suivi de 4.9 ans en moyenne [3.5 ; 5.4]. **Smoak, 2020** met en lumière une croissance de la greffe en longueur dans l'articulation en réalisant une mesure indirecte de celle-ci via les points d'entrée des tunnels fémoraux et tibiaux sur des radiographies. Toutefois, la viabilité de la greffe n'est évaluée que par des scores cliniques et fonctionnels et non une analyse IRM de la ligamentisation (30).

La longueur augmente dans cette étude en accord avec les résultats de **Bollen, 2008** (29) et de **Smoak, 2020** (30). La largeur, quant à elle, augmente de 0.6 mm dans notre population. Cette augmentation est en désaccord avec les résultats de **Astur, 2016** qui évoque l'hypothèse de nécrose cellulaire de la greffe (28). La ligamentisation de cette greffe a été étudiée chez l'adulte et se déroule selon 4 étapes : d'abord une nécrose avasculaire, suivie d'une phase de revascularisation puis de colonisation cellulaire pour finir vers un remodelage collagénique (31). Ces phénomènes de remodelage aboutissent à une structure histologique identique à celle d'un LCA natif, mais ne sont pas complets à 2 ans post-opératoires d'après l'étude de **Jansenn, 2011** (32). Cette restructuration pourrait entraîner une diminution du nombre de cellules (32) et par conséquent une diminution du diamètre de la greffe, expliquant peut-être le risque de re-rupture. Chez l'adulte, un diamètre inférieur à 8mm (21,33), voire 7 mm (22) engendre un risque de rupture. Cependant dans la population pédiatrique, **Cruz 2015** n'a pas démontré de corrélation entre le risque de re-rupture et le diamètre du greffon, y compris pour les greffons de moins de 8 mm. L'hypothèse émise par **Astur 2016** concernant un amincissement de la greffe comme facteur explicatif de risque de re-rupture n'est pas validée.

Concernant l'évolution des tunnels, **Bollen, 2008** a mesuré la plus grande largeur de ceux-ci (29). Nous retrouvons des résultats similaires. En revanche, en analysant la partie médiane des tunnels, ceux-ci se ramifient et s'allongent dans les portions métaphysaires. Les tunnels transphysaires ont tendance à s'allonger, et leur évolution se fait dans les mêmes proportions que la croissance osseuse fémur/tibia. La greffe tend à disparaître au profit d'une prolifération osseuse dans le tunnel correspondant à une ostéo-intégration. Ainsi, on assiste à un effet d'étirement que l'on pourrait décrire en « entonnoir » (Figure 7). Cette tendance est en faveur d'une raréfaction de la greffe dans les tunnels par rapport à un épaissement dans la partie intra-articulaire. La faible croissance en longueur dans les tunnels épiphysaires peut s'expliquer par la simple croissance en chondral. Comme d'autres études l'ont montré, nous observons une verticalisation des tunnels transphysaires (34,35).

Il pourrait être argumenté qu'une distension post-traumatique de certaines greffes survenant dans le suivi de ces patients pourrait impacter les mesures de ces dimensions. De ce fait, la ligamentisation des greffes à 5 ans a été analysée et s'est révélée être de stade 1 ou 2 de Howell pour la totalité de la cohorte. Ceci prouve que les greffes mesurées dans cette étude étaient de bonne qualité. De même, leur rapport  $\frac{\text{largeur}}{\text{longueur}}$  était conservé et comparable au LCA natif (25).

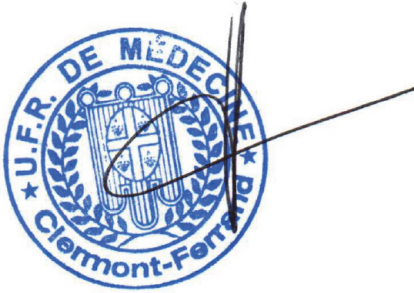
Ce travail comprend plusieurs limites, notamment le faible nombre de patients. Nous avons volontairement sélectionné nos patients sur des critères de croissance résiduelle importante. A partir de l'importante cohorte du symposium 2018 (23), seulement 35% étaient éligibles. Si on appliquait ces critères de sélection aux patients de **Astur, 2016**, presque la moitié des 10 patients seraient exclus par manque de croissance résiduelle (28). Cependant, les 5 patients de l'étude de **Bollen, 2008** répondent à ces critères (29). Il en est de même pour l'étude de **Smoak, 2020** où les 9 patients pourraient correspondre à nos critères avec un âge moyen de 12.89 ans  $\pm$  0.93 lors de la chirurgie (30). La seconde limite concerne les quelques perdus de vue liés à l'âge, en effet cette population est sujette aux déplacements. Le biais des multiples techniques utilisées dans la cohorte du symposium pourrait être mis en avant, cependant elles peuvent être résumées en 2 catégories principales : transphysaire au fémur et au tibia, épiphysaire au fémur et transphysaire au tibia. Malgré ces limites, ce travail comprend une analyse ciblée sur un petit groupe d'enfants à fort potentiel de croissance. Nous souhaitons obtenir des résultats spécifiques à l'enfant et pouvant être comparés à ceux de l'adulte afin de mettre en relief les particularités pédiatriques.

## 5. Conclusions

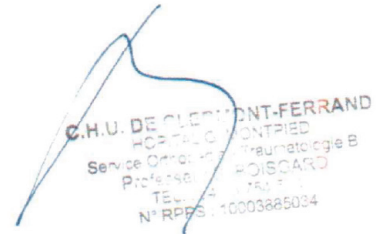
En conclusion, cette étude sur 2 IRM post-opératoires successives permet de rendre compte de la croissance de la greffe intra-articulaire et de l'évolution de sa largeur et de sa longueur dans les tunnels. Nous pouvons avancer l'hypothèse que les plasties de l'enfant à physse ouverte grandissent harmonieusement dans toutes ses dimensions. On ne trouve pas d'explication au taux de re-rupture plus important chez l'enfant que chez l'adulte. Cette étude définit un nouvel index de  $\frac{\text{largeur}}{\text{longueur}}$  qui exprime les proportions d'une plastie de LCA, ce qui nous paraît plus judicieux que d'en exprimer que le diamètre.

Clermont-Ferrand, le  
Pierre CLAVELOU  
Doyen – Directeur

8/02/21



Clermont-Ferrand, le 03.02.2021  
Le Président du Jury



## 6. Références

1. Shea KG, Grimm NL, Ewing CK, Aoki SK. Youth sports anterior cruciate ligament and knee injury epidemiology: who is getting injured? In what sports? When? *Clin Sports Med.* oct 2011;30(4):691-706.
2. Zambelli P-Y, Brégou A, Vauclair F, Lutz N, Tercier S. Lésions de surcharge chez l'enfant. *Rev Médicale Suisse.* 2011;7:1549-52.
3. Joseph AM, Collins CL, Henke NM, Yard EE, Fields SK, Comstock RD. A Multisport Epidemiologic Comparison of Anterior Cruciate Ligament Injuries in High School Athletics. *J Athl Train.* 2013;48(6):810-7.
4. Myklebust G, Mæhlum S, Holm I, Bahr R. A prospective cohort study of anterior cruciate ligament injuries in elite Norwegian team handball. *Scand J Med Sci Sports.* 1998;8(3):149-53.
5. Quisquater L, Bollars P, Vanlommel L, Claes S, Corten K, Bellemans J. The incidence of knee and anterior cruciate ligament injuries over one decade in the Belgian Soccer League. *Acta Orthop Belg.* oct 2013;79(5):541-6.
6. Tamalet B, Rochcongar P. Épidémiologie et prévention de la rupture du ligament croisé antérieur du genou. *Rev Rhum Monogr.* 1 avr 2016;83(2):103-7.
7. Aichroth PM, Patel DV, Zorrilla P. The natural history and treatment of rupture of the anterior cruciate ligament in children and adolescents. A prospective review. *J Bone Joint Surg Br.* janv 2002;84(1):38-41.
8. Mizuta H, Kubota K, Shiraishi M, Otsuka Y, Nagamoto N, Takagi K. The conservative treatment of complete tears of the anterior cruciate ligament in skeletally immature patients. *J Bone Joint Surg Br.* nov 1995;77(6):890-4.
9. Henry J, Chotel F, Chouteau J, Fessy MH, Bérard J, Moyen B. Rupture of the anterior cruciate ligament in children: early reconstruction with open physes or delayed reconstruction to skeletal maturity? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.* juill 2009;17(7):748-55.
10. International Olympic Committee Pediatric ACL Injury Consensus Group, Ardern CL, Ekås G, Grindem H, Moksnes H, Anderson AF, et al. 2018 International Olympic Committee Consensus Statement on Prevention, Diagnosis, and Management of Pediatric Anterior Cruciate Ligament Injuries. *Orthop J Sports Med.* mars 2018;6(3):2325967118759953.
11. Accadbled F, Gracia G, Laumonerie P, Thevenin-Lemoine C, Heyworth BE, M. S. Kocher. Paediatric anterior cruciate ligament tears: management and growth disturbances. A survey of EPOS and POSNA membership. *J Child Orthop.* 1 oct 2019;13(5):522-8.
12. Cohen M, Ferretti M, Quarteiro M, Marcondes FB, de Hollanda JPB, Amaro JT, et al. Transphyseal anterior cruciate ligament reconstruction in patients with open physes. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc.* août 2009;25(8):831-8.
13. Demange MK, Camanho GL. Nonanatomic anterior cruciate ligament reconstruction with double-stranded semitendinosus grafts in children with open physes: minimum 15-year follow-up. *Am J Sports Med.* déc 2014;42(12):2926-32.
14. Shelbourne KD, Gray T, Wiley BV. Results of transphyseal anterior cruciate ligament reconstruction using patellar tendon autograft in tanner stage 3 or 4 adolescents with clearly open growth plates. *Am J Sports Med.* août 2004;32(5):1218-22.
15. Cruz AI, Fabricant PD, McGraw M, Rozell JC, Ganley TJ, Wells L. All-Epiphyseal ACL Reconstruction in Children: Review of Safety and Early Complications. *J Pediatr Orthop.* mai 2017;37(3):204-9.

16. Nagai K, Rothrauff BB, Li RT, Fu FH. Over-the-top ACL reconstruction restores anterior and rotatory knee laxity in skeletally immature individuals and revision settings. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1 févr 2020;28(2):538-43.
17. Chotel F, Henry J, Seil R, Chouteau J, Moyen B, Bérard J. Growth disturbances without growth arrest after ACL reconstruction in children. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.* nov 2010;18(11):1496-500.
18. Kaeding CC, Pedroza AD, Reinke EK, Huston LJ, Spindler KP. Risk Factors and Predictors of Subsequent ACL Injury in either Knee after ACL Reconstruction: Prospective Analysis of 2488 Primary ACL Reconstructions from the MOON Cohort. *Am J Sports Med.* juill 2015;43(7):1583-90.
19. Geffroy L, Lefevre N, Thevenin-Lemoine C, Peyronnet A, Lakhal W, Fayard J-M, et al. Retour au sport et rupture itérative après ligamentoplastie du LCA chez l'enfant et l'adolescent. *Rev Chir Orthopédique Traumatol.* 1 déc 2018;104(8, Supplement):S19-24.
20. Webster KE, Feller JA. Exploring the High Reinjury Rate in Younger Patients Undergoing Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med.* nov 2016;44(11):2827-32.
21. Conte EJ, Hyatt AE, Gatt CJ, Dhawan A. Hamstring autograft size can be predicted and is a potential risk factor for anterior cruciate ligament reconstruction failure. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc.* juill 2014;30(7):882-90.
22. Mariscalco MW, Flanigan DC, Mitchell J, Pedroza AD, Jones MH, Andrish JT, et al. The influence of hamstring autograft size on patient-reported outcomes and risk of revision after anterior cruciate ligament reconstruction: a Multicenter Orthopaedic Outcomes Network (MOON) Cohort Study. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc.* déc 2013;29(12):1948-53.
23. Pauvert A, Robert H, Gicquel P, Graveleau N, Pujol N, Chotel F, et al. MRI study of the ligamentization of ACL grafts in children with open growth plates. *Orthop Traumatol Surg Res OTSR.* 2018;104(8S):S161-7.
24. Howell SM, Berns GS, Farley TE. Unimpinged and impinged anterior cruciate ligament grafts: MR signal intensity measurements. *Radiology.* juin 1991;179(3):639-43.
25. Putur DE, Slaven SE, Niu EL. ACL Growth With Age in Pediatric Patients: An MRI Study. *J Pediatr Orthop.* sept 2020;40(8):438-47.
26. Tomaszewski R, Smyczek D, Woś-Cieśla I, Kluczevska E, Koszutski T, Wiktor Ł. Developmental changes in ACLs and semitendinosus tendons dimensions according to age in children. *J Orthop Surg.* 27 août 2020;15(1):363.
27. Anderson M, Green WT, Messner MB. Growth and predictions of growth in the lower extremities. *J Bone Joint Surg Am.* janv 1963;45-A:1-14.
28. Astur DC, Arliani GG, Debieux P, Kaleka CC, Amaro JT, Cohen M. Intraarticular hamstring graft diameter decreases with continuing knee growth after ACL reconstruction with open physes. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.* mars 2016;24(3):792-5.
29. Bollen SR, Pease F, Ehrenraich A, Church S, Skinner J, Williams AL. Changes in the four-strand hamstring graft in anterior cruciate ligament reconstruction in the skeletally-immature knee. *J Bone Joint Surg Br.* 2008;90(4):455-9.
30. Smoak JB, Macfarlane A, Kluczynski MA, Ferrick MR, Doak JP, Bisson LJ, et al. Postoperative radiographic observations following transphyseal anterior cruciate ligament reconstruction in skeletally immature patients. *Skeletal Radiol.* juin 2020;49(6):861-8.

31. Clancy WG, Narechania RG, Rosenberg TD, Gmeiner JG, Wisnefske DD, Lange TA. Anterior and posterior cruciate ligament reconstruction in rhesus monkeys. *J Bone Joint Surg Am.* oct 1981;63(8):1270-84.
32. Janssen RPA, van der Wijk J, Fiedler A, Schmidt T, Sala HAGM, Scheffler SU. Remodelling of human hamstring autografts after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.* août 2011;19(8):1299-306.
33. Figueroa F, Figueroa D, Espregueira-Mendes J. Hamstring autograft size importance in anterior cruciate ligament repair surgery. *EFORT Open Rev.* 29 mars 2018;3(3):93-7.
34. Cruz AI, Lakomkin N, Fabricant PD, Lawrence JTR. Transphyseal ACL Reconstruction in Skeletally Immature Patients. *Orthop J Sports Med.* 7 juin 2016;4(6).
35. Yanasse RH, Lima AA, Antoniassi RS, Ezzedin DA, Laraya MHF, Mizobuchi RR. Transtibial technique versus two incisions in anterior cruciate ligament reconstruction: tunnel positioning, isometricity and functional evaluation. *Rev Bras Ortop Engl Ed.* 1 mai 2016;51(3):274-81.

## 7. Annexes

*Annexe I. Mesurations de la greffe dans ses portions fémorale, intra-articulaire et tibiale entre la première et la dernière IRM selon les techniques*

Mesures	Première IRM	Dernière IRM
<b>Portion Fémorale</b>		
<b>Largeur proximité articulation *</b>		
- Toutes techniques (n=10)	5.3 ± 1.6 [2.7 ; 7.2]	6.2 ± 1.9 [3.6 ; 9]
- Epiphysaire (n=4)	4.5 ± 1.5 [2.7 ; 5.9]	4.6 ± 1 [3.6 ; 5.6]
- Transphysaire (n=6)	5.9 ± 1.6 [3.3 ; 7.2]	7.2 ± 1.6 [5.1 ; 9]
<b>Largeur médiane tunnel *</b>		
- Toutes techniques (n=10)	4.9 ± 1.5 [2.7 ; 7.2]	4.2 ± 1.6 [1.5 ; 6.8]
- Epiphysaire (n=4)	3.8 ± 1 [2.7 ; 5.1]	2.9 ± 1.2 [1.5 ; 4.4]
- Transphysaire (n=6)	5.6 ± 1.5 [3.3 ; 7.2]	5.1 ± 1.4 [3 ; 6.8]
<b>Longueur *</b>		
- Toutes techniques (n=10)	19 ± 6.9 [7.7 ; 28]	25 ± 7.7 [9.2 ; 36.3]
- Epiphysaire (n=4)	17.5 ± 8.1 [7.7 ; 25.6]	18.8 ± 7.1 [9.2 ; 24.5]
- Transphysaire (n=6)	20 ± 6.5 [9.1 ; 28]	29.1 ± 5.0 [22.2 ; 36.3]
<b>Portion Tibiale</b>		
<b>Largeur proximité articulation *</b>		
- Toutes techniques (n=12)	5.9 ± 1.4 [4.2 ; 8.8]	6.4 ± 1.6 [4.5 ; 9.1]
- Epiphysaire (n=1)	5.5	4.6
- Transphysaire (n=11)	6 ± 1.5 [4.2 ; 8.8]	6.5 ± 1.6 [4.5 ; 9.1]
<b>Largeur médiane tunnel*</b>		
- Toutes techniques (n=12)	5.1 ± 1.2 [3.5 ; 7.4]	3.8 ± 2.1 [0 ; 6.2]
- Epiphysaire (n=1)	5.5	5.5
- Transphysaire (n=11)	5 ± 1.2 [3.5 ; 7.4]	3.6 ± 2.1 [0 ; 6.2]
<b>Longueur *</b>		
- Toutes techniques (n=12)	20.3 ± 6.6 [1.3 ; 33.4]	26.2 ± 12.6 [8.1 ; 49.4]
- Epiphysaire (n=1)	25.3	27
- Transphysaire (n=11)	19.9 ± 6.8 [11.3 ; 33.4]	26.1 ± 13.2 [8.1 ; 49.4]
<b>Portion intra-articulaire</b>		
<b>Largeur *</b> (n=12)	6.1 ± 1.8 [4.3 ; 9.6]	6.7 ± 1.2 [5 ; 8.8]
<b>Longueur *</b> (n=12)	31.3 ± 5 [25 ; 41.4]	34 ± 4.6 [29 ; 43.6]

\*en mm, mean ±sd [min ; max]

*Annexe II. Evolution de la greffe dans ses portions fémorale, intra-articulaire et tibiale entre la première et la dernière IRM en fonction des techniques selon le modèle linéaire mixte.*

Mesure	<b>Fémorale</b>	p	<b>Tibial</b>	p	<b>Intra-articulaire</b>	p
<b>Largeur proximité articulation *</b>						
Toutes techniques (n=)	n = 10 0.85 [0.1 ; 1.6]	0.023†	n = 12 0.5 [-0.3 ; 1.2]	0.21	n = 12 0.6 [0.04 ; 1.1]	0.037†
Tunnel épiphysaire (n=)	n = 4 0.1 [-0.5 ; 0.8]	0.71	n = 1 . .	.	.	.
Tunnel transphysaire (n=)	n = 6 1.3 [0.4 ; 2.3]	0.006†	n = 11 0.6 [-0.2 ; 1.3]	0.122	.	.
<b>Largeur médiane tunnel *</b>						
Toutes techniques (n=)	n = 10 -0.7 [-1 ; -0.5]	<0.001†	n = 12 -1.3 [-2.1 ; -0.5]	0.001†	.	.
Tunnel épiphysaire (n=)	n = 4 -1 [-1.2; 0.7]	<0.001†	n = 1 . .	.	.	.
Tunnel transphysaire (n=)	n = 6 -0.6 [-0.8 ; 0.4]	<0.001†	n = 11 -1.4 [-2.22 ; -0.6]	<0.001†	.	.
<b>Longueur*</b>						
Toutes techniques (n=)	n = 10 6 [2.3 ; 9.6]	0.001†	n = 12 5.8 [0.6 ; 11]	0.027†	n = 12 2.7 [1.8 ; 4]	<0.001†
Tunnel épiphysaire (n=)	n = 4 1.4 [-0.3 ; 3]	0.099	n = 1 . .	.	.	.
Tunnel transphysaire (n=)	n = 6 9.1 [4.5 ; 13.6]	<0.001†	n = 11 6.2 [0.6 ; 11.8]	0.03†	.	.

\* en mm, [IC<sub>95%</sub>]

† degré de significativité p≤0.05



*Annexe III. Mesurations des tunnels entre la première et la dernière IRM selon le type de tunnel épiphysaire ou transphysaire selon les techniques.*

Mesures	Première IRM	Dernière IRM
<b><u>Tunnel Fémoral</u></b>		
<b>Largeur *</b>		
- Toutes techniques (n=10)	6.85 ± 1.2 [4.6 ; 8.6]	6.7 ± 1.7 [4.1 ; 9]
- Epiphysaire (n=4)	6.2 ± 1.6 [4.6 ; 7.8]	5.7 ± 1.7 [4.1 ; 8]
- Transphysaire (n=6)	7.3 ± 0.7 [6.7 ; 8.6]	7.4 ± 1.3 [5.1 ; 9]
<b>Longueur *</b>		
- Toutes techniques (n=10)	21.7 ± 8 [7.7 ; 32]	26.8 ± 8.5 [9.2 ; 37]
- Epiphysaire (n=4)	17.3 ± 7.9 [7.7 ; 24.5]	18.8 ± 7.1 [9.2 ; 24.5]
- Transphysaire (n=6)	24.7 ± 7.1 [14 ; 32]	32.1 ± 4 [27.3 ; 37]
<b>Angulation frontale **</b>		
- Toutes techniques (n=11)	22 ± 8 [7 ; 30]	16 ± 10 [1 ; 30]
- Epiphysaire (n=5)	24 ± 9 [8 ; 30]	22 ± 10 [5 ; 30]
- Transphysaire (n=6)	20 ± 8 [7 ; 30]	11 ± 8 [1 ; 19]
<b><u>Tunnel Tibial</u></b>		
<b>Largeur*</b>		
- Toutes techniques (n=12)	7.45 ± 1.8 [4.2 ; 9.4]	7.4 ± 1.8 [4.5 ; 11.6]
- Epiphysaire (n=1)	6.6	5.7
- Transphysaire (n=11)	7.6 ± 1.6 [4.2 ; 9.4]	7.6 ± 1.8 [4.5 ; 11.6]
<b>Longueur *</b>		
- Toutes techniques (n=11)	24.6 ± 11 [11 ; 46]	29.7 ± 13.7 [8.1 ; 49.4]
- Epiphysaire (n=1)	25.3	27
- Transphysaire (n=10)	24.5 ± 11.6 [11 ; 46]	30 ± 14.4 [8.1 ; 49.4]
<b>Angulation frontale **</b>		
- Toutes techniques (n=12)	18 ± 6 [6 ; 30]	15 ± 6 [8 ; 30]
- Epiphysaire (n=1)	21	18
- Transphysaire (n=11)	17 ± 7 [6 ; 30]	15 ± 6 [8 ; 30]
<b>Angulation sagittale **</b>		
- Toutes techniques (n=12)	20 ± 10 [5 ; 40]	16 ± 9 [4 ; 38]
- Epiphysaire (n=1)	40	38
- Transphysaire (n=11)	19 ± 8 [5 ; 31]	14 ± 4 [4 ; 26]

\*en mm, mean ±sd [min ; max]

\*\* en °, mean ±sd [min ; max]

Annexe IV. Evolution des tunnels entre la première et la dernière IRM selon le type de tunnel épiphysaire ou transphysaire d'après le modèle linéaire mixte

Mesure	<u>Tunnel Fémoral</u>	p	<u>Tunnel Tibial</u>	p
<b>Largeur *</b>				
Toutes techniques (n=)	10 -0.13 [-0.8 ; 0.5]	0.71	12 -0.08 [-0.8 ; 0.7]	0.83
Tunnel épiphysaire	4 -0.5 [-1.3 ; 0.3]	0.210	1 . .	.
Tunnel transphysaire (n=)	6 0.1 [-0.7 ; 1]	0.753	11 -0.005 [-0.9 ; 1]	0.989
<b>Longueur *</b>				
Toutes techniques (n=)	10 5.1 [1.8 ; 8.4]	0.003†	11 5.2 [-0.04 ; 10.3]	0.052
Tunnel épiphysaire	4 1.5 [0.2 ; 2.8]	0.02†	1 . .	.
Tunnel transphysaire (n=)	6 7.4 [2.9 ; 12]	0.001†	11 5.5 [-0.2 ; 11.2]	0.057
<b>Angulation frontale **</b>				
Toutes techniques (n=)	11 -5.8 [-9.1 ; -2.6]	<0.001†	12 -2.9 [-5.3 ; 0.3]	0.027†
Tunnel épiphysaire	5 -2.5 [-4.7 ; -0.3]	0.028†	1 . .	.
Tunnel transphysaire (n=)	6 -8.6 [-13.3 ; -4]	<0.001†	11 -2.8 [-5.5 ; -0.08]	0.043†
<b>Angulation sagittale **</b>				
Toutes techniques (n=)	.	.	12 -4.4 [-8.5 ; -0.3]	0.0034†
Tunnel épiphysaire	.	.	1 . .	.
Tunnel transphysaire (n=)	.	.	11 -4.7 [-9.1 ; -0.2]	0.041†

† degré de significativité  $p \leq 0.05$

\* en mm, [IC<sub>95</sub>%]

\*\* en °, [IC<sub>95</sub>%]

**SERMENT D'HIPPOCRATE**  
**(Conseil national de l'ordre des médecins)**

Au moment d'être admis à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité.

Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux.

Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.

J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences.

Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences.

Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis(e) dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçu à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs.

Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité.

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonoré et méprisé si j'y manque.

## SERMENT D'HIPPOCRATE

En présence des Maîtres de cette FACULTE et de mes chers CONDISCIPLES, 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 gratuits à l'indigent et je n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail. Admis dans l'intérieur des maisons, mes yeux ne 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.

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.



## **HACQUART Thomas**

Quelle croissance pour la greffe du ligament croisé antérieur sur physe ouverte ?

Thèse de Médecine, Clermont-Ferrand

Date de soutenance : 08 mars 2021

### **Résumé**

**Contexte** : Les ruptures et les reconstructions du ligament croisé antérieur (LCA) chez l'enfant sont en pleine recrudescence. Après chirurgie, les taux de re-rupture sont beaucoup plus importants chez l'enfant que chez l'adulte. Il a par ailleurs été montré qu'un petit diamètre de greffe était prédictif de re-rupture.

**Objectif** : Evaluer la longueur et la largeur de la greffe du LCA en intra-articulaire et dans ses tunnels en IRM au cours de la croissance.

**Méthode** : La cohorte est issue d'une série de 100 patients ayant bénéficié d'une reconstruction du LCA, dont 65 avaient eu une IRM de contrôle post-opératoire. Nous avons sélectionné les patients ayant une forte croissance résiduelle et au moins 1 an de suivi entre les deux IRM. 23 patients correspondaient à ces critères. L'hypothèse était que la greffe du LCA subissait un amincissement au cours de la croissance.

**Résultats** : 12 genoux (et patients) sont analysés avec un délai moyen de 4.9 ans  $\pm$  0.5 [3.5 ; 5.4] entre chacune des IRM post-opératoires. Cette analyse est réalisée en double aveugle. Dans les tunnels, la greffe avait tendance à s'allonger, s'amincir et disparaître au profit de l'intégration osseuse. Dans sa portion intra-articulaire, la greffe augmentait en longueur de 2.7 mm (+9%) ( $p < 0.001$ ) et en largeur de 0.6 mm (+13%) ( $p = 0.037$ ) en moyenne. L'index largeur/longueur dans la partie intra-articulaire sur la première IRM était en moyenne de 19,6% ; il était de 20% sur la dernière IRM. Cette différence d'index (+0,4%) n'étant pas significative ( $p = 0.69$ ), la greffe est considérée comme stable dans ses proportions, sans s'affiner ni s'épaissir. L'hypothèse initiale n'est donc pas vérifiée.

**Conclusion** : Les plasties du LCA de l'enfant à physe ouverte grandissent harmonieusement dans toutes leurs dimensions. Ce constat n'apporte pas d'explication au taux important de re-rupture rapporté chez l'enfant.

**Mots-clés** : physe ouverte ; ligamentoplastie ; LCA ; pédiatrique ; IRM ; reconstruction ; greffe ; Croissance