



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-thesesexercice-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

THÈSE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR EN MÉDECINE

Présentée et soutenue publiquement

dans le cadre du troisième cycle de Médecine Spécialisée

par

Gabrielle BLANC

le 7 octobre 2013

**SPÉCIFICITÉS CINÉMATIQUES COMMUNES APRÈS
LIGAMENTOPLASTIE DE GENOU, ARTHROPLASTIE DE GENOU
ET APPAREILLAGE D'AMPUTÉS FÉMORAUX :
LE DÉLAI DE CONFIANCE À LA FIN
DE LA PHASE D'OSCILLATION**

Examineurs de la thèse :

M. le Professeur Jean PAYSANT
M. le Professeur François SIRVEAUX
M. le Professeur Christian BEYAERT
M. le Docteur Noël MARTINET

Président
Juge
Juge
Juge

Vice-Doyen « Pédagogie » : Mme la Professeure Karine ANGIOI
 Vice-Doyen Mission « Sillon lorrain » : Mme la Professeure Annick BARBAUD
 Vice-Doyen Mission « Finances » : Professeur Marc BRAUN

Asseseurs

- 1 ^{er} Cycle :	Professeur Bruno CHENUEL
- 2 ^{ème} Cycle :	Professeur Marc DEBOUVERIE
- 3 ^{ème} Cycle :	Professeur Jean-Pierre BRONOWICKI
• « DES Spécialités Médicales, Chirurgicales et Biologiques »	Professeur Paolo DI PATRIZIO
• « DES Spécialité Médecine Générale »	
- Commission de Prospective Universitaire :	Professeur Pierre-Edouard BOLLAERT
- Développement Professionnel Continu :	Professeur Jean-Dominique DE KORWIN
- Filières professionnalisées :	M. Walter BLONDEL
- Formation Continue :	Professeur Hervé VESPIGNANI
- Recherche :	Professeur Didier MAINARD
- Relations Internationales :	Professeur Jacques HUBERT
- Universitarisation des études paramédicales et gestion des mono-appartenants :	M. Christophe NEMOS
- Vie Étudiante :	Docteur Stéphane ZUILY
- Vie Facultaire :	Mme la Docteure Frédérique CLAUDOT
- Étudiants :	M. Xavier LEMARIE

DOYENS HONORAIRES

Professeur Adrien DUPREZ - Professeur Jean-Bernard DUREUX - Professeur Jacques ROLAND - Professeur Patrick NETTER

=====

PROFESSEURS HONORAIRES

Jean-Marie ANDRE - Daniel ANTHOINE - Alain AUBREGE - Gérard BARROCHE - Alain BERTRAND - Pierre BEY
 Marc-André BIGARD - Patrick BOISSEL - Pierre BORDIGONI - Jacques BORRELLY - Michel BOULANGE
 Jean-Louis BOUTROY - Jean-Claude BURDIN - Claude BURLET - Daniel BURNEL - Claude CHARDOT - François CHERRIER Jean-Pierre
 CRANCE - Gérard DEBRY - Jean-Pierre DELAGOUTTE - Emile de LAVERGNE - Jean-Pierre DESCHAMPS
 Jean DUHEILLE - Adrien DUPREZ - Jean-Bernard DUREUX - Gérard FIEVE - Jean FLOQUET - Robert FRISCH
 Alain GAUCHER - Pierre GAUCHER - Hubert GERARD - Jean-Marie GILGENKRANTZ - Simone GILGENKRANTZ
 Oliéro GUERCI - Pierre HARTEMANN - Claude HURIET - Christian JANOT - Michèle KESSLER - Jacques LACOSTE
 Henri LAMBERT - Pierre LANDES - Marie-Claire LAXENAIRE - Michel LAXENAIRE - Jacques LECLERE - Pierre LEDERLIN Bernard
 LEGRAS - Jean-Pierre MALLIÉ - Michel MANCIAUX - Philippe MANGIN - Pierre MATHIEU - Michel MERLE
 Denise MONERET-VAUTRIN - Pierre MONIN - Pierre NABET - Jean-Pierre NICOLAS - Pierre PAYSANT - Francis PENIN Gilbert
 PERCEBOIS - Claude PERRIN - Guy PETIET - Luc PICARD - Michel PIERSON - Jean-Marie POLU - Jacques POUREL Jean PREVOT -
 Francis RAPHAEL - Antoine RASPILLER - Denis REGENT - Michel RENARD - Jacques ROLAND
 René-Jean ROYER - Daniel SCHMITT - Michel SCHMITT - Michel SCHWEITZER - Claude SIMON - Danièle SOMMELET
 Jean-François STOLTZ - Michel STRICKER - Gilbert THIBAUT - Augusta TREHEUX - Hubert UFFHOLTZ - Gérard VAILLANT Paul
 VERT - Colette VIDAILHET - Michel VIDAILHET - Michel WAYOFF - Michel WEBER

=====

PROFESSEURS ÉMÉRITES

Professeur Daniel ANTHOINE - Professeur Gérard BARROCHE Professeur Pierre BEY - Professeur Patrick BOISSEL
 Professeur Michel BOULANGE - Professeur Jean-Louis BOUTROY - Professeur Jean-Pierre CRANCE
 Professeur Jean-Pierre DELAGOUTTE - Professeur Jean-Marie GILGENKRANTZ - Professeure Simone GILGENKRANTZ Professeure
 Michèle KESSLER - Professeur Pierre MONIN - Professeur Jean-Pierre NICOLAS - Professeur Luc PICARD Professeur Michel PIERSON -
 Professeur Michel SCHMITT - Professeur Jean-François STOLTZ - Professeur Michel STRICKER Professeur Hubert UFFHOLTZ - Professeur
 Paul VERT - Professeure Colette VIDAILHET - Professeur Michel VIDAILHET Professeur Michel WAYOFF

=====

PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS

(Disciplines du Conseil National des Universités)

42^{ème} Section : MORPHOLOGIE ET MORPHOGENÈSE

1^{ère} sous-section : (*Anatomie*)

Professeur Gilles GROSIDIER – Professeur Marc BRAUN

2^{ème} sous-section : (*Cytologie et histologie*)

Professeur Bernard FOLIGUET – Professeur Christo CHRISTOV

3^{ème} sous-section : (*Anatomie et cytologie pathologiques*)

Professeur François PLENAT – Professeur Jean-Michel VIGNAUD

43^{ème} Section : BIOPHYSIQUE ET IMAGERIE MÉDECINE

1^{ère} sous-section : (*Biophysique et médecine nucléaire*)

Professeur Gilles KARCHER – Professeur Pierre-Yves MARIE – Professeur Pierre OLIVIER

2^{ème} sous-section : (*Radiologie et imagerie médecine*)

Professeur Michel CLAUDON – Professeure Valérie CROISÉ-LAURENT

Professeur Serge BRACARD – Professeur Alain BLUM – Professeur Jacques FELBLINGER – Professeur René ANXIONNAT

44^{ème} Section : BIOCHIMIE, BIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLÉCULAIRE, PHYSIOLOGIE ET NUTRITION

1^{ère} sous-section : (*Biochimie et biologie moléculaire*)

Professeur Jean-Louis GUÉANT – Professeur Jean-Luc OLIVIER – Professeur Bernard NAMOUR

2^{ème} sous-section : (*Physiologie*)

Professeur François MARCHAL – Professeur Bruno CHENUÉL – Professeur Christian BEYAERT

3^{ème} sous-section : (*Biologie Cellulaire*)

Professeur Ali DALLOUL

4^{ème} sous-section : (*Nutrition*)

Professeur Olivier ZIEGLER – Professeur Didier QUILLIOT – Professeure Rosa-Maria RODRIGUEZ-GUEANT

45^{ème} Section : MICROBIOLOGIE, MALADIES TRANSMISSIBLES ET HYGIÈNE

1^{ère} sous-section : (*Bactériologie – virologie ; hygiène hospitalière*)

Professeur Alain LE FAOU – Professeur Alain LOZNIEWSKI – Professeure Evelyne SCHVOERER

2^{ème} sous-section : (*Parasitologie et Mycologie*)

Professeure Marie MACHOUART

3^{ème} sous-section : (*Maladies infectieuses ; maladies tropicales*)

Professeur Thierry MAY – Professeur Christian RABAUD

46^{ème} Section : SANTÉ PUBLIQUE, ENVIRONNEMENT ET SOCIÉTÉ

1^{ère} sous-section : (*Épidémiologie, économie de la santé et prévention*)

Professeur Philippe HARTEMANN – Professeur Serge BRIANÇON – Professeur Francis GUILLEMIN

Professeur Denis ZMIROU-NAVIER – Professeur François ALLA

2^{ème} sous-section : (*Médecine et santé au travail*)

Professeur Christophe PARIS

3^{ème} sous-section : (*Médecine légale et droit de la santé*)

Professeur Henry COUDANE

4^{ème} sous-section : (*Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication*)

Professeur François KOHLER – Professeure Eliane ALBUSSON

47^{ème} Section : CANCÉROLOGIE, GÉNÉTIQUE, HÉMATOLOGIE, IMMUNOLOGIE

1^{ère} sous-section : (*Hématologie ; transfusion*)

Professeur Pierre FEUGIER

2^{ème} sous-section : (*Cancérologie ; radiothérapie*)

Professeur François GUILLEMIN – Professeur Thierry CONROY – Professeur Didier PEIFFERT

Professeur Frédéric MARCHAL

3^{ème} sous-section : (*Immunologie*)

Professeur Gilbert FAURE – Professeur Marcelo DE CARVALHO-BITTENCOURT

4^{ème} sous-section : (*Génétique*)

Professeur Philippe JONVEAUX – Professeur Bruno LEHEUP

48^{ème} Section : ANESTHÉSIOLOGIE, RÉANIMATION, MÉDECINE D'URGENCE, PHARMACOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE

1^{ère} sous-section : (*Anesthésiologie – réanimation ; médecine d'urgence*)

Professeur Claude MEISTELMAN – Professeur Hervé BOUAZIZ – Professeur Gérard AUDIBERT

Professeur Thomas FUCHS-BUDER – Professeure Marie-Reine LOSSER

2^{ème} sous-section : (*Réanimation ; médecine d'urgence*)

Professeur Alain GERARD – Professeur Pierre-Édouard BOLLAERT – Professeur Bruno LÉVY – Professeur Sébastien GIBOT

3^{ème} sous-section : (*Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie*)

Professeur Patrick NETTER – Professeur Pierre GILLET

4^{ème} sous-section : (*Thérapeutique ; médecine d'urgence ; addictologie*)

Professeur François PAILLE – Professeur Faiez ZANNAD – Professeur Patrick ROSSIGNOL

49^{ème} Section : PATHOLOGIE NERVEUSE ET MUSCULAIRE, PATHOLOGIE MENTALE, HANDICAP ET RÉÉDUCATION

1^{ère} sous-section : (Neurologie)

Professeur Hervé VESPIGNANI - Professeur Xavier DUCROCQ – Professeur Marc DEBOUVERIE
Professeur Luc TAILLANDIER - Professeur Louis MAILLARD

2^{ème} sous-section : (Neurochirurgie)

Professeur Jean-Claude MARCHAL – Professeur Jean AUQUE – Professeur Olivier KLEIN
Professeur Thierry CIVIT - Professeure Sophie COLNAT-COULBOIS

3^{ème} sous-section : (Psychiatrie d'adultes ; addictologie)

Professeur Jean-Pierre KAHN – Professeur Raymund SCHWAN

4^{ème} sous-section : (Pédopsychiatrie ; addictologie)

Professeur Daniel SIBERTIN-BLANC – Professeur Bernard KABUTH

5^{ème} sous-section : (Médecine physique et de réadaptation)

Professeur Jean PAYSANT

50^{ème} Section : PATHOLOGIE OSTÉO-ARTICULAIRE, DERMATOLOGIE ET CHIRURGIE PLASTIQUE

1^{ère} sous-section : (Rhumatologie)

Professeure Isabelle CHARY-VALCKENAERE – Professeur Damien LOEUILLE

2^{ème} sous-section : (Chirurgie orthopédique et traumatologique)

Professeur Daniel MOLE - Professeur Didier MAINARD - Professeur François SIRVEAUX – Professeur Laurent GALOIS

3^{ème} sous-section : (Dermato-vénérologie)

Professeur Jean-Luc SCHMUTZ – Professeure Annick BARBAUD

4^{ème} sous-section : (Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; brûlologie)

Professeur François DAP - Professeur Gilles DAUTEL - Professeur Étienne SIMON

51^{ème} Section : PATHOLOGIE CARDIO-RESPIRATOIRE ET VASCULAIRE

1^{ère} sous-section : (Pneumologie ; addictologie)

Professeur Yves MARTINET – Professeur Jean-François CHABOT – Professeur Ari CHAOUAT

2^{ème} sous-section : (Cardiologie)

Professeur Étienne ALIOT – Professeur Yves JUILLIERE

Professeur Nicolas SADOUL - Professeur Christian de CHILLOU DE CHURET

3^{ème} sous-section : (Chirurgie thoracique et cardiovasculaire)

Professeur Jean-Pierre VILLEMOT – Professeur Thierry FOLLIGUET

4^{ème} sous-section : (Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire)

Professeur Denis WAHL – Professeur Sergueï MALIKOV

52^{ème} Section : MALADIES DES APPAREILS DIGESTIF ET URINAIRE

1^{ère} sous-section : (Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie)

Professeur Jean-Pierre BRONOWICKI – Professeur Laurent PEYRIN-BIROULET

3^{ème} sous-section : (Néphrologie)

Professeure Dominique HESTIN – Professeur Luc FRIMAT

4^{ème} sous-section : (Urologie)

Professeur Jacques HUBERT – Professeur Pascal ESCHWEGE

53^{ème} Section : MÉDECINE INTERNE, GÉRIATRIE ET CHIRURGIE GÉNÉRALE

1^{ère} sous-section : (Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; médecine générale ; addictologie)

Professeur Jean-Dominique DE KORWIN – Professeur Pierre KAMINSKY - Professeur Athanase BENETOS

Professeure Gisèle KANNY – Professeure Christine PERRET-GUILLAUME

2^{ème} sous-section : (Chirurgie générale)

Professeur Laurent BRESLER - Professeur Laurent BRUNAUD – Professeur Ahmet AYAV

54^{ème} Section : DÉVELOPPEMENT ET PATHOLOGIE DE L'ENFANT, GYNÉCOLOGIE-OBSTÉTRIQUE, ENDOCRINOLOGIE ET REPRODUCTION

1^{ère} sous-section : (Pédiatrie)

Professeur Jean-Michel HASCOET - Professeur Pascal CHASTAGNER - Professeur François FEILLET

Professeur Cyril SCHWEITZER – Professeur Emmanuel RAFFO – Professeure Rachel VIEUX

2^{ème} sous-section : (Chirurgie infantile)

Professeur Pierre JOURNEAU – Professeur Jean-Louis LEMELLE

3^{ème} sous-section : (Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale)

Professeur Philippe JUDLIN – Professeur Olivier MOREL

4^{ème} sous-section : (Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques ; gynécologie médicale)

Professeur Georges WERYHA – Professeur Marc KLEIN – Professeur Bruno GUERCI

55^{ème} Section : PATHOLOGIE DE LA TÊTE ET DU COU

1^{ère} sous-section : (Oto-rhino-laryngologie)

Professeur Roger JANKOWSKI – Professeure Cécile PARIETTI-WINKLER

2^{ème} sous-section : (Ophtalmologie)

Professeur Jean-Luc GEORGE – Professeur Jean-Paul BERROD – Professeure Karine ANGIOI

3^{ème} sous-section : (Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie)

Professeur Jean-François CHASSAGNE – Professeure Muriel BRIX

=====

PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS

61^{ème} Section : GÉNIE INFORMATIQUE, AUTOMATIQUE ET TRAITEMENT DU SIGNAL

Professeur Walter BLONDEL

64^{ème} Section : BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLÉCULAIRE

Professeure Sandrine BOSCHI-MULLER

=====

PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS DE MÉDECINE GÉNÉRALE

Professeur Jean-Marc BOIVIN

PROFESSEUR ASSOCIÉ DE MÉDECINE GÉNÉRALE

Professeur associé Paolo DI PATRIZIO

=====

MAÎTRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS

42^{ème} Section : MORPHOLOGIE ET MORPHOGENÈSE

1^{ère} sous-section : (*Anatomie*)

Docteur Bruno GRIGNON – Docteure Manuela PEREZ

2^{ème} sous-section : (*Cytologie et histologie*)

Docteur Edouard BARRAT - Docteure Françoise TOUATI – Docteure Chantal KOHLER

3^{ème} sous-section : (*Anatomie et cytologie pathologiques*)

Docteure Aude MARCHAL – Docteur Guillaume GAUCHOTTE

43^{ème} Section : BIOPHYSIQUE ET IMAGERIE MÉDECINE

1^{ère} sous-section : (*Biophysique et médecine nucléaire*)

Docteur Jean-Claude MAYER - Docteur Jean-Marie ESCANYE

2^{ème} sous-section : (*Radiologie et imagerie médecine*)

Docteur Damien MANDRY

44^{ème} Section : BIOCHIMIE, BIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLÉCULAIRE, PHYSIOLOGIE ET NUTRITION

1^{ère} sous-section : (*Biochimie et biologie moléculaire*)

Docteure Sophie FREMONT - Docteure Isabelle GASTIN – Docteur Marc MERTEN

Docteure Catherine MALAPLATE-ARMAND - Docteure Shyue-Fang BATTAGLIA

2^{ème} sous-section : (*Physiologie*)

Docteur Mathias POUSSEL – Docteure Silvia VARECHOVA

3^{ème} sous-section : (*Biologie Cellulaire*)

Docteure Véronique DECOT-MAILLERET

45^{ème} Section : MICROBIOLOGIE, MALADIES TRANSMISSIBLES ET HYGIÈNE

1^{ère} sous-section : (*Bactériologie – Virologie ; hygiène hospitalière*)

Docteure Véronique VENARD – Docteure Hélène JEULIN – Docteure Corentine ALAUZET

3^{ème} sous-section : (*Maladies Infectieuses ; Maladies Tropicales*)

Docteure Sandrine HENARD

46^{ème} Section : SANTÉ PUBLIQUE, ENVIRONNEMENT ET SOCIÉTÉ

1^{ère} sous-section : (*Epidémiologie, économie de la santé et prévention*)

Docteur Alexis HAUTEMANIÈRE – Docteure Frédérique CLAUDOT – Docteur Cédric BAUMANN

2^{ème} sous-section : (*Médecine et Santé au Travail*)

Docteure Isabelle THAON

3^{ème} sous-section : (*Médecine légale et droit de la santé*)

Docteur Laurent MARTRILLE

4^{ème} sous-section : (*Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication*)

Docteur Nicolas JAY

47^{ème} Section : CANCÉROLOGIE, GÉNÉTIQUE, HÉMATOLOGIE, IMMUNOLOGIE

2^{ème} sous-section : (*Cancérologie ; radiothérapie : cancérologie (type mixte : biologique)*)

Docteure Lina BOLOTINE

4^{ème} sous-section : (*Génétique*)

Docteur Christophe PHILIPPE – Docteure Céline BONNET

48^{ème} Section : ANESTHÉSIOLOGIE, RÉANIMATION, MÉDECINE D'URGENCE, PHARMACOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE

3^{ème} sous-section : (*Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique*)

Docteure Françoise LAPICQUE – Docteur Nicolas GAMBIER – Docteur Julien SCALA-BERTOLA

50^{ème} Section : PATHOLOGIE OSTÉO-ARTICULAIRE, DERMATOLOGIE ET CHIRURGIE PLASTIQUE

1^{ère} sous-section : (*Rhumatologie*)

Docteure Anne-Christine RAT

3^{ème} sous-section : (*Dermato-vénéréologie*)

Docteure Anne-Claire BURSZEJN

4^{ème} sous-section : (*Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; brûlologie*)

Docteure Lætitia GOFFINET-PLEUTRET

51^{ème} Section : PATHOLOGIE CARDIO-RESPIRATOIRE ET VASCULAIRE

3^{ème} sous-section : (*Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire*)

Docteur Fabrice VANHUYSE

4^{ème} sous-section : (*Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire*)

Docteur Stéphane ZUILY

53^{ème} Section : MÉDECINE INTERNE, GÉRIATRIE et CHIRURGIE GÉNÉRALE

1^{ère} sous-section : (*Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; médecine générale ; addictologie*)

Docteure Laure JOLY

54^{ème} Section : DÉVELOPPEMENT ET PATHOLOGIE DE L'ENFANT, GYNÉCOLOGIE-OBSTÉTRIQUE, ENDOCRINOLOGIE ET REPRODUCTION

5^{ème} sous-section : (*Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale*)

Docteur Jean-Louis CORDONNIER

=====

MAÎTRE DE CONFÉRENCE DES UNIVERSITÉS DE MÉDECINE GÉNÉRALE

Docteure Elisabeth STEYER

=====

MAÎTRES DE CONFÉRENCES

5^{ème} Section : SCIENCES ÉCONOMIQUES

Monsieur Vincent LHUILLIER

19^{ème} Section : SOCIOLOGIE, DÉMOGRAPHIE

Madame Joëlle KIVITS

60^{ème} Section : MÉCANIQUE, GÉNIE MÉCANIQUE, GÉNIE CIVIL

Monsieur Alain DURAND

61^{ème} Section : GÉNIE INFORMATIQUE, AUTOMATIQUE ET TRAITEMENT DU SIGNAL

Monsieur Jean REBSTOCK

64^{ème} Section : BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLÉCULAIRE

Madame Marie-Claire LANCHERS – Monsieur Pascal REBOUL – Monsieur Nick RAMALANJAONA

65^{ème} Section : BIOLOGIE CELLULAIRE

Monsieur Jean-Louis GELLY - Madame Ketsia HESS – Monsieur Hervé MEMBRE

Monsieur Christophe NEMOS - Madame Natalia DE ISLA - Madame Nathalie MERCIER – Madame Céline HUSELSTEIN

66^{ème} Section : PHYSIOLOGIE

Monsieur Nguyen TRAN

=====

MAÎTRES DE CONFÉRENCES ASSOCIÉS

Médecine Générale

Docteure Sophie SIEGRIST - Docteur Arnaud MASSON - Docteur Pascal BOUCHE

=====

DOCTEURS HONORIS CAUSA

Professeur Charles A. BERRY (1982)

Centre de Médecine Préventive, Houston (U.S.A)

Professeur Pierre-Marie GALETTI (1982)

Brown University, Providence (U.S.A)

Professeure Mildred T. STAHLMAN (1982)

Vanderbilt University, Nashville (U.S.A)

Professeur Théodore H. SCHIEBLER (1989)

Institut d'Anatomie de Würzburg (R.F.A)

Université de Pennsylvanie (U.S.A)

Professeur Mashaki KASHIWARA (1996)

Research Institute for Mathematical Sciences de Kyoto (JAPON)

Professeure Maria DELIVORIA-PAPADOPOULOS (1996)

Professeur Ralph GRÄSBECK (1996)

Université d'Helsinki (FINLANDE)

Professeur James STEICHEN (1997)

Université d'Indianapolis (U.S.A)

Professeur Duong Quang TRUNG (1997)

Université d'Hô Chi Minh-Ville (VIÊTNAM)

Professeur Daniel G. BICHET (2001)

Université de Montréal (Canada)

Professeur Marc LEVENSTON (2005)

Institute of Technology, Atlanta (U.S.A)

Professeur Brian BURCHELL (2007)

Université de Dundee (Royaume-Uni)

Professeur Yunfeng ZHOU (2009)

Université de W'uban (CHINE)

Professeur David ALPERS (2011)

Université de Washington (U.S.A)

Professeur Martin EXNER (2012)

Université de Bonn (ALLEMAGNE)

A notre Maître et Président de thèse,
Monsieur le Professeur Jean PAYSANT,
Professeur de Médecine Physique et de Réadaptation.

Nous sommes très heureuse et honorée que vous présidiez notre jury de thèse.

Nous apprécions beaucoup la bienveillance et la simplicité de votre écoute.

Nous vous remercions pour votre engagement auprès des internes et pour la richesse de votre enseignement. La vision globale sur la situation des patients et l'esprit de synthèse que vous nous inculquez nous seront indispensables dans l'exercice de la Médecine Physique et de Réadaptation.

A nos juges,

Monsieur le Professeur François SIRVEAUX,

Professeur de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique,

Nous vous remercions d'avoir accepté de juger notre thèse. Travailler avec vous nous a permis d'apprendre l'efficacité d'une coopération entre Chirurgie Orthopédique et Médecine Physique et de Réadaptation.

Monsieur le Professeur Christian BEYAERT,

Professeur de Physiologie,

Nous vous remercions de participer à l'évaluation de notre travail. Nous avons apprécié votre disponibilité et votre accueil.

Monsieur le Docteur Noël MARTINET,

Docteur en Médecine Physique et de Réadaptation,

Nous vous remercions de votre présence dans ce jury de thèse.

Nous avons eu la chance de travailler avec vous et nous avons beaucoup apprécié votre abord pragmatique et fonctionnel des situations médicales. Nous vous remercions pour l'autonomie que vous nous avez laissée lors de nos précédents stages, qui nous a permis de progresser tout en restant à l'écoute de vos conseils. Merci pour tout ce que vous nous avez appris grâce à vos grandes compétences dans le domaine de l'appareillage.

Merci aux personnes, patients ou témoins, qui ont accepté de participer à cette étude.

Merci tout particulièrement à Madame Marie-Agnès HADRIC, pour avoir consacré de son temps à ce travail avec bonne humeur et dynamisme.

Merci aussi à Madame Nathalie RAPIN pour son aide et son caractère enjoué.

A Mesdames les Docteurs Amélie TOUILLET et Isabelle LOIRET, qui m'ont aidée pour l'inclusion des patients de cette étude.

A Monsieur Marc CARPENTIER, statisticien émérite.

A Madame Hélène ANTOINE pour son aide informatique et logistique.

A Madame Marie VALLAS pour son initiation très utile à la recherche bibliographique.

Aux Médecins de Médecine Physique et de Réadaptation des centre de rééducation de Flavigny-sur-Moselle, Lay-Saint-Christophe et Nancy. Merci d'avoir contribué à ma formation au cours de ces quatre années. Découvrir l'expérience professionnelle de chacun d'entre vous m'a aidée à construire ma propre approche médicale.

A Madame le Docteur Nadine BERTONI pour m'avoir initiée aux arcanes de la Psychiatrie et pour votre humour, et à Monsieur le Docteur Gilles BOSSER, pour vos explications nourries dans le domaine de la Cardiologie.

Aux Médecins du service de Médecine Interne du centre hospitalier d'Epinal, et du service de Neurologie du centre hospitalier régional de Metz. Merci de m'avoir ouvert d'autres champs de la médecine.

Aux thérapeutes, aux équipes infirmières, aux prothésistes, aux assistantes sociales et aux secrétaires de ces différents services, avec qui j'ai aimé travailler.

A mes cointernes, pour les bons moments passés ensemble : Séverine, Dominique, Guillaume, Jennifer, Armelle, Nathalie, Elise, Morgane, Emilie, Chloé, Marie, Aurélie, Antoine, Mélanie, Sibylle, Nima, Nabil. A Matthieu et à Agata, et aux roïgebrageldi que nous avons partagés.

A Nicolas,
Ta présence m'est si précieuse.

A mes parents,
De près ou de loin, vous avez toujours veillé sur vos trois filles. A la chance que j'ai de vous avoir.

A mes sœurs Madeleine et Alice,
Notre entente est à la fois une évidence et une richesse.

A mes beaux-frères Emmanuel et Julien,
Qui faites tout naturellement partie de la famille.

A mes neveux et nièce Gaspard, Oscar et Annaëlle, et aux nombreux à venir...

A mes grands-parents,
Qui m'avez accompagnée affectueusement à chaque étape de ma vie.

A Thérèse,
Et à ton enthousiasme pour la médecine.

A Marceline,
Car toi aussi tu porteras la robe doctorale.

Et à toute ma famille.

A Emmanuelle et à Marc,
Pour le très grand plaisir que j'ai à entrer dans votre famille.

A mes amis, tout particulièrement aux vétérans :
Elsa, Charlotte, Héloïse, Fanny, Roswitha.

SERMENT

« *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 sont 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

1. Introduction.....	13
2. Méthode.....	13
2.1. L'étude.....	13
2.2. Population.....	14
2.2.1. <i>Groupe Témoin</i>	14
2.2.2. <i>Groupe Ligamentoplastie</i>	14
2.2.3. <i>Groupe PTG</i>	14
2.2.4. <i>Groupe ATF</i>	14
2.3. Protocole d'analyse de la marche.....	15
2.4. Variables étudiées.....	15
2.4.1. <i>Période de latence</i>	16
2.4.2. <i>Vitesse de marche</i>	19
2.4.3. <i>Durée relative de la phase oscillante</i>	19
2.4.4. <i>Durée relative de la phase d'appui</i>	19
2.4.5. <i>Longueur du pas</i>	19
2.5. Analyses statistiques.....	19
3. Résultats.....	20
3.1. Période de latence.....	20
3.1.1. <i>Analyse descriptive</i>	20
3.1.2. <i>PL et délai entre rupture du ligament croisé antérieur et réparation chirurgicale</i>	22
3.2. Longueur du pas et vitesse de marche.....	22
3.3. Durée de la phase d'appui et de la phase oscillante.....	22
4. Discussion.....	25
4.1. Allongement de la PL.....	25
4.2. Caractère bilatéral et symétrisation.....	28
4.3. Paramètres spatio-temporels.....	29
4.4. Limites de l'étude.....	30
5. Conclusion et perspectives.....	30
Liste des abréviations.....	32
Bibliographie.....	33

1. Introduction

Un délai entre l'extension totale du genou et la pose du talon a été mis en évidence à la marche chez l'amputé transfémoral (ATF) du côté pathologique, en fin de phase oscillante (1). Cette période est habituellement de durée insignifiante, voire nulle, chez les sujets sains. La fluidité de ce mouvement nécessite un contrôle moteur performant à partir d'informations proprioceptives en provenance du membre inférieur. Chez l'ATF, il a été suggéré que l'absence d'informations proprioceptives en provenance du genou conduit à l'existence de cette période de latence (PL), qui représente jusqu'à 8,3% de la durée du cycle de marche, et 19% de la durée de la phase oscillante. Cette PL est également dénommée « confidence time » ou « délai de confiance », car elle a pour but d'assurer au sujet un positionnement correct en extension du genou pour une bonne stabilité à la mise en charge. La PL est plus prolongée chez les patients appareillés par genoux prothétiques à contrôle de phase oscillante que chez ceux appareillés par genoux à microprocesseur, contrôlant à la fois la phase oscillante et la phase d'appui, et procurant ainsi aux patients une plus grande confiance à la marche. Face à l'hypothèse d'un contrôle déficient de la stabilité conduisant à l'existence de cette période de latence à la mise en charge, il est proposé d'étudier ces événements dans d'autres cadres de pathologies de genou à savoir les ligamentoplasties du ligament croisé antérieur (LCA) et les prothèses totales de genou (PTG). L'objectif de cette étude est de rechercher l'existence d'un allongement de la PL après une réparation du LCA ou après la pose d'une PTG, en comparaison à un groupe de sujets sains et aux ATF, afin d'en mieux comprendre la signification.

2. Méthode

2.1. L'étude

Cette étude contrôlée a été menée de façon rétrospective pour les ATF (1) et de façon prospective pour les deux populations LCA et PTG. Les résultats concernant les ATF, publiés en 2010, ont mis en lumière pour la première fois cette période de latence.

Tous ces patients ont bénéficié d'un suivi à l'Institut Régional de Réadaptation de Nancy.

2.2. Population

2.2.1. Groupe Témoin

Ce groupe est composé de 15 sujets, âgés de 18 à 65 ans, ne présentant pas de trouble musculo-squelettique ou neurologique susceptible de modifier l'équilibre et la marche, ni de pathologie pouvant altérer leurs capacités de compréhension du protocole de l'étude.

2.2.2. Groupe LCA

Ce groupe est composé de 16 sujets âgés de 16 à 45 ans. Les patients sont inclus dans les suites d'une ligamentoplastie du LCA, à environ 1 mois de l'intervention (moyenne=40 jours, écart-type=21 jours). Les critères d'exclusion sont : l'utilisation d'aide technique et l'absence de sevrage de l'attelle de Zimmer ; toute autre pathologie musculo-squelettique ou neurologique susceptible de modifier l'équilibre et la marche ; toute pathologie pouvant altérer leurs capacités de compréhension du protocole de l'étude.

2.2.3. Groupe PTG

Ce groupe est composé de 17 sujets âgés de 46 à 66 ans. Les patients sont inclus dans les suites de la pose d'une PTG, à environ 3 mois de l'intervention (moyenne=101 jours, écart-type=35 jours). Les critères d'exclusion sont : l'utilisation d'aide technique à la marche ; toute autre pathologie musculo-squelettique ou neurologique susceptible de modifier l'équilibre et la marche ; toute pathologie pouvant altérer leurs capacités de compréhension du protocole de l'étude.

2.2.4. Groupe ATF

Ce groupe est composé de 29 sujets âgés de 21 à 64 ans. Les patients présentent une amputation transfémorale (n=27) ou une désarticulation de genou (n=2). Tous les sujets ont bénéficié d'une période d'au moins un mois pour s'habituer au genou prothétique. Les critères d'exclusion sont : une amputation de cause vasculaire ; l'utilisation d'aide technique à la marche ; toute autre pathologie musculo-squelettique ou neurologique susceptible de modifier l'équilibre et la marche ; toute pathologie pouvant altérer leurs capacités de compréhension du protocole de l'étude.

Tous les sujets participant à cette étude ont donné leur consentement éclairé et ont bénéficié d'un examen clinique médical préalable à leur inclusion.

Les caractéristiques des quatre groupes sont résumées dans le Tableau 1.

	LCA n=16	PTG n=17	ATF n=29	Témoin n=15
Âge (années)	32 (9)	57 (6)	45 (14)	45 (17)
Sexe	9 H, 7 F	6 H, 11 F	25 H, 4 F	14 H, 1 F
Côté opéré	9 D, 7 G	9 D, 8 G	11 D, 18 G	
Délai accident-opération (jour)	186 (250)			
Délai opération-acquisition (jour)	40 (21)	101 (35)	118,5 (151,2)	

Tableau 1 : caractéristiques démographiques des groupes Ligamentoplastie du ligament croisé antérieur (LCA), Prothèse totale de genou (PTG), Amputé transfémoral (ATF) et Témoin.

Note : les valeurs d 'écart-type sont indiquées entre parenthèses

2.3. Protocole d'analyse de la marche

Le laboratoire d'analyse du mouvement comporte un système optoélectronique d'analyse tridimensionnelle du mouvement^a, une série de 7 caméras infrarouges enregistrant le mouvement de marqueurs réfléchissants et 3 plates-formes de force^b. Les caractéristiques anthropométriques des sujets sont calculées en premier lieu. Après une période d'échauffement préalable, permettant d'obtenir une marche la plus naturelle possible, les sujets ont pour consigne de marcher à vitesse spontanée, avec leurs chaussures habituelles. Pour chaque sujet, 3 enregistrements comportant un appui satisfaisant sur les plates-formes de force sont retenus. Les paramètres cinétiques et cinématiques sont calculés à partir du modèle Plug-In-Gait Vicon, basé sur le modèle de marche développé par Kabada et al. (2).

2.4. Variables étudiées

Pour chaque variable, la valeur moyenne sur les 3 enregistrements est calculée et analysée. En dehors de la vitesse de marche, les valeurs sont recueillies du côté sain et du côté pathologique pour chacune des variables.

2.4.1. Période de latence

Elle correspond à l'intervalle de temps entre l'extension maximale du genou en fin de phase oscillante et le contact initial au sol du pied homolatéral. L'instant d'extension maximale du genou est mesuré sur la courbe représentant les amplitudes articulaires du genou dans le plan sagittal, déterminées par la mesure instantanée de l'angle formé par les marqueurs positionnés à la face latérale de la cuisse, à la face latérale du genou et sur la malléole externe. Cette courbe décrit une inflexion précédant ou étant concomitante à la pose du talon, qui correspond à l'extension maximale de genou. L'instant du contact initial du pied au sol est mesuré sur la courbe représentant le vecteur force de réaction au sol (voir Figure 1 et Figure 2).

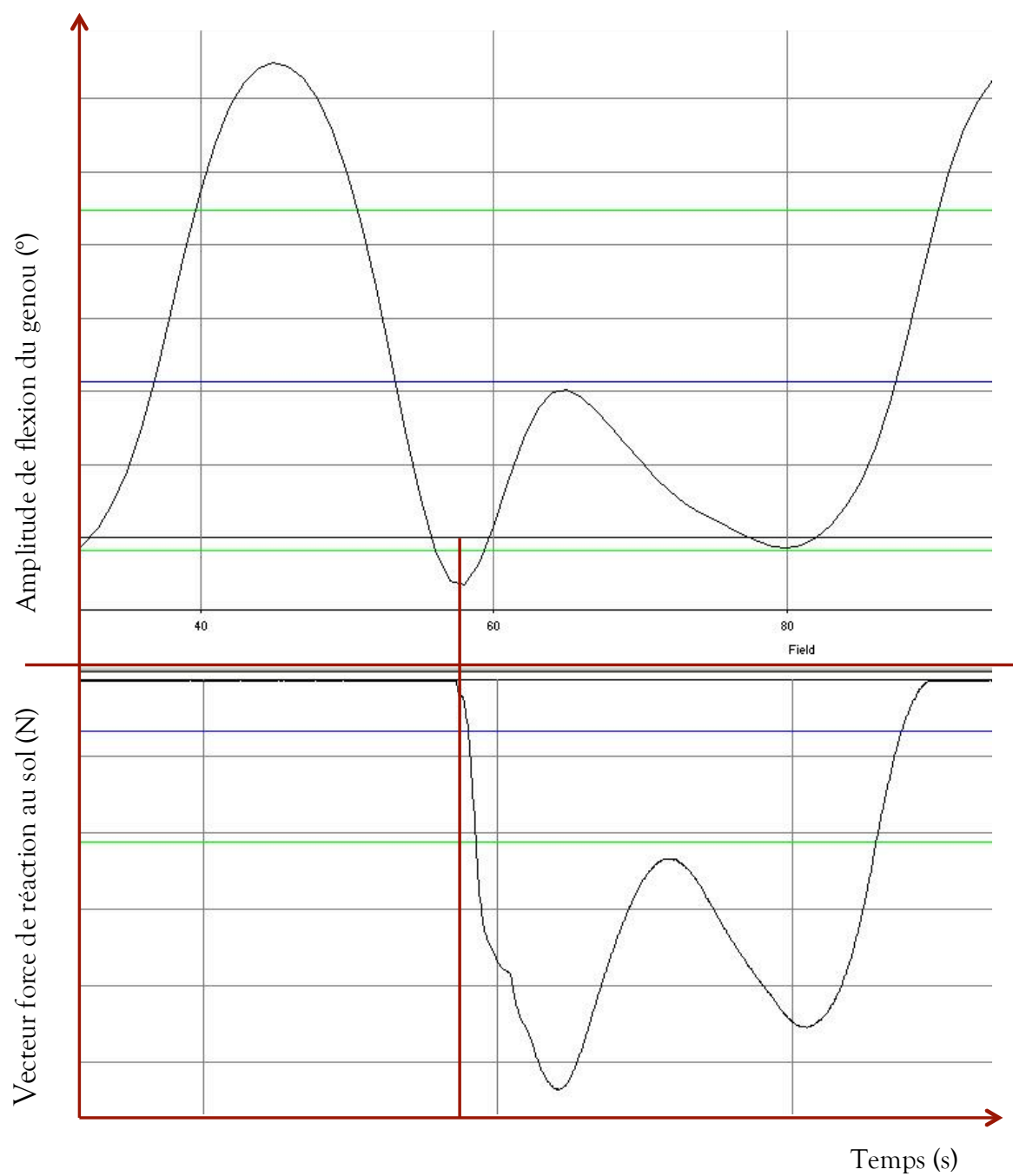


Figure 1 : mesure de la période de latence chez un sujet témoin ; chez ce sujet, cette période est nulle.

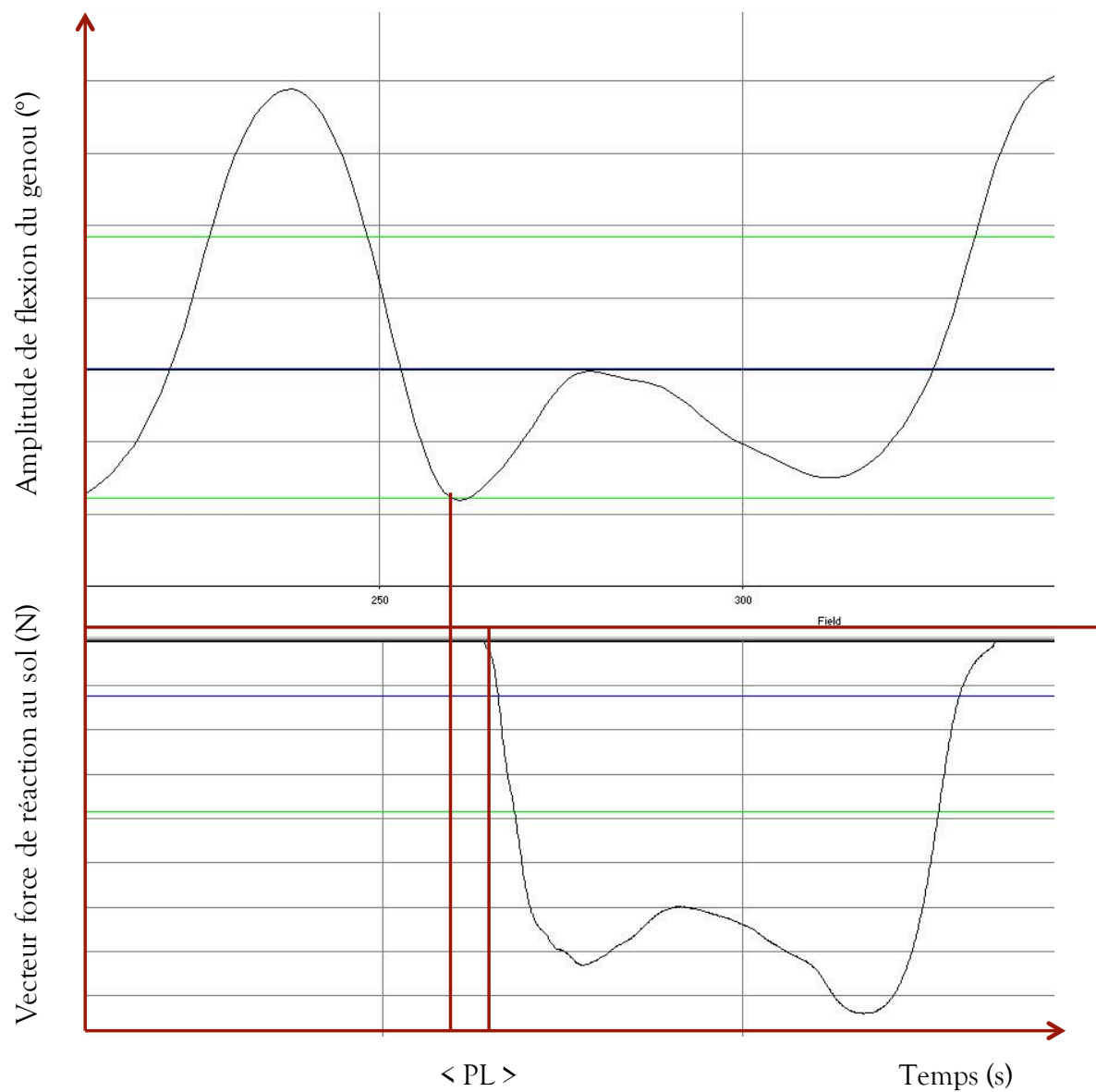


Figure 2 : mesure de la période de latence du côté pathologique chez un patient opéré d'une prothèse totale de genou

2.4.2. Vitesse de marche

Elle correspond à la vitesse moyenne du marqueur positionné sur le sacrum, représentant le centre de gravité du corps, dans l'axe sagittal (x).

2.4.3. Longueur du pas

Elle correspond à la distance séparant la position du marqueur placé sur la grosse tubérosité calcanéenne lors de deux phases d'appui successives.

2.4.4. Durée relative de la phase d'appui

Elle correspond à la durée entre le contact initial du pied au sol et le contact terminal de ce même pied. Elle est exprimée en pourcentage du cycle de marche.

2.4.5. Durée relative de la phase oscillante

Elle correspond à la durée entre le contact terminal du pied au sol et le contact initial de ce même pied. Elle est exprimée en pourcentage du cycle de marche.

2.5. Analyses statistiques

Les analyses sont faites avec le logiciel CRAN R.^c

Pour chaque témoin, les côtés sain et pathologique sont définis par tirage-au-sort.

L'ensemble des variables est décrit avec les statistiques appropriées (moyenne et écart-type ; médiane et écart interquartile dans les graphiques).

Compte tenu des effectifs, des tests non paramétriques sont utilisés. Le seuil consenti pour le risque de première espèce est fixé à 5%.

Pour la vitesse de marche, une différence entre les groupes est recherchée globalement par un test de Kruskal-Wallis. Les valeurs de chaque groupe pathologique sont ensuite comparées aux valeurs du groupe Témoin par un test de Mann-Whitney.

Pour la longueur du pas, la phase d'appui, la phase oscillante et la PL (en valeur absolue et relative au cycle de marche et à la phase oscillante) :

- concernant les différences entre côtés sain et pathologique, une différence entre les groupes est recherchée globalement par un test de Kruskal-Wallis. Les différences entre côté sain et côté pathologique de chaque groupe sont comparées à zéro par un test de Mann-Withney.

- concernant les différences entre groupes, les mesures de chaque côté (sain, puis pathologique) sont comparées globalement par un test de Kruskal-Wallis. En cas de différence globale, les valeurs de chaque groupe pathologique sont comparées aux valeurs du groupe Témoin par un test de Mann-Withney.

Pour le groupe LCA, la relation entre PL et délai entre la rupture et la réparation du ligament croisé antérieur a été étudiée par une corrélation de Spearman.

3. Résultats

3.1. Période de latence

3.1.1. Analyse descriptive

La PL est de 0,012 secondes dans le groupe Témoin, sans différence significative entre les deux côtés.

La PL est significativement allongée à la fois du côté sain et du côté pathologique dans les groupes LCA et PTG, par rapport au groupe Témoin. Cet allongement concerne la valeur absolue en secondes de la PL (durée multipliée par 3 par rapport au groupe Témoin), mais aussi la valeur de la PL relative à la durée du cycle de marche et à la durée de la phase oscillante, mesurée en pourcentage. Aucune différence significative n'est constatée entre les valeurs de PL du côté pathologique et du côté sain.

La PL est significativement allongée du côté pathologique dans le groupe ATF par rapport au groupe Témoin, alors qu'il n'y a pas de différence significative concernant le côté sain. Cet allongement concerne la valeur absolue en secondes de la PL (durée multipliée par 8 par rapport au groupe Témoin), mais aussi la valeur de la PL relative à la durée du cycle de marche et à la

durée de la phase oscillante, mesurée en pourcentage. Il existe une différence significative entre les valeurs de PL du côté pathologique et du côté sain.

La Figure 3 représente les valeurs de la PL, en secondes, dans les quatre groupes, du côté pathologique et du côté sain.

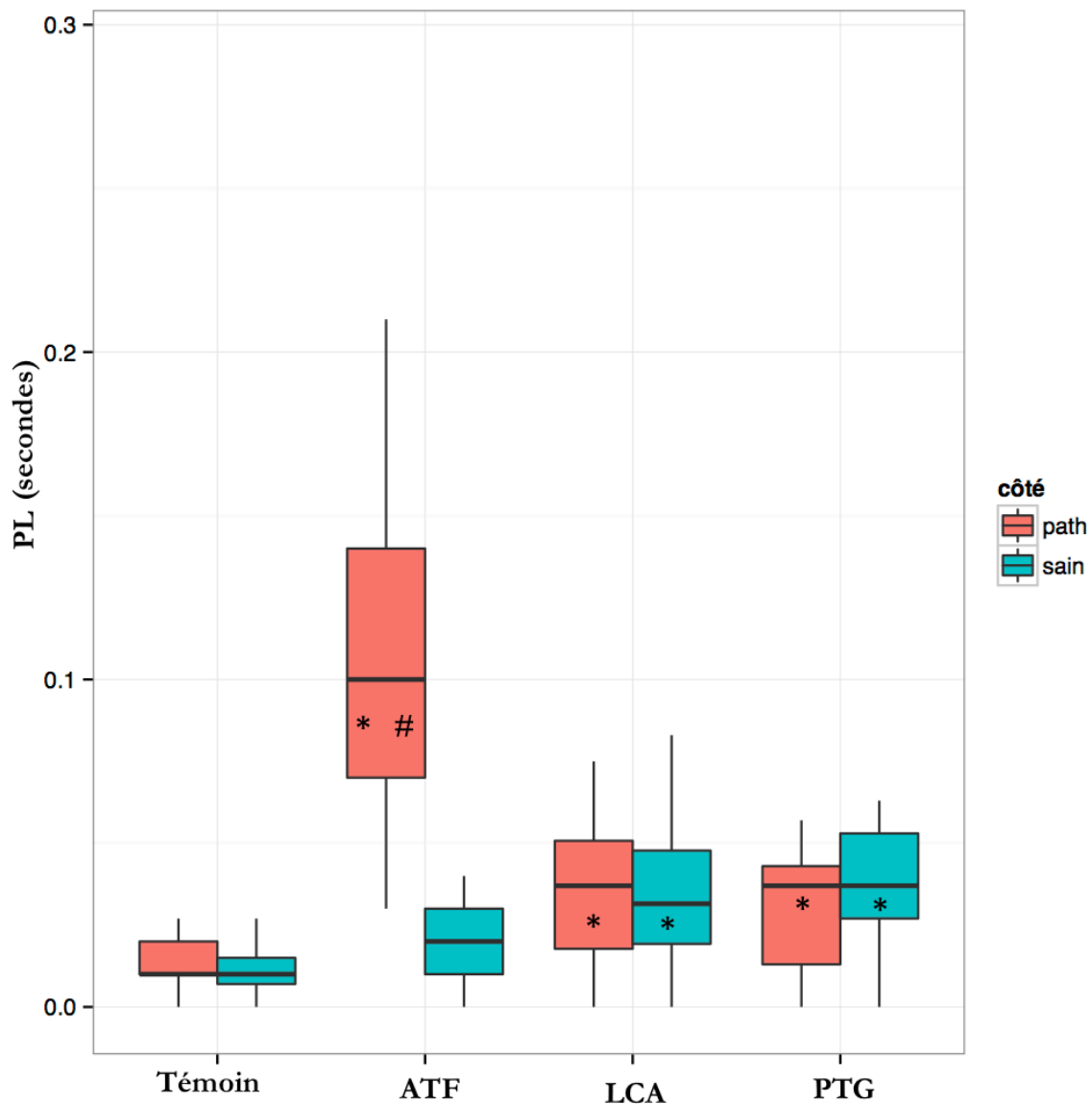


Figure 3 : période de latence (PL) du côté pathologique et du côté sain dans les groupes Témoin, Amputé transfémoral (ATF), Ligamentoplastie du ligament croisé antérieur (LCA) et Prothèse totale de genou (PTG)

* Différence statistiquement significative comparé au groupe Témoin ($p < 0,05$)

Différence statistiquement significative comparé au côté sain ($p < 0,05$)

3.1.2. PL et délai entre rupture du ligament croisé antérieur et réparation chirurgicale

Dans le groupe LCA, il existe du côté pathologique une corrélation positive entre la durée de la PL et le délai entre la rupture et la réparation du ligament croisé antérieur ($p < 0,05$; $r^2 = 0,60$).

Cette corrélation n'existe pas du côté sain.

3.2. Longueur du pas et vitesse de marche

La longueur du pas du côté sain et du côté pathologique, et la vitesse de marche sont significativement diminuées dans les groupes LCA, PTG et ATF, comparativement au groupe Témoin. Il n'y a pas de différence significative entre les côtés sain et pathologique au sein de ces trois groupes, ni au sein du groupe Témoin.

3.3. Durée de la phase d'appui et de la phase oscillante

Dans le groupe PTG, la durée de la phase d'appui, en pourcentage du cycle de marche, est significativement augmentée à la fois du côté pathologique et du côté sain, et inversement, la durée de la phase oscillante, en pourcentage du cycle de marche, est significativement diminuée des deux côtés, en comparaison au groupe Témoin.

Dans le groupe LCA, aucune différence significative avec le groupe Témoin n'est constatée, que ce soit pour la durée de la phase d'appui ou pour la durée de la phase oscillante.

Par ailleurs, dans les groupes PTG, LCA et Témoin, il n'y a pas de différence significative entre les valeurs du côté sain et du côté pathologique pour ces deux variables.

Dans le groupe ATF, on constate en revanche une différence significative entre le côté pathologique et le côté sain pour la durée de phase d'appui et la durée de la phase oscillante. La phase d'appui est significativement augmentée du côté sain, par rapport au groupe Témoin, et la phase oscillante est significativement augmentée du côté pathologique par rapport au groupe Témoin.

La Figure 4 représente la répartition de la phase oscillante, incluant la période de latence, et de la phase d'appui durant le cycle de marche du côté sain et du côté pathologique dans les quatre groupes.

Le Tableau 2 présente les valeurs des paramètres spatio-temporels et des PL dans les quatre groupes.

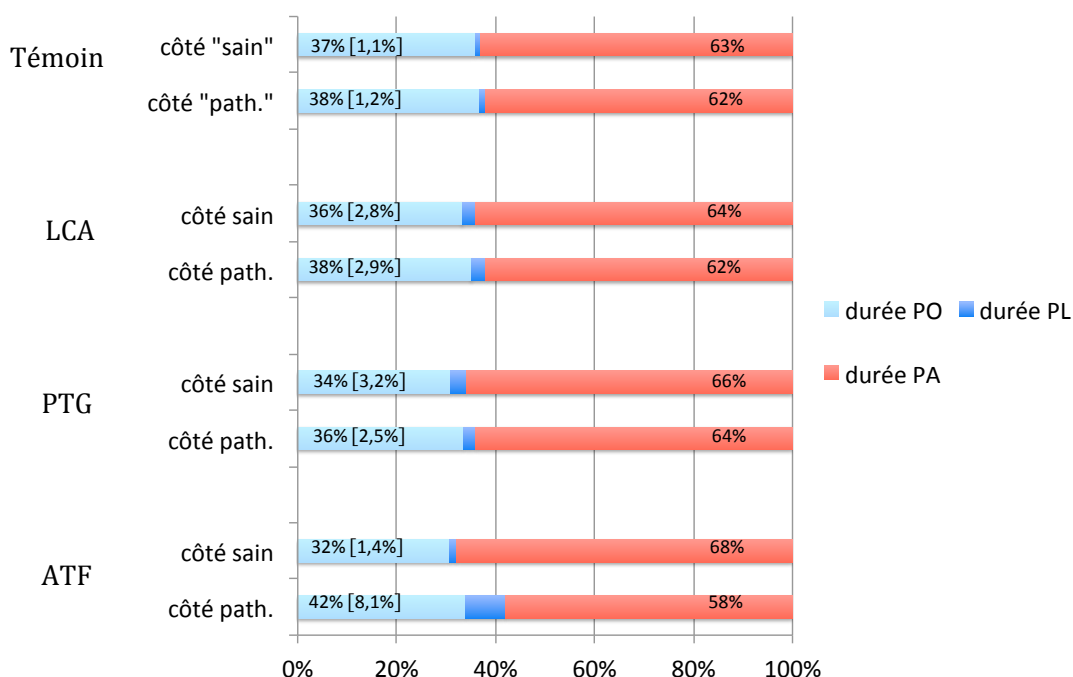


Figure 4 : répartition de la phase oscillante (PO), incluant la période de latence (PL), et de la phase d'appui (PA) durant le cycle de marche du côté sain et du côté pathologique dans les groupes Témoin, Ligamentoplastie du ligament croisé antérieur (LCA), Prothèse totale de genou (PTG) et Amputé transfémoral (ATF).

Tableau 2 : Paramètres spatio-temporels et périodes de latence dans les groupes Ligamentoplastie du ligament croisé antérieur (LCA), Prothèse totale de genou (PTG), Amputé transfémoral (ATF) et Témoin.

	LCA n=16		PTG n=17		ATF n=29		Témoin n=15	
	sain	pathologique	sain	pathologique	sain	pathologique	"sain"	"pathologique"
Vitesse de marche (mètre/seconde)	1,08 (0,26) *		1,04 (0,22) *		1,05 (0,26) *		1,37 (0,17)	
Longueur du pas (mètre)	1,33 (0,19) *	1,31 (0,20) *	1,24 (0,19) *	1,25 (0,18) *	1,33 (0,20) *	1,34 (0,19) *	1,48 (0,16)	1,49 (0,15)
Phase d'appui (% cycle de marche)	64 (3)	62 (3)	66 (4) *	64 (3) *	68 (4) *	58 (3) * #	63 (2)	62 (2)
Phase oscillante (% cycle de marche)	36 (3)	38 (3)	34 (4) *	36 (3) *	32 (4) *	42 (3) * #	37 (2)	38 (2)
Période de latence (seconde)	0,035 (0,022) *	0,037 (0,021) *	0,037 (0,019) *	0,031 (0,019) *	0,017 (0,013)	0,110 (0,063) * #	0,012 (0,009)	0,013 (0,008)
Période de latence (% cycle de marche)	2,8 (1,7) *	2,9 (1,6) *	3,2 (1,8) *	2,5 (1,5) *	1,4 (1,1)	8,3 (4,2) * #	1,1 (0,9)	1,2 (0,7)
Période de latence (% phase oscillante)	7,7 (4,4) *	7,8 (4,1) *	9,1 (5) *	6,9 (4) *	4,1 (3,2)	19 (9,3) * #	3,1 (2,6)	3,1 (1,8)

* différence statistiquement significative comparé au groupe Témoin (p<0,05)

différence statistiquement significative comparé au côté sain (p<0,05)

NOTE. Les valeurs exprimées sont les moyennes ; les déviations standard sont signalées entre parenthèse

4. Discussion

4.1. Allongement de la PL

Les résultats de cette étude confirment l'existence de modifications cinématiques lors de la pré-phase d'appui dans les suites d'une chirurgie du genou. L'allongement, en fin de phase oscillante, de la période entre l'extension maximale du genou et la pose du talon, retrouvé dans notre précédente étude chez une population de patients amputés transfémoraux (1), est également présent après chirurgie de réparation du LCA et chirurgie de remplacement prothétique du genou. Cette période de latence est augmentée de façon significative, à la fois du côté sain et du côté pathologique, dans les deux groupes comparativement au groupe Témoin. Elle mesure de 0,031 à 0,037 secondes, et représente 6,9 à 9,1% de la phase oscillante, contre 3,1% dans le groupe Témoin. Elle est en revanche moins allongée que dans le groupe ATF, où elle atteint du côté amputé 0,110 secondes, soit 19% de la phase oscillante. De durée négligeable voire nulle chez des sujets sains, cette période a été expliquée par la nécessité pour le sujet amputé transfémoral d'obtenir une extension et une stabilité de genou suffisante en prévision de la phase d'appui, dans un contexte où les afférences proprioceptives et les effecteurs musculaires sont perturbés par l'amputation.

Le système proprioceptif du genou est composé de mécanorécepteurs situés au niveau de la capsule articulaire, des ménisques, des ligaments croisés antérieur et postérieur, des ligaments latéraux, et du corps graisseux infra-patellaire (3). Le LCA a à la fois un rôle de stabilisation biomécanique de l'articulation du genou, car il limite le phénomène de tiroir antérieur du tibia, la rotation tibiale et les contraintes en varus/valgus (4), mais aussi un rôle de stabilisation fonctionnelle par ses afférences proprioceptives. Les structures péri-articulaires interviennent également dans la proprioception par le biais des fuseaux neuro-musculaires dans les muscles et des organes tendineux de Golgi dans les tendons. Toutes ces informations proprioceptives conditionnent en grande partie le contrôle moteur, qu'il soit réactionnel ou anticipatoire (3), avec

trois objectifs principaux : une protection contre les mouvements extrêmes, une stabilisation de la posture statique, et une coordination des mouvements (5).

La situation des patients opérés de ligamentoplastie ou de PTG est différente de celle des amputés transfémoraux puisque seule une partie des structures anatomiques du genou est altérée ou manquante. Les conséquences sur la perte d'informations proprioceptives pourraient être moindres voire nulles. Cependant, différents auteurs ont montré l'existence d'altérations de la proprioception dans ces deux situations chirurgicales. Dans le cadre d'une rupture du LCA, une diminution des afférences proprioceptives, évaluée le plus souvent en analytique par le sens de repositionnement articulaire (Joint Position Sense : JPS) ou par le seuil de sensibilité au mouvement passif induit (Threshold for Detection Motion : TDPM), et parfois couplée à une évaluation fonctionnelle sur plate-forme de stabilométrie, a été retrouvée, à la fois en pré-opératoire (6) et en post-opératoire (7), pendant une durée variant selon les études de quelques mois à plusieurs années après le geste de reconstruction ligamentaire. Une amélioration des afférences proprioceptives après chirurgie a été retrouvée par certains auteurs, mais dans un délai pouvant aller de 6 à 18 mois (8). Les divergences entre les résultats de ces études peuvent être en lien avec les différences entre protocoles de mesure de la proprioception, entre délais pré et post-opératoires, entre techniques opératoires et entre populations de patients (6). De la même façon, plusieurs travaux ont retrouvé une altération des afférences proprioceptives chez des sujets présentant une gonarthrose unilatérale (5) et pendant plusieurs mois à plusieurs années après la pose d'une PTG (9).

D'autres études ont mis en évidence, par des tests fonctionnels d'évaluation de l'équilibre statiques ou dynamiques, la persistance d'un déficit du contrôle postural en post-opératoire à la fois après une ligamentoplastie du ligament croisé antérieur (10) et après une pose de PTG (11). Ceci serait en lien avec le déficit proprioceptif secondaire aux lésions articulaires. Plusieurs études ont d'ailleurs retrouvé une corrélation entre la récupération des capacités proprioceptives des patients et leurs résultats fonctionnels après ligamentoplastie de genou (12) ou pose de PTG (13).

Ces différentes données font supposer que l'allongement de la période de latence est, au moins en partie, en lien avec des modifications du système proprioceptif, avec pour conséquences des modifications du contrôle postural et de la coordination motrice. Effectivement, la synchronisation entre l'extension du genou et la pose du talon observée chez les sujets sains, requiert un bon contrôle moteur et une coordination performante nécessitant des informations fournies en particulier par les différents récepteurs proprioceptifs. La PL pourrait être le témoin d'un défaut de synchronisation observé dans différents cadres pathologiques de remplacement partiel ou total du genou.

Dans le groupe LCA, il existe du côté pathologique une corrélation positive entre la durée de la PL et le délai entre la rupture et la réparation du ligament croisé antérieur. Après rupture, une diminution progressive du nombre des mécanorécepteurs de morphologie normale dans le ligament lésé et non opéré a été constatée, notamment à partir de 3 mois post-traumatique (14). Ce phénomène pourrait être à l'origine d'une perte d'informations proprioceptives, se traduisant par un allongement de la PL, et pourrait expliquer la corrélation observée.

L'évaluation dans les groupes LCA et PTG a été réalisée lorsque le patient a acquis une antalgie et une autonomie dans les activités fonctionnelles sans aide technique : à 1 mois post-opératoire pour les ligamentoplasties, et à 3 mois pour les PTG. Pour les ligamentoplasties, ce délai correspond en général à la poursuite des soins de rééducation (15), et pour les PTG, il correspond en général à la fin de la prise en charge en rééducation (16). L'évaluation de la marche en post-opératoire à deux moments distincts de la prise en charge, bien qu'il s'agisse d'opérations chirurgicales différentes, permet de montrer que l'allongement de la PL est un phénomène qui semble persister au moins plusieurs semaines. Si l'on se réfère aux délais de récupération proprioceptive constatés dans la littérature (7 ; 9), on peut supposer que cette PL persiste pendant plusieurs mois à plusieurs années. On peut aussi se demander si cette PL ne pré-existe pas avant la chirurgie, chez des patients présentant une rupture du LCA ou une gonarthrose, étant donné les troubles proprioceptifs retrouvés dans ces situations. Des observations

longitudinales sur une durée plus étendue, y compris en période pré-opératoire, seraient nécessaires pour connaître l'évolution de cette PL à différents stades d'une pathologie opérée, et sa corrélation avec les déficits proprioceptifs décrits dans la littérature.

4.2. Caractère bilatéral et symétrisation

L'allongement significatif de la période de latence dans les groupes LCA et PTG en comparaison du groupe Témoin est constaté de façon bilatérale, alors que dans le groupe ATF, cet allongement n'est constaté que du côté amputé, la période de latence du côté sain restant similaire à celle du groupe Témoin. Il semble donc exister une symétrisation des modifications de la marche après ligamentoplastie ou arthroplastie. Ce constat est appuyé par plusieurs études retrouvant l'existence d'une altération des afférences proprioceptives ou du contrôle postural de façon bilatérale, soit après lésion non opérée (17) ou opérée du ligament antéro-externe (18 ; 19) soit dans un contexte de gonarthrose unilatérale (5) ou après la pose d'une PTG (20). Les éléments décrits ne seraient pas qu'une conséquence mécanique locale mais traduiraient des adaptations plus générales : des modifications constatées au niveau du système nerveux central pourraient expliquer le caractère bilatéral des altérations du schéma proprioceptif et du contrôle moteur (21).

Ces résultats bilatéraux doivent également inciter à la prudence dans l'interprétation des résultats d'exploration fonctionnelle : il semble difficile d'utiliser le côté sain comme contrôle par rapport au côté pathologique dans les études évaluant des sujets après chirurgie de genou, et probablement de manière plus générale après tout événement traumatique ou chirurgical du membre inférieur, car il existe un risque de conclure à l'absence de modifications du côté pathologique, alors qu'en réalité les modifications sont bilatérales (3).

Dans notre précédente étude (1), des analyses par sous-groupes selon le type de genou prothétique ont été réalisées. Un allongement unilatéral de la PL a été constaté dans le sous-groupe de patients appareillés avec un genou contrôlant la phase oscillante, alors que dans le sous-groupe de patients appareillés avec un genou à microprocesseur, on a constaté une tendance

à la symétrisation entre le membre amputé et le membre sain : la PL est significativement diminuée du côté pathologique et allongée du côté sain dans le sous-groupe de genoux à microprocesseur comparativement au sous-groupe de genoux à contrôle de la phase oscillante. L'hypothèse a été émise que l'utilisation d'un genou à microprocesseur induit une adaptation du schéma de marche du côté sain, avec effet de symétrisation. Il semble que le schéma de marche d'un patient amputé transfémoral appareillé avec ce type de genou, qui ne requiert pas autant de contrôle conscient qu'un genou contrôlant la phase oscillante, tend à se rapprocher du schéma de marche de patients ayant subi une modification partielle du membre inférieur (ligamentoplastie ou PTG).

4.3. Paramètres spatio-temporels

L'objectif secondaire de ce travail était de comparer les paramètres spatio-temporels entre le côté pathologique et le côté sain pour chaque groupe, puis entre les groupes LCA, PTG et ATF, et le groupe Témoin.

Pour les trois groupes pathologiques, la vitesse de marche et la longueur du pas du côté pathologique et du côté sain sont significativement diminuées par rapport aux valeurs du groupe Témoin, sans différence significative entre les deux côtés au sein des groupes. Pour le groupe PTG, ceci est concordant avec les données de la littérature, retrouvant une réduction de la vitesse de marche et de la longueur du pas jusqu'à au moins 6 ans post-opératoires (22 ; 23). Nous n'avons pas retrouvé pour les ligamentoplasties de données cinématiques correspondant au délai post-opératoire d'un mois défini dans notre étude, mais des données de la littérature montrent que la vitesse de marche comme la longueur du pas semblent restaurées entre 3 et 12 mois post-opératoires (24).

Chez les sujets porteurs de PTG, nous avons constaté un allongement bilatéral et symétrique de la phase d'appui, significativement augmentée par rapport au groupe Témoin. Cet allongement, dû à une augmentation de la durée du double appui, et retrouvé dans la littérature (22), pourrait être expliqué par la vitesse de marche plus lente, mais pourrait également traduire une incertitude

quant à l'équilibre à la marche (25). Chez les patients opérés de ligamentoplastie, aucune modification significative en terme de répartition de la phase d'appui et de la phase oscillante sur le cycle de marche n'a été constatée au sein du groupe ou en comparaison avec le groupe Témoin.

Ces résultats sont différents de ceux du groupe ATF, chez qui le pourcentage de la phase oscillante est significativement augmenté du côté pathologique par rapport au côté sain et par rapport au groupe Témoin. L'allongement de la phase oscillante a été mis en relation avec l'allongement de la PL, et une corrélation positive a été retrouvée entre ces deux valeurs. Chez les patients des groupes LCA et PTG, l'allongement bilatéral de la PL n'est pas corrélé à un allongement de la phase oscillante, qui au contraire est diminuée de façon bilatérale et significative dans le groupe PTG. L'hypothèse d'une adaptation bilatérale du schéma de marche après ligamentoplastie et PTG est formulée. L'hypothèse d'un lien entre la PL et le contrôle conscient prothétique est proposée. Des études spécifiques sont nécessaires.

4 .4. Limites de l'étude

Les limites de cette étude sont d'une part le faible nombre de patients dans les groupes PTG et LCA, et d'autre part, l'absence d'appariement des groupes pathologiques au groupe Témoin notamment en terme d'âge.

5. Conclusion et perspectives

L'analyse de la fin de la phase oscillante après ligamentoplastie du ligament croisé antéro-externe ou arthroplastie totale de genou met en évidence un allongement de la période de latence du côté pathologique et du côté sain. Ce phénomène a déjà été constaté du côté pathologique dans une population de sujets amputés transfémoraux (1). Cette période, appelée « délai de confiance » ou « confidence time », existe donc non seulement après le remplacement du membre inférieur, mais également après des opérations chirurgicales modifiant partiellement le genou. L'existence de cette PL pourrait être en lien avec une altération des afférences proprioceptives issues du genou,

entraînant des modifications du contrôle postural et des adaptations du schéma de marche. Le caractère bilatéral de l'allongement de la PL constaté dans les groupes LCA et PTG conduit à l'hypothèse d'un mécanisme d'adaptation centrale en réponse aux déficits proprioceptifs périphériques.

Des observations longitudinales évaluant simultanément la proprioception et la cinématique du contrôle du genou seraient nécessaires pour mieux comprendre cette période de latence et son évolution dans le temps. La réalisation de ces observations à la fois en période pré-opératoire et en période post-opératoire, à différents délais allant de quelques semaines à quelques années, permettrait de préciser si cette période diminue ou s'annule, au fur et à mesure que les capacités proprioceptives récupèrent voire se normalisent, tel que cela est décrit dans la littérature.

Les modifications motrices secondaires aux désordres proprioceptifs dans les suites d'une ligamentoplastie ou d'une arthroplastie de genou montrent l'intérêt d'une rééducation proprioceptive pour améliorer le contrôle postural. Dans ce cadre, la période de latence pourrait être un marqueur objectif de l'efficacité du contrôle moteur, depuis une PL allongée associée à un contrôle ciblé et volontaire du genou jusqu'à une PL plus courte voire nulle associée à un contrôle automatique du genou.

Liste des abréviations

ATF : amputé transfémoral

LCA : ligamentoplastie du ligament croisé antérieur

PL : période de latence

PTG : prothèse totale de genou

Bibliographie

1. Mâaref K, Martinet N, Grumillier C, Ghannouchi S, André JM, Paysant J. Kinematics in the terminal swing phase of unilateral transfemoral amputees: microprocessor-controlled versus swing-phase control prosthetic knees. *Arch Phys Med Rehabil*. 2010 Jun;91(6):919–25.
2. Kadaba MP, Ramakrishnan HK, Wootten ME. Measurement of lower extremity kinematics during level walking. *J Orthop Res*. 1990 May;8(3):383–92.
3. Entretiens de rééducation et réadaptation fonctionnelles. La proprioception. Sauramps médical; 2012.
4. Bacchini M, Cademartiri C, Soncini G. Gait analysis in patients undergoing ACL reconstruction according to Kenneth Jones' technique. *Acta Biomed*. 2009 Aug;80(2):140–9.
5. Knoop J, Steultjens MPM, van der Leeden M, van der Esch M, Thorstensson CA, Roorda LD, et al. Proprioception in knee osteoarthritis: a narrative review. *Osteoarthr Cartil*. 2011 Apr;19(4):381–8.
6. Dhillon MS, Bali K, Prabhakar S. Proprioception in anterior cruciate ligament deficient knees and its relevance in anterior cruciate ligament reconstruction. *Indian J Orthop*. 2011 Jul;45(4):294–300.
7. Bonfim TR, Jansen Paccola CA, Barela JA. Proprioceptive and behavior impairments in individuals with anterior cruciate ligament reconstructed knees. *Arch Phys Med Rehabil*. 2003 Aug;84(8):1217–23.
8. Hopper DM, Creagh MJ, Formby PA, Goh SC, Boyle JJ, Strauss GR. Functional measurement of knee joint position sense after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arch Phys Med Rehabil*. 2003 Jun;84(6):868–72.
9. Levinger P, Menz HB, Morrow AD, Wee E, Feller JA, Bartlett JR, et al. Lower limb proprioception deficits persist following knee replacement surgery despite improvements in knee extension strength. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2012 Jun;20(6):1097–103.
10. Rougier PR, Berger S, Barral S, Rachet O. Biomechanical analysis of postural strategies over the first two months following anterior cruciate ligament reconstruction. *Motor Control*. 2012 Jan;16(1):94–105.
11. Venema DM, Karst GM. Individuals with total knee arthroplasty demonstrate altered anticipatory postural adjustments compared with healthy control subjects. *J Geriatr Phys Ther*. 2012 Jun;35(2):62–71.
12. Fremerey RW, Lobenhoffer P, Zeichen J, Skutek M, Bosch U, Tscherne H. Proprioception after rehabilitation and reconstruction in knees with deficiency of the anterior cruciate ligament: a prospective, longitudinal study. *J Bone Joint Surg Br*. 2000 Aug;82(6):801–6.

13. Gauchard GC, Vançon G, Meyer P, Mainard D, Perrin PP. On the role of knee joint in balance control and postural strategies: effects of total knee replacement in elderly subjects with knee osteoarthritis. *Gait Posture*. 2010 Jun;32(2):155–60.
14. Denti M, Monteleone M, Berardi A, Panni AS. Anterior cruciate ligament mechanoreceptors. Histologic studies on lesions and reconstruction. *Clin Orthop Relat Res*. 1994 Nov;(308):29–32.
15. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*. Physical and Rehabilitation Medicine (PRM) care pathways : “Patients after knee ligament surgery”. *Parcours de soins en Médecine Physique et de Réadaptation (MPR)* : “le patient après ligamentoplastie de genou.”2011;54:501–5.
16. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*. Physical and Rehabilitation Medicine (PRM) care pathways : “Patients after total knee arthroplasty”. *Parcours de soins en Médecine Physique et de Réadaptation (MPR)* : “le patient après prothèse totale de genou.”2012;55:533–9.
17. Fabri S, Lacaze F, Marc T, Roussenne A, Constantinides A. Rééducation des entorses du genou : traitement fonctionnel. *EMC - Kinésithérapie - Médecine physique - Réadaptation*. 2008 Jan;4(2):1–21.
18. Roberts D, Fridén T, Stomberg A, Lindstrand A, Moritz U. Bilateral proprioceptive defects in patients with a unilateral anterior cruciate ligament reconstruction: a comparison between patients and healthy individuals. *J Orthop Res*. 2000 Jul;18(4):565–71.
19. Reider B, Arcand MA, Diehl LH, Mroczek K, Abulencia A, Stroud CC, et al. Proprioception of the knee before and after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*. 2003 Jan;19(1):2–12.
20. Fuchs S, Thorwesten L, Niewerth S. Proprioceptive function in knees with and without total knee arthroplasty. *Am J Phys Med Rehabil*. 1999 Feb;78(1):39–45.
21. Valeriani M, Restuccia D, Di Lazzaro V, Franceschi F, Fabbriani C, Tonali P. Clinical and neurophysiological abnormalities before and after reconstruction of the anterior cruciate ligament of the knee. *Acta Neurol Scand*. 1999 May;99(5):303–7.
22. Ouellet D, Moffet H. Locomotor deficits before and two months after knee arthroplasty. *Arthritis Rheum*. 2002 Oct 15;47(5):484–93.
23. McClelland JA, Webster KE, Feller JA. Gait analysis of patients following total knee replacement: a systematic review. *Knee*. 2007 Aug;14(4):253–63.
24. Shi D-L, Wang Y-B, Ai Z-S. Effect of anterior cruciate ligament reconstruction on biomechanical features of knee in level walking: a meta-analysis. *Chin Med J*. 2010 Nov;123(21):3137–42.
25. Viel É. *La Marche humaine, la course et le saut: biomécanique, explorations, normes et dysfonctionnements*. Paris: Masson; 2000.

- a. Vicon Motion Systems Ltd, 14 Minns Business Park, West Way, Oxford OX2 0JB, United Kingdom.
- b. Advanced Mechanical Technology, Inc, 176 Waltham St, Watertown, MA 02472-4800.
- c. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing [Internet]. R Foundation for Statistical Computing; 2013. Available from: <http://www.R-project.org/>

VU

NANCY, le **2 septembre 2013**
Le Président de Thèse

Professeur J. PAYSANT

NANCY, le **5 septembre 2013**
Le Doyen de la Faculté de Médecine

Professeur H. COUDANE

AUTORISE À SOUTENIR ET À IMPRIMER LA THÈSE N°6565

NANCY, le 13/09/2013

LE PRÉSIDENT DE L'UNIVERSITÉ DE LORRAINE

Professeur P. MUTZENHARDT

RÉSUMÉ DE LA THÈSE

Un délai entre l'extension totale du genou et la pose du talon, appelé « délai de confiance », a été mis en évidence et décrit chez l'amputé transfémoral du côté pathologique. L'objectif de cette étude est de rechercher l'existence d'une période de latence similaire après réparation du ligament croisé antérieur et prothèse totale de genou. La période de latence est mesurée à partir de l'analyse tridimensionnelle de la marche pour quatre groupes de sujets : groupe Ligamentoplastie (n=16), groupe Prothèse totale de genou (n=17), groupe Amputé transfémoral (n=29) et groupe Témoin (n=15). Dans le groupe Amputé transfémoral, la période de latence est significativement augmentée du côté pathologique par rapport au côté sain et au groupe Témoin, alors que dans les groupes Ligamentoplastie et Prothèse totale de genou, elle est significativement augmentée à la fois du côté sain et du côté pathologique par rapport au groupe Témoin. La période de latence est une modification cinématique commune à plusieurs situations chirurgicales de remplacement partiel ou total du genou. Elle pourrait être en lien avec des modifications du système proprioceptif et du contrôle postural. Des observations longitudinales sont nécessaires pour connaître l'évolution de la période de latence après une opération du membre inférieur, et son lien avec les déficits proprioceptifs décrits dans la littérature.

TITRE EN ANGLAIS : KINEMATICS IN THE TERMINAL SWING PHASE AFTER ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT RECONSTRUCTION, TOTAL KNEE ARTHROPLASTY AND UNILATERAL TRANSFEMORAL AMPUTATION

THÈSE : MÉDECINE SPÉCIALISÉE – ANNÉE 2013

MOTS CLEFS : Ligamentoplastie ; Prothèse totale de genou ; Amputation ; Marche ; Cinématique ; Proprioception.

INTITULÉ ET ADRESSE

UNIVERSITÉ DE LORRAINE

Faculté de Médecine de Nancy

9, avenue de la Forêt de Haye

54505 VANDOEUVRE LES NANCY Cedex
