

Persistance des stratégies d'adaptation des membres inférieurs lors de la marche après reconstruction du ligament croisé antérieur chez l'enfant

Emmanuelle Poinsot

▶ **To cite this version:**

Emmanuelle Poinsot. Persistance des stratégies d'adaptation des membres inférieurs lors de la marche après reconstruction du ligament croisé antérieur chez l'enfant . Médecine humaine et pathologie. 2016. dumas-01374150

HAL Id: dumas-01374150

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01374150

Submitted on 29 Sep 2016

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

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

UNIVERSITÉ BORDEAUX SEGALEN
Année 2016

FACULTÉ DE MÉDECINE
Thèse n° 3059

PERSISTANCE DES STRATÉGIES D'ADAPTATION DES MEMBRES INFÉRIEURS LORS DE LA MARCHE APRÈS RECONSTRUCTION DU LIGAMENT CROISÉ ANTÉRIEUR CHEZ L'ENFANT

THÈSE

Pour le diplôme d'état de

DOCTEUR EN MEDECINE

Présentée et soutenue publiquement à la Faculté de Médecine de Bordeaux

Le 8 septembre 2016

Par

Emmanuelle Poinsot

Née le 20 octobre 1986

A Langres

Directeur de Thèse : Docteur M. Urséi

Président du Jury :	Professeur J. Sales de Gauzy
Rapporteur et membre du Jury :	Professeur F. Sauvat
Membres du Jury :	Professeur E. Dobremez Professeur F. Accadbled Docteur S. Jacopin

Remerciements

Aux membres du Jury

Monsieur le Professeur Sales De Gauzy,

Vous me faites l'honneur de présider ce jury de thèse. La qualité de votre enseignement ainsi que vos qualités humaines et chirurgicales forcent le respect et m'ont été très précieuses durant ma venue à Toulouse. Veuillez trouver en ce travail le témoignage de mon admiration et de ma profonde gratitude.

Madame le Professeur Sauvat,

Frédérique, je te remercie d'avoir accepté d'être le rapporteur de ce travail. Tes qualités humaines et professionnelles sont un exemple à suivre. Merci également pour ton soutien depuis le début de mon internat.

Monsieur le Professeur Dobremez,

Je vous remercie de m'avoir fait l'honneur de juger cette thèse, je vous adresse mon plus profond respect.

Monsieur le Professeur Accadbled,

Franck, tu me fais l'honneur de juger ce travail. Par ta rigueur et ton perfectionnisme, tu m'encourages à toujours m'améliorer. Un grand merci également pour les vendredis passés dans le service, qui ont été particulièrement enrichissants.
Trouve dans ce travail le témoignage de ma plus grande estime et de mes plus sincères remerciements pour ton aide.

Monsieur le Docteur Jacopin,

Samuel, je te remercie de me faire l'honneur de juger ce travail. Ayant travaillé à tes côtés sur cette thématique, il était naturel que tu fasses parti de ce jury. Merci d'avoir grandement participé à ma formation durant mon internat.

Madame le Docteur Urséi,

Monica, merci d'avoir accepté d'être la directrice de ma thèse. Les travaux au sein du laboratoire de marche ont été très formateurs. Sois assurée de ma gratitude et de mon profond respect.

A ma famille,

A mes parents : Christiane et Gilbert
Parce que rien n'aurait été possible sans vous. Merci pour votre amour et votre soutien depuis toujours.

A ma sœur et mes frères : Isabelle, Eric et Damien. Merci d'avoir toujours pris soin de moi, de m'avoir donné le goût du sport, du voyage et de l'aventure.
Sans oublier mes belles sœurs et beau frère : Adeline (purée, merci pour tous les apéros et wkends toulousains, une bouffée d'oxygène…), Khadija, Joao ; et mes neveux d'amour : Chloé, Hugo, Rayan, Ana et Sara.

A mes grands parents : Théodore et Rénata.

A la famille Barbé : Nicole et Loïc, David et Caro, Charlotte et Thomas, merci de m'avoir accueilli aussi chaleureusement dans la famille, et pour votre soutien durant mon internat.

A mes amis,

Parce que vous êtes ma deuxième famille, rencontrés au gré de nombreux déménagements, de Dijon à la Réunion, en passant par Bordeaux, la Guadeloupe, et Toulouse.

A Audrey, tu es ma meilleure amie depuis plus longtemps que tu ne le crois (à l'époque où tu avais encore des foulards autour du cou). Résumer nos innombrables trips serait une thèse à part entière. Merci d'avoir toujours été la pour moi. Do, je compte sur toi pour continuer à prendre soin de ta vahiné.

Aux dijonnais : Yougli, Rachou, Houria, Flo, Lolo … : nos années médecines me ramènent à de nombreux excellent souvenirs… presque autant que de galères ! Merci pour nos fous rires, nos soirées, nos virées à Corlée chez maman-papa Gigi et les ptites saucisses fourées. On a beau être éparpillés au quatre coins du monde, vous ferez toujours partis de ma vie.

Aux copains de la Réunion : Elsa & Valentin, Karine, Etienne, Christelle & Tak, Amandine, Alix, François & Virginie, Richard et ses poules, Pierre, Sandrine, Caro yogito…
Merci d'être à mes côtés, dans les très bons comme dans les moments difficiles.

A la fine équipe de Bordeaux : Amélie, ma doud à mes cotés lors de mes premiers pas en chirurgie ET en kizomba ; Mes antillais préférés *:* Wiwi (dans sa petite Mini), David et nos soirées carnavalesques*;* Les Meunik : un skate, un surf, ou un wake, vous savez sortir les bons moyens pour me faire décompresser…

Aux pépitas : Vous êtes des pépites infatigables… pire que moi. Notre trio réunionnais me manque beaucoup, vous revenez ?

Aux toulousaines : Camille et Marianne, mes 2 colocs de choc sous des tropiques opposés! Thian ma super chef, Karine : mon chat, une des meilleures co-internes de tous les temps, sans toi ce semestre n'aurait évidemment pas été le même. ..(quand t'en as marre, rendez vous dans notre petit trou de souris avec une bière et du fromage), sans oublier Myke mon raton-tatoueur préféré….

Aux parisiens :
Romain et Virginie, Les bitchs Gégé, Popo, Camille…

A mes chefs et collègues,

A tous ceux qui ont été mes maîtres en chirurgie depuis le début de ma formation.

A Philippe, vous avez été mon premier patron, merci pour vos précieux conseils.

A Mohamed, tu m'épaules depuis le début de ma formation en orthoped, tu es toujours d'excellent conseil et tes qualités humaines et professionnelles sont des exemples à suivre. Un grand merci à toi, sans oublier Anne.

A Elena, Sophie et Richard, mes sudistes préférés.

A mes nombreux co-internes…

Aux équipes paramédicales des services de chirurgie et du bloc opératoire de Dijon, Saint Pierre, St Paul, St Denis de la Réunion, de Bordeaux, de Pointe à Pitre, et de Toulouse… Merci pour vos accueils chaleureux durant mon internat.

A toute l'équipe du laboratoire IRISSE, de l'Université du Tampon, pour me former à la recherche et à la biomécanique.

A l'équipe du laboratoire de biomécanique du CHU de Toulouse, sans ce qui ce travail n'aurait pas pu voir le jour.

A mon homme extraordinaire,

François, Merci pour ton soutien inconditionnel.
Ta patience, ton humour, ta douceur et ton amour ont été très précieux depuis notre rencontre et en particulier ces derniers mois.
Merci de croire en moi et de me soutenir !
Je te promets de prendre plus de temps pour de longues parties de Stratilogix et toutes tes futures inventions maintenant ….

Aux enfants,

Sans qui tout cela n'aurait aucune raison d'être…

Serment d'Hippocrate

« Au moment d'être admise 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.

Admise dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçue 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 déshonorée et méprisée si j'y manque. »

Table des matières

Résumé ……3

I/ Introduction ……4

1. Prise en charge d'une rupture du ligament croisé antérieur (LCA) sur un genou en croissance ……4

1.1 Lésion du LCA et genou en croissance ……4

1.2 Stratégie thérapeutique ……5

1.3 Techniques de reconstruction chez l'enfant à physes ouvertes ……6

2. Biomécanique des membres inférieurs lors de la marche suite à une rupture du LCA…… 10

2.1 Introduction …… ……10

2.2 La cinématique des membres inférieurs lors de la marche normale ……10

2.3 Altération de la cinématique des membres inférieurs lors de la marche après rupture du LCA : revue de la littérature ……14

II/ Matériel et méthode ……16

1. Schéma d'étude ……16

2. Population d'étude ……18

3. Analyse de la marche : acquisition et analyse des données ……19

4. Analyse statistique ……20

III/ Résultats ……21

1. Au contact initial ……21

2. À l'amortissement ……22

3. En fin d'appui ……23

4. En milieu de phase oscillante ……24

IV/ Discussion et Conclusion ……27

V/ Bibliographie ……31

Liste des abréviations ……35

Résumé

Introduction : Les lésions du ligament croisé antérieur (LCA) ont une incidence croissante chez l'enfant et sa reconstruction en tenant compte des spécificités pédiatriques est désormais bien maîtrisée. Selon la littérature, des troubles de la marche ont été identifiés chez l'adulte souffrant d'instabilité antérieure chronique du genou après rupture du LCA. À notre connaissance, il n'existe pas de série pédiatrique étudiant la biomécanique du membre inférieur après rupture du LCA.
L'objectif de notre étude était de savoir si les stratégies d'adaptation du membre inférieur lors de la marche persistaient après la reconstruction du LCA chez l'enfant.

Matériel et Méthode : Une étude rétrospective a été réalisée dans le laboratoire de marche de l'Hôpital des Enfants de Toulouse sur une période allant de 2007 à 2015.
34 patients (26 garçons, 8 filles) avec un âge moyen de 13,9 ± 2 ans, ayant bénéficié d'une reconstruction du LCA unilatérale post-traumatique ont été inclus dans l'étude. Au recul moyen post-opératoire de 24 mois (9 à 58 mois), tous les patients avaient retrouvé leur niveau de sport et étaient asymptomatiques hormis 2 patients se plaignant d'une sensation d'instabilité persistante.
La cinématique lors de la marche des membres inférieurs reconstruits a été comparée à celle du côté controlatéral, et à celle d'un groupe contrôle à différentes phases du cycle de marche (au contact initial, à l'amortissement, en fin d'appui et en milieu de phase oscillante).

Résultats : La cinématique du membre inférieur reconstruit est différente de celle du groupe contrôle, à toutes les phases du cycle de marche analysées. En effet, la flexion de hanche était significativement plus faible en début d'appui et à l'amortissement, la flexion de genou était significativement plus faible lors de toutes les phases du cycle analysées et l'attaque du pas se faisait en flexion plantaire. En phase oscillante, la flexion dorsale de cheville était plus faible chez les sujets reconstruits que chez les sujets contrôles. Cependant ces anomalies semblent se symétriser au coté controlatéral.

Conclusion : Ces modifications du pattern de marche correspondent à des compensations articulaires survenant après la rupture du LCA et persistant en post-opératoire malgré l'amélioration clinique des sujets et l'absence d'instabilité.

I/Introduction

1. Prise en charge d'une rupture du ligament croisé antérieur sur un genou en croissance

1.1 Lésion du ligament croisé antérieur et genou en croissance

Les lésions du ligament croisé antérieur (LCA) de l'enfant ont longtemps été méconnues et minimisées. Du fait de l'augmentation des activités sportives à cinétique élevée chez les enfants et adolescents, des progrès diagnostiques grâce à l'accès facilité à l'imagerie par résonnance magnétique (IRM), et du développement des techniques arthroscopiques, la prise en charge de ces lésions a été modifiée.

Considérée initialement comme bien tolérée chez l'enfant, la rupture du LCA ne nécessitait pas de réparation chirurgicale et un traitement conservateur était instauré et le patient opéré après maturité osseuse. De nombreuses études ont alors montré une évolution naturelle très défavorable avec une diminution du niveau sportif, l'apparition de lésions dégénératives du genou et l'existence d'épisodes d'instabilité (1–3). La principale complication retrouvée était l'apparition de lésions méniscales secondaires siégeant dans le compartiment médial et le risque était d'autant plus grand que le délai après le traumatisme était important (1).

Le traitement chirurgical s'est donc imposé pour protéger le capital méniscal et permettre une reprise du sport. L'indication chirurgicale doit tenir compte du potentiel de croissance résiduelle du genou. En effet, toute lésion du pivot central de l'enfant doit faire établir une prévision de croissance restante, à l'aide de l'âge osseux, déterminé par la méthode de Greulich et Pyle (4) et les courbes de Green et Anderson (5).

Le potentiel de croissance des épiphyses fémorales distales et tibiales proximales, est important, responsable de 65% de la croissance du membre inférieur, avec un potentiel de croissance moyen de 38 cm chez le garçon et 34 cm chez la fille (6).
Cela correspond à environ 2 cm de croissance au genou par année de croissance, répartis à 60% au niveau fémoral et 40% au niveau tibial.

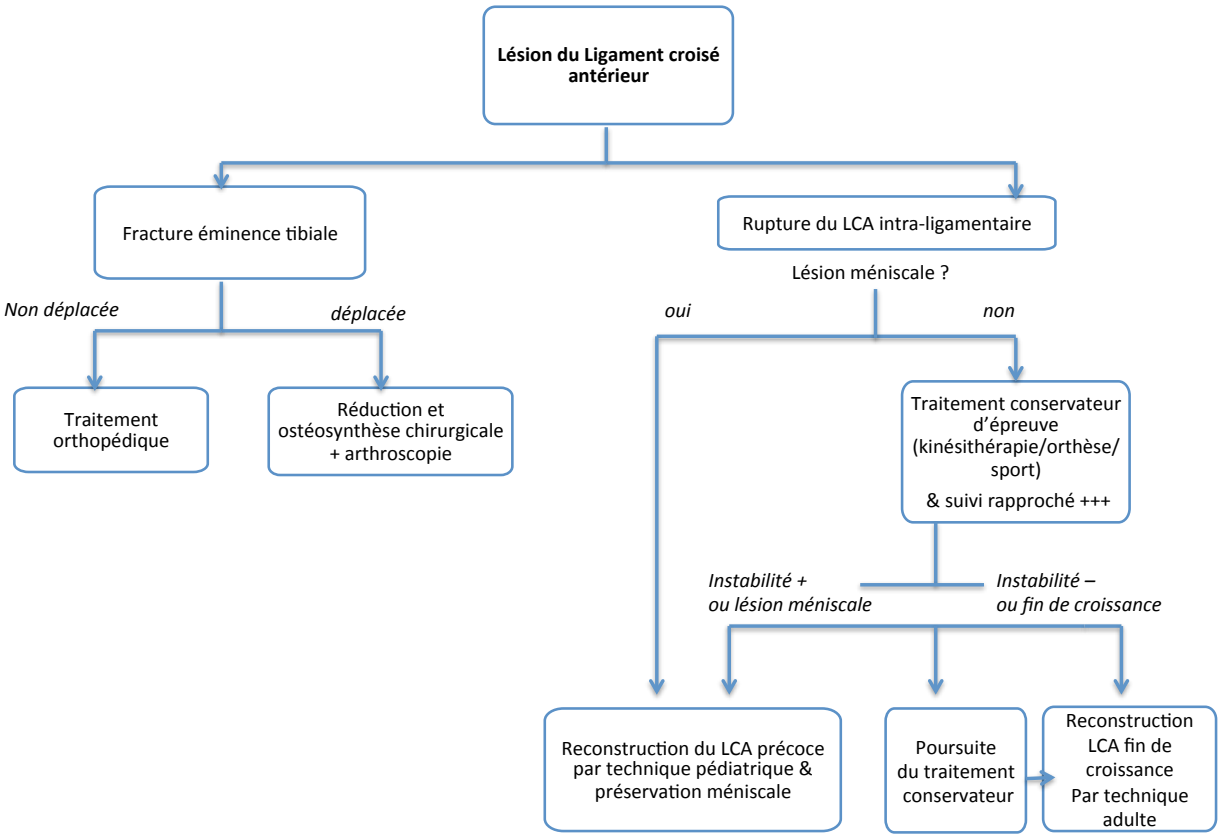
En synthétisant les travaux d'Anderson et Diméglio (6,7) nous pouvons retenir qu'à 9 ans chez la fille et 11 ans chez le garçon, il reste en moyenne 10 cm (+/- 2 cm) de croissance au genou. Deux ans plus tard, la valeur est divisée par 2, soit 5 cm (+/- 1 cm). Lors du pic pubertaire, soit 2 ans plus tard, il ne reste qu'1 cm (+/- 0,5). La fermeture physiologique de la physe est étalée dans le temps (2 ans) et se fait de manière centrifuge du centre à la périphérie. À 14 ans chez la fille, et 16 ans chez le garçon, la croissance des membres inférieurs est terminée et un geste chirurgical de type adulte peut être envisagé.

1.2 Stratégie thérapeutique

Une fois le potentiel de croissance restante évalué, la prise en charge d'une rupture du LCA doit tenir compte du type de lésion, des lésions associées et de la clinique. Un arbre décisionnel a été proposé par certains auteurs (8) et présenté ***Figure 1***.

Le traitement fonctionnel ne doit être qu'une solution d'attente qu'il faut savoir interrompre en cas d'instabilité antérieure. La reconstruction du LCA peut alors être réalisée de manière précoce par technique pédiatrique ou par technique adulte en fin de croissance (9).

***Figure 1**. Arbre décisionnel : prise en charge d'une rupture du ligament croisé antérieur chez l'enfant. D'après « Les lésions ligamentaires et méniscales du genou de l'enfant et de l'adolescent ». Chotel F, Chaker M, Bérard J. (8)*

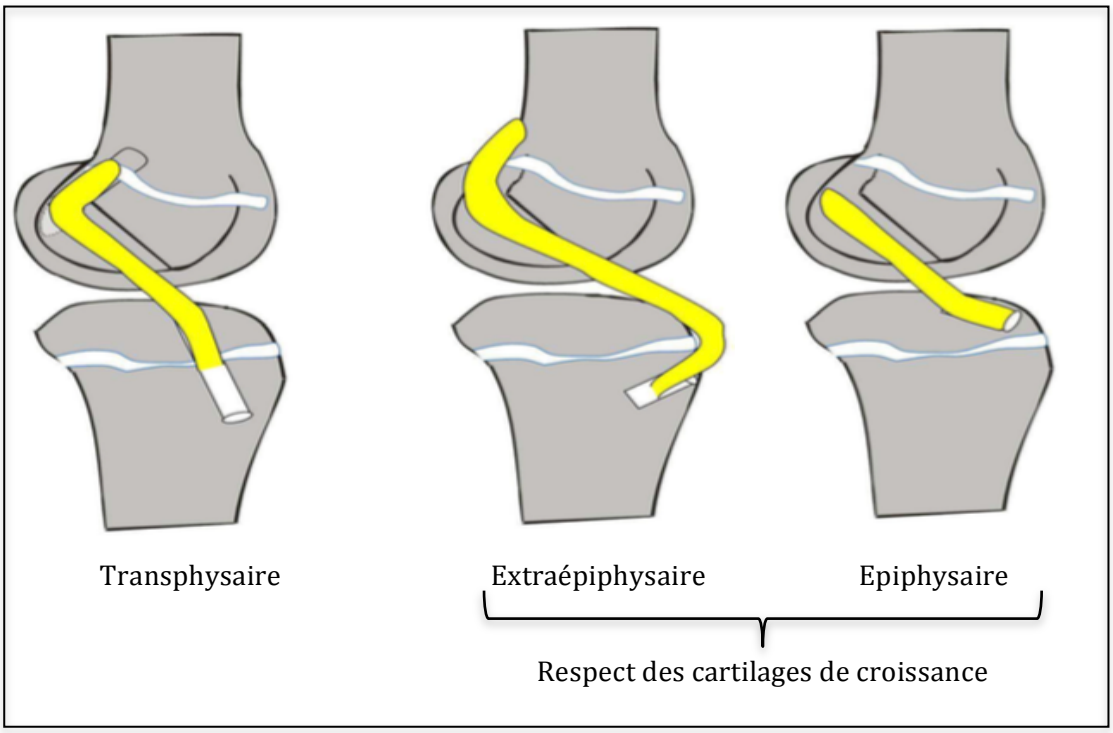


1.3 Techniques de reconstruction chez l'enfant à physes ouvertes

Les techniques de reconstruction utilisables chez l'enfant doivent prendre en compte la présence de la plaque de croissance située entre l'épiphyse et la métaphyse, ainsi que la virole périchondrale. En effet, tout geste chirurgical inadapté peut être à l'origine d'une épiphysiodèse ou d'un trouble de la croissance.

Les différentes techniques peuvent schématiquement être distinguées selon leur trajet par rapport aux plaques de croissance, présentés ***Figure 2***, et selon le greffon et le moyen de fixation utilisés. Nous ne décrirons que les techniques intra-articulaires spécifiques de l'enfant en croissance.

***Figure 2**. Les différentes techniques de reconstruction du LCA chez l'enfant selon leur trajet par rapport aux cartilages de croissance.*
D'après Seil et al. (10)



1.3.1 Techniques de reconstruction selon le trajet des tunnels

Les différentes techniques de reconstruction selon le trajet des tunnels sont les suivantes :

- Techniques respectant les deux plaques fémorale et tibiale (11–13)

Ces techniques sont les plus anciennes, respectent les plaques de croissance, mais ne sont pas parfaitement isométriques, notamment au niveau fémoral. Au niveau tibial, elles passent dans une tranchée épiphysaire.

- Techniques transphysaires au niveau tibial et trans-épiphysaire au fémur (11,14–16)

Il s'agit de reconstruction du LCA isométrique traversant la plaque de croissance tibiale de manière à avoir un ancrage tibial anatomique, mais respectant la plaque de croissance fémorale tout en étant anatomique au niveau du fémur.

- Techniques transphysaires fémoral et tibial (2,17–19)

Le tunnel tibial doit être le plus central et le plus vertical possible, dans le but d'éviter de léser la virole périchondrale antérieure. Le tunnel fémoral est réalisé en hyperflexion, avec pour objectif d'être le plus vertical possible. Ces 2 tunnels sont réalisés avec une mèche de petit diamètre, à rotation lente pour ne pas échauffer la physe. Ces techniques ont l'avantage d'être isométrique mais doivent éviter d'agresser la virole périchondrale au niveau du bord postérieur de l'échancrure.

1.3.2 Techniques de reconstruction selon les greffons utilisables

Différents greffons sont utilisables chez l'enfant ayant des physes ouvertes :

- Le tendon rotulien sans baguette tibiale : technique de Clocheville (12)
- Le tendon quadricipital (16)
- Le fascia lata (13,20)
- Les ischio-jambiers (le demi-tendineux et le droit interne ou le demi-tendineux seul en 4 brins) (11,14)
- Les allogreffes (21) : d'utilisation plus rare

1.3.3 Techniques de reconstruction selon les moyens de fixations

Les moyens de fixation de la greffe sont variables (22), il est possible d'utiliser :

- Une vis d'interférence métallique ou résorbable
- Un système transfixiant
- Une agrafe
- Un bouton cortical
- La suture périostée

Quel que soit le moyen utilisé, la fixation doit impérativement se faire en zone métaphysaire ou épiphysaire mais à distance des physes. Aucun fixation transphysaire n'est possible dans les tunnels en raison du risque d'épiphysiodèse.

En conclusion, quel que soit la technique utilisée, il est indispensable de respecter des règles de reconstruction strictes afin d'éviter des lésions de la plaque de croissance et de la virole périchondrale (22,23). Tout d'abord, il est impératif de connaître la croissance osseuse résiduelle. Le prélevement osseux sur la tubérostié tibiale antérieure en cas de croissance non terminée et la pose d'un matériel d'ostéosynthèse cortical à cheval sur la physe sont contre-indiqués. De plus, il faut éviter une tension trop excessive du transplant, et celui ci doit être fixé en zone métaphysaire ou épiphysaire à distance des physes. Enfin, en cas de réalisation de tunnels osseux transphysaires, ils doivent être de petit diamètre, réalisés avec des mèches à rotation lente, avoir un trajet le plus vertical et central possible, et occupés par du matériel inerte (tendon).

2. Biomécanique des membres inférieurs lors de la marche suite à une rupture du LCA :

2.1 Introduction

La rupture du LCA conduit à une instabilité fonctionnelle et à des modifications biomécaniques des membres inférieurs lors de la marche. Afin d'analyser la marche de manière objective et quantitative, plusieurs méthodes sont utilisées actuellement. Parmi elles, l'analyse quantifiée de la marche (AQM) est la méthode de référence. Elle correspond à une acquisition synchronisée de données cinématiques, cinétiques (plateformes de force) et électromyographiques du sujet en train de marcher. Les travaux présentés ne concernent que l'analyse des données cinématiques.

La cinématique correspond à l'étude du mouvement exprimée par des angles articulaires au cours du cycle de marche. L'observation visuelle simple de la marche permet souvent d'appréhender les principales anomalies, mais il s'agit d'une analyse difficile en raison de la rapidité des mouvements, qui de plus n'est pas quantifiée. Dans l'AQM, les outils permettant l'acquisition des paramètres cinématiques sont les systèmes optoélectroniques. Ils permettent d'obtenir les coordonnées spatiales tridimensionnelles d'un point donné au cours du temps.

Le principe est de modéliser les articulations du sujet à partir de marqueurs disposés sur la peau : ainsi, à partir des données de position des marqueurs passifs placés sur le patient, sont obtenus les angles articulaires des différentes articulations des membres inférieurs au cours de la marche dans les 3 plans de l'espace. Pour permettre des comparaisons, ces angles sont normalisés temporellement par rapport au cycle de marche (de 0 à 100%).

2.2 La cinématique des membres inférieurs lors de la marche normale

La compréhension de la marche normale est un préalable nécessaire à l'étude de la marche pathologique.

La marche est un phénomène cyclique. Le cycle de marche étant défini par deux attaques consécutives du même pied sur le sol, et divisé en deux phases : la phase d'appui et la phase oscillante. La phase d'appui correspondant à toute la période où le pied est en contact avec le sol et la phase oscillante où le pied n'est plus en contact avec le sol et qui correspond à l'avancée du membre inférieur. De manière schématique et simplifiée, différentes phases se succèdent :

- **L'attaque du pas** (0% du cycle de marche (CM)) :
  phase de double appui où le pied entre en contact avec le sol par le talon.

- **La phase d'amortissement** (3 à 10% CM) :
  le poids du corps va se reporter d'un membre inférieur à l'autre et le pied qui se pose va recevoir l'ensemble du poids du corps alors que dans le même temps l'autre pied qui supportait l'ensemble du poids va en être totalement déchargé pour pouvoir progresser.

- **Le milieu et la fin d'appui** (10 à 50% CM) :
  un membre supporte l'ensemble du poids du corps, le pied reste au sol à la même place alors que l'autre progresse.

- **La pré-oscillation puis la phase oscillante** (50 à 100% CM) :
  elle débute au contact initial controlatéral et se termine lors de la perte de contact du pied avec le sol. Durant la phase oscillante le membre inférieur avance sans contact avec le sol.

Certains pré-requis indispensables à la marche, afin qu'elle soit la plus fluide et économique possible, ont été décris par Gage en 1991 (24) :

- La stabilité en phase d'appui
- La liberté de passage du pas
- Un bon pré-positionnement du pied en phase oscillante
- Une longueur de pas adapté
- Une conservation de l'énergie

En effet, un bon pré-positionnement du pied lors de l'attaque du pas est nécessaire. La cheville doit être en position neutre et l'attaque du pas doit être faite par le talon avec le genou en extension quasi complète. Lors de la mise en charge, un phénomène d'amortissement est nécessaire et assuré par 2 mécanismes : la flexion plantaire de cheville et la flexion de genou. Afin d'assurer une stabilité en phase d'appui, l'appui doit être plantigrade et le genou stable. Enfin, la liberté du passage du pied pendant la phase oscillante implique une flexion adaptée du genou et de la hanche, ainsi que la position de la cheville vers la flexion dorsale, afin d'assurer le passage du pas sans accrochage.

La cinématique des membres inférieurs dans le plan sagittal lors de la marche normale chez l'enfant a été décrite de manière précise dans l'ouvrage de Penneçot et collaborateurs (24).

Concernant la hanche, la flexion est d'environ 30° lors du contact initial, et reste stable durant la mise en charge. Puis une extension régulière se produit jusqu'à 50% CM, atteignant alors un maximum d'extension à 10°. Une position neutre de 0° est atteinte à 60% CM, et la flexion s'accentue pour atteindre son maximum de 35° environ lors de la fin du milieu de la phase oscillante.

Le genou est quasi en extension à l'attaque du pas (en réalité il s'agit d'une flexion de 0 à 5°, liée à l'anatomie du genou) et la flexion s'accentue jusqu'à 10-15° durant la période de mise en charge. Puis le genou va vers l'extension, atteignant un maximum en phase de fin d'appui. A partir de 50% CM, une flexion rapide se produit et atteint environ 65° à 73% CM. En phase oscillante le mouvement s'inverse, le genou revenant vers l'extension pour atteindre 5° de flexion juste avant le contact initial.

A l'attaque du pas, la cheville est en position neutre. Elle va initialement vers la flexion plantaire jusqu'à la mise en charge. Une fois le pied au sol, le tibia avance, entraînant au niveau de la cheville une flexion dorsale jusqu'à 50% CM, correspondant à la fin d'appui unipodal. Il existe ensuite un rapide mouvement vers la flexion plantaire, ce qui assure la propulsion correspondant à la phase pré-oscillante. Durant la phase oscillante, la cheville revient progressivement vers la position neutre afin d'assurer le passage du pas.
Les principales données cinématiques des membres inférieurs lors de la marche normale sont résumées dans la ***Figure 3***.

Figure 3. *Cinématique articulaire des membres inférieurs dans le plan sagittal lors de la marche normale.*
D'après G-F Penneçot et al. (24).

	Contact initial & amortissement	**Phase d'appui unipodal**	**Phase pré-oscillante**	**Phase oscillante**
Fonctions	*Mise en charge et amortissement*	*Support de la charge et avancée du tibia*	*Propulsion & Préparation du membre à avancer*	*Raccourcissement du membre permettant le passage du pas*
Hanche	Flexion 30°	Extension régulière jusqu'à 10° max	Retour position neutre 0°	Flexion progressive jusqu'à 30°
Genou	Flexion 5° puis 10-15° à l'amortissement	Extension progressive, maximale en fin d'appui	Flexion rapide : 0 à 30°	Flexion jusqu'à 60° max puis extension progressive.
Cheville	Position neutre au contact initial puis flexion plantaire	Flexion dorsale	Flexion plantaire rapide	Retour progressif vers position neutre

2.3 Altération de la cinématique des membres inférieurs lors de la marche après rupture du ligament croisé antérieur : revue de la littérature

Plusieurs études ont analysé la biomécanique du genou à la suite d'une rupture du ligament croisé antérieur chez l'adulte.

D'après la littérature, différents troubles de la marche ont été identifiés chez les patients ayant une laxité antérieure chronique de genou dans les suites d'une rupture du LCA.
Ces troubles sont différents selon le délai par rapport au traumatisme : les patients ayant une lésion aigüe du LCA (inférieure à un mois) et ceux ayant une lésion chronique (supérieure à 2 ans) ont un pattern de marche très différent (25,26).

La flexion/extension du genou lors de la marche après rupture du LCA a été étudiée et les résultats sont variables selon les études biomécaniques. Certains auteurs retrouvent une flexion de genou plus élevée en phase d'appui du coté lésé par rapport au côté sain (27,28). Au contraire, d'autre auteurs retrouvent une flexion de genou diminuée en phase d'appui par rapport au côté controlatéral (29,30). Ces anomalies sont expliquées comme étant des stratégies compensatoires pour lutter contre la translation tibiale antérieure soit par une contraction plus importante des ischio-jambiers, ou par une diminution de la contraction du quadriceps.

De plus, il semblerait que les sujets ayant une laxité antérieure chronique marcheraient de manière symétrique et par conséquent les anomalies retrouvées sur le membre lésé se latéraliseraient au membre controlatéral sain (30).

La biomécanique du genou lors de la marche après reconstruction du LCA a également été étudiée (31–33). Il semblerait que le pattern de marche soit amélioré par rapport au pattern pré-opératoire mais qu'il persisterait des anomalies en comparaison à un groupe contrôle sain, malgré l'amélioration clinique et la stabilité du genou en post-opératoire des sujets étudiés.

À notre connaissance peu d'études se sont intéressées aux modifications de la marche après reconstruction du LCA, en étudiant la cinématique dans le plan sagittal du genou et en associant simultanément celles des articulations de voisinage. De plus, la plupart des études biomécaniques portant sur le ligament croisé antérieur ont été réalisées chez l'adulte uniquement.

Notre travail de recherche s'est alors axé sur l'étude cinématique de la hanche, du genou et de la cheville lors de la marche, dans les suites d'une ligamentoplastie du croisé antérieur après rupture traumatique chez l'enfant.

L'objectif était de comparer la cinématique de ces 3 articulations du coté reconstruit au côté controlatéral sain, et à celle d'un groupe contrôle.

Nos principales hypothèses étaient qu'il existait des anomalies de la marche dans le plan sagittal sur le membre reconstruit malgré un examen clinique normal et l'absence d'instabilité, par rapport à un groupe contrôle sain; et que ces anomalies se symétrisaient au membre controlatéral.

II/ Matériel et méthode

1. Schéma d'étude

Une étude rétrospective a été réalisée dans le laboratoire d'analyse de la marche au sein du service d'orthopédie pédiatrique de l'Hôpital des Enfants de Toulouse. Les patients inclus étaient des enfants ou adolescents de moins de 16 ans au moment de la chirurgie, ayant bénéficié d'une reconstruction du LCA post-traumatique unilatérale entre 2007 et 2015 et ayant réalisés 2 AQM : en pré- et post-opératoire, après la reprise des activités physiques autorisée par le chirurgien.

La rupture du LCA a été diagnostiquée cliniquement par un des chirurgiens de l'équipe lors de la première venue en consultation et confirmée par l'IRM. Tous les sujets ont bénéficié d'un traitement fonctionnel dans un premier temps. L'indication de reconstruction du LCA a été posée sur des critères cliniques (instabilité fonctionnelle, douleur, impossibilité de la pratique de sport) et radiologique (laximétrie).

Les patients inclus dans l'étude étaient ceux ayant eu une lésion du LCA unilatérale post-traumatique. Les patients ayant présenté une lésion méniscale concomitante ont également été inclus dans l'étude. Ont été exclus de l'étude les patients ayant présenté une rupture du LCA controlatéral ou tout autre pathologie orthopédique de la hanche, du genou ou de la cheville homo- et controlatéraux.

Les reconstructions chirurgicales du LCA ont été réalisées par plusieurs chirurgiens pédiatres de la même équipe, selon une technique intra-articulaire, avec un greffon de type demi-tendineux et droit interne ou demi-tendineux seul (4 brins), en respectant les recommandations pédiatriques pour les patients ayant des physes ouvertes.

Lors de la réalisation des AQM pré et post-opératoire, il a été demandé aux sujets de marcher à leur vitesse normale de marche, sur une piste de 10 m de long, dans laquelle était insérée une plateforme de force permettant l'enregistrement des données cinétiques. Seize cycles de marche ont alors été enregistrés. Les données ont été analysées avec le logiciel Polygon Viewer.

Un examen clinique final a été réalisé lors de la dernière consultation par le chirurgien référent ou lors du 2ème AQM par un autre chirurgien du service, permettant de rechercher une instabilité persistante, des douleurs, une inégalité de membre ou toute autre complication secondaire. Un contrôle radiologique systématique à été réalisé pour tous les patients en fin de suivi.

Les données cinématiques du membre lésé post-reconstruction du LCA issus de l'analyse de la marche ont alors été comparées à celles du membre sain contro-latéral et à celles d'un groupe contrôle.

L'étude a été approuvée par le comité d'éthique du CHU de Toulouse.

2. Population d'étude

34 patients (26 garçons, 8 filles) avec un âge moyen de 13,9 ± 2 ans (9 à 16 ans) lors de la ligamentoplastie ont été inclus dans l'étude. Les données anthropométriques de la population d'étude sont détaillées dans le ***Tableau 1***.

Le délai moyen entre le traumatisme et la chirurgie était de 8,2 ± 6 mois (3 à 17 mois). Toutes les ligamentoplasties ont été réalisées sur physes ouvertes hormis pour 4 patients âgés respectivement de 16; 16,5; 16,6 et 16,8 ans. 15 patients (44%) ont présenté des lésions méniscales confirmées en per-opératoire (12 lésions du ménisque latéral, 3 lésions du ménisque médial) et prises en charge durant le même temps opératoire.

Au recul moyen (24 ± 10,7 mois, 9 à 58 mois post-opératoire), tous les patients avaient retrouvé leur niveau de sport pré-traumatique, et étaient asymptomatiques hormis 2 patients se plaignant d'une sensation d'instabilité avec laxité antérieure persistante à l'examen clinique.

Le groupe témoin était issu d'un groupe de patients constituant le groupe de référence du laboratoire d'étude : 31 patients, (19 filles et 12 garçons), avec un âge moyen de 10,0 ± 2 ans, sans pathologie modifiant la marche.

Tableau 1*. Description de la population d'étude*

	Groupe LCA	**Groupe Contrôle**
Nombre	34 26 M/ 8 F	31 12 H/ 19 F
Age moyen*	13,9	10,0
Taille moyenne (cm)	159,5	
Poids moyen (kg)	52,7	
Délai moyen traumatisme-chirurgie (mois)	8,2 ± 6	
Lésions méniscales	15 (44%)	
Recul moyen (mois)	24,0 ± 10,7	

** age, taille et poids moyen à la réalisation de la 1ère AQM*
Groupe LCA : population d'étude

3. Analyse de la marche : acquisition et analyse des données

L'analyse de la marche s'est faite à l'aide d'un système VICON 460 en utilisant le modèle Oxford. Les données cinématiques ont été collectées à l'aide de 5 caméras vidéo infrarouges, à une fréquence d'échantillonnage de 60 Hz.

15 marqueurs passifs réfléchissants ont été placés sur le pelvis et les membres inférieurs, afin d'identifier les centres articulaires et les positions des membres en utilisant le modèle d'Helen Hayes.

Les données cinétiques et spatio-temporelles ont également été enregistrées de manière simultanée à l'aide d'une plateforme de force insérée à la moitié de la piste.

Chaque essai de marche a été normalisé par rapport au pourcentage de cycle de marche puis la moyenne des 8 passages a été calculée pour chaque côté.

Seules les données cinématiques des membres inférieurs dans le plan sagittal ont été analysées dans le cadre de notre étude.

Les amplitudes articulaires (flexion et extension) de la hanche, du genou et de la cheville ont été analysées à différents moments du cycle: à 0% (contact initial), 8% (phase d'amortissement), 50% (fin d'appui) et 83% (milieu de phase oscillante).

L'analyse de la marche du groupe de référence a été réalisée selon le même protocole.

4. Analyse statistique

Des test-t appariés ont été réalisés pour comparer les données cinématiques du membre lésé avant la chirurgie (groupe « LCA-Déficient»), après la chirurgie (groupe « LCA-Reconstruit») et celle du membre controlatéral (groupe « controlatéral »).

Des test-t non appariés ont été réalisés pour comparer ces données à celles du groupe « contrôle ».

Les données cinématiques moyennes ont été réparties selon plusieurs groupes :
Celles des membres lésés (groupe « LCA-D »), des membres reconstruits (groupe « LCA-R »), des membres controlatéraux sains (groupe « controlatéral »), des membres sains du groupe « contrôle ».

Des test-t appariés ont étés réalisés pour comparer les données du groupe LCA-D, LCA-R et Controlatéral. Des test-t non appariés ont été réalisés pour comparer les données du groupe LCA-D, LCA-R et Controlatéral à celles du groupe contrôle.

III/ Résultats

La cinématique des membres inférieurs dans le plan sagittal a été analysée durant 4 instants précis du cycle de marche : au contact initial, lors de la phase d'amortissement, en fin d'appui, et en milieu de phase oscillante.

1. Au contact initial (0% du cycle)

En pré-opératoire, la cinématique de la hanche, du genou et de la cheville des membres lésés était significativement différente de celle du groupe contrôle, les résultats sont présentés dans le ***Tableau 2***.

En post-opératoire, en comparaison au groupe contrôle, le membre reconstruit attaquait le pas avec une **flexion de hanche plus faible** (28,3° ± 4,8 vs 31,5° ± 5,3; p < 0,05), une **extension de genou plus importante** (2,3° ± 3,4 vs 5,9° ± 3,6; p < 0,01) et en **flexion plantaire de cheville** (-3,2° ± 2,4 vs 0,8° ± 3,5; p < 0,01) de manière significativement différente pour ces 3 paramètres.
Ces anomalies se sont symétrisées au côté controlatéral.

Tableau 2*. Cinématique des membres inférieurs dans le plan sagittal à 0% du cycle (contact initial)*

	LCA-D vs contrôle	LCA-R vs LCA-D	LCA-R vs Controlatéral	LCA-R vs Contrôle
Flexion(+)/Extension(-) Hanche	28,2° ± 5,2 **vs** 31,5° ± 5,3	28,3° ± 4,8 **vs** 28,2° ± 5,2	28,3° ± 4,8 **vs** 27,8° ± 4,8	28,3° ± 4,8 **vs** 31,5° ± 5,3
	p < 0,05	NS	NS	**p < 0,05**
Flexion(+)/Extension(-) Genou	3,3° ± 3,9 **vs** 5,9° ± 3,6	2,3° ± 3,4 **vs** 3,3° ± 3,9	2,3° ± 3,4 **vs** 1,6° ± 3,4	2,3° ± 3,4 **vs** 5,9° ± 3,6
	p < 0,05	NS	NS	**p < 0,01**
Flexion dorsale(+)/plantaire(-) Cheville	-2,2° ± 2,7 **vs** 0,8° ± 3,5	-3,2° ± 2,4 **vs** -2,2° ± 2,7	-3,2° ± 2,4 **vs** -3,0° ± 2,1	-3,2° ± 2,4 **vs** 0,8° ± 3,5
	p = 0,0002	**p < 0,05**	NS	**p < 0,01**

LCA-D : LCA rompu; LCA-R : LCA reconstruit; Controlatéral : membre controlatéral sain; Contrôle : membre sain du groupe témoin.
NS : non significatif si p > 0,05

2. À l'amortissement (8% du cycle)

L'amortissement correspond sur le plan biomécanique à une phase d'instabilité, car le pied n'est pas encore plantigrade au sol et le genou est en cours de flexion pour amortir le choc de l'appui du membre inférieur.
En pré-opératoire, la cinématique de la hanche, du genou et de la cheville des membres lésés était également significativement différente de celle du groupe contrôle, les résultats sont présentés dans le ***Tableau 3***.

En post-opératoire, en comparaison au groupe contrôle, le membre reconstruit attaquait le pas avec une **flexion de hanche plus faible** (25,0° ± 5,4 vs 29,2° ± 5,3; p < 0,00001), une **flexion de genou plus faible** (9,7° ± 4,8 vs 15,0° ± 3,6; p < 0,00001) et une **flexion plantaire de cheville plus importante** (-5,0° ± 1,8 vs -0,8° ± 2,7; p < 0,00001) de manière significativement différente pour ces 3 paramètres.
Ces anomalies se sont symétrisées au côté controlatéral.

Tableau 3*. Cinématique des membres inférieurs dans le plan sagittal à 8% du cycle (amortissement)*

	LCA-D vs contrôle	LCA-R vs LCA-D	LCA-R vs Controlatéral	LCA-R vs Contrôle
Flexion(+)/Extension(-) Hanche	25.2° ± 5,4 vs 29.2° ± 5,3	25.0° ± 5,4 vs 25,2° ± 5,4	25,0° ± 5,4 vs 25,6° ± 5,0	25,0° ± 5,4 vs 29,2° ± 5,3
	p < 0.00001	NS	NS	**p < 0,00001**
Flexion(+)/Extension(-) Genou	11,4° ± 5,0 **vs** 15,0° ± 3,6	9,7° ± 4,8 **vs** 11,4° ± 5,0	9,7° ± 4,8 **vs** 10,4° ± 4,1	9,7° ± 4,8 **vs** 15,0° ± 3,6
	p = 0,01	**p = 0,03**	NS	**p < 0,00001**
Flexion dorsale(+)/plantaire(-) Cheville	-3,8° ± 2,4 vs -0,8° ± 2,7	-5,0° ± 1,8 vs -3,8° ± 2,4	-5,0° ± 1,8 vs -4,4° ± 2,3	-5,0° ± 1,8 vs -0,8° ± 2,7
	p <0.05	**p < 0,05**	NS	**p < 0,00001**

LCA-D : LCA rompu; LCA-R : LCA reconstruit; Controlatéral : membre controlatéral sain; Contrôle : membre sain du groupe témoin.
NS : non significatif si p > 0,05

3. En fin d'appui (50% du cycle)

En pré-opératoire, la cinématique de la hanche, du genou et de la cheville des membres lésés n'était pas différente de celle du groupe contrôle, les résultats sont présentés dans le ***Tableau 4***.

En post-opératoire, seule la cinématique du genou était significativement différente en comparaison au groupe contrôle : **la flexion du genou** des membres reconstruits était significativement **plus faible** (8,2 ° ± 3,2 vs 10,9° ± 4,4; p < 0,006).

Tableau 4*. Cinématique des membres inférieurs dans le plan sagittal à 50% du cycle (fin d'appui)*

	LCA-D vs contrôle	LCA-R vs LCA-D	LCA-R vs Controlatéral	LCA-R vs Contrôle
Flexion(+)/Extension(-) Hanche	-10,8° ± 5,0 **vs** -10,9° ± 6,4	-11,4° ± 5,5 **vs** -10,8° ± 5,0	-11,4° ± 5,5 **vs** 12,2° ± 5,4	-11,4° ± 5,5 **vs** -10,9° ± 6,4
	NS	NS	NS	NS
Flexion(+)/Extension(-) Genou	10,9° ± 4,1 **vs** 10,9° ± 4,4	8,2° ± 3,2 **vs** 10,8° ± 4,1	8,2° ± 3,2 **vs** 6,6° ± 3,6	8,2° ± 3,2 **vs** 10,9° ± 4,4
	NS	**p < 0,0001**	**p = 0,02**	**p = 0,006**
Flexion dorsale(+)/plantaire(-) Cheville	12,8° ± 2,6 **vs** 12,8° ± 3,2	12,1° ± 3,4 **vs** 12,8° ± 2,6	12,1° ± 3,4 **vs** 11,8° ± 2,6	12,1° ± 3,4 **vs** 12,8° ± 3,2
	NS	**p = 0,03**	NS	NS

LCA-D : LCA rompu; LCA-R : LCA reconstruit; Controlatéral : membre controlatéral sain; Contrôle : membre sain du groupe témoin.
NS : non significatif si p > 0,05

4. En milieu de phase oscillante (83 % du cycle)

La cinématique de la hanche des membres lésés n'était pas différente du groupe contrôle, ni en pré- ni en post-opératoire. Les résultats sont présentés dans le ***Tableau 5***.

En post-opératoire, en comparaison au groupe contrôle, le membre reconstruit attaquait le pas avec une **flexion de genou plus faible** (29,1° ± 5,1 vs 35,4° ± 5,6; p < 0,0001), et une **flexion dorsale de cheville plus faible** (0,0° ± 2,5 vs 1,3° ± 2,9; p < 0,05) de manière significative.
Ces anomalies se sont symétrisées au côté controlatéral.

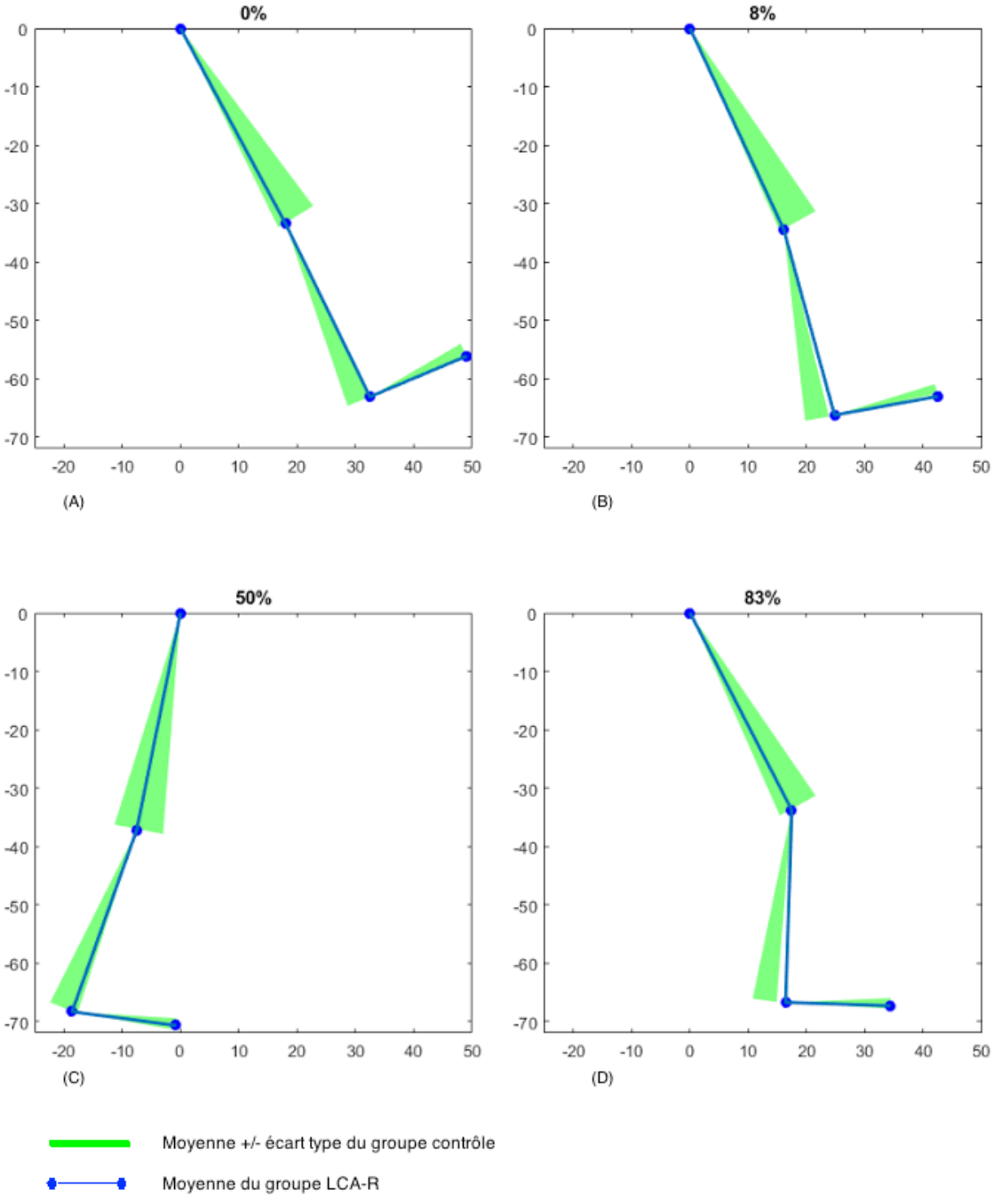
Tableau 5*. Cinématique des membres inférieurs dans le plan sagittal à 83% du cycle (phase oscillante)*

	LCA-D vs contrôle	LCA-R vs LCA-D	LCA-R vs Controlatéral	LCA-R vs Contrôle
Flexion(+)/Extension(-) Hanche	27,6° ± 5,3 **vs** 29,2° ± 5,3	27,3° ± 5,0 **vs** 27,6° ± 5,3	27,3° ± 5,0 **vs** 27,1° ± 5,3	27,3° ± 5,0 **vs** 29,2° ± 5,3
	NS	NS	NS	NS
Flexion(+)/Extension(-) Genou	32,0° ± 4,8 **vs** 35,4° ± 5,6	29,1° ± 5,1 **vs** 32,0° ± 4,8	29,1° ± 5,1 **vs** 30,2° ± 5,6	29,1° ± 5,1 **vs** 35,4° ± 5,6
	p = 0,01	**p = 0,0004**	NS	**p < 0,0001**
Flexion dorsale(+)/plantaire(-) Cheville	1,1° ± 2,8 **vs** 1,3° ± 2,9	0,0° ± 2,5 **vs** 1,1° ± 2,8	0,0° ± 2,5 **vs** 0,4° ± 2,3	0,0° ± 2,5 **vs** 1,3° ± 2,9
	NS	**p = 0,009**	NS	**p < 0,05**

LCA-D : LCA rompu; LCA-R : LCA reconstruit; Controlatéral : membre controlatéral sain; Contrôle : membre sain du groupe témoin.
NS : non significatif si p > 0,05

La ***Figure 4*** schématise la cinématique des membres inférieurs dans le plan saggital à 0%, 8%, 50% et 83% du cycle de marche en comparant les données du groupe LCA-R (LCA-Reconstruits) à celle du groupe contrôle.

Figure 4 *: Représentation schématique de la cinématique des membres inférieurs dans le plan sagittal du groupe LCA-Reconstruits (LCA-R) et du groupe contrôle, lors du contact initial à 0% du cycle de marche (A), lors de la phase d'amortissement à 8% du cycle (B), en fin d'appui à 50% du cycle, et au cours de la phase oscillante à 83% du cycle.*



Les amplitudes articulaires moyennes de la hanche, du genou et de la cheville des membres inférieurs après reconstruction (LCA-R) sont comparées à celle du groupe contrôle dans la ***Figure 5***, aux différents moments du cycle de marche.

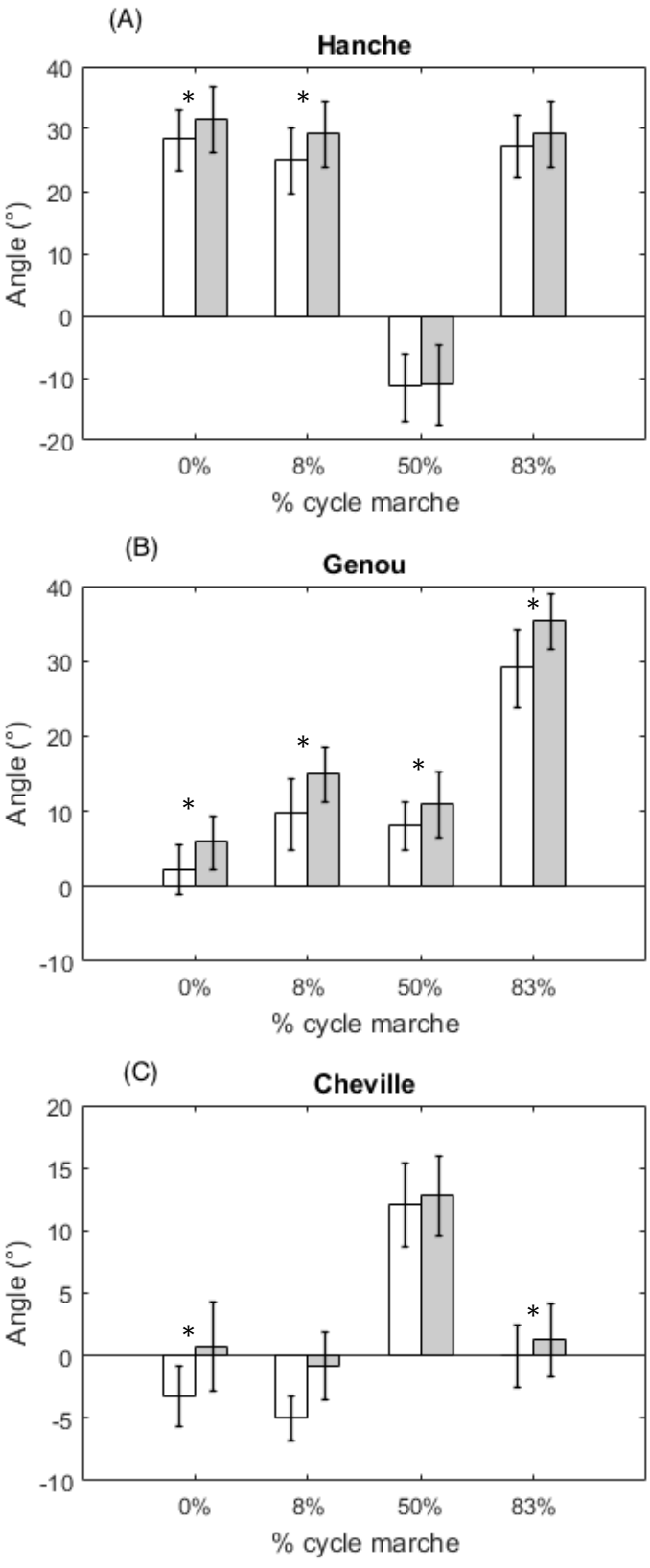


Figure 5*: Comparaison entre le groupe LCA-reconstruit (LCA-R) et le groupe contrôle des amplitudes articulaires moyennes de la hanche (A), du genou (B), et de la cheville (C) lors du contact initial à 0% du cycle de marche , lors de la phase d'amortissement à 8% du cycle, en fin d'appui à 50% du cycle, et au cours de la phase oscillante à 83% du cycle.*

IV/ Discussion et Conclusion

Les 34 patients inclus dans l'étude avaient un âge moyen de 13,9 ans (9 à 16 ans) et 30 des ligamentoplasties ont étés réalisées sur des genoux à physes ouvertes. Au recul post-opératoire moyen de 24 mois (9 à 58 mois post opératoires), les patients avaient tous retrouvé leur niveau de sport pré-traumatique, hormis 2 patients se plaignant d'une sensation d'instabilité.

Les résultats de notre étude ont montré que les enfants ayant eu une reconstruction du LCA ont un pattern de marche modifié en comparaison à un groupe témoin, malgré l'amélioration clinique et l'absence d'instabilité post-opératoire pour la majorité des sujets. En effet, la cinématique de l'ensemble du membre inférieur du côté reconstruit était différente de celle du groupe contrôle. Les sujets de notre étude avaient une flexion de hanche significativement plus faible par rapport au groupe contrôle en début d'appui et lors de la mise en charge du membre. La flexion de genou était significativement plus faible lors de toutes les phases du cycle analysées. L'attaque du pas se faisait avec une flexion plantaire de cheville pour les sujets et flexion dorsale de cheville pour le groupe contrôle. En phase oscillante la cheville était significativement plus en flexion dorsale que pour le groupe contrôle.

Les modifications du pattern de marche après reconstruction du LCA chez l'adulte ont été analysées par de nombreux auteurs (31–40), avec des résultats variables selon le délai moyen post-opératoire, la technique opératoire, la récupération du niveau d'activité physique antérieur au traumatisme. Le ***Tableau 6*** représente les différents résultats selon la littérature, concernant l'analyse cinématique des membres inférieurs après reconstruction du LCA en comparaison au membre controlatéral ou à un groupe contrôle.

***Tableau 6**. Revue de la littérature : cinématique des membres inférieurs dans le plan sagittal après reconstruction du ligament croisé antérieur chez l'adulte.*

Auteurs & Année	Sujets	Recul post-opératoire	Résultats principaux
Bulgheroni et al.(1997)	15 LCA-R vs GC	2 ans	Absence de difference de flexion/ extension pour les articulations de hanche, genou, cheville entre les groupes
Devita et al.(1998)	9 LCA-R vs GC	6 mois	LCA-R : - flexion de genou plus élevée que GC à 3 semaines Absence de différence entre les groupes à 6 mois
Di stasi et al.(2013)	42 LCA-R vs CL	6 mois	LCA-R n'ayant pas retrouvé leur niveau de sport : - flexion de genou plus faible en début d'appui et au pic de flexion - absence de différence pour la cinématique de la hanche
Ferber et al.(2002)	10 LCA-R vs GC	3 mois	LCA-R : - absence de différence de flexion de genou au contact initial - flexion de genou plus élevée en milieu d'appui
Gokeler et al. (2003)	14 LCA-R vs GC	> 5 mois	LCA-R : flexion de genou plus élevée en milieu d'appui
Hartigan et al. (2009)	19 LCA-R vs CL	6 mois	LCA-R n'ayant pas retrouvé leur niveau de sport : - diminution de la flexion de genou en milieu d'appui
Knoll et al. (2004)	25 LCA-R vs GC	8 mois	LCA-R : - flexion de genou plus élevée à 3 semaines et 4 mois Absence de différence entre les groupes à 8 mois
Scanlan et al. (2014)	29 LCA-R vs CL	27 mois	LCA-R : - flexion de genou plus élevée en début d'appui
Shabani et al. (2015)	30 LCA-R vs CL et vs GC	10 mois	LCA-R : - flexion de genou plus élevée en fin d'appui et en phase oscillante par rapport au GC - absence de différence avec CL
Wang et al.(2013)	24 LCA-R vs 20 CG (LCA-R : 12 : TT / 12 : AMP)	12 mois	LCA-R technique AMP : extension de genou plus faible en fin d'appui

LCA-R : groupe LCA reconstruit; GC : groupe contrôle; CL : groupe controlatéral;
TT : technique de reconstruction avec visée transtibiale; AMP : technique de reconstruction avec visée antéro-médiale.

En effet, les résultats concernant l'analyse de la flexion/extension du genou lors de la marche des genoux reconstruits varient selon les études. Certains auteurs retrouvent une flexion de genou augmentée en phase d'appui et diminuée en phase oscillante en comparaison à un groupe contrôle en post-opératoire précoce (< 6 mois) (38,34). Cependant ces 2 études révèlent que le genou retrouve une cinématique identique à celle du groupe contrôle après 6 mois de rééducation. Par ailleurs, d'autres auteurs étudiant la cinématique du genou lors de différentes activités physiques (marche, course et saut) trouvent des résultats similaires à notre étude, avec une flexion de genou diminuée en phase d'appui en comparaison à un groupe contrôle, que ce soit avec un recul post-opératoire faible (< 6 mois) (41) ou avec un recul post-opératoire élevé (4 ans) (42).

Une méta-analyse récente a étudié l'ensemble des analyses biomécaniques concernant la marche après reconstruction du LCA (33). Les auteurs confirment la variabilité des mesures cinématiques en fonction du délai post-opératoire. Selon cette étude la flexion de genou serait diminuée au contact initial lors de la marche après reconstruction du LCA, en comparaison au genou controlatéral ou à un groupe contrôle. De plus, les altérations cinétiques et cinématiques du pattern de marche persisteraient jusqu'à 5 ans post-opératoire.

Au vue de la littérature, les modifications biomécaniques du genou après reconstruction du LCA sont donc courantes et les résultats de notre étude confirment que la restauration d'un pattern de marche normal peut ne jamais être complète, au moins à moyen terme. De plus, les modifications cinématiques du genou les plus fréquentes lors de la marche sont dans le plan sagittal (43). Lors de la marche normale, une flexion de genou se produit lors de la phase d'amortissement, en pré-oscillation et en phase oscillante. Durant la phase d'amortissement, la limitation de flexion est liée à un phénomène compensatoire : en effet, la contraction du quadriceps sur genou fléchi génèrerait une translation tibiale antérieure. L'extension complète du genou a donc l'avantage d'être la position la plus stable lors de la mise en charge totale.

Certaines hypothèses ont été avancées afin d'expliquer pourquoi ces anomalies persistent aussi tardivement (44–46). Une altération du contrôle sensorimoteur du membre inférieur se produirait lors de la rupture du LCA, responsable de co-contractions musculaires diminuant les amplitudes articulaires de la hanche et du genou du côté lésé. Cette stratégie compensatoire instaurée pour améliorer la stabilité du genou lésé persisterait malgré la reconstruction du fait de l'anomalie de ce contrôle sensorimoteur. Cependant, selon certains chercheurs, des protocoles de rééducation spécifique de la réhabilitation à la marche permettraient d'améliorer les anomalies du pattern persistant en post-opératoire (45).

De plus, notre étude révèle que la cinématique du membre inférieur reconstruit n'était pas différente de celle du membre controlatéral, aux 4 moments du cycle étudiés, hormis la cinématique du genou en fin d'appui. Ceci révèle que pour nos sujets, les anomalies se symétrisent malgré l'absence de lésion. Une des explications pourrait être l'harmonisation de la marche, afin d'obtenir une façon symétrique de déplacement. Certains auteurs, ont présenté des résultats différents des nôtres, à savoir une asymétrie entre le membre reconstruit et le membre controlatéral à 1 an post-opératoire chez des sujets adultes (47).

Notre étude présente certaines limites. D'une part, elle a été réalisée de manière rétrospective avec les biais que cela peut comporter. Une deuxième limite est inhérente à l'analyse cinématique de la marche à l'aide de systèmes opto-électroniques. En effet, les marqueurs utilisés pour l'analyse du mouvement sont des marqueurs cutanés et la variabilité des mesures est reconnue par rapport aux mouvements osseux. Cependant, l'analyse cinématique du membre inférieur à l'aide de systèmes opto-électroniques est une des techniques les plus fiables et reproductibles.

En conclusion, nos hypothèses de départ ont été confirmées par nos résultats. En effet, la cinématique des membres inférieurs lors de la marche après la reconstruction du LCA présente des différences par rapport à celle d'un groupe contrôle, alors que les enfants avaient retrouvé une pratique sportive et ne présentaient pas d'instabilité fonctionnelle. De plus, les anomalies se sont reproduites du côté controlatéral, sain. Cette étude est à notre connaissance la seule série pédiatrique étudiant la biomécanique du membre inférieur après rupture du LCA. Les résultats retrouvés nous encouragent à améliorer la prise en charge de ces lésions au point de vue chirurgical et rééducatif afin de restaurer une biomécanique la plus fonctionnelle possible pour les membres inférieurs.

V/ Bibliographie

1. Graf BK, Lange RH, Fujisaki CK, Landry GL, Saluja RK. Anterior cruciate ligament tears in skeletally immature patients: meniscal pathology at presentation and after attempted conservative treatment. Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc. 1992;8(2):229–33.

2. Aichroth PM, Patel DV, Zorrilla P. The natural history and treatment of rupture of the anterior cruciate ligament in children and adolescents. A prospective review. J Bone Joint Surg Br. 2002 Jan;84(1):38–41.

3. Roos EM. Joint injury causes knee osteoarthritis in young adults. Curr Opin Rheumatol. 2005 Mar;17(2):195–200.

4. Greulich, Pyle. Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist. 1950.

5. Anderson M, Green WT, Messner MB. Growth and predictions of growth in the lower extremities. J Bone Joint Surg Am. 1963

6. Dimeglio. Croissance en Orthopédie. 1998.

7. Anderson M, Messner MB, Green WT. Distribution of lengths of the normal femur and tibia in children from one to eighteen years of age. J Bone Joint Surg Am. 1964 Sep;46:1197–202.

8. Chotel F, Chaker, M, Bérard J. Les lésions ligamentaires et méniscales du genou de l'enfant et de l'adolescent. 2008 Mar 27

9. Henry J, Chotel F, Chouteau J, Fessy MH, Bérard J, Moyen B. Rupture of the anterior cruciate ligament in children: early reconstruction with open physes or delayed reconstruction to skeletal maturity? Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA. 2009 Jul;17(7):748–55.

10. Seil R, Weitz FK, Pape D. Surgical-experimental principles of anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction with open growth plates. J Exp Orthop 2015

11. Lipscomb AB, Anderson AF. Tears of the anterior cruciate ligament in adolescents. J Bone Joint Surg Am. 1986 Jan;68(1):19–28.

12. Robert H, Bonnard C. The possibilities of using the patellar tendon in the treatment of anterior cruciate ligament tears in children. Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc. 1999 Feb;15(1):73–6.

13. Kocher MS, Garg S, Micheli LJ. Physeal sparing reconstruction of the anterior cruciate ligament in skeletally immature prepubescent children and adolescents. J Bone Joint Surg Am. 2005 Nov;87(11):2371–9.

14. Anderson AF. Transepiphyseal replacement of the anterior cruciate ligament in skeletally immature patients. A preliminary report. J Bone Joint Surg Am. 2003 Jul;85-A(7):1255–63.

15. Lerat JL, Chotel F, Besse JL, Moyen B, Binet G, Craviari T, et al. [The results after 10-16 years of the treatment of chronic anterior laxity of the knee using reconstruction of the anterior cruciate ligament with a patellar tendon graft combined with an external extra-articular reconstruction]. Rev Chir Orthopédique Réparatrice Appar Mot. 1998 Nov;84(8):712–27.

16. Chotel F. Les entorses du Genou chez l'enfant et l'adolescent. In : Cahiers d'enseignement et conférences de la SOFCOT (n°85). Elsevier. Paris; 2004

17. Simonian PT, Metcalf MH, Larson RV. Anterior cruciate ligament injuries in the skeletally immature patient. Am J Orthop Belle Mead NJ. 1999 Nov;28(11):624–8.

18. Calvo R, Figueroa D, Gili F, Vaisman A, Mocoçain P, Espinosa M, et al. Transphyseal anterior cruciate ligament reconstruction in patients with open physes: 10-year follow-up study. Am J Sports Med. 2015 Feb;43(2):289–94.

19. Shea KG, Pfeiffer R, Wang JH, Curtin M, Apel PJ. Anterior cruciate ligament injury in pediatric and adolescent soccer players: an analysis of insurance data. J Pediatr Orthop. 2004 Dec;24(6):623–8.

20. Kocher MS, Saxon HS, Hovis WD, Hawkins RJ. Management and complications of anterior cruciate ligament injuries in skeletally immature patients: survey of the Herodicus Society and The ACL Study Group. J Pediatr Orthop. 2002 Aug;22(4):452–7.

21. Andrews M, Noyes FR, Barber-Westin SD. Anterior cruciate ligament allograft reconstruction in the skeletally immature athlete. Am J Sports Med. 1994 Feb;22(1):48–54.

22. Robert H, Seil, R., Chotel F, Bonnard C. Les différentes techniques de reconstruction du ligament croisé antérieur sur le genou en croissance. Rev Chir Orthopédique Traumatol. 2007.

23. Bergerault F, Bonnard C, de Courtivron B. Ruptures du ligament croisé antérieur chez l'enfant. EMC - Tech Chir - Orthopédie - Traumatol. 2011 Jan;6(3):1–9.

24. Penneçot G-F. Marche pathologique de l'enfant paralysé cérébral : marche normale, analyse et compréhension des phénomènes pathologiques, traitement, évaluation. Sauramps médical; 2009.

25. Takeda K, Hasegawa T, Kiriyama Y, Matsumoto H, Otani T, Toyama Y, et al. Kinematic motion of the anterior cruciate ligament deficient knee during functionally high and low demanding tasks. J Biomech. 2014 Jul 18;47(10):2526–30.

26. Lindström M, Felländer-Tsai L, Wredmark T, Henriksson M. Adaptations of gait and muscle activation in chronic ACL deficiency. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2010 Jan;18(1):106–14.

27. Chen C-H, Li J-S, Hosseini A, Gadikota HR, Gill TJ, Li G. Anteroposterior stability of the knee during the stance phase of gait after anterior cruciate ligament deficiency. Gait Posture. 2012 Mar;35(3):467–71.

28. Roberts CS, Rash GS, Honaker JT, Wachowiak MP, Shaw JC. A deficient anterior cruciate ligament does not lead to quadriceps avoidance gait. Gait Posture. 1999 Dec;10(3):189–99.

29. Georgoulis AD, Papadonikolakis A, Papageorgiou CD, Mitsou A, Stergiou N. Three-dimensional tibiofemoral kinematics of the anterior cruciate ligament-deficient and reconstructed knee during walking. Am J Sports Med. 2003 Feb;31(1):75–9.

30. Berchuck M, Andriacchi TP, Bach BR, Reider B. Gait adaptations by patients who have a deficient anterior cruciate ligament. J Bone Joint Surg Am. 1990 Jul;72(6):871–7.

31. Bulgheroni P, Bulgheroni MV, Andrini L, Guffanti P, Giughello A. Gait patterns after anterior cruciate ligament reconstruction. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA. 1997;5(1):14–21.

32. Shabani B, Bytyqi D, Lustig S, Cheze L, Bytyqi C, Neyret P. Gait knee kinematics after ACL reconstruction: 3D assessment. Int Orthop. 2015 Jun;39(6):1187–93.

33. Gokeler A, Benjaminse A, van Eck CF, Webster KE, Schot L, Otten E. Return of normal gait as an outcome measurement in ACL reconstructed patients. A systematic review. Int J Sports Phys Ther. 2013 Aug;8(4):441–51.

34. DeVita P, Hortobagyi T, Barrier J. Gait biomechanics are not normal after anterior cruciate ligament reconstruction and accelerated rehabilitation. Med Sci Sports Exerc. 1998 Oct;30(10):1481–8.

35. Di Stasi SL, Logerstedt D, Gardinier ES, Snyder-Mackler L. Gait patterns differ between ACL-reconstructed athletes who pass return-to-sport criteria and those who fail. Am J Sports Med. 2013 Jun;41(6):1310–8.

36. Ferber R, Osternig LR, Woollacott MH, Wasielewski NJ, Lee J-H. Gait mechanics in chronic ACL deficiency and subsequent repair. Clin Biomech Bristol Avon. 2002 May;17(4):274–85.

37. Hartigan E, Axe MJ, Snyder-Mackler L. Perturbation training prior to ACL reconstruction improves gait asymmetries in non-copers. J Orthop Res Off Publ Orthop Res Soc. 2009 Jun;27(6):724–9.

38. Knoll Z, Kiss RM, Kocsis L. Gait adaptation in ACL deficient patients before and after anterior cruciate ligament reconstruction surgery. J Electromyogr Kinesiol. 2004 Jun;14(3):287–94.

39. Scanlan SF, Donahue JP, Andriacchi TP. The in vivo relationship between anterior neutral tibial position and loss of knee extension after transtibial ACL reconstruction. The Knee. 2014 Jan;21(1):74–9.

40. Wang H, Fleischli JE, Zheng NN. Transtibial versus anteromedial portal technique in single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: outcomes of knee joint kinematics during walking. Am J Sports Med. 2013 Aug;41(8):1847–56.

41. Deneweth JM, Bey MJ, McLean SG, Lock TR, Kolowich PA, Tashman S. Tibiofemoral joint kinematics of the anterior cruciate ligament-reconstructed knee during a single-legged hop landing. Am J Sports Med. 2010 Sep;38(9):1820–8.

42. Delahunt E, Prendiville A, Sweeney L, Chawke M, Kelleher J, Patterson M, et al. Hip and knee joint kinematics during a diagonal jump landing in anterior cruciate ligament reconstructed females. J Electromyogr Kinesiol Off J Int Soc Electrophysiol Kinesiol. 2012 Aug;22(4):598–606.

43. Perry, Jacquelin, Burnfield, Judith. Gait analysis : Normal and pathological function. Second Edition. SLACK Incorporated; 2015.

44. Hemmerich A, van der Merwe W, Batterham M, Vaughan CL. Knee rotational laxity in a randomized comparison of single- versus double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. Am J Sports Med. 2011 Jan;39(1):48–56.

45. Decker, Torry MR, Steadman JR. Gait retraining after anterior cruciate ligament reconstruction. Arch Phys Med Rehabil. 2004

46. Kapreli E, Athanasopoulos S, Gliatis J, Papathanasiou M, Peeters R, Strimpakos N, et al. Anterior cruciate ligament deficiency causes brain plasticity: a functional MRI study. Am J Sports Med. 2009 Dec;37(12):2419–26.

47. White K, Logerstedt D, Snyder-Mackler L. Gait Asymmetries Persist 1 Year After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. Orthop J Sports Med. 2013 Jul 25;1(2).

Liste des abréviations

LCA : ligament croisé antérieur

IRM : imagerie par résonnance magnétique

AQM : analyse quantifiée de la marche

CM : cycle de marche

LCA-D : ligaments croisés antérieurs déficients

LCA-R : ligaments croisés antérieurs reconstruits

GC : groupe contrôle

NS : non significatif

TT : technique de reconstruction avec visée transtibiale

AMP : technique de reconstruction avec visée antéromédiale

POINSOT Emmanuelle

PERSISTANCE DES STRATÉGIES D'ADAPTATION DES MEMBRES INFÉRIEURS LORS DE LA MARCHE APRÈS RECONSTRUCTION DU LIGAMENT CROISÉ ANTÉRIEUR CHEZ L'ENFANT

Thèse de médecine spécialisée : chirurgie générale
Année 2016
N° de thèse : 3059

Mots clés : rupture ligament croisé antérieur, enfant, analyse de la marche

Résumé :
Introduction : Les lésions du ligament croisé antérieur (LCA) ont une incidence croissante chez l'enfant et sa reconstruction en tenant compte des spécificités pédiatriques est désormais bien maîtrisée. Selon la littérature, des troubles de la marche ont été identifiés chez l'adulte souffrant d'instabilité antérieure chronique du genou après rupture du LCA. À notre connaissance, il n'existe pas de série pédiatrique étudiant la biomécanique du membre inférieur après rupture du LCA.
L'objectif de notre étude était de savoir si les stratégies d'adaptation du membre inférieur lors de la marche persistaient après la reconstruction du LCA chez l'enfant.

Matériel et Méthode : Une étude rétrospective a été réalisée dans le laboratoire de marche de l'Hôpital des Enfants de Toulouse sur une période allant de 2007 à 2015.
34 patients (26 garçons, 8 filles) avec un âge moyen de 13,9 ± 2 ans, ayant bénéficié d'une reconstruction du LCA unilatérale post-traumatique ont été inclus dans l'étude. Au recul moyen post-opératoire de 24 mois (9 à 58 mois), tous les patients avaient retrouvé leur niveau de sport et étaient asymptomatiques hormis 2 patients se plaignant d'une sensation d'instabilité persistante.
La cinématique lors de la marche des membres inférieurs reconstruits a été comparée à celle du côté controlatéral, et à celle d'un groupe contrôle à différentes phases du cycle de marche (au contact initial, à l'amortissement, en fin d'appui et en milieu de phase oscillante).

Résultats : La cinématique du membre inférieur reconstruit est différente de celle du groupe contrôle, à toutes les phases du cycle de marche analysées. En effet, la flexion de hanche était significativement plus faible en début d'appui et à l'amortissement, la flexion de genou était significativement plus faible lors de toutes les phases du cycle analysées et l'attaque du pas se faisait en flexion plantaire. En phase oscillante, la flexion dorsale de cheville était plus faible chez les sujets reconstruits que chez les sujets contrôle. Cependant ces anomalies semblent se symétriser au coté controlatéral.

Conclusion : Ces modifications du pattern de marche correspondent à des compensations articulaires survenant après la rupture du LCA et persistant en post-opératoire malgré l'amélioration clinique des sujets et l'absence d'instabilité.

Directeur de Thèse :	Docteur M. Urséi
Président du Jury :	Professeur J. Sales de Gauzy
Rapporteur et membre du Jury :	Professeur F. Sauvat
Membres du Jury :	Professeur E. Dobremez
	Professeur F. Accadbled
	Docteur S. Jacopin

Intitulé et Adresse de l'UFR
Université de Bordeaux Segalen
146, rue Léo Saignat
33000 Bordeaux