

THESE

pour le

DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN MEDECINE

DES de Chirurgie Générale
DESC Orthopédie et Traumatologie

Par

Julien COUSIN

Né le 25 *septembre 1988* à *Sèvres (92)*

Présentée et soutenue publiquement le 21 septembre 2018

**ANATOMIE REVISITÉE DE L'INSERTION FÉMORALE DU
LIGAMENT CROISÉ POSTÉRIEUR ET SES RAPPORTS AVEC LES
LIGAMENTS MÉNISCO-FÉMORAUX**

Président du jury : Monsieur le Professeur GOUIN

Directeur de thèse : Monsieur le Docteur NOAILLES

Membres du jury : Monsieur le Professeur HAMEL
Monsieur le Professeur ROSSET
Monsieur le Docteur WAAST
Monsieur le Docteur FRAQUET

REMERCIEMENTS

A notre Maître, le Président du Jury,
Monsieur le Professeur **François GOUIN**,
Professeur des Universités de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique,
Chirurgien des Hôpitaux,
Ancien Chef de Service,
Vous me faites l'honneur de présider ce travail de thèse,
Vos connaissances théoriques et votre habilité chirurgicale forcent l'admiration.

A mon Directeur de Thèse,
Monsieur le Docteur **Thibaut NOAILLES**,
Chirurgien libéral,
Ancien Chef de Clinique au CHU de Nantes,
Ta présence dans ce Jury et surtout en tant que Directeur de Thèse est un honneur,
Ton enthousiasme pour ce travail a été un réel moteur pour moi,
J'espère que tu ne seras pas déçu par ce travail,
Je suis profondément reconnaissant envers ta disponibilité et ta gentillesse tout au long de ce travail.

Monsieur le Professeur **Philippe ROSSET**,
Professeur des Universités de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique,
Chef de Service au CHU de Tours,
Je vous remercie d'avoir accepté de juger ce travail malgré la distance,
Votre présence dans ce jury est un honneur.

Monsieur le Professeur **Antoine HAMEL**,
Professeur des Universités de Chirurgie Orthopédique Infantile,
Chirurgien des Hôpitaux,
Votre rigueur chirurgicale n'a d'égal que vos compétences et votre dévouement à vos patients,
Veuillez trouver le témoignage d'un profond respect.

Monsieur le Docteur **Denis WAAST**,
Chef de Service,
Tes qualités humaines et chirurgicales font de toi un médecin hors pair avec qui j'ai pris énormément de plaisir à travailler pendant une année entière.
Tu seras toujours un modèle pour moi.

Monsieur le Docteur **Nicolas FRAQUET**,
Chirurgien des Hôpitaux,
Ta bonne humeur permanente associée à une volonté de toujours mieux faire pour tes malades forcent l'admiration,
Passer trois semestres à opérer avec toi m'a aidé à devenir celui que je suis maintenant, tant au bloc opératoire qu'en dehors,
Trouve ici un témoignage de ma profonde gratitude.

A mes proches,

A mes parents,

Sans qui je n'en serais pas là maintenant. Merci d'avoir cru en moi toutes ces années et permis d'y arriver dans les meilleures conditions.

Je vous aime et je ne vous remercierai jamais assez pour ce que vous avez fait pour moi.

A Isabelle,

Je ne te dirai jamais assez à quel point je t'aime. J'ai la chance d'avoir rencontré la personne avec qui je veux construire mon avenir et passer chaque moment. Il nous reste tellement de belles choses à découvrir et à partager ensemble.

A mon grand-père Marc,

Qui je l'espère serait fier de moi.

A ma grand-mère Jeanine,

Qui je l'espère pourra être là car nous ne nous voyons que trop peu.

A mon oncle Jean-Pierre,

Qui a toujours cru en moi et qui est fier de celui que je suis devenu.

A Marie-France et Jean-Claude,

Si j'en suis là maintenant c'est aussi un peu grâce à vous.

A Nicolas,

Merci d'avoir été là tout au long de ces années, depuis la première année jusqu'à maintenant, J'ai une chance infinie de pouvoir te compter parmi mes Amis les plus proches, Et j'ai hâte d'être ton témoin.

A Farouk et Amalle,

Votre gentillesse et votre soutien sans faille me touchent beaucoup,

Nous avons encore tellement de choses à partager et de bonnes bouteilles à déboucher.

A Mike et Pauline,

Etre témoin de votre Amour m'a beaucoup touché et chaque moment passé près de vous n'est que du bonheur,

J'espère que le Petit ne crachera pas les mêmes flammes que sa mère.

A Paul et Marguerite,

L'Ami parfait qui a rencontré la personne à sa mesure,

Merci de me supporter et me soutenir depuis toutes ces années sans la moindre faille,

Je ne sais comment vous remercier.

A Maxime et Marie,

Vous avez toujours été là quand j'ai eu besoin de vous,

Des personnes d'une rare gentillesse,

Ne changez pas.

A Dimitri, Marc-Alexandre, Charles, PAK, Pierre, Flo, le Al,
Mes Amis poitevins avec qui nous avons partagé tant de choses depuis la première année et
qui sont malgré la distance des personnes précieuses dans mon cœur,
J'espère pouvoir continuer à profiter de vous encore de nombreuses années.

A Yonis et Yoann,
Bien plus que des collègues de promo,
Des personnes en qui je peux avoir une entière confiance et je vous en remercie.

A Karim,
Qui a été co-interne en orthopédie adulte puis en infantile et devenu un Ami,
Une personne avec qui j'ai beaucoup appris et avec qui j'ai passé d'excellents moments.

A Marie et Philippe,
Une belle amitié est née dès nos premiers mois passés ensemble au CHU.

A Brian et Anne Sophie,
Une très belle rencontre de mon premier semestre, avec qui chaque moment n'est que du
bonheur, dans l'assiette comme dans le verre.

A mes maitre d'internat,

A toute l'équipe du CHU de Nantes,
A Ronan Guillou, une référence nantaise sur les pathologies du genou, j'ai beaucoup progressé
à ton contact, à Pierre Marie LONGIS pour ton énergie et ta motivation, à Guillaume GADBLED,
un enseignant hors pair qui a toujours pris le temps nécessaire quand j'en avais besoin, à Guy
PIETU, notre maître à tous dans le domaine de la traumatologie.

A l'ensemble de l'équipe du CHD de La Roche Sur Yon, Guillaume VENET, le chirurgien le plus
rapide de l'Ouest, un vrai modèle de compétence pour tous, Antoine TESSON, chirurgien aussi
gentil que passionné de voile, François LECOUR GRANDMAISON, un sens de l'humour parfois
corrosif mais une personne avec qui j'ai passé d'excellents moments. Mes trois semestres
passés dans le service ont été extrêmement bénéfiques et je ne vous remercierai jamais assez
pour cela.

A Philippe POIRIER et Pierre-Alexandre VENT, pour leur enseignement en chirurgie vasculaire
lors des gardes et surtout leur gentillesse sans faille.

A toute l'équipe du CH de Saint Nazaire, Luc SOUBIGOU, Xavier HEMERY, Florent JAMARD,
Laurence BIGOTTE, Vincent GIRARD.

A mes chefs de clinique et assistants,

Un grand merci pour votre gentillesse et votre enseignement tout au long de ces années. Si
j'en suis là maintenant c'est en grande partie grâce à vous.

A Cécile TOANEN, un chirurgien exemplaire, à qui la confiance fait parfois défaut, mais qui peut t'en vouloir aux vues de ta gentillesse et ton talent chirurgical. Tu es devenue une Amie et je te souhaite le meilleur pour la suite.

A Vincent CRENN, pour ta gentillesse et ton aide précieuse lors de mes nombreuses sollicitations. Ça a été un réel plaisir de t'accompagner lors de gros changements de hanche et au Flesselles une pinte de Chouffe à la main.

A Mathieu BOISSARD, passer six mois près de toi m'ont permis d'appréhender la chirurgie de l'épaule différemment. Un grand merci pour ta disponibilité et ta bonne humeur. Je te souhaite de très belles années dans ta nouvelle vie.

A Alexandre BOCENO, pour ta joie de vie malgré des gardes de l'enfer. Tu arrives toujours à voir le positif, j'ai eu beaucoup de chance de pouvoir te côtoyer et c'est un réel plaisir de te voir lors des congrès.

A Matthieu HANNEBICQUE, malgré un look Guerre du Feu, une vraie belle rencontre avec un chirurgien doué et modeste. J'ai pris beaucoup de plaisir à travailler avec toi.

A Jeremy SIMON, l'homme qui déteste le plus le ciment sur cette terre, mais quel plaisir de travailler avec toi.

Sans oublier, Fabrice COLIN, Sylvain BRIAND, Kevin BRULEFERT, Nicolas BOUGUENNEC, Giovanni PADIOLLEAU.

Et mes nombreux co-internes avec qui nous avons passé de belles années, Edward de Keating, Cyrille DECANTE, Ismaël CHELGAF, Solène JOSEPH, Marie POUEDRAS, François LATASTE, Christophe CARLIER, Julien MALLET, Florent METAIRIE, François Xavier LAMBERT, Lucie REGENASS, Nataly GAVIRA, Aurore BLANCHETON, Aurélie AUMONT, Cécilia BOUTEILLE, Lucas VERDURE, Julien VERDIER, Julien OILIC.

Ou encore tous les anesthésistes avec qui j'ai aimé travailler, Laurent DA MATA, Benjamin ANIZON, Paul LANGLAIS, Dimitri FLORENCE, Marwan BOURAS, Alexandre BOURDIOL, François ROUX, Antoine BOS, William BARON, Stéphanie BORGARD, Cécile LANGLOIS, Arnaud-Félix MIALHE, Paul LOUVEL, Olivier LOUTREL, Jean Vincent AUBINEAU, Cécile MAGNE, Vincent PICHENOT, Louise RUFFIN, Camille VISSAC, Maxime LE COURTOIS DUMANOIR, Jérôme PAULUS.

A Stéphane et Yvan, pour leur gentillesse et leur disponibilité au laboratoire.

Et enfin le bloc des urgences du CHU, où j'ai passé de nombreuses heures en gardes, le bloc de La Roche et toutes les personnes qui se reconnaîtront à la consultation du CHU.

SERMENT MÉDICAL

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 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.

TABLE DES MATIÈRES

Liste des abréviations	Page 8
Introduction	Page 9
Matériels et Méthodes	Page 36
Résultats	Page 43
Discussion	Page 50
Conclusion	Page 64
Annexes	Page 66
Références	Page 69
Résumé/Abstract	Page 76

LISTE DES ABRÉVIATIONS

LCA : ligament croisé antérieur

LCP : ligament croisé postérieur

AP : antéro-postérieur

ML : médio-latéral

AL : antéro-latéral

PM : postéro-médial

LMFs : ligaments ménisco-fémoraux

LMFA : ligament ménisco-fémoral antérieur

LMFP : ligament ménisco-fémoral postérieur

mm : millimètre

cm : centimètre

N : Newton

IKCD : International Knee Documentation Committee

INTRODUCTION

Les atteintes du pivot central du genou sont des lésions fréquentes (1)(2). Dans la littérature, l'anatomie et les techniques de reconstruction du ligament croisé postérieur (LCP) sont moins bien décrites et codifiées que pour le ligament croisé antérieur (LCA). Ceci s'explique par la rareté des lésions du LCP par rapport à celles du LCA (1 rupture du LCP pour 5 ruptures du LCA (3)), par les difficultés diagnostiques (4)(5) et par la bonne évolution clinique après traitement fonctionnel (6)(7). L'objectif de ce travail de thèse était de réaliser une revue de la littérature concernant l'anatomie du LCP puis de présenter les résultats de notre étude anatomique.

Historique de l'anatomie du LCP et de sa chirurgie

Les premières descriptions anatomiques des ligaments croisés sont rapportées par Claudius Galenus de Pergame (Figure 1), plus connu sous le nom de Galien, né en 131 après JC. Il décrit les ligaments comme des structures de soutien des articulations « *diarthrodiales* », en soulignant leur rôle en tant que stabilisateur articulaire mais aussi de limitateur des mouvements anormaux. Il décrit les ligaments croisés comme « *genu cruciata* » (8).



Figure 1 Gravure de Claudius Galenus de Pergame

Il faudra ensuite attendre près de 1500 ans avant de retrouver de nouvelles descriptions des « ligaments croisés » dans la littérature, mais ces descriptions sont essentiellement cliniques et techniques :

En 1782, Sir William Hey (9) utilise pour la première fois le terme de « dérangement interne du genou » pour décrire l'insuffisance fonctionnelle du genou par lésions des ligaments croisés.

En 1836, Wilhelm et Eduard Weber (10) étudient la biomécanique du ligament croisé antérieur sans pour autant étendre leurs travaux au LCP.

En 1845, Amédée Bonnet (11) décrit la présentation clinique d'une atteinte ligamentaire du pivot central comme la triade : craquement, impotence fonctionnelle et hémarthrose. Il décrit l'instabilité comme « *des déplacements qui font croire à une luxation incomplète* » et s'intéresse à la prise en charge rééducationnelle en cas d'atteinte ligamentaire. Il développe une orthèse à charnière afin de lutter contre une « *immobilisation trop longue qui exerce une influence négative sur la guérison* ».

En 1895, Sir Arthur William Mayo-Robson (12) (Figure 2) est le premier à décrire une réparation des ligaments croisés antérieur et postérieur dans la suite d'une luxation de genou. Il s'agit alors d'une réparation et non d'une reconstruction. Cette réparation avait permis au patient une reprise de ses activités professionnelles. A 6 ans de recul son genou est stable et indolore lors de la course (13).



Figure 2 Sir Arthur William Mayo-Robson, Photogravure

Hey Groves (14) (Figure 3) en 1917 décrit une technique de reconstruction du LCA et du LCP. Il utilise la bandelette ilio-tibiale pour la reconstruction du LCA et le semi-tendineux pour le LCP (Figure 4), en réalisant une large voie d'abord antérieure transversale avec relèvement de la tubérosité tibiale (Figure 5).



Figure 3 Hey Groves Photographie de 1916

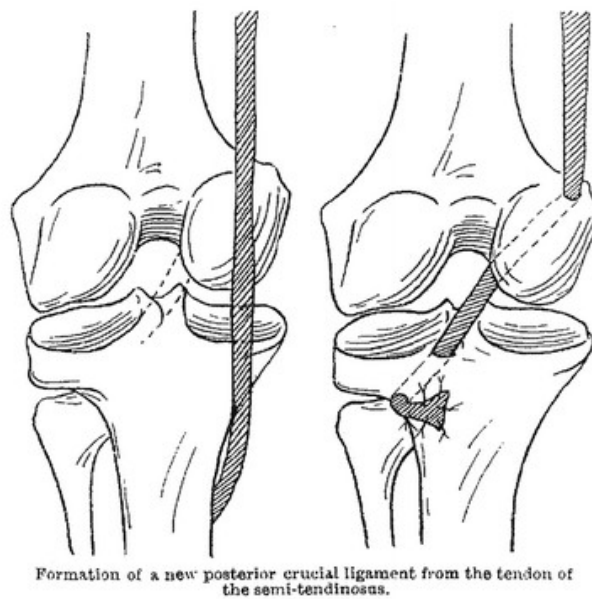


Figure 4 Technique de reconstruction du LCP à l'aide du semi-tendineux (dessins originaux, publiés en 1917)

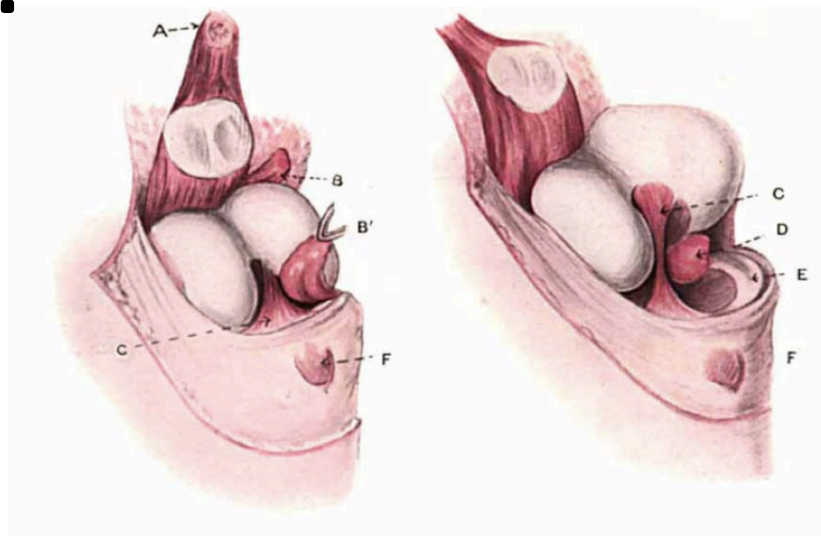


FIG. 413.—A knee-joint showing complete rupture of the posterior cruciate and internal lateral ligaments and partial rupture of the anterior cruciate. A, Tubercle of tibia turned upwards. B, Upper torn end of internal lateral ligament. B', Lower end of torn internal lateral ligament, which had become turned inwards into the knee-joint. C, Partially torn anterior cruciate ligament. D, Tibial end of the posterior cruciate ligament enlarged as a fibrous knob. E, Internal semilunar cartilage. F, Area of tibia from which tubercle has been chipped off.

Figure 5 Voie d'abord en U avec relèvement de la tubérosité tibiale permettant l'exposition des ligaments croisés (dessins originaux, 1919)

En 1919 (15), il rapporte son expérience des ruptures des ligaments croisés opérés (10 ruptures isolées du LCA, 2 ruptures isolées du LCP et 2 ruptures bicroisées LCA et LCP).

Gallie et LeMesurier (16) modifient cette technique en 1927 en réalisant une voie d'abord longitudinale médiale. Le transplant utilisé pour le LCP est le semi-tendineux qui est détaché en proximal, monté de façon rétrograde du tibia vers le fémur, puis suturé au ligament collatéral médial (Figure 6).

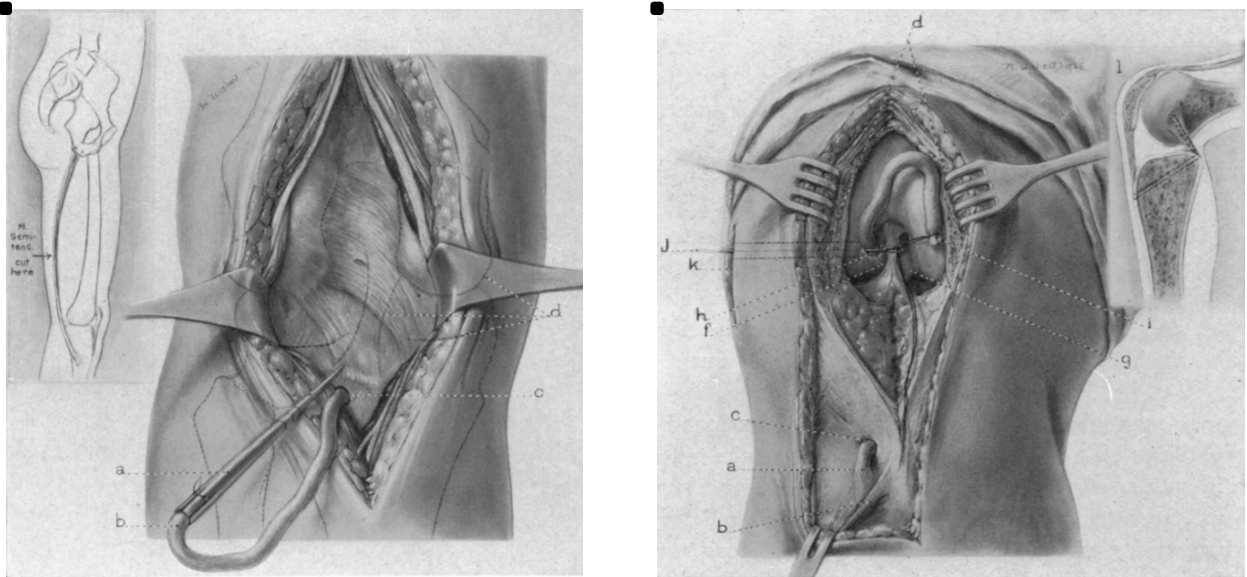


Figure 6 Illustrations originales de Gallie et LeMesurier en 1927 (vue postérieure à gauche, vue antérieure à droite)

En 1936, Bosworth (17) décrit une méthode extra-articulaire de reconstruction des ligaments croisés en utilisant une autogreffe du fascia lata. En 1937, Lee (18) décrit pour la première fois une rupture du LCP par avulsion osseuse de son insertion tibiale.

En 1938, Palmer (19) publie une série épidémiologique de 58 patients présentant une entorse grave du genou avec 8 cas de rupture isolée du LCP.

En 1950, Lindemann (20) opère les ruptures du LCP en utilisant un ou deux tendons de la patte d'oie en les désinsérant de leur insertion distale. Le transplant reproduit alors l'anatomie du LCP natif par un tunnel transcondylien puis transtibial. Il s'agit de la première reconstruction dite anatomique.

En 1956, Augustine (21) rapporte une technique dynamique en détachant le tiers médial du tendon patellaire de la tubérosité tibiale. L'insertion proximale patellaire était préservée et le transplant fixé au tibia par un tunnel rétrograde (Figure 7).

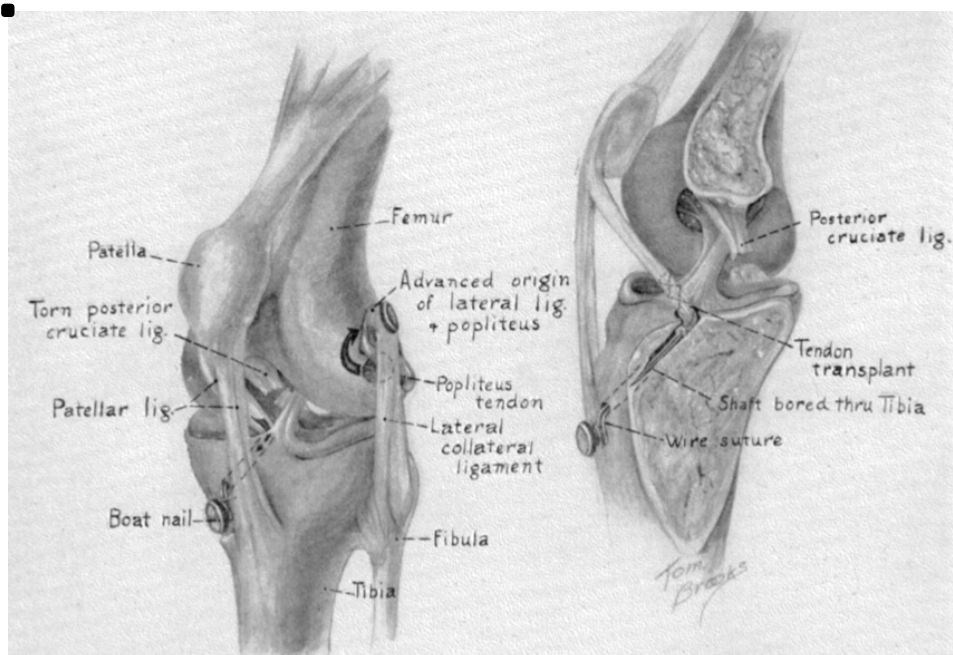


Figure 7 Illustration originale d'Augustine (1956)

En 1968, Trickey (22) rapporte 10 cas de réinsertion du LCP suite à une avulsion osseuse tibiale.

En 1971, Barfod (23) décrit une reconstruction du LCP par transposition du tendon poplité, en le détachant de son insertion fémorale et en le refixant à la face latérale du condyle fémoral médial. En 1979, Courvoisier (24) utilise le muscle gastrocnémien latéral comme transplant.

En 1982, Insall (25) utilise le muscle gastrocnémien médial.

L'objectif communément admis est désormais celui d'une reconstruction anatomique du LCP en utilisant des repères visuels et/ou radiographiques (26)(27). Mais l'anatomie du LCP n'est pas consensuelle dans la littérature (28)(29)(30).

Anatomie du ligament croisé postérieur :

Le pivot central du genou est constitué du ligament croisé postérieur (LCP) et du ligament croisé antérieur (LCA). Le LCP est le principal frein à la translation tibiale postérieure du genou quel que soit le degré de flexion (31). Le LCP est également un frein accessoire au varus, valgus

et à la rotation latérale du tibia sur le fémur (32)(33). Son rôle est intimement lié au point d'angle postéro-latéral et aux ligaments ménisco-fémoraux.

Le LCP s'insère sur le fémur au niveau de la face latérale du condyle médial et au tibia sur le tiers inférieur de la surface rétrospinale. Il forme un large éventail à base fémorale. La surface d'insertion fémorale représente $2,93 \text{ cm}^2$ contre $1,89 \text{ cm}^2$ pour l'insertion tibiale (34). La longueur du LCP est comprise entre 32 et 40 mm avec une section moyenne de $1,1 \text{ cm}^2$ (35)(36)(37). Sa surface de section est 1,5 à 2 fois plus importante que celle du LCA (38).

Le LCP est en position rétro-synoviale rendant son exploration arthroscopique difficile. Afin de simplifier les différentes descriptions anatomiques, nous utiliserons les nomenclatures suivantes :

- Pour les descriptions anatomiques : proximal, distal, antérieur et postérieur
- Pour les descriptions arthroscopiques (genou à 90° de flexion) : supérieur, inférieur, superficiel et profond.

Anatomie en faisceaux :

Depuis Girgis *et al.* (39), le LCP est décrit comme composé de deux faisceaux fonctionnels et anatomiques distincts : le faisceau antéro-latéral (AL) et le postéro-médial (PM). Cette description est partagée par de nombreux auteurs (35)(26).

Le faisceau antéro-latéral est le plus volumineux. Il a une surface de section en son centre de 43 mm^2 et occupe les deux tiers du volume du LCP (40)(41)(42). Il a une résistance à la traction entre 1120 Newton (N) (43) et 1694 N (41).

Les fibres du faisceau AL sont progressivement recrutées de l'extension vers la flexion avec une tension maximale genou fléchi à 90° et un relâchement complet en extension (35)(36)(44). Le faisceau AL contrôle le tiroir postérieur en flexion à 90°.

Le faisceau PM est le plus fin. Il a une surface de section en son centre de 10 mm² et, est plus court (41)(42). Sa résistance à la traction est évaluée à 258 N (42). Le faisceau PM est tendu en extension et détendu en flexion (35)(36)(44). Il assure le contrôle du tiroir postérieur en extension.

Insertion tibiale :

L'insertion tibiale se situe au tiers inférieur de la surface rétrospinale (34). Elle a une surface de 1,89 cm² et mesure 25 mm de hauteur et 13 mm de largeur (43) (Figure 8). Les centres d'insertions des faisceaux AL et PM sont distants de 8,9 +/- 1,2 mm (35)(26). L'insertion du faisceau AL a une surface plus importante et plus proximale en avant que celle du faisceau PM. Ces deux surfaces d'insertion sont séparées par un rebord osseux transversal (bundle ridge) (26). Selon Harner *et al.* (43) la surface d'insertion fémorale est 3 fois plus importante que la surface de section du LCP dans sa partie moyenne.

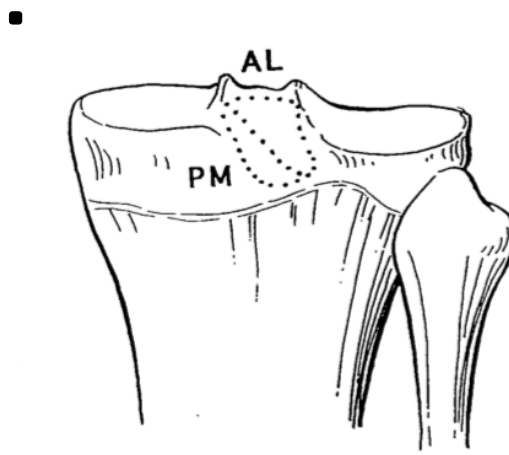


Figure 8 Insertion tibiale du LCP selon Harner et al. (43)

Insertion fémorale :

L'insertion proximale du LCP forme un large éventail étendu du toit de l'échancrure inter condylienne à la face latérale du condyle fémoral médial et mesure plus de 30mm dans son grand axe (45)(39) (Figure 9).

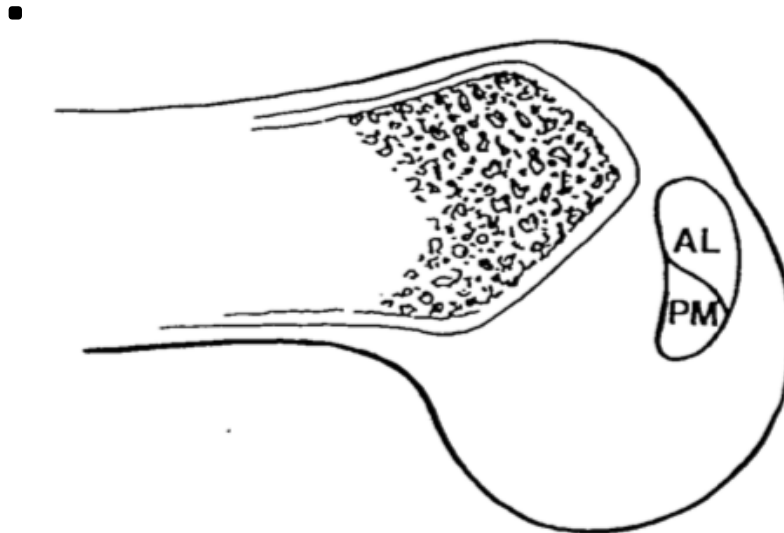


Figure 9 Insertion fémorale du LCP selon Harner et al. (43)

L'insertion fémorale a une surface de $2,93 \text{ cm}^2$ (34). L'insertion du faisceau AL est plus antérieure que celle du faisceau PM et elles sont distantes de $12,1 \pm 1,3 \text{ mm}$. L'insertion du faisceau AL se situe à $1,5 \pm 0,8 \text{ mm}$ du rebord cartilagineux distal contre $5,8 \pm 1,7 \text{ mm}$ pour le faisceau PM (35)(26)(46)(47) genou à 90° . Selon Lopes *et al.* (48) la surface moyenne du faisceau AL était de $118 \pm 23,95 \text{ mm}^2$ et la surface moyenne du faisceau PL était de $90 \pm 16,13 \text{ mm}^2$. Forsythe *et al.* (49) décrivent deux reliefs osseux au niveau du footprint fémoral : la crête intercondylienne médiane (medial intercondylar ridge) qui définit la limite proximale de l'insertion du LCP et la crête interne bifurquée (medial bifurcate ridge) qui sépare les sites

d'insertion des deux faisceaux (Figures 10 – 12) . Ces insertions forment une surface globalement concave ou en forme de virgule (50)(49).

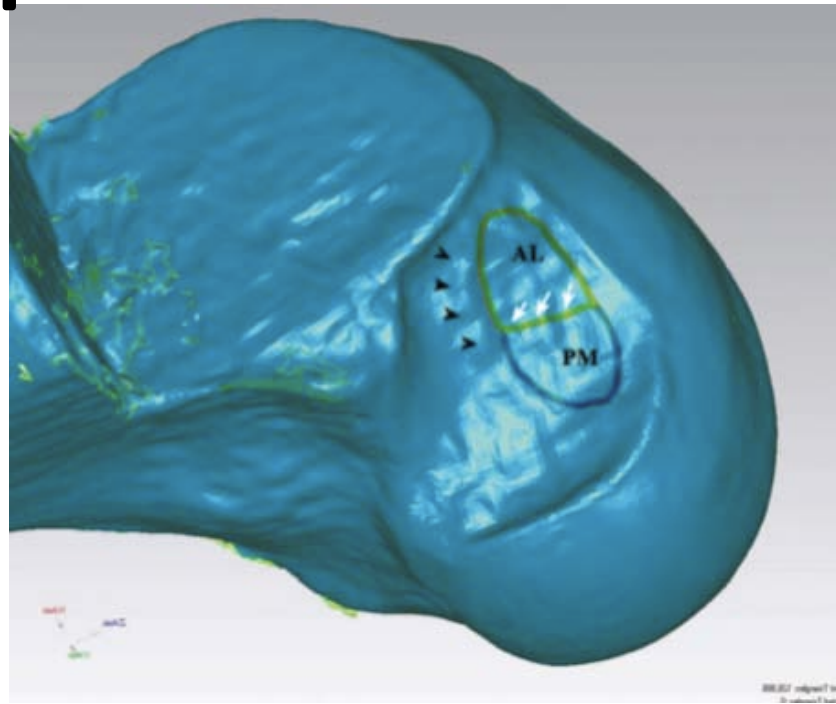


Figure 10 Photographie laser 3D de l'insertion fémorale du LCP selon Forsythe et al. (49).

Flèches noires : crête intercondylienne médiane, flèches blanches : crête interne bifurquée

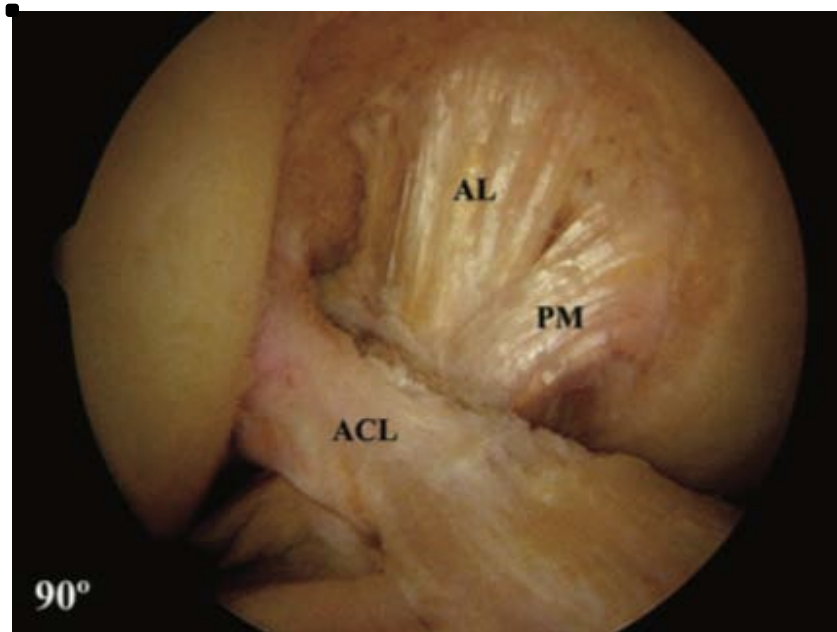


Figure 11 Vue arthroscopique de l'insertion fémorale du faisceau AL et PM genou fléchi à 90°
selon Forsythe et al. (49)

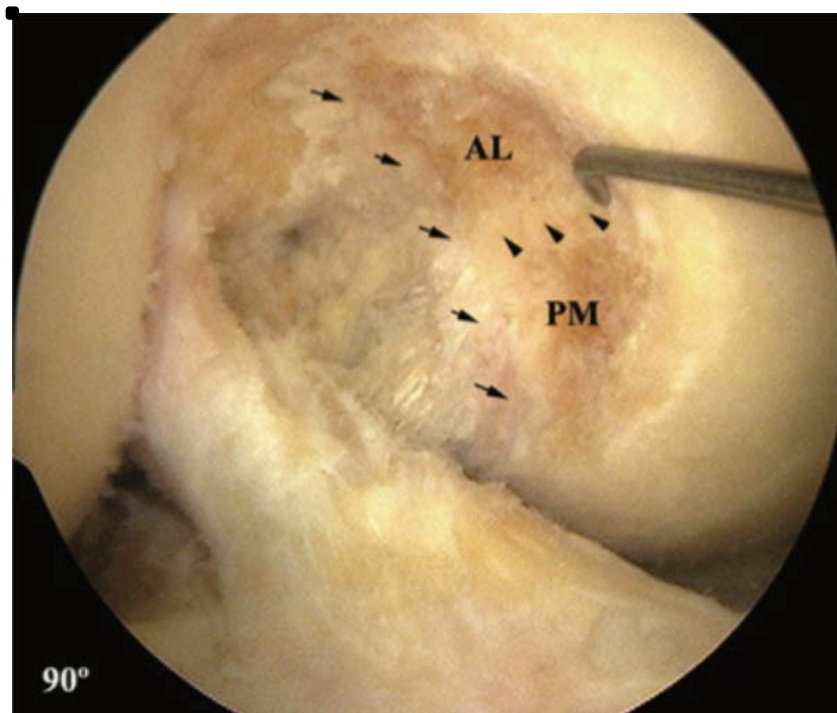


Figure 12 Vue arthroscopique de l'insertion du faisceau AL et PM, de la crête intercondylienne
médiane et la crête interne bifurquée genou fléchi à 90° selon Forsythe et al. (49)

Vascularisation :

A l'inverse du LCA, la vascularisation du LCP est riche. La vascularisation des ligaments croisés provient de l'artère poplitée et de ses branches collatérales articulaires que sont les artères articulaires supéro-médiale, supéro-latérale, moyenne, inféro-latérale et inféro-médiale (Figure 13).

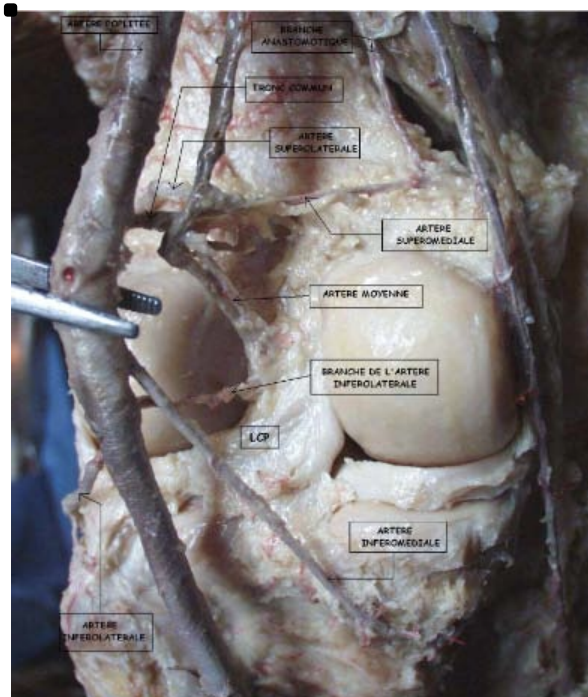


Figure 13 Vue de dissection de la vascularisation du LCP sur pièce injectée et formolée (51)

Le LCP reçoit une double vascularisation par l'intermédiaire des branches terminales de l'artère articulaire moyenne (supérieure, moyenne et inférieure) pour sa portion proximale et par l'intermédiaire des artères inféro-latérale et inféro-médiale pour sa portion distale. Il se forme un réseau péri-ligamentaire et intra-ligamentaire dense (52). La partie intermédiaire du LCP est avasculaire et donc plus à risque de ruptures (42)(53) (Figure 14).

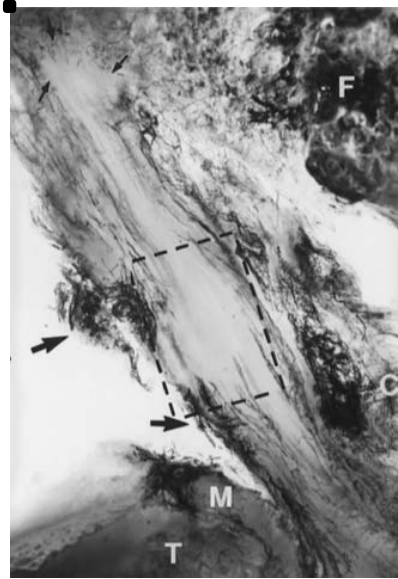


Figure 14 Absence de vascularisation du niveau du tiers moyen du LCP (53)

Sa vascularisation explique le potentiel de cicatrisation spontané du LCP, aidé par la présence des ligaments ménisco-fémoraux qui assurent une relative stabilité lors de la période de remaniements cicatriciels.

Innervation :

Le LCP est innervé par une branche articulaire postérieure provenant du nerf tibial avec des anastomoses du nerf fibulaire commun (54). Le LCP dispose de mécanorécepteurs situés au niveau de ses insertions tibiale et fémorale (55)(56) :

- Les mécanorécepteurs à adaptation rapide : corpuscules de Ruffini et les terminaisons nerveuses libres qui ne répondent qu'en début de stimulation.
- Les mécanorécepteurs à adaptation lente : corpuscules de Paccini et organes tendineux de Golgi qui répondent de manière continue pendant toute la durée de la stimulation.

Ces structures ont un rôle de stabilisation active du genou et de proprioception (57).

Rôle biomécanique du LCP :

Le LCP est le principal frein au tiroir postérieur genou fléchi à 90° (58)(36)(59). Selon Nielsen *et al.*, une rupture du LCP majore le tiroir postérieur de 3,8 mm à 14,1 mm genou fléchi à 90° (60). Castle *et al.* (61) ont montré que le tiroir postérieur se majore de 2,1 mm entre 30 et 50° de flexion puis de 7,4 mm entre 50° et 90° en cas de LCP rompu.

En dessous de 30° de flexion, la limitation du tiroir postérieur est assurée par le ligament collatéral latéral et le ligament poplité oblique (62).

Le LCP est également frein secondaire en rotation latérale (63). Selon Grood *et al.* (64), la rotation latérale à 90° de flexion se majore de plus de 20° en cas de section du LCP. Gollehon *et al.* (62) et Amis *et al.* (65) considèrent que le LCP est trop proche du centre de rotation du genou et n'a aucune action sur le contrôle de la rotation latérale.

La prévalence des lésions du LCP est de 1 pour 5 lésions du LCA (3). On retrouve des lésions du LCP chez 3 à 5% des patients présentant une hémarthrose selon Fanelli *et al.* (66) et LaPrade *et al.* (67). Les lésions du LCP sont à prédominance masculine avec un sexe ratio compris entre 2,15 (68) et 3,5 (69). La moyenne d'âge lors de la rupture est entre 25,2 et 28,7 ans pour Shelbourne *et al.* (4) et Russe *et al.* (69).

Les deux principales causes (6) de rupture du LCP sont :

- le traumatisme par choc direct,
- le traumatisme sportif.

Les traumatismes par choc direct ont principalement lieu lors des accidents de voiture avec un choc direct de la jambe contre le tableau de bord (*Dashboard Injury*). Selon les auteurs, 17% (70) à 81% (71) des ruptures du LCP sont liées à ce mécanisme lésionnel.

Les ruptures du LCP secondaires à un accident de sport sont retrouvées dans 18% (71) à 85% (70) des cas.

Il est cependant difficile d'établir une prévalence fiable des ruptures du LCP en raison de nombreux cas asymptomatiques. Parolie *et al.* (7) montrent que les ruptures asymptomatiques ont une incidence de 2% chez les footballeurs américains lors des phases de recrutement de la NFL.

Les ligaments ménisco-fémoraux :

Le LCP est accompagné en avant par le ligament ménisco-fémoral antérieur (ou ligament de Humphry) et en arrière par le ligament ménisco-fémoral postérieur (ou ligament de Wrisberg). Leurs insertions fémorales se situent sur la face latérale du condyle fémoral médial et se terminent au niveau de la racine postérieure du ménisque latéral.

Les ligaments ménisco-fémoral antérieur et postérieur sont parfois difficiles à individualiser lors des dissections. Aussi, on retrouve une grande variabilité de leur incidence selon les auteurs de 0% (72) à 64% (73) pour la présence des deux LMFs et de 50% (74) à 100% (75) pour la présence d'au moins un des deux LMFs.

En 2003, Gupte *et al.* (76) rapportent une prévalence de 91% d'au moins un des deux LMF et 2% des deux LMFs (42) parmi les 1022 genoux étudiés sur pièces anatomiques dans l'ensemble de la littérature. Cho *et al.* (72) retrouvent des résultats semblables sur une étude par IRM avec une prévalence de 93% d'au moins un des deux LMFs sur 100 genoux analysés.

Amis *et al.* (66) suggèrent une possible dégénérescence des ligaments ménisco-fémoraux lors du vieillissement. Par ailleurs, il n'existe pas de corrélation chez un même individu entre le genou droit et le genou gauche (77).

Les ligaments ménisco-fémoraux luttent avec le LCP contre la translation tibiale postérieure mais stabilisent également la racine postérieure du ménisque latéral.

Les ligaments ménisco-fémoraux jouent également un rôle de stabilisation secondaire du genou. Une rupture des LMFs est responsable d'une augmentation du tiroir postérieur sur un genou fléchi à 90°. D'après Gupte *et al.* (78), les LMFs représentent 28% de la résistance globale laxité antéro-postérieure sur genou sain et jusqu'à 70% sur un genou avec un LCP non compétent (65).

Le LMFA se tend lors de la flexion du genou et sa résistance à la rupture est évaluée à 300 N (78)(79). Le LMFP se tend en extension et sa résistance à la rupture du LMFP est aussi évaluée à 300 N (78).

Ligament ménisco-fémoral antérieur ou ligament de Humphry :

En 1848, Sir George Murray Humphry (1820-1896) (Figure 15), anatomiste et chirurgien anglais de Cambridge décrit le ligament ménisco-fémoral antérieur « *fibres of external semilunar cartilage passing into hinder and fore part of posterior cruciate ligament* » (47) (Figure 16). Situé en avant du ligament croisé postérieur, il a un trajet oblique en arrière et en dehors, avec une insertion fémorale proche de celle du faisceau AL du LCP, proche du cartilage articulaire distal. Son insertion distale est au niveau de la racine postérieure du ménisque latéral en avant de l'insertion du LMFP.

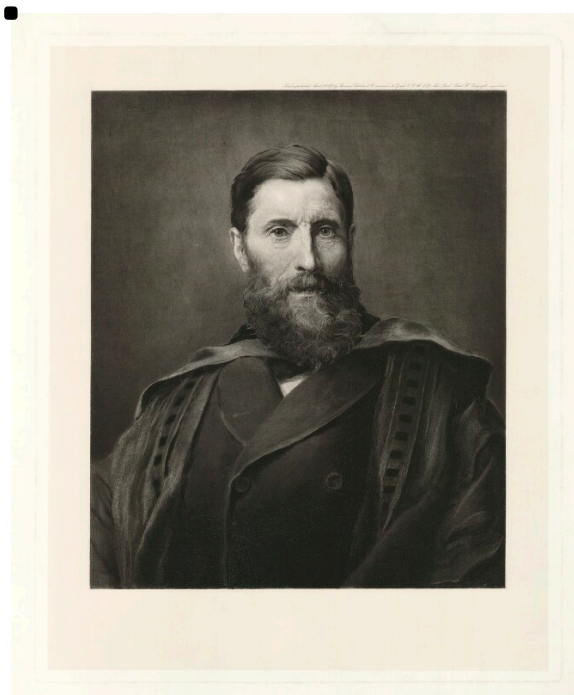


Figure 15 Sir George Murray Humphry en 1886, National Portrait Gallery, London

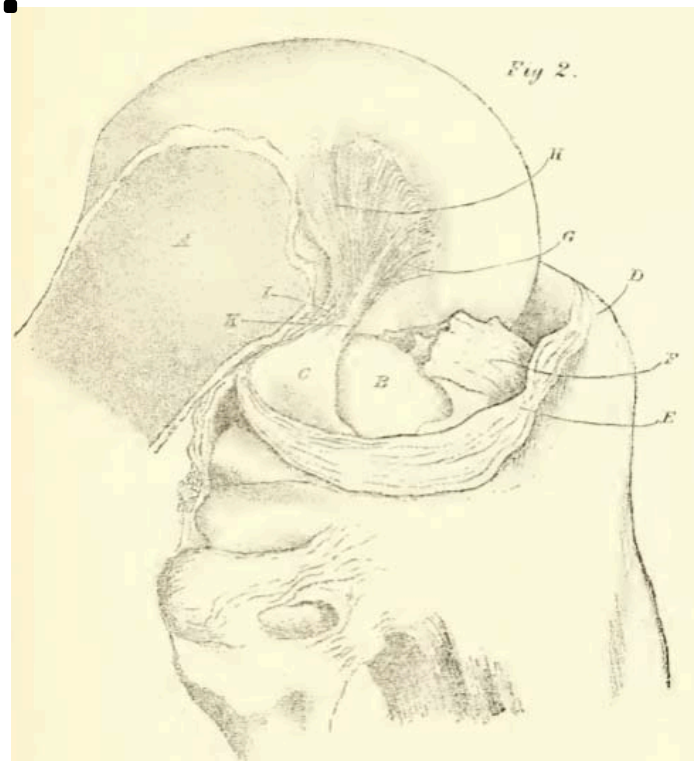


Figure 16 Illustration originale A treatise on the human skeleton (including the joints) (1858)

Dans la littérature, sa surface de section représente 20% de celle du LCP (35)(80)(78)(79)(75)(73). Son insertion fémorale occupe une surface de 35 mm² (35)(26). Le LMFA stabilise la racine postérieure du ménisque latéral (65)(81).

Ligament ménisco-fémoral postérieur ou ligament de Wrisberg :

Le ligament ménisco-fémoral postérieur a été décrit initialement par Heinrich August Wrisberg (1739-1808) (Figure 17), anatomiste allemand de Göttingen. Il s'insère au niveau de la face latérale du condyle médial, en arrière de l'insertion du LCP, proche de l'échancrure intercondylienne. Il s'insère sur la racine postérieure du ménisque latéral, en arrière de l'insertion du LMFA.



Figure 17 Portrait d'Heinrich August Wrisberg, National Library of Medicine

Sa surface de section est évaluée à 25% de celle du LCP (35)(80)(78)(79)(75)(73). Son insertion fémorale occupe une surface de 31 mm² (26). Le LMFP est tendu en extension et stabilise la racine postérieure du ménisque latéral (65)(81).

L'objectif de la reconstruction du LCP est de réduire le tiroir postérieur et de redonner une fonction proche de celle du genou natif. La reconstruction du LCP peut être réalisée sous arthroscopie ou à ciel ouvert, avec reconstruction en simple ou double faisceau, avec ou sans abord de la surface rétrospinale, avec différents types de greffes et de fixations. Les résultats cliniques des reconstructions varient dans la littérature.

Les techniques de reconstruction :

Les techniques arthroscopiques :

La ligamentoplastie du LCP peut être réalisée par voie « tout arthroscopie » (Figure 18). Les différentes techniques arthroscopiques sont réalisées par les voies classiques antéro-médiale et antéro-latérale plus ou moins associées à une voie postéro-médiale. L'instrumentation standard doit impérativement être complétée par un viseur spécifique pour le tunnel tibial afin de s'assurer un bon positionnement de celui-ci et protéger l'axe vasculaire poplité postérieur. L'utilisation d'un amplificateur de brillance est conseillée afin d'avoir un double contrôle, arthroscopique et radiographique pour le positionnement des tunnels.

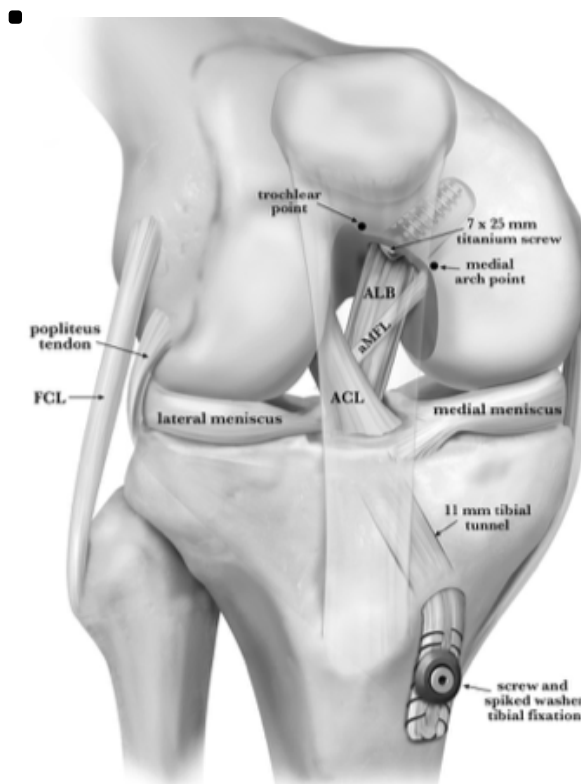


Figure 18 Reconstruction arthroscopique du LCP à un seul faisceau in-out au fémur (82)

La technique par arthrotomie avec tibia Inlay :

La technique tibia inlay impose une voie d'abord postérieure. Cette voie d'abord permet d'exposer la surface rétrospinale et améliorer le positionnement de la greffe au tibia. La technique consiste à réaliser une logette osseuse destinée à recevoir la greffe qui sera impactée et fixée (Figure 19).

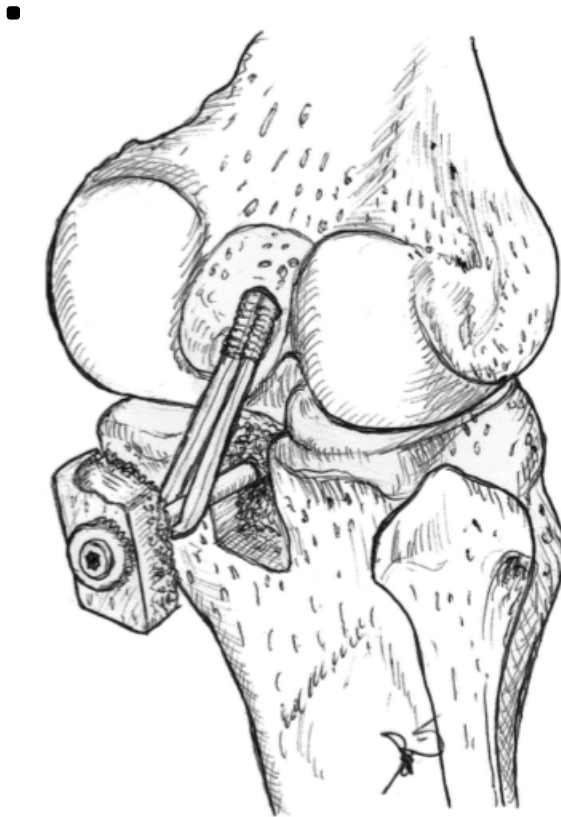


Figure 19 Reconstruction du LCP par la technique tibia Inlay (83)

La technique par arthrotomie antérieure :

L'incision cutanée large est antéro-médiale et débute au bord supéro-médial de la patella pour se terminer au niveau de la tubérosité tibiale.

Les techniques mixtes :

Les différentes techniques peuvent être associées lors d'un geste de ligamentoplastie du LCP afin de permettre un meilleur contrôle du tiroir postérieur et un meilleur positionnement de la greffe.

Ligamentoplastie à un ou deux faisceaux :

La reconstruction du LCP peut être réalisée avec un seul ou deux faisceaux.

La reconstruction à un seul faisceau doit être proche de l'insertion du faisceau antéro-latéral. En effet le faisceau AL, plus large et tendu en flexion, joue un rôle plus important dans la lutte contre la translation postérieure entre 0 et 90° (64)(62)(84)(85).

Le tunnel fémoral peut être réalisé de dedans en dehors (in-out) ou de dehors en dedans (out-in). Les auteurs (84) positionnent le viseur en intra articulaire au niveau de la jonction condyle médial – toit de l'échancrure (1h-1h30 sur un genou droit et 10h30-11h sur un genou gauche) (Figure 20) . Dans le plan sagittal, le centre du tunnel doit se trouver en arrière du cartilage articulaire distal afin que la partie la plus antérieure du tunnel se situe 3 mm en arrière du cartilage articulaire distal genou à 90° de flexion.

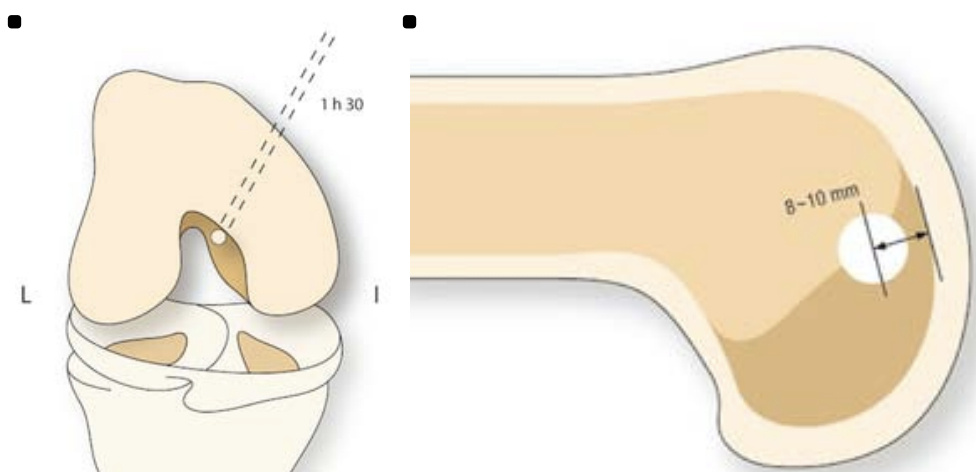


Figure 20 Positionnement du tunnel lors d'une reconstruction à un seul faisceau

Des études in-vitro ont démontré une meilleure restauration de la biomécanique du genou pour les reconstructions à deux faisceaux (85)(87)(42)(88) sans différence clinique au dernier recul (89).

D'autres techniques de reconstruction du LCP se sont développées pour reproduire les faisceaux AL et PM pour une reconstruction plus « anatomique ». Le tunnel AL est positionné comme une reconstruction mono-faisceau, et le tunnel PM se place à 3h sur un genou droit (9h sur un genou gauche), 6 à 8 mm en arrière du tunnel AL (Figure 21).

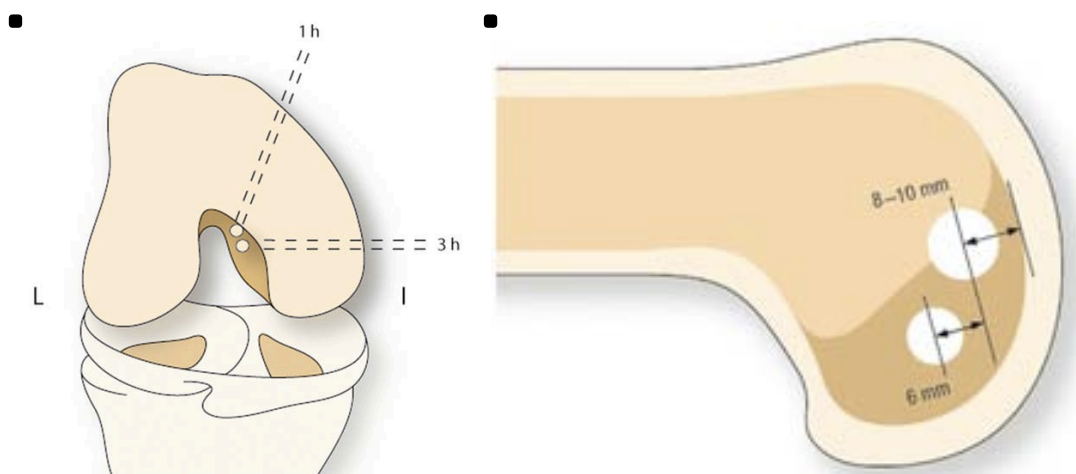


Figure 21 Positionnement des tunnels lors d'une reconstruction à deux faisceaux

Actuellement, il n'existe pas de consensus en faveur d'une reconstruction à deux faisceaux. Badet *et al.* ne retrouvent aucune différence sur leur série (88). Fanelli *et al.* (89) ne retrouvent aucune différence significative sur les résultats cliniques et les paramètres radiographiques et cliniques. Ces constatations sont rapportées par d'autres auteurs (90)(91).

Kim *et al.* (93) retrouvent seulement 75% de patients classés IKDC A ou B en post-opératoire (correspondant à un fonctionnement normal ou presque normal du genou) (Annexes 2 et 3), après une reconstruction arthroscopique isolée du LCP. Song *et al.* (94) retrouvent 83% de genoux IKDC A ou B et seulement 36% de genoux IKDC A (93).

L'objectif principal de notre étude était de préciser l'anatomie de l'insertion fémorale du LCP afin de guider au mieux une reconstruction « anatomique ». L'objectif secondaire de notre travail était de montrer que le LCP se composait d'un seul et unique faisceau anatomiquement identifiable.

MATERIEL ET METHODES

Ce travail a été réalisé au sein du Laboratoire d'Anatomie de la Faculté de Nantes (*1 rue Gaston Veil BP 53508, 44035 NANTES Cedex 1, France*) entre novembre 2017 et mai 2018, selon un protocole de recherche validé par les responsables du laboratoire d'Anatomie et par le chirurgien sénior responsable de ce travail.

Les dissections ont été réalisées par un des auteurs. Tous les genoux indemnes de traumatismes et de cicatrices ont été inclus sans limite d'âge. Les genoux présentant une rupture complète ou partielle du ligament croisé postérieur, des lésions arthrosiques évoluées de l'échancrure rendant impossible la dissection ou une pathologie de la synoviale ont été exclus. Vingt-trois genoux de sujets anatomiques frais non embaumés ont été inclus.

L'abord était réalisé par voie antéro-médiale, l'appareil extenseur était réséqué ainsi que les ligaments collatéraux et les parties molles périphériques. Une ablation du LCA et du ménisque médial était effectuée (Figures 22 – 23). L'ablation de la membrane synoviale antérieure du LCP était réalisée sous loupe microchirurgicale (*HR 2,5X, Heine Optotechnik®, Kientalstraße 7, 82211 Herrsching am Ammersee, Germany*).

Genou en extension et sujet en décubitus ventral, la dissection se poursuivait par un abord postérieur afin de mettre en évidence le LMFP lorsqu'il était présent.

Une recoupe osseuse du condyle fémoral latéral et du plateau tibial était réalisée à l'aide d'une scie oscillante afin d'individualiser l'ensemble de l'insertion fémorale du LCP, les insertions fémorales des LMFs et le ménisque latéral (Figure 24). Une attention particulière était portée à la coupe au sommet de l'échancrure afin de ne pas léser des fibres ligamentaires du LCP. La coupe osseuse tibiale était réalisée 5 cm sous l'interligne et orthogonale par rapport à l'axe anatomique du tibia (sans pente tibiale).



Figure 22 Aspect du genou fléchi à 90° avant l'ablation du LCA



Figure 23 Aspect du genou fléchi après ablation du LCA. Visualisation du LCP et du LMFA

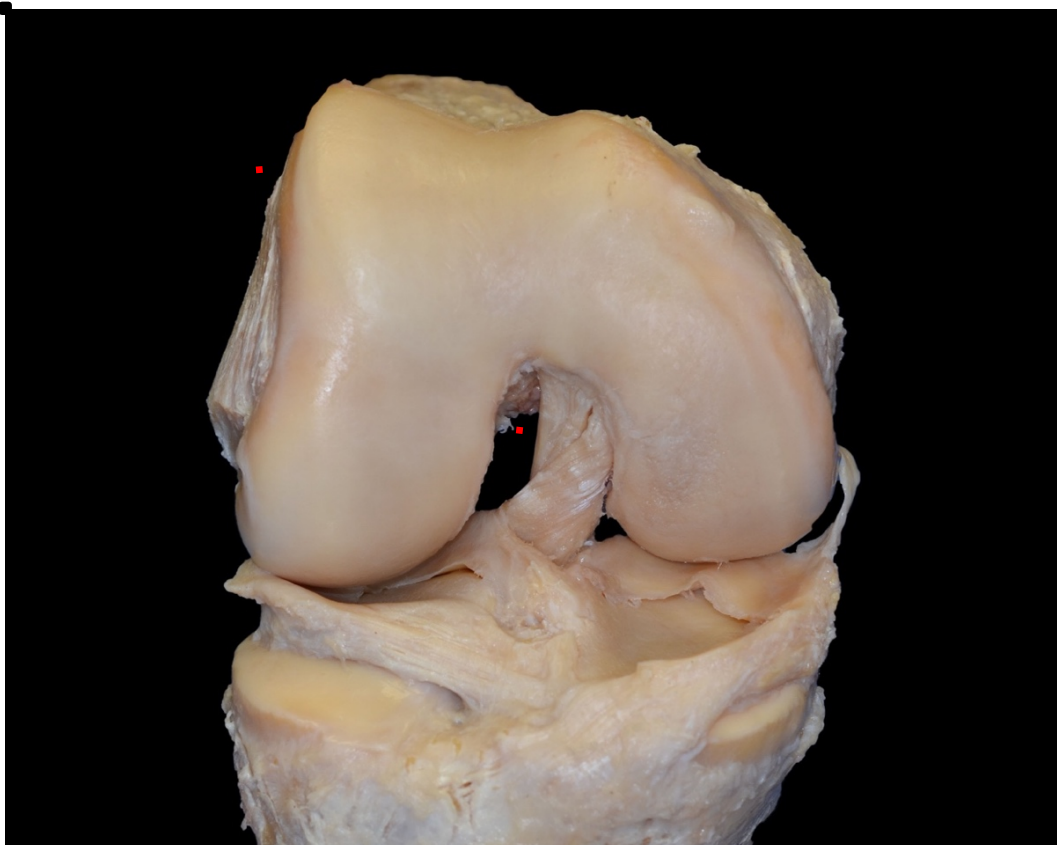


Figure 24 Schéma représentant la recoupe du condyle latéral sur la pièce de dissection



Figure 25 Aspect final de la pièce de dissection après recoupe du condyle latéral en frontal

La pièce de dissection individualisée permettait d'isoler le condyle fémoral médial, le plateau tibial dans son ensemble, le LCP, les LMFs et le ménisque latéral (Figure 25). En mobilisant le bloc fémoral, la dissection se poursuivait sous loupe microchirurgicale pour réaliser l'ablation complète de la synoviale. Une attention particulière était portée au fait de ne retirer que la membrane synoviale visible sous loupe sans réaliser d'artifice de dissection. La synoviale retirée lors de cette étape était formolée, paraffinée afin de l'analyser en microscopie optique et s'assurer de l'absence de fibres ligamentaires. Une étude originale sera publiée pour valider la dissection sous loupe microchirurgicale des fibres ligamentaires.

Après ablation complète de la synoviale, nous recherchions systématiquement une zone de clivage à l'origine d'une anatomie à un ou deux faisceaux du LCP.

Les mesures suivantes étaient réalisées de façon successive par un seul opérateur indépendant, et genou fléchi à 90° :

1. Horaire d'insertion du LMF antérieur
2. Longueur du LMF antérieur
3. Calibre médio-latéral (largeur) du LMF antérieur en son centre
4. Distance antéro-postérieure (épaisseur) de l'insertion fémorale du LMF antérieur
5. Distance entre la limite cartilagineuse distale et l'insertion fémorale du LMF antérieur
6. Horaire d'insertion du LCP
7. Longueur du LCP
8. Calibre antéro-postérieur (épaisseur) du LCP en son centre
9. Calibre médio-latéral (largeur) du LCP en son centre

Le LMFA était ensuite sectionné puis désinséré de son insertion fémorale. Le milieu de l'insertion fémorale du LCP était défini comme le milieu de l'éventail en médio-latéral. Les mesures suivantes étaient réalisées :

10. Distance antéro-postérieure de l'insertion fémorale du LCP
11. Distance médio-latérale de l'insertion fémorale du LCP
12. Distance entre le rebord cartilagineux antérieur et l'insertion proximale du LCP (Figure 26)
13. Distance entre le rebord cartilagineux distal et le milieu de l'insertion fémorale du LCP (en regard du LMFA)
14. Distance entre le rebord cartilagineux postérieur et l'insertion distale du LCP

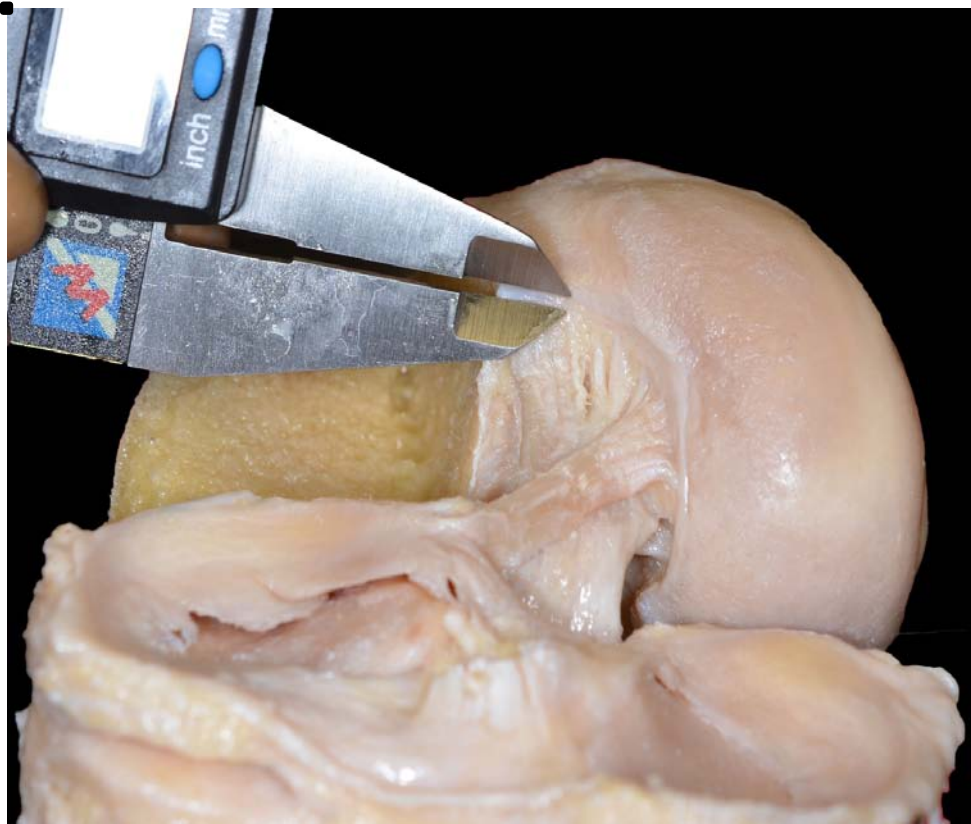


Figure 26 Mesure de la distance entre le rebord cartilagineux antérieur et l'insertion fémorale du LCP en proximal au toit de l'échancrure

Les mesures suivantes étaient réalisées à la face postérieure du genou :

15. Longueur du LMFP
16. Calibre médio-latéral (largeur) du LMFP en son centre

Nous utilisons pour préciser les insertions, la méthode de l'horloge souvent utilisée en arthroscopie et dans les descriptions anatomiques. Pour cela, le genou est photographié de face à 90° de flexion. Un cercle est ensuite dessiné au centre du genou afin que l'ensemble de l'échancrure soit compris dans le cercle (Figure 27). La position 12h correspond au sommet de l'échancrure. Les horaires d'insertion du LMFA et du LCP sont ainsi relevés.

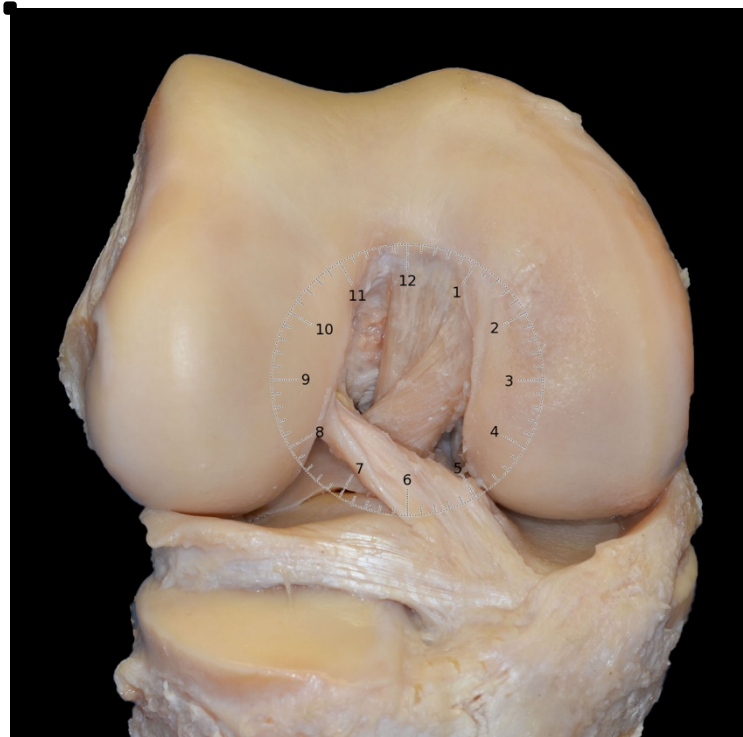


Figure 27 Illustration de la méthode de l'horloge sur un genou fléchi à 90°

L'ensemble des mesures est effectué à l'aide d'un pied à coulisse manuel millimétrique Splash-Proof Digital Caliper® (*Digital Measurement Metrology, 26 Automatic Road, Brampton, ON,*

Canada L6S 5N7) de précision à 0,01 mm. Les différentes mesures étaient répertoriées dans un tableur Numbers[®] (*Apple Inc., 1 Infinite Loop, Cupertino CA 95014, USA*).

Des photographies numériques ont été réalisées à chaque étape de la dissection à l'aide d'un appareil Nikon Reflex D5000[®] (*Shinagawa Intercity Tower C, 2-15-3, Konan, Minato-ku, Tokyo 108-6290 Japan*).

En fin de procédure, le sujet anatomique était restitué.

RESULTATS

L'ensemble des résultats a été consigné sur le tableau Annexe 1.

Anatomie macroscopique du LCP :

Pour les 23 genoux étudiés (11 droits et 12 gauches), 12 genoux appartenait à des sujets masculins et 11 genoux à des sujets féminins. L'âge moyen des patients était de 85,03 ans (72 – 106,58 ans). Aucun genou n'a été exclu.

Après ablation complète de la synoviale, le LCP était constitué d'un seul et unique faisceau tendu en ruban dans l'ensemble des cas (Figure 28). Par mobilisation en rotation latérale du condyle fémoral, nous obtenions un LCP plat.



Figure 28 Anatomie à un seul faisceau du LCP

Fréquence des ligaments ménisco-fémoraux :

Le LMFA était retrouvé dans 20 des 23 genoux étudiés (87 %) alors que le LMFP était présent dans 18 des 23 genoux (78 %).

Les deux LMFs étaient retrouvés dans 15 genoux (65 %) (Figures 29 – 30) et au moins un des LMf était retrouvé dans l'ensemble des cas.

Ligament ménisco-fémoral antérieur :

La longueur du LMFA était de 24,25 mm en moyenne (21,38 – 27,39). Son calibre médio-latéral était de 5,99 mm en moyenne (4,25 – 7,99).

L'insertion fémorale du LMFA se situait en moyenne à 12 mm (9 – 14) sur un genou droit (Figure 29) et en moyenne à 49 mm (47 – 52) sur un genou gauche.

La distance antéro-postérieure de l'insertion du LMFA était de 9,19 mm et son insertion fémorale se trouvait à 2,07 mm du rebord cartilagineux distal du fémur (Figure 31).

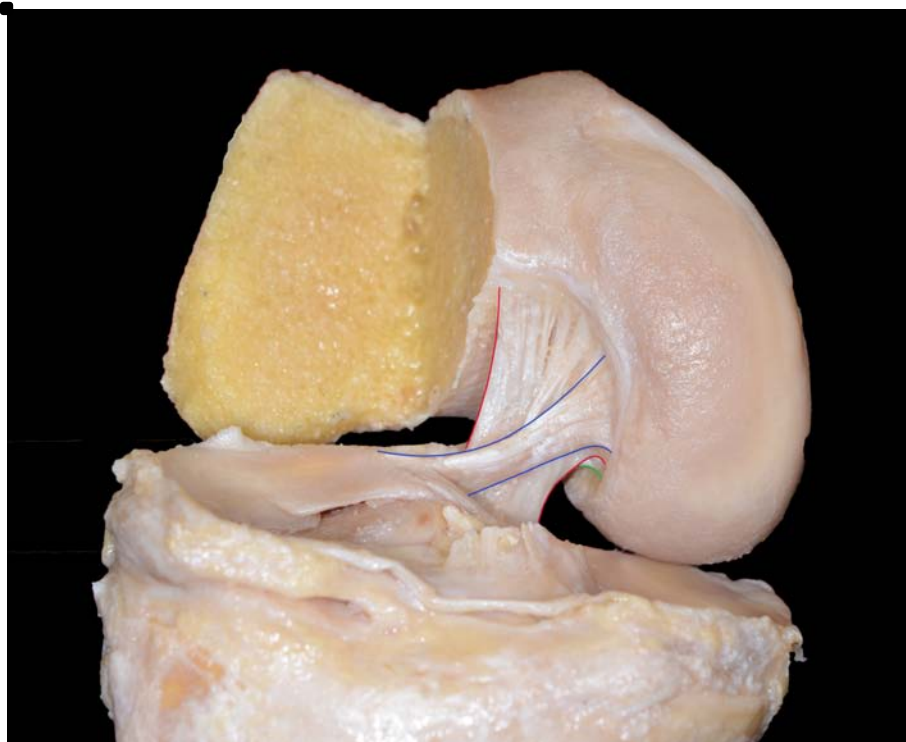


Figure 29 Visualisation du LMFA (bleu), LCP (rouge) et LMFP (vert) sur un genou en frontal

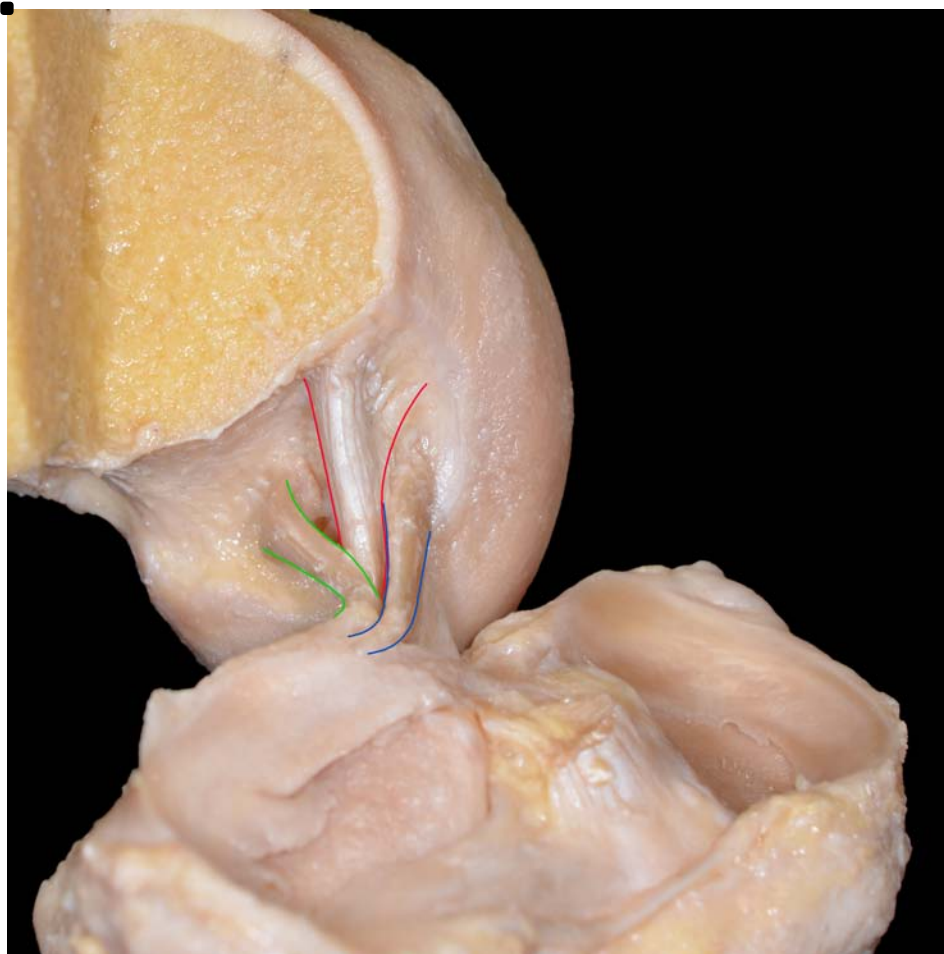


Figure 30 Visualisation du LMFA (bleu), LCP (rouge) et LMFP (vert) sur un genou en sagittal



Figure 31 Insertion fémorale du LCP et du LMFA, genou en hyperflexion

Ligament ménisco-fémoral postérieur :

La longueur du LMFP était de 26,28 mm en moyenne (22,15 – 29,59) (Figure 32). Son calibre médio-latéral était de 4,96 mm en moyenne (3,13 – 7,02).

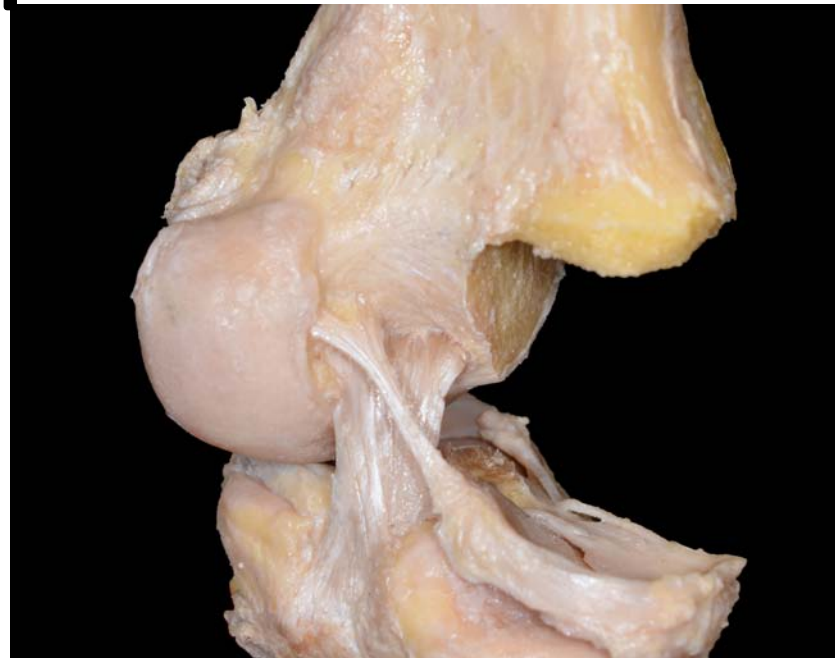


Figure 32 Insertion fémorale du LCP et du LMFP

Insertion fémorale du LCP :

L'insertion fémorale du LCP était comprise entre 58 min et 25 min sur les genoux droits avec une distribution moyenne de 22 min. Elle était comprise entre 40 min à 2 min sur un genou gauche avec une distribution moyenne de 15 min. Le milieu de l'insertion fémorale du LCP se situait à 11 min en moyenne (10 – 14) sur un genou droit et à 52 min en moyenne (49 – 54) sur un genou gauche.

La longueur moyenne du grand axe LCP était de 32,86 mm (28,04 – 36,90).

Les calibres médio-latéral et antéro-postérieur étaient respectivement de 11,26 mm (8,56 – 14,01) et de 9,17 mm (6,93 – 14,02) en son centre.

La longueur de l'insertion fémorale du LCP était de 21,51 mm en moyenne (17,28 – 24,14) en antéro-postérieur et de 13,38 mm en moyenne (10,65 – 16,53) en médio-latéral (Figure 34). L'insertion fémorale du LCP se trouvait à 2,45 mm (1,23 – 4,01) du rebord cartilagineux antérieur au niveau du toit de l'échancrure et à 5,99 mm (4,42 – 7,80) du rebord cartilagineux distal après résection du LMFA (Figures 33 et 35).



Figure 33 Insertion fémorale du LCP après résection du LMFA, genou en hyperflexion



Figure 34 Insertion fémorale du LCP après résection du LMFP



*Figure 35 Insertion fémorale du LCP sur genou de profil après résection de l'insertion du
LMFA (rouge) et du LMFP (vert)*

DISCUSSION

Notre étude nous montre que **le milieu de l'insertion fémorale du LCP débute à 6 mm du rebord cartilagineux distal. Notre étude montre que le LCP est constitué d'un seul faisceau plat.**

Cette étude anatomique était réalisée selon un protocole de dissection strict sur plus de 20 genoux. Elle précise l'insertion fémorale du LCP et des LMFs du genou en flexion à 90° afin de guider au mieux les reconstructions « anatomiques » du LCP.

La principale limite de notre étude était l'âge élevé de nos sujets et les risques d'artifice de dissection malgré l'utilisation de loupe microchirurgicale.

Le milieu de l'insertion fémorale du LCP débute à 6 mm du rebord cartilagineux distal.

La longueur de son insertion fémorale s'étend sur 21,51 mm en antéro-postérieur et 13,38 mm en médio-latéral, formant un large éventail à base fémorale. Amis *et al.* (35) retrouvent une insertion fémorale qui s'étend sur plus de 20 mm en antéro-postérieur, décrivant une forme de demi-lune. Son insertion ne se limite pas uniquement à la face latérale du condyle médial, mais s'étend au toit de l'échancrure intercondylienne : elle s'étend de 58 minutes à 25 minutes sur le genou droit (de 40 à 2 minutes sur le genou gauche) (Figure 36).

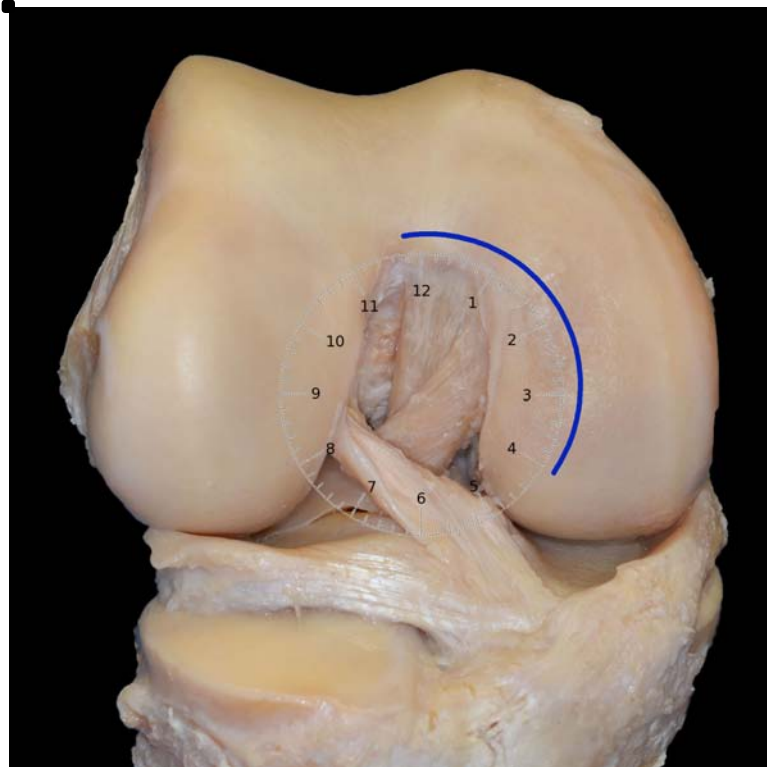


Figure 36 Zone d'insertion du LCP (en bleu) grâce à la méthode de l'horloge

Ces données sont en accord avec la littérature ; Kato *et al.* (28) décrivent l'insertion du LCP de 12h à 4h sur un genou droit (8 à 12h sur un genou gauche) ; Selon Meija *et al.* (30), l'insertion fémorale du LCP s'étendait de 11:21 $\pm$ 15 minutes à 4:12 $\pm$ 20 minutes sur un genou droit et de 12:39 $\pm$ 15 minutes à 7:48 $\pm$ 20 minutes sur un genou gauche. Pour Edwards *et al.* (95), le faisceau antéro-latéral est fixé entre 12 heures et 9 heures et le faisceau postéro-médial entre 10h30 et 7h30 sur un genou gauche.

Dans notre étude, l'insertion proximale du LCP (en bleu sur Figure 37) se situait à 2,45 mm en moyenne du rebord cartilagineux antérieur, au niveau du toit de l'échancrure et à 2,88 mm du rebord cartilagineux en distal. Ces valeurs sont retrouvées dans la littérature (30).

En revanche, nous avons observé une différence avec les valeurs relevées au niveau du milieu de l'insertion du LCP (en rouge sur Figure 37), en arrière du LMFA. Meija *et al.* (30) retrouvent

une implantation du LCP à 2,38 mm du cartilage distal pour la portion moyenne. Selon lui, il n'existe aucune différence significative entre le rebord cartilagineux et l'insertion fémorale du LCP selon la position sur l'horloge (Figures 38 et 39).

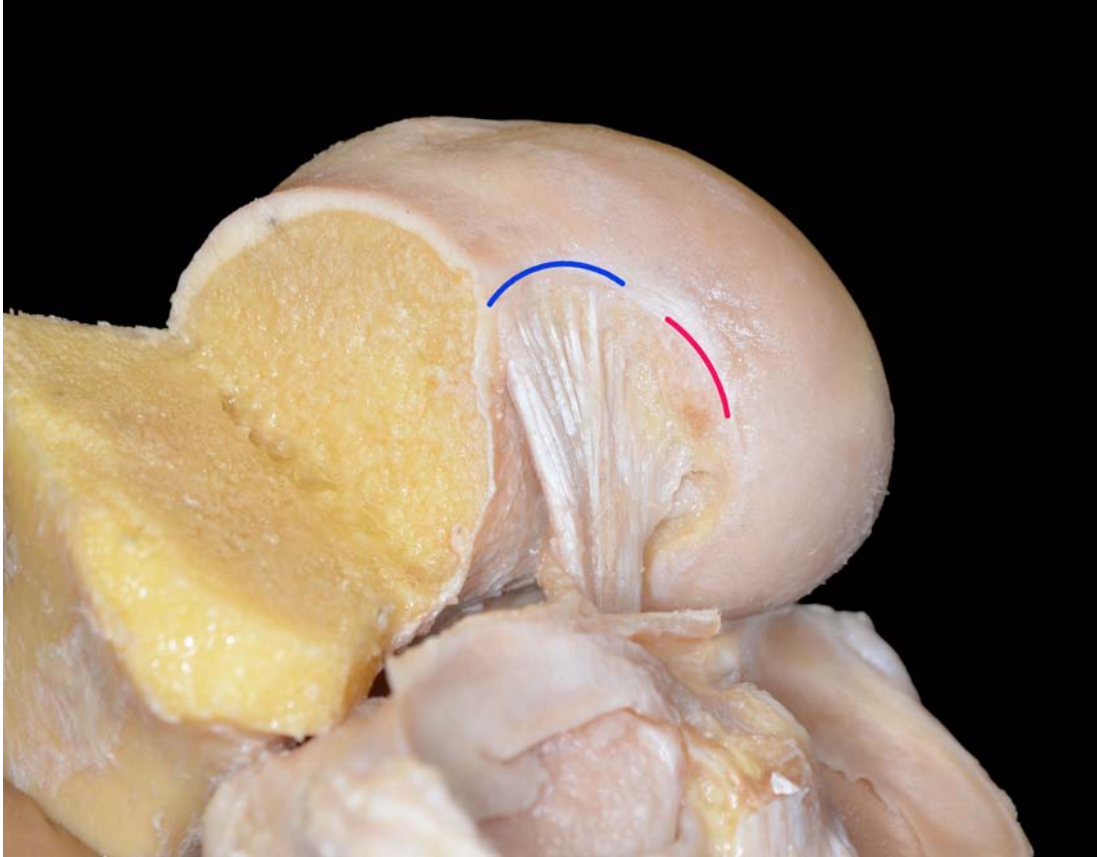


Figure 37 Visualisation de l'insertion fémorale proximale du LCP (bleu) et milieu de l'insertion fémorale du LCP (rouge) du LCP après résection du LMFA

Measurement	Distal (mm)
Perpendicular to the cartilage	
12 o'clock	2.54 ± 1.0
1 o'clock	2.38 ± 0.7
2 o'clock	2.38 ± 0.5
3 o'clock	2.54 ± 0.5
4 o'clock	2.71 ± 0.7

Figure 38 Distance entre le rebord cartilagineux et l'insertion fémorale du LCP en différents points de l'horloge selon Mejia et al. (30)

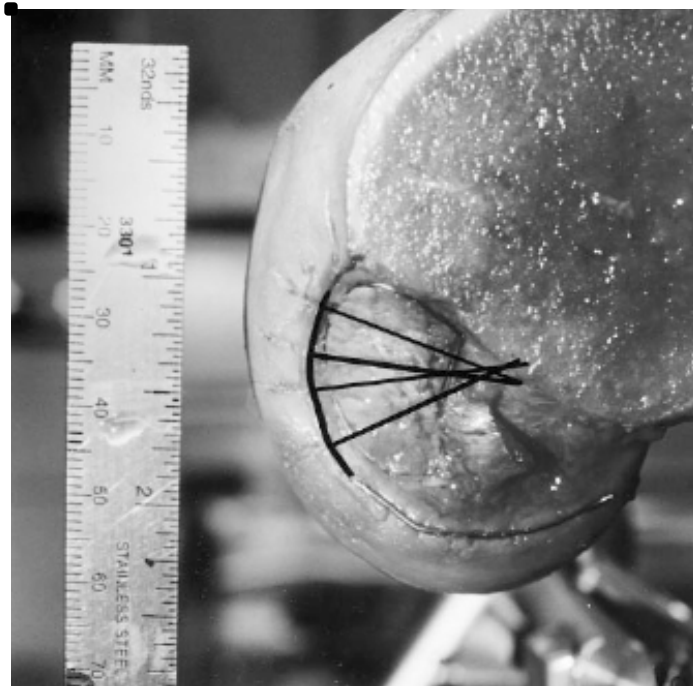


Figure 39 Mesure de la distance entre le rebord cartilagineux et l'insertion fémorale du LCP selon Mejia et al. (30)

Dans notre étude, le LCP forme un éventail de fibres qui ne se répartissent pas de manière uniforme en arrière du rebord cartilagineux distal. Après résection du LMFA, l'insertion du LCP dans sa portion moyenne se trouve à 5,99 mm en moyenne du rebord cartilagineux distal. Ces résultats sont cohérents avec les travaux d'Edwards *et al.* (95) qui retrouvent le centre moyen

du faisceau antéro-latéral à 10h20, à 7 ± 2 mm du bord cartilagineux et le faisceau postéro-médial était à 8h30, à 10 ± 3 mm du bord du cartilage sur des genoux gauches (Figure 40)

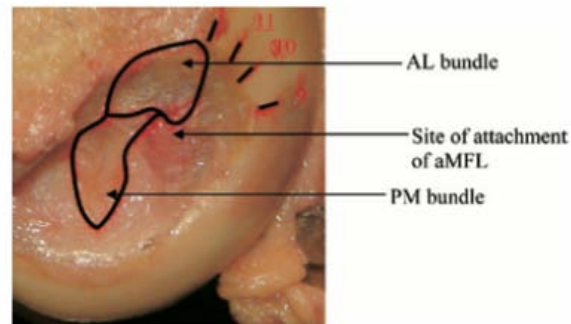


Figure 40 Vue de dissection face latérale condyle médial : insertion du faisceau antéro-latéral, postéro-médial et du ligament ménisco-fémoral antérieur

Anderson *et al.* (26) décrivent le centre du faisceau antéro-latéral à 7,4 mm du sommet de l'échancrure, à 11,0 mm du bord médial de l'échancrure. En ce qui concerne le faisceau postéro-médial, il est à 11,1 mm du bord médial de l'échancrure, à 10,8 mm du point postérieur et à 5,8 mm du rebord cartilagineux distal (Figure 41).

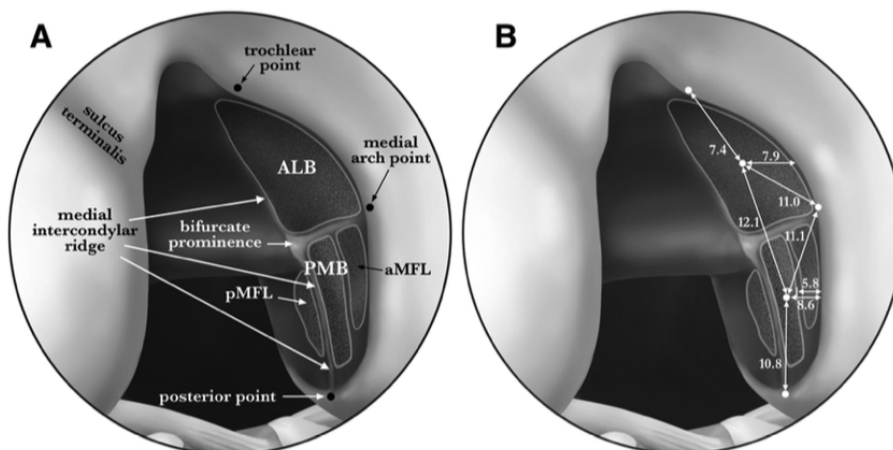


Figure 41 (A) Illustration de la vue arthroscopique de l'insertion du LCP et des LMFs. (B)

Illustration des mesures des insertions du LCP et des LMFs en mm selon Anderson *et al.* (26)

Le LCP est constitué d'un seul faisceau plat.

Notre travail conforte les observations de Kato *et al.* (28) selon lesquelles le LCP ne serait pas constitué d'un faisceau antéro-latéral et postéro-médial, mais d'un ruban plat torsadé autour de son axe.

Le LCP est oblique en bas et en dehors. Il forme un éventail large inséré sur la face latérale du condyle fémoral médial pour se terminer au tibia sur la surface rétro spinale.

Les descriptions ne sont pas consensuelles dans la littérature. Kato *et al.* (28) décrivent une anatomie à un seul faisceau en forme de ruban fin, Mejia *et al.* (30) considèrent le LCP comme un continuum de fibres ou encore Makris *et al.* (29) décrivent une anatomie complexe à quatre faisceaux. Cependant, la majeure partie des auteurs s'accordent sur une anatomie à deux faisceaux anatomiquement séparés (39)(88)(35).

Nous n'avons jamais mis en évidence de zone de clivage transfixiante au sein du LCP pouvant faire suspecter la présence d'autres faisceaux. Sur un genou de face en flexion, la présence du LCA et de la synoviale peuvent induire une erreur en ce qui concerne la visualisation du LCP. Après ablation soigneuse du LCA, le LMFA peut donner un aspect de double faisceau. Celui-ci est en rapport direct avec la face antérieure du LCP et son trajet plus oblique peut faire évoquer le faisceau antéro-latéral du LCP (Figure 42).

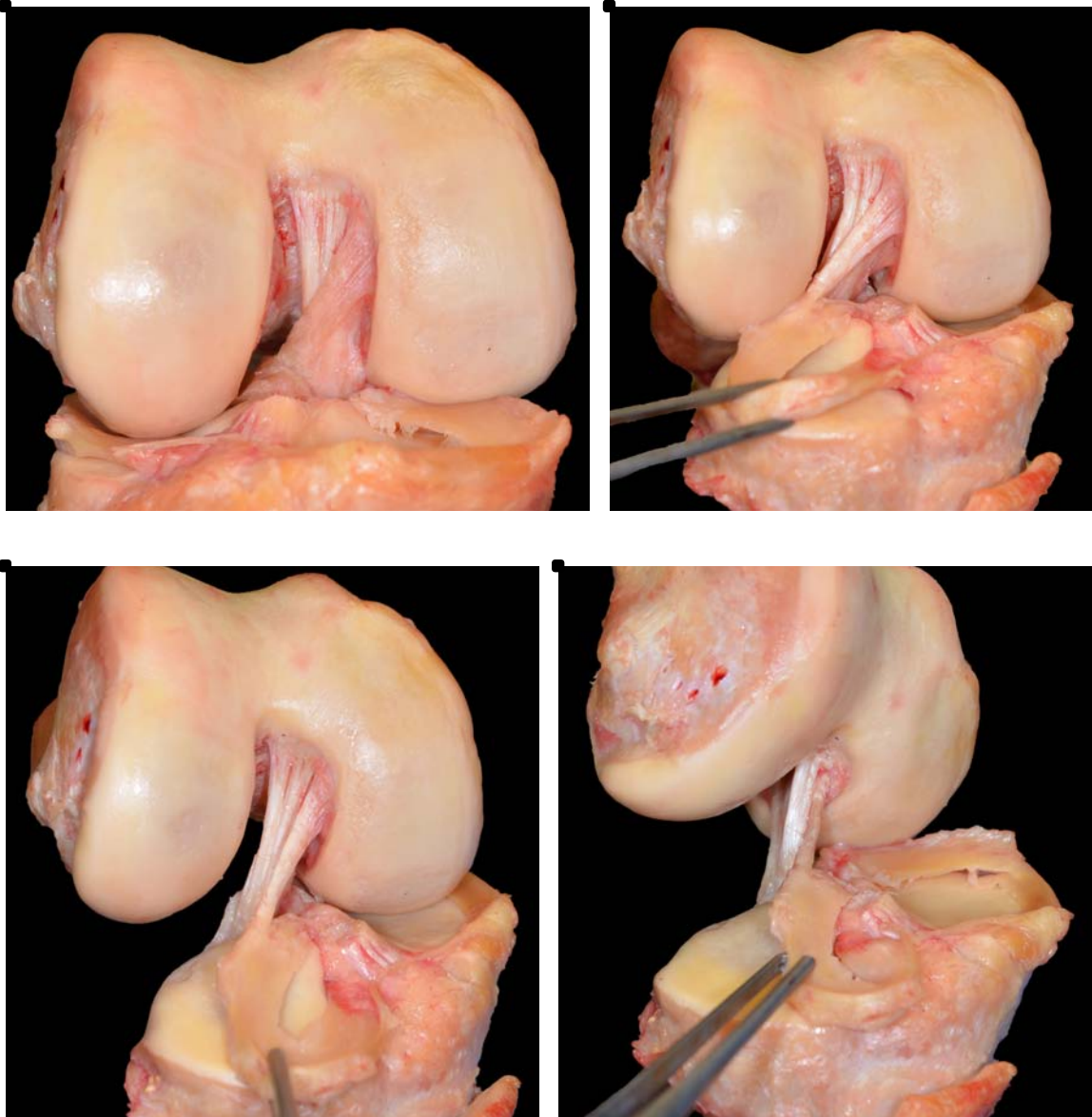


Figure 42 Aspect évocateur en double faisceau, puis après ablation du LCA et de la synoviale, mise en évidence d'un LCP monofaisceau

Les ligaments ménisco-fémoraux :

Bien qu'inconstants, nous avons retrouvé dans notre travail la présence d'au moins un des deux LMF dans 100% des cas. Le LMFA était retrouvé dans 87% des cas contre 78% pour le LMFP. Dans 65% des cas les deux LMFs étaient présents.

La prévalence des LMFs est assez variable dans la littérature : de 82 à 100 % pour la présence d'au moins un LMF, de 0 à 88 % pour le LMFA, de 15 à 100% pour le LMFP et de 0 à 64% pour les deux LMFs (Tableaux 1 et 2).

Röhrich *et al.* (96) retrouvent la présence d'un moins un LMF dans 94%, du LMFA dans 71%, du LMFP dans 71% et 47% pour les deux LMFs sur une série de 342 patients par analyse IRM. Il ne retrouve pas de différence significative de prévalence chez les hommes et les femmes.

Auteur	Nombre de sujets	Au moins un LMF présent	LMFA présent	LMFP présent	Deux LMFs présents
--------	------------------	-------------------------	--------------	--------------	--------------------

Dissection

Notre étude	23	100%	87%	78%	65%
Cho <i>et al.</i> (72)	28	89,3%	0%	89,3%	0%
Kusayama <i>et al.</i> (75)	26	100%	69,2%	76,9%	46,2%
Kato <i>et al.</i> (28)	17	100%	35,3%	17,6%	47,1%
Harner <i>et al.</i> (88)	8	100%	50%	75%	25%
de Abreu <i>et al.</i> (97)	10	100%	50%	70%	50%
Yamamoto <i>et al.</i> (98)	100	100%	76%	73%	49%
Nagasaki <i>et al.</i> (99)	30	100%	16,7%	100%	16,7%
Poynton <i>et al.</i> (73)	42	100%	83,3%	90,5%	64,3%
Han <i>et al.</i> (100)	100	87%	1%	87%	1 %
Kohn <i>et al.</i> (77)	92	?	50%	76%	?
Brantigan <i>et al.</i> (101)	50	100%	40%	60%	6%
Wan et Felle (102)	60	100%	33,3%	93,3%	23,3%

Tableau 1 Prévalence des ligaments ménisco-fémoraux selon les études

Auteur	Nombre de sujets	Au moins un LMF présent	LMFA présent	LMFP présent	Deux LMFs présents
--------	------------------	-------------------------	--------------	--------------	--------------------

IRM

Röhrich <i>et al.</i> (96)	342	94,4%	70,5%	71,3%	47,4%
de Abreu <i>et al.</i> (97)	49	100%	55,1%	93,9%	44,9%
Grover <i>et al.</i> (103)	610	59%	24%	23%	12%
Watanabe <i>et al.</i> (104)	200	?	33%	33%	3%
Lee <i>et al.</i> (105)	138	82,6%	4,3%	79,7%	1,4%
Erbagci <i>et al.</i> (106)	100	82%	12%	42%	28%
Miller <i>et al.</i> (107)	173	82%	59%	20%	3%
Bintoudi <i>et al.</i> (108)	500	92,4%	11,8%	64,4%	16,2%
Vahey <i>et al.</i> (74)	109	50%	9%	12%	1%
Nagasaki <i>et al.</i> (99)	38	84,2%	36,8%	71,1%	26,3%
Ebrecht <i>et al.</i> (109)	448	71%	22%	53%	5%

Arthroscopie

Gupte <i>et al.</i> (110)	68	94,1%	88,2%	14,7%	8,8%
Niess <i>et al.</i> (111)	122	95,9%	58,2%	82%	42,6%

Tableau 2 Prévalence des ligaments ménisco-fémoraux selon les études

Ligament ménisco-fémoral antérieur :

La longueur du LMFA était de 24,25 mm en moyenne dans notre étude contre 22 +/-3 mm pour Röhrinch *et al.* (96) (Tableau 3) qui ne retrouvent pas non plus de différence significative entre les hommes et les femmes. Le calibre du LMFA est dans notre étude mesuré à 5,99 mm, ce qui correspond aux données de la littérature (28)(73).

La distance antéro-postérieure de l'insertion du LMFA était de 9,19 mm dans notre série contre 8,7 pour Kato *et al.* (28).

L'insertion fémorale du LMFA était distincte de celle du LCP chez tous nos sujets, contrairement à Mejia *et al.* (30) qui retrouvaient des fibres entrelacées au niveau de son insertion fémorale entre le LMFA et le LCP dans 7 des 9 genoux présentant un LMFA. L'insertion du LMFA se trouvait en moyenne à 12 minutes sur le genou droit (49 minutes sur le genou gauche). Son insertion fémorale du LMFA se situait à 2,07 mm en arrière du rebord cartilagineux distal et se trouvait en avant des fibres les plus distales du LCP.

Auteur	Longueur du LMFA	Calibre du LMFA	Horaire d'insertion du LMFA	Distance du rebord cartilagineux
Notre étude	24,25 mm	5,99 mm	12 min (D) 49 min (G)	2,07 mm
Amis <i>et al.</i> (35)	?	?	10 h (G)	Adjacent
Röhrinch <i>et al.</i> (96)	22 mm	?	?	?
Kato <i>et al.</i> (28)	?	5,7 mm	Entre 2 h et 4 h (D) Entre 8 h et 10 h (G)	?
Poynton <i>et al.</i> (73)	27,09 mm	5,09 mm	?	?

Tableau 3 Revue de la littérature des caractéristiques du LMFA selon les études

Ligament ménisco-fémoral postérieur :

La longueur du LMFP était de 26,28 mm en moyenne ce qui s'approche des valeurs de la littérature de 28 +/-4 mm (96) (Tableau 3). Comme Han *et al.* (100), nous n'avons pas retrouvé de différence significative de longueur ou de largeur des LMFP selon le sexe, contrairement à Ebrecht *et al.* (109) qui retrouvent un LMFP plus long chez les hommes de façon significative. Il ne retrouvait par ailleurs pas de différence de largeur selon le sexe.

Dans notre étude, le calibre médio-latéral du LMFP était de 4,96 mm en son centre ce qui correspond aux données des études (Tableau 4).

L'insertion fémorale du ligament ménisco-fémoral postérieur était dans la partie la plus postérieure et la plus proximale de l'insertion fémorale du LCP et était distinctement séparée dans tous les genoux comme sur les travaux de Meija *et al.* (30) et Amis *et al.* (35).

Auteur	Type d'étude	Longueur du LMFP	Calibre du LMFP
Notre étude	Cadavérique	26,28 mm	4,96 mm
Yamamoto <i>et al.</i> (98)	Cadavérique	31,24 mm	3,84 mm
Osti <i>et al.</i> (112)	Cadavérique	23,75 mm	3,62 mm
Han <i>et al.</i> (100)	Cadavérique	26,6 mm (H) 24,5 mm (F)	?
Poynton <i>et al.</i> (69)	Cadavérique	31,1 mm (H) 27,6 mm (F)	5,5 mm (H) 4,7 mm (F)
De Abreu <i>et al.</i> (97)	IRM	18 mm	?
Erbagci <i>et al.</i> (106)	IRM	28,8 mm (H) 25,6 mm (F)	2,3 mm (H) 2,3 mm (F)
Ebrecht <i>et al.</i> (109)	IRM	28,02 mm (H) 25,43 mm (F)	2,21 mm (H) 2,32 mm (F)

Tableau 4 Revue de la littérature des caractéristiques du LMFP selon les études

Le bon positionnement du tunnel fémoral du LCP est un élément capital pour garantir le succès d'une ligamentoplastie. Il n'existe aucun consensus clairement établi pour garantir son bon positionnement. Apsingi *et al.* (113) comparent donc les données de la littérature concernant le positionnement du tunnel fémoral et concluent à une forte variabilité des données (Figure 42).

First author	Ref	Position of the anterolateral bundle (right knee)	Position of the posteromedial bundle (right knee)
Aglietti P	[1]	5 mm from articular cartilage at 1 o'clock	
Ahn JH	[2]	10 mm posterior to articular cartilage 1 o'clock	
Chen CH	[4]	8–10 mm from articular cartilage 1.30 o'clock	
Christel P	[5]	1 o'clock centered 7 mm behind articular cartilage	Centered on the PCL attachment at 3:30 o'clock
Cooper DE	[7]	6–8 mm from articular cartilage 1 o'clock	
In Y	[18]	8 mm from articular cartilage 2 o'clock	
Jung YB	[19]	1 o'clock 5–6 mm proximal to the articular cartilage	
Kim SJ	[20]	8 mm posterior to the articular junction at the 1:30 o'clock	
KimSJ	[21]	8 mm posterior to articular cartilage at 1.30 o'clock	
KimSJ	[22]	7 mm posterior to articular cartilage at 1:30 o'clock	8 mm posterior to articular cartilage at 3 o'clock
Lill H	[23]	1 o'clock 8 mm proximal to articular cartilage	
Mariani PP	[25]	10 mm posterior to articular cartilage of medial femoral condyle and 13 mm inferior to roof of intercondylar notch in the foot print	Inferior and deeper in intercondylar notch than anterolateral tunnel in PCL foot print
Noyes FR	[28]	6 mm from articular cartilage at 1 o'clock	8 mm from articular cartilage at 3 o'clock
Noyes FR	[29]	6 mm from articular cartilage at 1 o'clock	8 mm from articular cartilage at 3 o'clock
Nyland J	[30]	5 mm from articular cartilage at 1 o'clock	12 mm from articular cartilage 3 o'clock
Pinczewski LA	[31]	8–10 mm from articular cartilage at 1 o'clock	
Stahelin AC	[35]	13 mm below top of the roof of intercondylar notch and 13 mm from articular cartilage	20 mm from the roof of intercondylar notch and 8 mm from articular cartilage
Wang CJ	[36]	7–8 mm from articular cartilage centered between anterior and posterior articular margins of medial femoral condyle	
Wang CJ	[37]	Single bundle PCL: 4–5 mm from articular cartilage, centered between anterior and posterior articular margin of MFC	Double bundle both tunnels in the foot print 1 cm apart in antero-posterior direction
Wang CJ	[38]	5–6 mm from articular cartilage centered between anterior and inferior articular margins	

Figure 42 Emplacement des tunnels fémoraux lors des reconstructions du LCP, Revue de littérature par Apsingi et al. (113)

Actuellement (86), l'emplacement du tunnel fémoral doit se trouver entre 1h et 1h30 sur un genou droit fléchi à 90°(114)(115)(116). Le tunnel doit débiter à 2 mm en retrait du cartilage articulaire distal du fémur (117) (Figure 43).

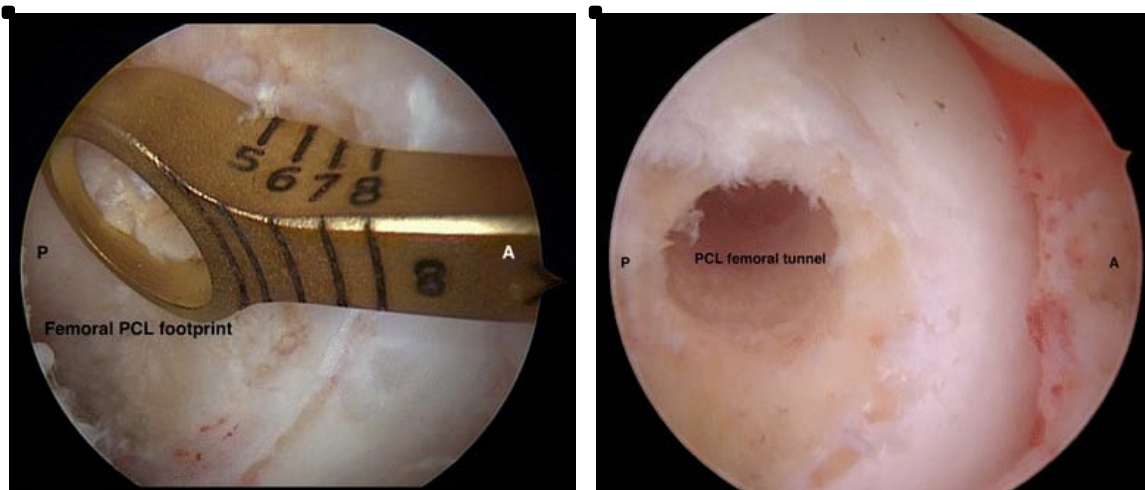


Figure 43 Emplacement du tunnel fémoral en vue arthroscopique (117)

CONCLUSION

L'objectif de la reconstruction du LCP est de réduire le tiroir postérieur afin de restituer une cinématique et une fonction proches du genou natif.

Notre étude anatomique suggère un positionnement différent du milieu de l'insertion fémorale du LCP, situé à 6 mm en retrait du cartilage articulaire distal du fémur.

L'insertion fémorale du LCP forme un large éventail qui dépasse souvent le toit de l'échancrure. Cette insertion fémorale ne se distribue pas de manière homogène en arrière du cartilage articulaire distal. Seules ses portions proximales et distales sont adjacentes au cartilage, alors que sa portion moyenne se trouve plus en retrait, en arrière du ligament ménisco-fémoral antérieur.

Notre étude valide le travail de Kato *et al.* (28). Le LCP est une structure anatomique complexe, composée d'un seul faisceau plat en forme de ruban (Figure 44).

Clinical relevance : Un positionnement anatomique du LCP au fémur pourrait permettre d'améliorer les résultats cliniques et biomécaniques de nos ligamentoplasties.



Figure 44 Anatomie en ruban plat, fin et torsadé du LCP

ANNEXES

[illegible]

Annexe 1 Tableau de mesure lors des dissections

Nom du patient :

Date de naissance : / /

Prénom :

Date de l'examen : / /

International Knee Documentation Committee (IKDC)

SYMPTOMES

Basez vos réponses sur le plus haut niveau d'activité que vous pensez être capable d'accomplir sans avoir de symptômes significatifs, même si vous ne faites pas actuellement ces activités.

1. Quel est le plus haut niveau d'activité que vous pouvez accomplir sans souffrir du genou ?

- ☐ Activités très intenses comportant sauts et rotations comme au basket ou au football.
- ☐ Activités intenses comme un travail physique dur, le ski ou le tennis.
- ☐ Activités modérées comme un travail physique moyen, la course à pied ou le jogging.
- ☐ Activités douces comme la marche, les travaux ménagers ou le jardinage.
- ☐ Aucune des activités ci-dessus ne m'est possible à cause de la douleur.

2. Au cours des 4 dernières semaines, ou depuis votre accident/blessure, combien de fois avez-vous souffert du genou (de 0 à 10)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Jamais	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Constamment

3. Indiquez l'intensité de la douleur en cochant la case correspondante (de 0 à 10)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Aucune douleur	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	La pire douleur imaginable

4. Au cours des 4 dernières semaines, ou depuis l'accident/la blessure, votre genou était-il raide ou enflé ?

- ☐ Pas du tout
- ☐ Un peu
- ☐ Moyennement
- ☐ Beaucoup
- ☐ Enormément

5. Quel est le plus haut niveau d'activité que vous pouvez accomplir sans que votre genou n'enfle ?

- ☐ Activités très intenses comportant sauts et rotations comme au basket ou au football
- ☐ Activités intenses comme un travail physique dur, le ski ou le tennis
- ☐ Activités modérées comme un travail physique moyen, la course à pied ou le jogging
- ☐ Activités douces comme la marche, les travaux ménagers ou le jardinage
- ☐ Aucune des activités ci-dessus ne m'est possible à cause de mon genou enflé

6. Au cours des 4 dernières semaines, ou depuis l'accident/la blessure, y a-t-il eu un blocage ou un accrochage de votre genou ?

- ☐ Oui
- ☐ Non

Annexe 2 Score IKDC

Nom du patient :

Date de naissance : / /

Prénom :

Date de l'examen : / /

7. Quel est le plus haut niveau d'activité que vous pouvez accomplir sans que votre genou ne se dérobe ?

- ☐ Activités très intenses comportant sauts et rotations comme au basket ou au football
- ☐ Activités intenses comme un travail physique dur, le ski ou le tennis
- ☐ Activités modérées comme un travail physique moyen, la course à pied ou le jogging
- ☐ Activités douces comme la marche, les travaux ménagers ou le jardinage
- ☐ Aucune des activités ci-dessus ne m'est possible à cause de mon genou qui se dérobe

ACTIVITES SPORTIVES

8. Quel est le plus haut niveau d'activité que vous pouvez pratiquer régulièrement ?

- ☐ Activités très intenses comportant sauts et rotations comme au basket ou au football
- ☐ Activités intenses comme un travail physique dur, le ski ou le tennis
- ☐ Activités modérées comme un travail physique moyen, la course à pied ou le jogging
- ☐ Activités douces comme la marche, le ménage ou le jardinage
- ☐ Aucune des activités ci-dessus ne m'est possible à cause de mon genou.

9. Quelle incidence a votre genou sur votre capacité à... ?

	Pas difficile	Légèrement difficile	Très difficile	Impossible
Monter les escaliers	☐	☐	☐	☐
Descendre les escaliers	☐	☐	☐	☐
S'agenouiller (appui sur le devant du genou)	☐	☐	☐	☐
S'accroupir	☐	☐	☐	☐
S'asseoir	☐	☐	☐	☐
Se lever d'une chaise	☐	☐	☐	☐
Courir en ligne droite	☐	☐	☐	☐
Sauter avec réception sur la jambe faible	☐	☐	☐	☐
S'arrêter et repartir brusquement (marche, ou course à pied si vous êtes un athlète)	☐	☐	☐	☐

FONCTION

10. Comment notez-vous la fonction de votre genou sur une échelle de 0 à 10 (10 correspondant au fonctionnement optimal et 0 étant l'incapacité à accomplir les activités de la vie quotidienne et sportives)

FONCTION AVANT L'ACCIDENT/LA BLESSURE DU GENOU

Performance nulle	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Performance quotidienne optimale
	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

FONCTION ACTUELLE DU GENOU

Performance nulle	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Performance quotidienne optimale
	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

Annexe 3 Score IKDC

RÉFÉRENCES

1. Bollen S. Epidemiology of knee injuries: diagnosis and triage. *Br J Sports Med.* 2000 Jun;34(3):227–8.
2. Nordenvall R, Bahmanyar S, Adami J, Stenros C, Wredmark T, Felländer-Tsai L. A population-based nationwide study of cruciate ligament injury in Sweden, 2001-2009: incidence, treatment, and sex differences. *Am J Sports Med.* 2012 Aug;40(8):1808–13.
3. Schulz MS, Russe K, Weiler A, Eichhorn HJ, Strobel MJ. Epidemiology of posterior cruciate ligament injuries. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2003 May 1;123(4):186–91.
4. Shelbourne KD, Davis TJ, Patel DV. The natural history of acute, isolated, nonoperatively treated posterior cruciate ligament injuries. A prospective study. *Am J Sports Med.* 1999 Jun;27(3):276–83.
5. Shelbourne KD, Clark M, Gray T. Minimum 10-year follow-up of patients after an acute, isolated posterior cruciate ligament injury treated nonoperatively. *Am J Sports Med.* 2013 Jul;41(7):1526–33.
6. Fowler PJ, Messieh SS. Isolated posterior cruciate ligament injuries in athletes. *Am J Sports Med.* 1987 Dec;15(6):553–7.
7. Parolie JM, Bergfeld JA. Long-term results of nonoperative treatment of isolated posterior cruciate ligament injuries in the athlete. *Am J Sports Med.* 1986 Feb;14(1):35–8.
8. Pagel W. Galen and the Usefulness of the Parts of the Body. *Med Hist.* 1970 Oct;14(4):406–8.
9. Hey W. On internal derangement of the knee. *Pract Obs Surg.* 1803;
10. Weber WE, Weber E. Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge: eine anatomisch-physiologische Untersuchung. Dieterich; 1836. 460 p.
11. Bonnet A. Traité des maladies des articulations accompagné d'un atlas de 16 planches. J. B. & G. Baillière; 1845. 704 p.
12. SIR ARTHUR MAYO-ROBSON, K.B.E., C.B. *Br Med J.* 1933 Oct 21;2(3798):761–2.
13. Robson AWM. VI. Ruptured Crucial Ligaments and their Repair by Operation. *Ann Surg.* 1903 May;37(5):716–8.
14. Groves EH. OPERATION FOR THE REPAIR OF THE CRUCIAL LIGAMENTS. *The Lancet.* 1917 Nov 3;190(4914):674–6.
15. Groves EWH. The crucial ligaments of the knee-joint: Their function, rupture, and the operative treatment of the same. *BJS.* 7(28):505–15.
16. Gallie WE, LeMesurier AB. THE REPAIR OF INJURIES TO THE POSTERIOR CRUCIAL LIGAMENT OF THE KNEE-JOINT. *Ann Surg.* 1927 Apr;85(4):592–8.
17. Bosworth DM, Bosworth BM. USE OF FASCIA LATA TO STABILIZE THE KNEE IN CASES OF RUPTURED CRUCIAL LIGAMENTS. *JBJS.* 1936 Jan;18(1):178.
18. Lee H. Avulsion fracture of the tibial attachments of the crucial ligaments. *J Bone Jt Surg.* 1937;(19):460–8.
19. Palmer I. On the injuries to the ligaments of the knee joint: a clinical study. 1938. *Clin Orthop.* 2007 Jan;454:17–22; discussion 14.
20. Lindemann K. Über den plastischen Ersatz Kreuzbänder durch getaitielte Sshnenverpflanzung. *Orthop.* 1950;316–34.
21. Augustine RW. The unstable knee. *Am J Surg.* 1956 Sep;92(3):380–8.
22. Trickey EL. Rupture of the posterior cruciate ligament of the knee. *J Bone Joint Surg Br.* 1968 May;50(2):334–41.
23. Barfod B. Posterior cruciate ligament--reconstruction by transposition of the popliteal tendon. *Acta Orthop Scand.* 1971;42(5):438.
24. Courvoisier E. [Active reconstruction of the posterior cruciate ligament in chronic

- laxitis of the knee]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 1979;65 Suppl 2:51–3.
25. Insall JN, Hood RW. Bone-block transfer of the medial head of the gastrocnemius for posterior cruciate insufficiency. *J Bone Joint Surg Am.* 1982 Jun;64(5):691–9.
 26. Anderson CJ, Ziegler CG, Wijdicks CA, Engebretsen L, LaPrade RF. Arthroscopically pertinent anatomy of the anterolateral and posteromedial bundles of the posterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Am.* 2012 Nov 7;94(21):1936–45.
 27. Johannsen AM, Anderson CJ, Wijdicks CA, Engebretsen L, LaPrade RF. Radiographic landmarks for tunnel positioning in posterior cruciate ligament reconstructions. *Am J Sports Med.* 2013 Jan;41(1):35–42.
 28. Kato T, Śmigielski R, Ge Y, Zdanowicz U, Ciszek B, Ochi M. Posterior cruciate ligament is twisted and flat structure: new prospective on anatomical morphology. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.* 2017 Jul 15;
 29. Makris CA, Georgoulis AD, Papageorgiou CD, Moebius UG, Soucacos PN. Posterior cruciate ligament architecture: evaluation under microsurgical dissection. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc.* 2000 Sep;16(6):627–32.
 30. Mejia EA, Noyes FR, Grood ES. Posterior cruciate ligament femoral insertion site characteristics. Importance for reconstructive procedures. *Am J Sports Med.* 2002 Oct;30(5):643–51.
 31. Kannus P, Bergfeld J, Järvinen M, Johnson RJ, Pope M, Renström P, et al. Injuries to the posterior cruciate ligament of the knee. *Sports Med Auckl NZ.* 1991 Aug;12(2):110–31.
 32. Kennedy NI, LaPrade RF, Goldsmith MT, Faucett SC, Rasmussen MT, Coatney GA, et al. Posterior cruciate ligament graft fixation angles, part 1: biomechanical evaluation for anatomic single-bundle reconstruction. *Am J Sports Med.* 2014 Oct;42(10):2338–45.
 33. Malone AA, Dowd GSE, Saifuddin A. Injuries of the posterior cruciate ligament and posterolateral corner of the knee. *Injury.* 2006 Jun 1;37(6):485–501.
 34. Ranawat A, Baker CL, Henry S, Harner CD. Posterolateral corner injury of the knee: evaluation and management. *J Am Acad Orthop Surg.* 2008 Sep;16(9):506–18.
 35. Amis AA, Gupta CM, Bull AMJ, Edwards A. Anatomy of the posterior cruciate ligament and the meniscomfemoral ligaments. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2006 Mar 1;14(3):257–63.
 36. Covey DC, Sapega AA. Anatomy and function of the posterior cruciate ligament. *Clin Sports Med.* 1994 Jul;13(3):509–18.
 37. Kweon C, S. Lederman E, Chhabra A. Anatomy and Biomechanics of the Cruciate Ligaments and Their Surgical Implications. In 2013. p. 17–27.
 38. Harner CD, Livesay GA, Kashiwaguchi S, Fujie H, Choi NY, Woo SL. Comparative study of the size and shape of human anterior and posterior cruciate ligaments. *J Orthop Res Off Publ Orthop Res Soc.* 1995 May;13(3):429–34.
 39. Girgis FG, Marshall JL, Monajem A. The cruciate ligaments of the knee joint. Anatomical, functional and experimental analysis. *Clin Orthop.* 1975 Feb;(106):216–31.
 40. Fuss FK. Anatomy of the cruciate ligaments and their function in extension and flexion of the human knee joint. *Am J Anat.* 1989 Feb;184(2):165–76.
 41. Race A, Amis AA. Loading of the two bundles of the posterior cruciate ligament: an analysis of bundle function in a-P drawer. *J Biomech.* 1996 Jul;29(7):873–9.
 42. Race A, Amis AA. The mechanical properties of the two bundles of the human posterior cruciate ligament. *J Biomech.* 1994 Jan;27(1):13–24.
 43. Harner CD, Xerogeanes JW, Livesay GA, Carlin GJ, Smith BA, Kusayama T, et al. The human posterior cruciate ligament complex: an interdisciplinary study. Ligament morphology and biomechanical evaluation. *Am J Sports Med.* 1995 Dec;23(6):736–45.
 44. Chambat P, Fayard JM. Anatomie et physiologie du ligament croisé postérieur. *Arthroscopie.* Elsevier. 2006;

45. Morgan CD, Kalman VR, Grawl DM. The anatomic origin of the posterior cruciate ligament: where is it? Reference landmarks for PCL reconstruction. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc*. 1997 Jun;13(3):325–31.
46. Christel P. Traumatic lesions of the posterior cruciate ligament. *Cahiers d'Enseignement SOFCOT*. 2000;61–80.
47. Humphry GM. A treatise on the human skeleton including the joints. Macmillan Camb. 1858;545–6.
48. Lopes OV, Ferretti M, Shen W, Ekdahl M, Smolinski P, Fu FH. Topography of the femoral attachment of the posterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Am*. 2008 Feb;90(2):249–55.
49. Forsythe B, Harner C, Martins CA, Shen W, Lopes OV, Fu FH. Topography of the Femoral Attachment of the Posterior Cruciate Ligament: *J Bone Jt Surg-Am Vol*. 2009 Mar;91(Suppl 2):89–100.
50. King AJ, Deng Q, Tyson R, Sharp JC, Matwiy J, Tomanek B, et al. In Vivo Open-Bore MRI Reveals Region- and Sub-Arc-Specific Lengthening of the Unloaded Human Posterior Cruciate Ligament. *PLoS ONE* [Internet]. 2012 Nov 7 [cited 2018 Jul 10];7(11). Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3492418/>
51. Devos D. La vascularisation des ligaments croisés du genou. Master I, science biologique et médicale, certificat d'anatomie, d'imagerie et de morphogénès; 2005.
52. Scapinelli R. Vascular anatomy of the human cruciate ligaments and surrounding structures. *Clin Anat N Y N*. 1997;10(3):151–62.
53. Petersen W, Tillmann B. Blood and lymph supply of the posterior cruciate ligament: a cadaver study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA*. 1999;7(1):42–50.
54. Freeman MA, Wyke B. The innervation of the knee joint. An anatomical and histological study in the cat. *J Anat*. 1967 Jun;101(Pt 3):505–32.
55. Katonis PG, Assimakopoulos AP, Agapitos MV, Exarchou EI. Mechanoreceptors in the posterior cruciate ligament: Histologic study on cadaver knees. *Acta Orthop Scand*. 1991 Jan 1;62(3):276–8.
56. Safran MR, Allen AA, Lephart SM, Borsa PA, Fu FH, Harner CD. Proprioception in the posterior cruciate ligament deficient knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA*. 1999;7(5):310–7.
57. Katonis P, Papoutsidakis A, Aligizakis A, Tzanakakis G, Kontakis GM, Papagelopoulos PJ. Mechanoreceptors of the posterior cruciate ligament. *J Int Med Res*. 2008 Jun;36(3):387–93.
58. Butler DL, Noyes FR, Grood ES. Ligamentous restraints to anterior-posterior drawer in the human knee. A biomechanical study. *J Bone Joint Surg Am*. 1980 Mar;62(2):259–70.
59. Noyes FR, Stowers SF, Grood ES, Cummings J, VanGinkel LA. Posterior subluxations of the medial and lateral tibiofemoral compartments. An in vitro ligament sectioning study in cadaveric knees. *Am J Sports Med*. 1993 Jun;21(3):407–14.
60. Nielsen S, Helmig P. Posterior instability of the knee joint. An experimental study. *Arch Orthop Trauma Surg Arch Orthopadische Unf-Chir*. 1986;105(2):121–5.
61. Castle TH, Noyes FR, Grood ES. Posterior tibial subluxation of the posterior cruciate-deficient knee. *Clin Orthop*. 1992 Nov;(284):193–202.
62. Gollehon DL, Torzilli PA, Warren RF. The role of the posterolateral and cruciate ligaments in the stability of the human knee. A biomechanical study. *J Bone Joint Surg Am*. 1987 Feb;69(2):233–42.
63. Bergfeld JA, McAllister DR, Parker RD, Valdevit AD, Kambic H. The effects of tibial rotation on posterior translation in knees in which the posterior cruciate ligament has been cut. *J Bone Joint Surg Am*. 2001 Sep;83-A(9):1339–43.
64. Grood ES, Stowers SF, Noyes FR. Limits of movement in the human knee. Effect of

sectioning the posterior cruciate ligament and posterolateral structures. *J Bone Joint Surg Am*. 1988 Jan;70(1):88–97.

65. Amis AA, Bull AMJ, Gupte CM, Hijazi I, Race A, Robinson JR. Biomechanics of the PCL and related structures: posterolateral, posteromedial and meniscomfemoral ligaments. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA*. 2003 Sep;11(5):271–81.

66. Fanelli GC. Posterior cruciate ligament injuries in trauma patients. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg*. 1993 Jun 1;9(3):291–4.

67. LaPrade RF, Wentorf FA, Fritts H, Gundry C, Hightower CD. A prospective magnetic resonance imaging study of the incidence of posterolateral and multiple ligament injuries in acute knee injuries presenting with a hemarthrosis. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc*. 2007 Dec;23(12):1341–7.

68. Majewski M, Susanne H, Klaus S. Epidemiology of athletic knee injuries: A 10-year study. *The Knee*. 2006 Jun;13(3):184–8.

69. Ruße K, Schulz MS, Strobel MJ. Epidemiologie der hinteren Kreuzbandverletzung. *Arthroskopie*. 2006 Aug 1;19(3):215–20.

70. Cross MJ, Powell JF. Long-term followup of posterior cruciate ligament rupture: a study of 116 cases. *Am J Sports Med*. 1984 Aug;12(4):292–7.

71. Gillquist J, Hagberg G, Oretorp N. Arthroscopy in acute injuries of the knee joint. *Acta Orthop Scand*. 1977;48(2):190–6.

72. Cho JM, Suh JS, Na JB, Cho JH, Kim Y, Yoo WK, et al. Variations in meniscomfemoral ligaments at anatomical study and MR imaging. *Skeletal Radiol*. 1999 Apr;28(4):189–95.

73. Poynton AR, Javadpour SM, Finegan PJ, O'Brien M. The Meniscomfemoral Ligaments of the Knee. *J Bone Jt Surg Br*. 1997 Mar 1;79-B(2):327–30.

74. Vahey TN, Bennett HT, Arrington LE, Shelbourne KD, Ng J. MR imaging of the knee: pseudotear of the lateral meniscus caused by the meniscomfemoral ligament. *AJR Am J Roentgenol*. 1990 Jun;154(6):1237–9.

75. Kusayama T, Harner CD, Carlin GJ, Xerogeanes JW, Smith BA. Anatomical and biomechanical characteristics of human meniscomfemoral ligaments. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA*. 1994;2(4):234–7.

76. Gupte CM, Bull AM j, Thomas RD, Amis AA. A review of the function and biomechanics of the meniscomfemoral ligaments. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc*. 2003 Feb;19(2):161–71.

77. Kohn D, Moreno B. Meniscus insertion anatomy as a basis for meniscus replacement: a morphological cadaveric study. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc*. 1995 Feb;11(1):96–103.

78. Gupte CM, Bull AMJ, Thomas RD, Amis AA. The meniscomfemoral ligaments: secondary restraints to the posterior drawer: ANALYSIS OF ANTEROPOSTERIOR AND ROTARY LAXITY IN THE INTACT AND POSTERIOR-CRUCIATE-DEFICIENT KNEE. *Bone Jt J*. 2003 Jul 1;85-B(5):765–73.

79. Gupte CM, Smith A, McDermott ID, Bull AMJ, Thomas RD, Amis AA. Meniscomfemoral ligaments revisited: ANATOMICAL STUDY, AGE CORRELATION AND CLINICAL IMPLICATIONS. *Bone Jt J*. 2002 Aug 1;84-B(6):846–51.

80. Cho JM, Suh JS, Na JB, Cho JH, Kim Y, Yoo WK, et al. Variations in meniscomfemoral ligaments at anatomical study and MR imaging. *Skeletal Radiol*. 1999 Apr;28(4):189–95.

81. Forkel P, Herbolt M, Sprenger F, Metzlaß S, Raschke M, Petersen W. The biomechanical effect of a lateral meniscus posterior root tear with and without damage to the meniscomfemoral ligament: efficacy of different repair techniques. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc*. 2014 Jul;30(7):833–40.

82. Wijdicks CA, Kennedy NI, Goldsmith MT, Devitt BM, Michalski MP, Årøen A, et al. Kinematic analysis of the posterior cruciate ligament, part 2: a comparison of anatomic single-

- versus double-bundle reconstruction. *Am J Sports Med.* 2013 Dec;41(12):2839–48.
83. Laupattarakasem W, Boonard M, Laupattarakasem P, Kosuwon W. Tibial Inlay Technique Using Hamstring Graft for Posterior Cruciate Ligament Reconstruction and Remnant Revision. *Arthrosc Tech.* 2012 Dec 1;2(1):e1–7.
 84. Wang C-J, Chen H-H, Chen H-S, Huang T-W. Effects of knee position, graft tension, and mode of fixation in posterior cruciate ligament reconstruction: a cadaveric knee study. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc.* 2002 Jun;18(5):496–501.
 85. Race A, Amis AA. PCL reconstruction. In vitro biomechanical comparison of “isometric” versus single and double-bundled “anatomic” grafts. *J Bone Joint Surg Br.* 1998 Jan;80(1):173–9.
 86. C. Hulet, J-F. Potel, Société Française D’Arthroscopie. *L’Arthroscopie.* Elsevier-Masson; 2015.
 87. Harner CD, Janaushek MA, Kanamori A, Yagi M, Vogrin TM, Woo SL. Biomechanical analysis of a double-bundle posterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2000 Apr;28(2):144–51.
 88. Harner CD, Xerogeanes JW, Livesay GA, Carlin GJ, Smith BA, Kusayama T, et al. The human posterior cruciate ligament complex: an interdisciplinary study. Ligament morphology and biomechanical evaluation. *Am J Sports Med.* 1995 Dec;23(6):736–45.
 89. Kohen RB, Sekiya JK. Single-bundle versus double-bundle posterior cruciate ligament reconstruction. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc.* 2009 Dec;25(12):1470–7.
 90. Badet R, Chambat P, Boussaton M, Bousquet V, Chassaing V, Cucurulo T, et al. [“Isolated” injury of the posterior cruciate ligament. Surgical treatment of isolated posterior cruciate ligament tears: a multicentric retrospective study of 103 patients]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 2005 Dec;91(S8):43–54.
 91. Fanelli GC, Boyd JL, Heckler MW. How I Manage Posterior Cruciate Ligament Injuries. *Oper Tech Sports Med.* 2009 Jul 1;17(3):175–93.
 92. Wang C-J, Chen H-S, Huang T-W. Outcome of arthroscopic single bundle reconstruction for complete posterior cruciate ligament tear. *Injury.* 2003 Oct;34(10):747–51.
 93. Kim Y-M, Lee CA, Matava MJ. Clinical results of arthroscopic single-bundle transtibial posterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review. *Am J Sports Med.* 2011 Feb;39(2):425–34.
 94. Song J-G, Kim H-J, Han JH, Bhandare NN, Shetty GM, Kang S-B, et al. Clinical Outcome of Posterior Cruciate Ligament Reconstruction With and Without Remnant Preservation. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc.* 2015 Sep;31(9):1796–806.
 95. Edwards A, Bull AMJ, Amis AA. The attachments of the fiber bundles of the posterior cruciate ligament: an anatomic study. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc.* 2007 Mar;23(3):284–90.
 96. Röhrich S, Kainberger F, Hirtler L. Evaluation of age-dependent morphometrics of the meniscomfemoral ligaments in reference to the posterior cruciate ligament in routine MRI. *Eur Radiol.* 2018 Jan 10;
 97. de Abreu MR, Chung CB, Trudell D, Resnick D. Meniscomfemoral ligaments: patterns of tears and pseudotears of the menisci using cadaveric and clinical material. *Skeletal Radiol.* 2007 Aug;36(8):729–35.
 98. Yamamoto M, Hirohata K. Anatomical study on the menisco-femoral ligaments of the knee. *Kobe J Med Sci.* 1991 Oct;37(4–5):209–26.
 99. Nagasaki S, Ohkoshi Y, Yamamoto K, Ebata W, Imabuchi R, Nishiike J. The incidence and cross-sectional area of the meniscomfemoral ligament. *Am J Sports Med.* 2006

Aug;34(8):1345–50.

100. Han S-H, Kim D-I, Choi S-G, Lee J-H, Kim Y-S. The posterior meniscomfemoral ligament: morphologic study and anatomic classification. *Clin Anat N Y N*. 2012 Jul;25(5):634–40.
101. Brantigan OC, Voshell AF. Ligaments of the knee joint; the relationship of the ligament of Humphry to the ligament of Wrisberg. *J Bone Joint Surg Am*. 1946 Jan;28:66.
102. Wan AC, Felle P. The menisco-femoral ligaments. *Clin Anat N Y N*. 1995;8(5):323–6.
103. Grover JS, Bassett LW, Gross ML, Seeger LL, Finerman GA. Posterior cruciate ligament: MR imaging. *Radiology*. 1990 Feb;174(2):527–30.
104. Watanabe AT, Carter BC, Teitelbaum GP, Bradley WG. Common pitfalls in magnetic resonance imaging of the knee. *J Bone Joint Surg Am*. 1989 Jul;71(6):857–62.
105. Lee BY, Jee WH, Kim JM, Kim BS, Choi KH. Incidence and significance of demonstrating the meniscomfemoral ligament on MRI. *Br J Radiol*. 2000 Mar;73(867):271–4.
106. Erbagci H, Yildirim H, Kizilkan N, Gümüşburun E. An MRI study of the meniscomfemoral and transverse ligaments of the knee. *Surg Radiol Anat SRA*. 2002 May;24(2):120–4.
107. Miller TT, Stein BE, Staron RB, Feldman F. Relationship of the meniscomfemoral ligaments of the knee to lateral meniscus tears: magnetic resonance imaging evaluation. *Am J Orthop Belle Mead NJ*. 1998 Nov;27(11):729–32.
108. Bintoudi A, Natsis K, Tsitouridis I. Anterior and Posterior Meniscomfemoral Ligaments: MRI Evaluation. *Anat Res Int [Internet]*. 2012 [cited 2018 Jun 17];2012. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3457609/>
109. Ebrecht J, Krasny A, Hartmann DM, Rückbeil MV, Ritz T, Prescher A. 3-Tesla MRI: Beneficial visualization of the meniscomfemoral ligaments? *The Knee*. 2017 Oct 1;24(5):1090–8.
110. Gupte CM, Bull AMJ, Atkinson HD, Thomas RD, Strachan RK, Amis AA. Arthroscopic appearances of the meniscomfemoral ligaments: introducing the “meniscal tug test.” *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA*. 2006 Dec;14(12):1259–65.
111. Niess C, Stumpf U, Petermann J. Anatomie, Häufigkeit und Verteilung der meniskofemorale Ligamente. *Arthroskopie*. 2000 Apr 1;13(1–2):11–6.
112. Osti M, Tschann P, Künzel KH, Benedetto KP. Posterolateral corner of the knee: microsurgical analysis of anatomy and morphometry. *Orthopedics*. 2013 Sep;36(9):e1114–1120.
113. Apsingi S, Bull AMJ, Deehan DJ, Amis AA. Review: femoral tunnel placement for PCL reconstruction in relation to the PCL fibre bundle attachments. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2009 Jun 1;17(6):652.
114. Kim S-J, Kim T-E, Jo S-B, Kung Y-P. Comparison of the clinical results of three posterior cruciate ligament reconstruction techniques. *J Bone Joint Surg Am*. 2009 Nov;91(11):2543–9.
115. Ahn JH, Yang HS, Jeong WK, Koh KH. Arthroscopic transtibial posterior cruciate ligament reconstruction with preservation of posterior cruciate ligament fibers: clinical results of minimum 2-year follow-up. *Am J Sports Med*. 2006 Feb;34(2):194–204.
116. Song E-K, Park H-W, Ahn Y-S, Seon J-K. Transtibial versus tibial inlay techniques for posterior cruciate ligament reconstruction: long-term follow-up study. *Am J Sports Med*. 2014 Dec;42(12):2964–71.
117. Shin J, Maak TG. Arthroscopic Transtibial PCL Reconstruction: Surgical Technique and Clinical Outcomes. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2018 Jun;11(2):307–15.

Vu, le Président du Jury,

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke at the end.

Professeur François GOUIN

Vu, le Directeur de Thèse,

A handwritten signature in black ink, featuring a series of vertical, wavy lines and a long horizontal stroke at the bottom.

Docteur Thibaut NOAILLES

Vu, le Doyen de la Faculté,

Professeur Pascale JOLLIET

ANATOMIE REVISITÉE DE L'INSERTION FÉMORALE DU LIGAMENT CROISE POSTERIEUR ET SES RAPPORTS AVEC LES LIGAMENTS MÉNISCO-FÉMORAUX : **ETUDE ANATOMIQUE SUR 23 GENOUX.**

RESUME :

Introduction :

De nombreuses études décrivent l'anatomie du ligament croisé postérieur (LCP) et des ligaments méniscaux fémoraux (LMFs). La structure la plus communément admise est celle d'une anatomie du LCP en double faisceaux avec une insertion fémorale proche du cartilage distal, genou à 90° de flexion. Cependant Kato *et al.* ont décrit une structure monofaisceau en ruban du LCP. Le but de notre étude anatomique était de vérifier cette théorie et d'analyser les insertions fémorales du LCP et des LMFs.

Matériel et Méthodes :

Vingt-trois genoux de sujets anatomiques frais non-embaumés ont été disséqués par un opérateur indépendant selon un protocole unique de dissection sous loupe microchirurgicale. Après ablation de la synoviale seule, la morphologie des fibres ligamentaires du LCP était analysée et les insertions fémorales du LCP et des LMFs décrites selon la technique de l'horloge. L'ensemble des mesures était réalisé avec un pied à coulisse de précision 0,01 mm.

Résultats :

Aucun genou n'a été exclu de l'analyse finale. Dans l'ensemble des cas, l'anatomie macroscopique du LCP était à un seul et unique faisceau se comportant comme un ruban plat et fin. Genou à 90° de flexion, son insertion fémorale était au toit de l'échancrure entre 58 mm et 25 mm sur un genou droit et entre 48 mm et 2 mm sur le genou gauche. Après ablation du LMFA, le milieu de l'insertion fémorale du LCP débutait à 6 mm en moyenne du rebord cartilagineux distal.

Discussion et conclusion :

Notre étude confirme le travail de Kato *et al.* et permet de préciser l'insertion fémorale du LCP et des ligaments ménisco-fémoraux. La présence du ligament ménisco-fémoral antérieur donne un aspect de double faisceau du LCP. Les techniques de reconstruction actuelles ne peuvent être dites « anatomiques ».