



HAL
open science

Technique innovante d'alignement des PTG : les écarts maximaux. Étude de cohorte sur 140 sujets

Jeffrey Michaud

► To cite this version:

Jeffrey Michaud. Technique innovante d'alignement des PTG : les écarts maximaux. Étude de cohorte sur 140 sujets. Médecine humaine et pathologie. 2021. dumas-03480220

HAL Id: dumas-03480220

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03480220v1>

Submitted on 14 Dec 2021

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - ShareAlike 4.0 International License

UNIVERSITE DE MONTPELLIER
FACULTE DE MEDECINE MONTPELLIER-NIMES

THESE

Pour obtenir le titre de
DOCTEUR EN MEDECINE
Présentée et soutenue publiquement
Par
MICHAUD Jeffrey

le 15 octobre 2021

TITRE

**Technique innovante d'alignement des PTG: les écarts maximaux.
Etude de cohorte sur 140 sujets**

Directeur de thèse : MARCHAND Philippe

JURY

Président : Professeur KOUYOUMDJIAN Pascal

Assesseurs : Professeur CANOVAS François

Docteur MARCHAND Philippe

Docteur COULOMB Rémy

UNIVERSITE DE MONTPELLIER
FACULTE DE MEDECINE MONTPELLIER-NIMES

THESE

Pour obtenir le titre de
DOCTEUR EN MEDECINE
Présentée et soutenue publiquement
Par
MICHAUD Jeffrey

le 15 octobre 2021

TITRE

**Technique innovante d'alignement des PTG: les écarts maximaux.
Etude de cohorte sur 140 sujets**

Directeur de thèse : MARCHAND Philippe

JURY

Président : Professeur KOUYOUMDJIAN Pascal

Assesseurs : Professeur CANOVAS François

Docteur MARCHAND Philippe

Docteur COULOMB Rémy

PERSONNEL ENSEIGNANT

Professeurs Honoraires

ALBAT Bernard	BRUNEL Michel	JOURDAN Jacques	PAGES Michel
ALLIEU Yves	CANAUD Bernard	KLEIN Bernard	PEGURET Claude
ALRIC Robert	CHAPTAL Paul-André	LAFFARGUE François	PELISSIER Jacques
ARNAUD Bernard	CIURANA Albert-Jean	LALLEMANT Jean Gabriel	PETIT Pierre
ASENCIO Gérard	CLOT Jacques	LAMARQUE Jean-Louis	POUGET Régis
ASTRUC Jacques	D'ATHIS Françoise	LAPEYRIE Henri	PUJOL Henri
AUSSILLOUX Charles	DEMAILLE Jacques	LESBROS Daniel	RABISCHONG Pierre
AVEROUS Michel	DESCOMPS Bernard	LOPEZ François Michel	RAMUZ Michel
AYRAL Guy	DIMEGLIO Alain	LORIOT Jean	REBOUL Jean
BAILLAT Xavier	DUBOIS Jean Bernard	LOUBATIERES Marie Madeleine	RIEU Daniel
BALDET Pierre	DUMAS Robert	MAGNAN DE BORNIER Bernard	ROCHEFORT Henri
BALDY-MOULINIER Michel	DUMAZER Romain	MARTY ANE Charles	ROUANET DE VIGNE LAVIT Jean Pierre
BALMES Jean-Louis	ECHENNE Bernard	MARY Henri	SAINT AUBERT Bernard
BANSARD Nicole	FABRE Serge	MATHIEU-DAUDE Pierre	SANCHO-GARNIER Hélène
BAYLET René	FREREBEAU Philippe	MEYNADIER Jean	SANY Jacques
BILLIARD Michel	GALIFER René Benoît	MICHEL François-Bernard	SEGNARBIEUX François
BLARD Jean-Marie	GODLEWSKI Guilhem	MION Charles	SENAC Jean-Paul
BLAYAC Jean Pierre	GRASSET Daniel	MION Henri	SERRE Arlette
BLOTMAN Francis	GUILHOU Jean-Jacques	MIRO Luis	SOLASSOL Claude
BONNEL François	HEDON Bernard	NAVARRO Maurice	VIDAL Jacques
BOUDET Charles	HERTAULT Jean	NAVRATIL Henri	VISIÉ Jean Pierre
BOURGEOIS Jean-Marie	HUMEAU Claude	OTHONIEL Jacques	
BOUSQUET Jean	JAFFIOL Claude		
BRUEL Jean Michel	JANBON Charles		
BUREAU Jean-Paul	JANBON François		
	JARRY Daniel		

Professeurs Émérites

ARTUS Jean-Claude	LARREY Dominique LE
BLANC François	QUELLEC Alain
BONAFE Alain	MARES Pierre
BOULENGER Jean-Philippe	MAUDELONDE Thierry
	MAURY Michèle
BOURREL Gérard	MESSNER Patrick
BRINGER Jacques	MILLAT Bertrand
CLAUSTRES Mireille	MONNIER Louis
DAURES Jean-Pierre	MOURAD Georges
DAUZAT Michel DAVY Jean Marc	PREFAUT Christian
DEDET Jean-Pierre	PUJOL Rémy
ELEDJAM Jean-Jacques	RIBSTEIN Jean
GROLLAUX RAOUX Robert	SCHVED Jean-François
	SULTAN Charles
GUERRIER Bernard	TOUCHON Jacques
GUILLOT Bernard	UZIEL Alain
JONQUET Olivier	VOISIN Michel
LANDAIS Paul	ZANCA Michel

Docteurs Émérites

PRAT Dominique	PUJOL Joseph
----------------	--------------

PERSONNEL ENSEIGNANT

Professeurs des Universités - Praticiens Hospitaliers

PU-PH de classe exceptionnelle

ALRIC Pierre – Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire (option chirurgie vasculaire)

BACCINO Éric – Médecine légale et droit de la santé

BASTIEN Patrick – Parasitologie et mycologie

BEREGI Jean-Paul – Radiologie et imagerie médicale

BLAIN Hubert – Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie

BOULOT Pierre – Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale

CAPDEVILA Xavier – Anesthésiologie-réanimation

COMBE Bernard – Rhumatologie

COSTES Valérie – Anatomie et cytologie pathologiques

COTTALORDA Jérôme – Chirurgie infantile

COUBES Philippe – Neurochirurgie

COURTET Philippe – Psychiatrie d'adultes, addictologie

CRAMPETTE Louis – Oto-rhino-laryngologie

CRISTOL Jean Paul – Biochimie et biologie moléculaire

CYTEVAL Catherine – Radiologie et imagerie médicale

DE LA COUSSAYE Jean Emmanuel – Anesthésiologie-réanimation

DELAPORTE Éric – Maladies infectieuses ; maladies tropicales

DEMOLY Pascal – Pneumologie, addictologie

DE WAZIERES Benoît – Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie

DOMERGUE Jacques – Chirurgie viscérale et digestive

DUFFAU Hugues – Neurochirurgie

ELIAOU Jean François – Immunologie

FABRE Jean Michel – Chirurgie générale

FRAPIER Jean-Marc – Chirurgie thoracique et cardiovasculaire

HAMAMAH Samir – Biologie et Médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale

HERISSON Christian – Médecine physique et de réadaptation

JABER Samir – Anesthésiologie-réanimation

JEANDEL Claude-Médecine interne – gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie

JONQUET Olivier – Réanimation ; médecine d'urgence

JORGENSEN Christian – Thérapeutique ; médecine d'urgence ; addictologie

KOTZKI Pierre Olivier – Biophysique et médecine nucléaire

LABAUGE Pierre – Neurologie

LEFRANT Jean-Yves – Anesthésiologie-réanimation

LEHMANN Sylvain – Biochimie et biologie moléculaire

LUMBROSO Serge – Biochimie et biologie moléculaire

MERCIER Jacques – Physiologie

MEUNIER Laurent – Dermato-vénérologie

MONDAIN Michel – Oto-rhino-laryngologie

MORIN Denis – Pédiatrie

PAGEAUX Georges – Philippe-Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie

PUJOL Pascal – Biologie cellulaire

QUERE Isabelle – Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire (option médecine vasculaire)

RENARD Éric – Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques ; gynécologie médicale

REYNES Jacques – Maladies infectieuses, maladies tropicales

RIPART Jacques – Anesthésiologie-réanimation

SOTTO Albert – Maladies infectieuses ; maladies tropicales

SCHVED Jean François – Hématologie ; Transfusion

TAOUREL Patrice – Radiologie et imagerie médicale

TOUITOU Isabelle – Génétique

VANDE PERRE Philippe – Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière

YCHOU Marc – Cancérologie ; radiothérapie

PU-PH de 1^{re} classe

AGUILAR MARTINEZ Patricia – Hématologie ; transfusion

ASSENAT Éric – Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie

AVIGNON Antoine – Nutrition

AZRIA David – Cancérologie ; radiothérapie

BAGHDADLI Amaria – Pédiopsychiatrie ; addictologie

BLANC Pierre – Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie

BORIE Frédéric – Chirurgie digestive

BOURDIN Arnaud – Pneumologie ; addictologie

CAMBONIE Gilles – Pédiatrie

CAMU William – Neurologie

CANOVAS François – Anatomie

CAPTIER Guillaume – Anatomie

CARTRON Guillaume – -Hématologie ; transfusion

CAYLA Guillaume – Cardiologie

CHANQUES Gérald – Anesthésie-réanimation

CORBEAU Pierre – Immunologie

COULET Bertrand – Chirurgie orthopédique et traumatologique

CUVILLON Philippe – Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire

DADURE Christophe – Anesthésiologie-réanimation

DAUVILLIERS Yves – Physiologie

DE TAYRAC Renaud – Gynécologie-obstétrique, gynécologie médicale

DE VOS John – Cytologie et histologie

DEMARIA Roland – Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire

DROUPY Stéphane – Urologie

DUCROS Anne – Neurologie

DUPEYRON Arnaud – Médecine physique et réadaptation

FESLER Pierre – Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie

GARREL Renaud – Oto-rhino-laryngologie

GENEVIEVE David – Génétique

GUILLAUME Sébastien – Psychiatrie d'adultes ; addictologie

GUIU Boris – Radiologie et imagerie médicale

HAYOT Maurice – Physiologie

HOUEDE Nadine – Cancérologie ; radiothérapie

KLOUCHE Kada – Réanimation ; médecine d'urgence

KOENIG Michel – Génétique moléculaire

KOUYOUMDJIAN Pascal – Chirurgie orthopédique et traumatologique

LAFFONT Isabelle – Médecine physique et de réadaptation

LAVABRE-BERTRAND Thierry – Cytologie et histologie

LAVIGNE Jean-Philippe – Bactériologie – virologie, hygiène hospitalière

LEMOING Vincent – Maladies infectieuses ; maladies tropicales

LECLERCQ Florence – Cardiologie

MARIANO-GOULART Denis – Biophysique et médecine nucléaire

MATECKI Stéfan – Physiologie

MORANNE Olivier – Néphrologie

MOREL Jacques – Rhumatologie

NAVARRO Francis – Chirurgie générale

NOCCA David – Chirurgie viscérale et digestive

PASQUIE Jean-Luc – Cardiologie

PERNEY Pascal – Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie

PRUDHOMME Michel – Anatomie

PUJOL Jean Louis – Pneumologie ; addictologie

PURPER-OUAKIL Diane – Pédiopsychiatrie ; addictologie

ROGER Pascal – Anatomie et cytologie pathologiques

TRAN Tu-Anh – Pédiatrie

VERNHET Hélène – Radiologie et imagerie médicale

PU-PH de 2ème classe

BOURGIER Céline – Cancérologie ; radiothérapie

CANAUD Ludovic – Chirurgie vasculaire ; Médecine Vasculaire

CAPDEVIELLE Delphine – Psychiatrie d'Adultes ; addictologie

CLARET Pierre-Géraud – Médecine d'urgence

COLOMBO Pierre-Emmanuel – Cancérologie ; radiothérapie

COSTALAT Vincent – Radiologie et imagerie médicale

DAIEN Vincent – Ophtalmologie

DORANDEU Anne – Médecine légale

FAILLIE Jean-Luc – Pharmacologie fondamentale, pharmacologie clinique, addictologie

FUCHS Florent – Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale

GABELLE DELOUSTAL Audrey – Neurologie

GAUJOUX Viala Cécile – Rhumatologie

GODREUIL Sylvain – Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière

GUILPAIN Philippe – Médecine Interne, gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie

HERLIN Christian – Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique, brulologie

IMMEDIATO DAIEN Claire – Rhumatologie

JACOT William – Cancérologie ; Radiothérapie

JEZIORSKI Éric – Pédiatrie

JUNG Boris – Réanimation ; médecine d'urgence

KALFA Nicolas – Chirurgie infantile

LACHAUD Laurence – Parasitologie et mycologie

LALLEMANT Benjamin – Oto-rhino-laryngologie

LE QUINTREC Moglie - Néphrologie

LETOUZEY Vincent – Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale

LONJON Nicolas - Neurologie

LOPEZ CASTROMAN Jorge – Psychiatrie d'Adultes ; addictologie

LUKAS Cédric – Rhumatologie

MENJOT de CHAMPFLEUR Nicolas – Radiologie et imagerie médicale

MILLET Ingrid – Radiologie et imagerie médicale

MURA Thibault – Biostatistiques, informatique médicale et technologies de la communication

NAGOT Nicolas – Biostatistiques, informatique médicale et technologies de la communication

OLIE Émilie – Psychiatrie d'adultes ; addictologie

NOCCA David – Chirurgie digestive

PANARO Fabrizio – Chirurgie générale

PARIS Françoise – Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale

PELLESTOR Franck – Histologie, embryologie et cytogénétique

PASQUIE Jean-Luc – Cardiologie

PEREZ MARTIN Antonia – Physiologie

POUDEROUX Philippe – Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie

RIGAU Valérie – Anatomie et cytologie pathologiques

RIVIER François – Pédiatrie

ROSSI Jean François – Hématologie ; transfusion

ROUBILLE François – Cardiologie

SEBBANE Mustapha – Anesthésiologie-réanimation

SIRVENT Nicolas – Pédiatrie

SOLASSOL Jérôme – Biologie cellulaire

STOEBNER Pierre – Dermato-vénérologie

SULTAN Ariane – Nutrition

THOUVENOT Éric – Neurologie

THURET Rodolphe – Urologie

TUAILLON Édouard – Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière

VENAIL Frédéric – Oto-rhino-laryngologie

VILLAIN Max – Ophtalmologie

VINCENT Denis – Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie

VINCENT Thierry – Immunologie

WOJTUSCISZYN Anne – Endocrinologie-diabétologie-nutrition

PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS

1^{re} classe :

COLINGE Jacques – Cancérologie, Signalisation cellulaire et systèmes complexes

LAOUDJ CHENIVESSE Dalila – Biochimie et biologie moléculaire

VISIER Laurent – Sociologie, démographie

PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS - Médecine générale

1^{re} classe :

LAMBERT Philippe

AMOUYAL Michel

PROFESSEURS ASSOCIÉS - Médecine Générale

CLARY Bernard

DAVID Michel

GARCIA Marc

PROFESSEURS ASSOCIÉS - Médecine

BESSIS Didier – Dermato-vénérologie

MEUNIER Isabelle – Ophtalmologie

MULLER Laurent – Anesthésiologie-réanimation

PERRIGAULT Pierre-François – Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence

QUANTIN Xavier – Pneumologie

ROUBERTIE Agathe – Pédiatrie

VIEL Éric – Soins palliatifs et traitement de la douleur

Maîtres de Conférences des Universités - Praticiens Hospitaliers

MCU-PH Hors classe – Échelon Exceptionnel

RICHARD Bruno – Médecine palliative

SEGONDY Michel – Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière

MCU-PH Hors classe

BADIOUX Stéphanie – Biochimie et biologie moléculaire

BOULLE Nathalie – Biologie cellulaire

CACHEUX-RATABOUL Valère – Génétique

CARRIERE Christian – Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière

CHARACHON Sylvie – Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière

FABBRO-PERAY Pascale – Épidémiologie, économie de la santé et prévention

GIANSILY-BLAIZOT Muriel – Hématologie, transfusion

MCU-PH de 1^{re} classe

BERTRAND Martin – Anatomie

BOUDOUSQ Vincent – Biophysique et médecine nucléaire

BRET Caroline – Hématologie biologique

BROUILLET Sophie – Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale

COSSEE Mireille – Génétique Moléculaire

LAVIGNE Géraldine – Hématologie ; transfusion

LESAGE François-Xavier – Médecine et santé au travail

MARTRILLE Laurent – Médecine légale et droit de la santé

MATHIEU Olivier – Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie

MOUZAT Kévin – Biochimie et biologie moléculaire

PANABIÈRES Catherine – Biologie cellulaire

RAVEL Christophe – Parasitologie et mycologie

SCHUSTER-BECK Iris – Physiologie

STERKERS Yvon – Parasitologie et mycologie

YACHOUH Jacques – Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie

MCU-PH de 2^{ème} classe

BERGOUIGNOUX Anne – Génétique

CHIRIAC Anca – Immunologie

DE JONG Audrey – Anesthésie-réanimation

DU THANH Aurélie – Dermato-vénérologie

FITENI Frédéric – Cancérologie ; radiothérapie

GOUZI Farès – Physiologie

HERRERO Astrid – Chirurgie générale

HUBERLANT Stéphanie – Gynécologie obstétrique ; Gynécologie médicale

KUSTER Nils – Biochimie et biologie moléculaire

MAKINSON Alain – Maladies infectieuses, Maladies tropicales

PANTEL Alix – Bactériologie-virologie, hygiène hospitalière

PERS Yves-Marie – Thérapeutique, addictologie

ROUBILLE Camille – Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie

SABLEWSKI Vanessa – Anatomie et cytologie pathologiques

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES - Médecine Générale

MCU-MG de 1^{ère} classe

COSTA David

OUDE-ENGBERINK Agnès

MCU-MG de 2^{ème} classe

FOLCO-LOGNOS Béatrice

CARBONNEL François

MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES - Médecine Générale

CAMPAGNAC Jérôme

LOPEZ Antonio

MILLION Elodie

PAVAGEAU Sylvain

REBOUL Marie-Catherine

SERAYET Philippe

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

Maîtres de Conférences hors classe

BADIA Éric – Sciences biologiques fondamentales et cliniques

HAZAL Nathalie – Biologie cellulaire

Maîtres de Conférences de classe normale

BECAMEL Carine – Neurosciences

BERNEX Florence – Physiologie

CHAUMONT-DUBEL Séverine – Sciences du médicament et des autres produits de santé

DELABY Constance – Biochimie et biologie moléculaire

GUGLIELMI Laurence – Sciences biologiques fondamentales et cliniques

HENRY Laurent – Sciences biologiques fondamentales et cliniques

HERBET Guillaume – Neurosciences

LADRET Véronique – Mathématiques appliquées et applications des mathématiques

LAINÉ Sébastien – Sciences du Médicament et autres produits de santé

LE GALLIC Lionel – Sciences du médicament et autres produits de santé

LOZZA Catherine – Sciences physico-chimiques et technologies pharmaceutiques

MAIMOUN Laurent – Sciences physico-chimiques et ingénierie appliquée à la santé

MOREAUX Jérôme – Science biologiques, fondamentales et cliniques

MORITZ-GASSER Sylvie – Neurosciences

MOUTOT Gilles – Philosophie

PASSERIEUX Émilie – Physiologie

RAMIREZ Jean-Marie – Histologie

RAYNAUD Fabrice

TAULAN Magali – Biologie Cellulaire

PH chargés d'enseignements

ABOUKRAT Patrick	BIRON-ANDREANI Christine	CASSINOTTO Christophe
AKKARI Mohammed	BLANC Brigitte	CATHALA Philippe
ALRIC Jérôme	BLANCHARD Sylvie	CAZABAN Michel
AMEDRO Pascal	BLANCHET Catherine	CHARBIT Jonathan
AMOUREUX Cyril	BLATIERE Véronique	CHEVALLIER Thierry
ANTOINE Valéry	BOBBIA Xavier	CHEVALLIER-MICHAUD Josyane
ARQUIZAN Caroline	BOGE Gudrun	COLIN Olivier
ATTALIN Vincent	BOURRAIN Jean Luc	CONSEIL Mathieu
AYRIGNAC Xavier	BOUYABRINE Hassan	CORBEAU Catherine
BADR Maliha	BRINGER-DEUTSCH Sophie	COROIAN Flavia-Oana
BAIS Céline	BRINGUIER BRANCHEREAU Sophie	COURDRAY Sarah
BARBAR Saber Davide	BRISOT Dominique	CRANSAC Frédéric
BASSET Didier	BRONER Jonathan	CUNTZ Danièle
BATIFOL Dominique	CADE Stéphane	DARDALHON Brigitte
BATTISTELLA Pascal	LAZERGES Cyril	DAVID Aurore
BAUCHET Luc	LE GUILLOU Cédric	DE BOUTRAY Marie
BENEZECH Jean Pierre	LEGLISE Marie Suzanne	RAPIDO Francesca
BENNYS Karim	CAIMMI Davide Paolo	RIBRAULT Alice
BERNARD Nathalie	CARR Julie	RICHAUD-MOREL Brigitte
BERTRCHANSKY Ivan	CARTIER César	RIDOLFO Jérôme
BIBOULET Philippe	CASPER Thierry	RIPART Sylvie
DENIS Hélène	MARGUERITE Emmanuel	RONGIERES Michel
DEVILLE de PERIERE Gilles	MARTIN Lucille	ROULET Agnès
DE LA TRIBONNIERE Xavier	MATTATIA Laurent	RUBENOVITCH Josh
DJANIKIAN Flora	MEROUEH Fadi	SANTONI Fannie DEBIEN Blaise
DONNADIEU-RIGOLE Hélène	MEYER Pierre	DELPONT Marion
FAIDHERBE Jacques	MILESI Christophe	SASSO Milène
FATTON Brigitte	MORAU Estelle	SCHULDINER Sophie
FAUCHERRE Vincent	MOSER Camille	SEGURET Fabienne
FILLERON Anne		SENESSE Pierre

FITENI Frédéric	MOUSTY Eve	SKALLI El Mehdi
FOURNIER Philippe	MOUTERDE Gaël	SOLA Christelle
GAILLARD Nicolas	PANSARD Nicole	SOULLIER Camille
GALMICHE Sophie	PERNIN Vincent	STOEBNER DELBARRE Anne
GENY Christian	PERRIGAULT Pierre François	TEOT Luc
GERONIMI Laetitia	PEYRON Pierre-Antoine	THIRION Marina
GINIES Patrick	PICARD Éric	VACHIERY-LAHAYE Florence
GRECO Frédéric	PICOT Marie Christine	VERNES Eric
GUEDJ Anne Marie	PIERONI Laurence	VINCENT Laure
GUYON Gaël	POQUET Hélène	WAGNER Laurent
HENRY Vincent	PUJOL Sarah-Lise	ZERKOWSKI Laetitia
JAMMET Patrick	PUPIER Florence	
JEDRYKA François	QUANTIN Xavier	
JREIGE Riad	RAFFARD Laurence	
KINNE Mélanie		
LABARIAS Coralie		
LACAMBRE Mathieu		
LANG Philippe		

PRATICIENS HOSPITALIERS UNIVERSITAIRES

BARATEAU Lucie – Physiologie

BASTIDE Sophie – Épidémiologie, économie de la santé et prévention

CAZAUBON Yoann – Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie

DAGNEAUX Louis – Chirurgie orthopédique et traumatologique

DUFLOS Claire – Biostatistiques ; informatique médicale et technologies de la communication

GOULABCHAND Radjiv – Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie

LATTUCA Benoit – Cardiologie

MARIA Alexandre – Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie

MIOT Stéphanie – Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie

SARRABAY Guillaume – Génétique

SOUCHE François-Régis – Chirurgie viscérale et digestive

Remerciements :

A mon jury de Thèse :

Professeur Kouyoumdjian, vous me faites l'honneur de présider ce jury et je vous en remercie. Merci de m'avoir accueilli dans votre service et de me permettre de travailler avec vous. J'ai une grande estime pour vos connaissances ainsi que vos qualités humaines et professionnelles. La confiance que vous m'accorder au quotidien me touche. Merci Professeur.

Professeur Canovas, vous me faites l'honneur de juger ce travail et je vous en remercie. Votre rigueur chirurgicale ainsi que vos qualités de gestion sont admirables. J'ai beaucoup appris pendant mes 6 mois dans votre service. Veuillez trouver ici le témoignage de ma gratitude et mon profond respect.

Dr Coulomb, tu me fais l'honneur de juger ce travail et je te remercie. J'admire toutes tes connaissances scientifiques et ton aisance pour exprimer tes idées. Merci pour la confiance que tu me portes. J'apprécie ta disponibilité et ton sens de l'humour. J'espère pouvoir continuer à travailler sur d'autres projets.

Dr Marchand, tu me fais l'honneur de diriger ce travail et je t'en remercie grandement. Ta rigueur de travail est pour moi un exemple. Ton exigence et ton éthique du travail m'ont permis de progresser. Je respect énormément tes grandes connaissances chirurgicales sur la hanche et le genou. Merci de m'avoir encadré pour ce travail, j'espère avoir été à la hauteur.

A toute la famille Nîmoise :

A Aymeric, merci pour tes conseils et ta spontanéité.

A Nicolas, toujours le mot juste. Merci de m'accepter malgré nos différences.

A Olivier, merci pour tes connaissances et ta confiance. On m'a dit que tu as une bonne descente, j'attends de voir ça ...

A Bernard, le premier qui m'a laissé opérer seul... « t'inquiète pas Jeff, si tu as soucis appelle moi. Là j'ai une réunion »

A Alex Laborde, on a pas du tout les mêmes styles de vêtements et de femmes, mais on beaucoup de points communs.

A Bozou, merci pour ton sourire et ta bonne humeur. On s'est connu que quelques mois mais ce fut un réel plaisir. Bon courage à Meumeu.

A Stan, merci de me filer ton bureau ! Bonne chance à toi dans ta future vie. PS : prends de la vit D, l'ostéoporose te guette...

A Vincent, rien à redire. Tu représentes la gentillesse et le calme. Cela sera avec plaisir de travailler avec toi.

A Hamid, rencontré dans le train pour aller à l'AO trauma. Depuis beaucoup de choses sont passés, et j'étais loin de pensé que tu finisses à Nîmes.

A Maxime, le courageux, respect profond pour vouloir refaire un internat.

A toutes les secrétaires du service, les petites mains qui permettent d'améliorer le quotidien.

Aux infirmières des différents services et de l'ambulance

A la team de chir vasculaire, Branchereau, Picard, Catalin, Elsa

Aux travailleurs de l'ombre de l'hôpital :

Aux infirmiers du bloc de Lapeyronie. Equipe d'O1 avec Jean Pierre, Natcho, Fabienne, Flo, Aurelie, c'était super en O1, on s'est bien marré avec les scaphandres et les interventions de 4h. Moment de solitude qui est devenu culte avec le célèbre : « Godefroy, dites-moi, vous venez d'où ? ». **Equipe du bloc du Mbr sup, Coralie, Marine, Pierre, Morgane et tous les autres. Equipe du bloc de Pédiatrie, à ceux du bloc de Nîmes...**

Merci à tous les Professeurs à qui j'ai croisé la route : Maury, Chammas, Coulet, Cottalorda. Merci pour les connaissances que vous m'avez apportées.

A mes co internes/chefs :

A Chaton, VP Piscine, gentil et serviable. Très bon joueur de foot, d'ailleurs faudrait qu'on refasse une équipe.

A Lisa, la petite Lili qui a trouvé sa voie après une escale en vasculaire.

A Bozon, le gendre idéal, gentil, beau, intelligent, serviable, charismatique... Bref tous les compliments possibles pour le mec parfait ! Attention mesdames, il est déjà pris !

A Karlito, le « kaiser », faut qu'on se refasse des foots ! ton pied gauche ...

A Manuel, Très bon joueur FIFA et adepte des chats. Faudrait se refaire des petits repas comme avant. Plein de bonheur pour ta petite famille.

A Elie, le 3^e libanais que je connais, les 3 sont géniaux. Bref tu es au top mec. PS : tu te marie quand ? Car je veux voir un mariage à la mode Libanaise !

A Gwen, le breton. J'attends encore la soirée galette !

A Alex D, le beau gosse de Monaco. Bonne découverte de mon stage chez les pattes avant.

A Julie, bon courage pour l'année prochaine !

A Mathilde, ta spontanéité est fantastique !

A PEC, et tes activités professorales.

A Aurélie, sérieuse mais avec ton caractère qui fait ta force.

A Lara, la petite de la famille, derrière une timidité, un vrai bout en train.

A Alice, avec tes péripéties, je ne sais pas si tu as bien fait de venir dans le sud...

A Sarah, la fille qu'on entend arriver, dans tous les sens du terme.

A Triple YA, l'ami des enc... urgent... des gens qui font chier !

Merci à tous les autres internes que je connais peu ou pas du tout.

Aux autres internes.

A Camille Sleth, bonne chance en Polynésie ! Ta bonne humeur va nous manquer.

A l'inspecteur Carré, le gars est devenu un bourgeois ! Les toxicos SDF qui meurent dans les toilettes ça lui convient plus !

A Salomé, un peu de calme, on ne parle pas comme ça aux gens. Ton biceps va mieux ?

A Paul, merci à toi Paul et à ton Taenia !

A Charline, juste merci, ces 6 mois ont été cools !

A Hugo, Très belle découverte du Niçois. Bonne humeur et avec sa langue jamais dans sa poche.

A Doudou, il va mieux ton pec ?

A Léo, on ne s'est pas trop côtoyé mais ce fut un plaisir.

A De Gorge, mec ! Ils sont où tes poils au torse ???

A Bourlez, le costaud avec un grand cœur.

A Etienne, le diplomate.

A Mazen, avec toujours une petite histoire à raconter.

A Leonard, le gentil.

A Patrick, un monument de l'internat.

A Florent Gaillard, le calme.

A Louis, celui avec qui j'ai fait 3 clous de tibia en une soirée. Bon footballeur malgré son style de joueur de tennis de table .

A Cyril, Merci. Si j'ai besoin de refaire mon chef moi je t'appellerai tkt.

A Djamel, Merci pour tout, j'espère que ton doigt va mieux. Je te dois une bouteille de champony encore.

A tous les FFI qui ont croisé ma route, Hachem, je me souviendrais toujours de mon 1^{er} clou gamma avec toi. Tu avais du sang plein les mains et la casaque, clou jeté en 20 min top chrono.
Elyes, Youssef, Fehdi, Momo, Ahmed, Georges.

A tous les anesthésistes (car malgré cette gueguerre, on vous aime bien... enfin certains), Mounet, Swisser, Moudi, Nikos, Yanis...

A mes amis du « Nord » :

A Dragon, le rare seul qui descend prendre du soleil de temps en temps. Fais juste gaffe si y'a trop de vents, tu risques de t'envoler. Farceur, beau gosse, moqueur, sportif... bref te manque juste une gazelle.

A Bryan, le nouveau sudiste. Je pensais te changer de catégorie, mais tu n'allais pas te trouver... Bref depuis cette année en CE1, on se connaît ça remonte.

A Flo, le freulo. Toujours présent dans les moments de galère. Ne dis jamais non pour boire un coup ou faire un foot (la pichenette), enfin avant l'arrivée de tes 2 enfants. Faut qu'on se fasse une session boxe. Que de bons souvenirs, encore merci.

A Cora, Félicitation pour votre belle famille, vous êtes magnifique avec Flo, Dwayne et Lyam. L'animatrice de la MDJ, la seule avec la tête sur les épaules. Toujours le sourire et le petit mot pour rire.

A Daniel, le déconneur, amateur de whisky/pizza. PS : mtn tu cours sur le terrain ou ta tente est toujours dans le rond central ??

A Bigshow, me relaisserais tu conduire ta voiture ?

A Buch, sur qui on peut compter dans les moments de galère.

A Thibault, le gars qui adore zouker comme un antillais.

A Olive, le gars qui adore boire du rhum comme un antillais.

AU FCC, mon premier et dernier club de football. On a travers les saisons, on a partagé des durs comme des merveilleux moments...

A Quentin, mon binôme depuis la prépa de la 1^{ere} année de médecine. Désolé mec je t'ai abandonné... Le prochain à faire sa thèse, c'est toi. Un gros râleur, mais un grand cœur. Le type qui est capable de te donner le nombre de corde sur un ukulélé à 5h du mat' sous 4 grammes... quelle force ! **A Drago**, tu as profité de Quentin pendant qu'il était saoul, ce n'est pas cool ! Mais vous êtes parfait ensemble changez pas !

A Maxime, l'homme qui aime les femmes. Idem, on se connaît depuis la première année. Dommage que tu sois trop loin. Faut qu'on se refasse des vacances comme Cuba...

A Ali, le Toumi! Découverte de P1 aussi... Une gentillesse et une spontanéité à toute épreuve. Une culture musicale très robuste ! Bref mec, t'es trop loin, faut qu'on se voit plus souvent.

A Tran, le calme... jamais énervé... je ne sais même pas si tu connais la colère. Profite bien en médecine générale !

A mes amis du Sud :

A Aurélien, le médecin généraliste le plus déjanté de Perpignan.

A Sofian, le vadrouilleur... Mec on se voit plus ce n'est pas normal. Mon gosier est sec, ça remonte à quand le dernier verre ensemble ? PS : SOF REMETS LE PLAFOND !!!!!!!!!!!

A Antoine, l'interne le plus planqué que je connaisse. Le gars est payé à ne rien foutre ! J'espère que tu ne te fais pas trop chier ! Bref, le gars à tout compris.

A Éric, le Mythe... le gars à la double personnalité. Belle découverte de l'internet.

A Ryad, que dire... Le mec mérite une thèse pour le décrire. Par contre, c'est quand qu'on va boire un verre ? cela fait 3 ans qu'on se dit ça !

A Quentin, le dentiste, arrête d'arracher des dents ! Et t'inquiète maintenant j'ai 3 mottes de beurre dans le frigo ! Demi-sel, nature et la fameuse margarine !

A Morgane, petit bout de femme délurée et bienveillante. Bon courage pour ton clinicat !

A Adrien et Helene, Que de bons souvenirs avec vous. Bonne fortune dans votre expédition. J'espère que vous reviendrez avec le sac plein !

A Milène et Arthur, les sportifs ... Toujours plus. Votre joie de vivre fait plaisir. Arthur dépêche-toi de finir, je n'ai jamais pris d'hélico encore !

A James, le pur Montpellierain avec tous les clichés qui vont avec. Gars arrête d'aller au marché du lez !

A Thomas et Céline, les exilés... Félicitations et que du bonheur pour votre petite famille. J'attends l'invitation pour la piscine !

A Florent et Helene, les bretons qui s'installent dans le Sud. Vivement le barbecue l'été prochain !

A la Famille Laty, A Françoise, merci beaucoup, beaucoup pour les corrections orthographiques. J'espère que cette thèse te rappellera de vieux souvenirs. **A Georges**, j'espère faire ta connaissance bientôt, **A JB**, amuse-toi bien en médecine, et trouve ta voie dans cette grande famille exigeante et enrichissante et **A Marina**, alors comme ça on fait plus de footing ? **A Anne- Sophie**.

A mes amis Drômois :

A Perrine, la déconneuse qui a toujours envie de s'enjailler. Très mauvaise perdante. C'est qui le prochain gars que tu me présentes ? Histoire que je me moque un peu de lui.

A Karim, le brancardier de l'extrême. Quand tu viendras dans le Gard, dis-le-moi. On se boira un petit verre entre tes 2 interventions.

A Marion, l'exilée. Amuse-toi bien dans la Garonne et prends soin du petit Américain. Faudrait que tu m'apprennes la salsa. Tu connais mon attirance pour les danses sensuelles.

A Guylaine, Ne change pas ton SAUMON FUME ! Il est excellent ! D'ailleurs quand est-ce que tu fais des livraisons ?

A la famille Rozel, gardez toutes vos bonnes humeurs, votre sourire ainsi que votre franc parlé. Merci pour votre accueil et votre générosité. **Au père Rozel**, le petit grincheux, garde ta force et ta motivation. Encore merci pour les légumes, il m'en reste encore dans le frigo ! **A Fabienne**, merci pour ta gentillesse, ta bonne humeur et ta grande gueule. **A Mathieu**, le râleur, tu peux toujours essayer mais t'inquiète pas, je ne serais jamais chasseur. Et j'attends toujours qu'un fasse un salon des vins ! **A Bastien**, le fou de la famille. Faudrait qu'on se fasse un karting car apparemment tu sais conduire autre chose qu'un tracteur. **A Julie**, bon courage pour supporter les Rozel, ce n'est pas toujours facile.

A ma famille :

Pour ma mère, elle m'a toujours soutenu et aidé depuis le départ. Les premières années n'ont pas été facile, mais sa persévérance et son caractère a fait ce que je suis actuellement.

Pour mon père, la force tranquille. Gros travailleur, lève tôt et couche tôt. Ton sens du travail me permet actuellement de me dépasser en toutes circonstances et d'enchaîner des longues journées de boulot.

Pour mon grand frère Kevin, on était toujours ensemble petit, on se connaissait par cœur. Maintenant, on est à des centaines de km mais on est toujours connecté.

Pour mon petit frère Bryan, toujours sympa, le fêtard, toujours avec ces potes. Tu vis encore chez les darons, mais ce n'est pas plus mal faut prendre soin d'eux maintenant qu'ils commencent à se faire vieux. J'espère que maintenant tu as un job fixe et une voiture solide !

Pour le dernier Andy, bon courage pour l'entrée dans le monde des adultes. Je n'ai pas été très présent pendant les 10 dernières années, mais j'ai essayé d'être un bon grand frère. Lâche rien, et bon chance pour devenir un Homme.

Pour mes Oncles et mes Tantes, merci pour tout. Vous m'avez élevé quand j'étais tout petit, avec les privilèges de la petite taille... (Dormir avec Julien...). Merci à **Tata** pour ta passion pour le foot, **Fenel** et ton attrait pour la nourriture, **Suze** sur qui on peut toujours compter. On se voit plus, mais, vous n'êtes jamais très loin pour moi.

Pour ma Chérie Marion, c'est un plaisir de partager avec toi les bons comme les mauvais moments. Depuis les petits canards, ta présence est un bonheur quotidien. Ne t'inquiète pas si je ne t'envoie pas régulièrement des messages mais je pense constamment à toi. Je n'exprime jamais mes sentiments mais tu sais ce que je ressens pour toi. La seule qui est dans mon cœur.

Et à nos défunts :

Bichon : Réincarnation humaine d'un nounours roux. Une gentillesse débordante avec son humour caractéristique. Président du Cop des supporter du Fc Chevy, amateur de rhum et « fidèle du Don Papa ». Comme à son habitude, parti trop tôt et sans prévenir.

Jonathan : Grande asperge à la chevelure bouclée. Parti lui aussi pendant une triste soirée en Amérique du Sud. Style vestimentaire particulier, chaussettes uniques, humour attachant, doté d'une remarquable intelligence. Membre apprécié du FCB. A passé tous les checkpoints de sa vie plus vite, voir trop vite pour le dernier...

Liste des Abréviations

- KA : Alignement Cinématique
- AEM : Alignement des Ecarts Maximaux
- AM : Alignement Mécanique
- AMA : Alignement Mécanique Ajusté
- ASL : Alignement Spécifique Ligamentaire
- ASO : Alignement Systématique Osseux
- CS : Condylar Stabilizing
- EMM : Ecart Maximal Médial
- EML : Ecart Maximal Latéral
- EEMM : Ecart Maximal Médial en Extension
- EEML : Ecart Maximal Latéral en Extension
- EM : Ecarts Maximaux
- FEMM : Ecart Maximal Médial en Flexion
- FEML : Ecart Maximal Latéral en Flexion
- FJS-12 : Forgotten Joint Score
- HKA : Hip-Knee-Ankle
- IMC : Indice de Masse Corporel
- KSS : Knee Society Score
- LCL : Ligament Collatéral Latéral
- LCM : Ligament Collatéral Médial
- mm : Millimètre
- MPS : MAKO Surgical Product
- OKS : Oxford Knee Score
- PE : Polyéthylène
- PS : Postéro-Stabilisé
- PTG : Prothèse Totale de Genou
- RAAC : Réhabilitation Améliorée Après Chirurgie
- PTG : Prothèse Totale de Genou

Table des matières

1. Introduction.....	24
1.1. Arthrose et prothèse totale de genou (PTG).....	24
1.2. Biomécanique du genou sain.....	24
1.3. Les différents designs des PTG.....	26
1.4. La philosophie du rayon unique et l'implant Triathlon©.....	27
1.5. Alignement.....	29
1.6. Apport de la robotique.....	32
1.7. Objectifs de l'étude.....	34
2. Matériel & Méthode.....	35
2.1. Design de l'étude.....	35
2.2. Méthode :.....	40
2.3. Analyse statistique.....	47
3. Résultats.....	48
3.1. Série prospective.....	48
3.2. Étude comparative type cas-témoin :.....	53
4. Discussion.....	61
5. Conclusion :.....	67
6. Bibliographie.....	68

1. Introduction

1.1. Arthrose et prothèse totale de genou (PTG)

L'arthrose¹ est la pathologie articulaire la plus fréquente. Elle atteint principalement la main, la hanche et le genou^{2,3}. A ce jour, les caractéristiques démographiques d'une population opérée d'une PTG en France sont les mêmes que dans les autres pays occidentaux⁴. Elle est majoritairement représentée par des femmes (63.5%), d'âge moyen de 71 ans dont 18% présentent une obésité morbide^{5,6}. Il y a 10 ans, 77 592 PTG avaient été posées⁷. Ce chiffre a doublé entre 2005 et 2015 (de 50 000 à 100 000) et ne cesse d'augmenter⁴. Dans la littérature les résultats cliniques des PTG sont bons, toutefois 20% des patients opérés ont une satisfaction modeste en relation avec une symptomatologie résiduelle^{8,9}. La compréhension de ces symptômes résiduels passe par l'analyse de la biomécanique articulaire native et prothétique du genou¹⁰⁻¹².

1.2. Biomécanique du genou sain

Le genou est une articulation peu congruente. Sa stabilité¹³ est assurée par un système actif musculaire¹⁴ et un système passif capsulo-ménisco-ligamentaire. La répartition des contraintes sur le membre inférieur n'est pas symétrique entre les compartiments médial et latéral en fonction de l'alignement du membre.

Anatomiquement, le plateau tibial médial est concave et le plateau tibial latéral est convexe induisant une mécanique de flexion du genou particulière. La cinématique du genou natif est un mouvement composé d'un roulement et d'un glissement. Pendant la flexion de genou, entre 0° et 25°¹⁰, le fémur effectue un mouvement de roulement pur. Ensuite, dans les degrés de flexion suivant, le fémur effectue un roulement avec glissement par l'action du ligament croisé antérieur (LCA). Après 60° à 90° de flexion, on assiste à un glissement pur des

condyles fémoraux sur l'épiphyse tibiale.¹⁵ Associé à ces mouvements, l'extrémité proximale du tibia réalise une rotation interne de 10° à 20° (screw-home mechanism) ainsi qu'une translation postérieure (rollback)^{15,16}. Cette translation est freinée par le ligament croisé postérieur (LCP)¹⁷. En 2001, Dennis¹⁸ montre que ce rollback concerne surtout le compartiment latéral du genou (en moyenne de 4,2mm; *figure 1*). Cette mécanique asymétrique entre le condyle médial et latéral avec une rotation/translation autour d'un axe médial pendant la flexion en 0° et 120° (16), est qualifiée de « pivot médial »¹⁹.

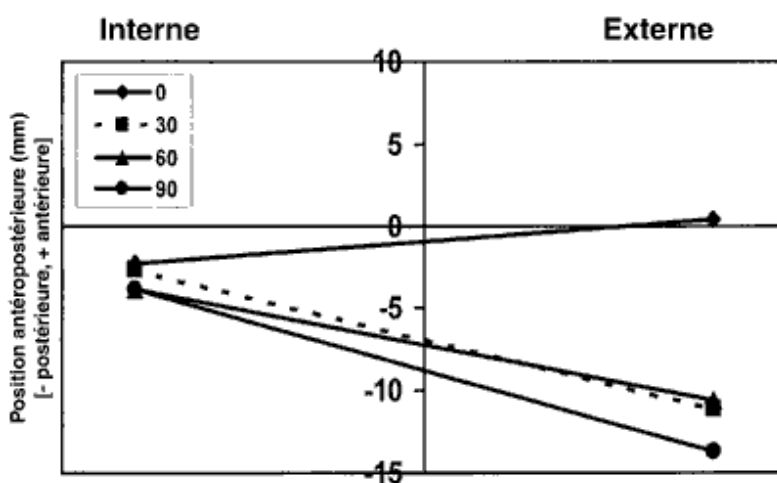


Figure 1 Les positions de contact moyen interne et externe pour un sujet avec un genou normal lors de la flexion.
Source : SOFCOT 2001

Pour Freeman¹⁹, l'arc de flexion du genou (*figure 2*) est actif de 0° à 120°. De 0° à 10°, se produit le verrouillage articulaire. Au-delà de 120°, la flexion devient passive. La flexion maximale est limitée par la pente tibiale et/ou les parties molles. En fin de flexion (>120°), le condyle médial se soulève de 2 mm (appelé lift-off) en prenant appui sur la corne postérieure du ménisque médial²⁰. Le condyle latéral glisse et se relève de 2 mm avec un effet de subluxation postérieure. Le tibia se positionne ensuite en valgus et la flexion se complète.

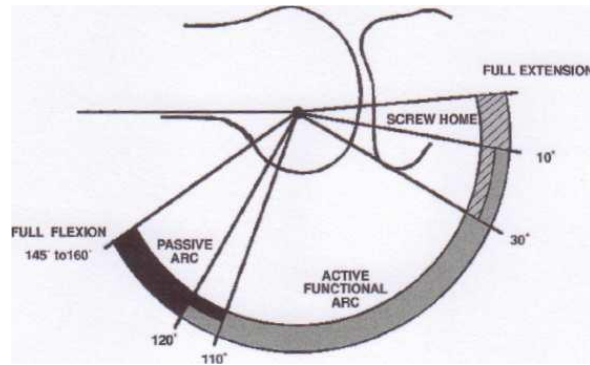


Figure 2 Arc de flexion selon Freeman

La géométrie des condyles fémoraux joue un rôle important dans la cinématique articulaire de par leurs formes asymétriques, leurs axes divergents, et leurs rayons de courbure complexes. Pour tenter d'analyser le rayon de courbure fémoral sagittal, Frick a élaboré un modèle à rayon variable dont les centres de rotation s'inscrivent dans une spirale (figure 3). L'axe de flexion varie lors du mouvement avec de multiples centres de rotation instantanés décrivant une courbe en forme de J. Les PTG à plusieurs rayons de courbure reproduisent cette théorie.

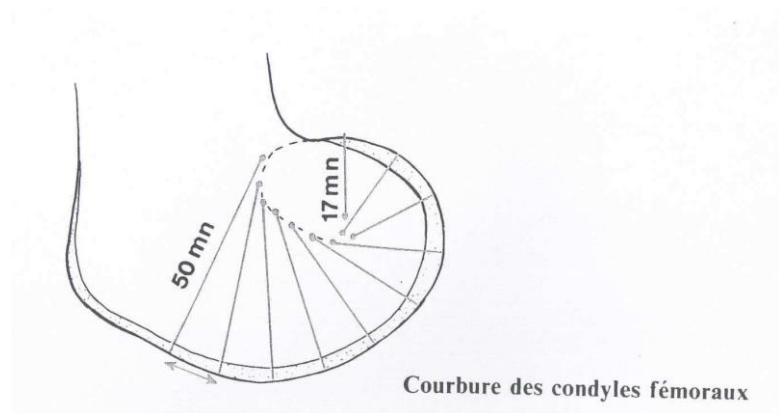


Figure 3 Modèle de Fick

1.3. Les différents designs des PTG

De cette théorie est née un nouveau type d'implant fémoral : celui à rayon de courbure multiples (RM) ou « J-Curve ». Avec cet implant à RM, selon Kapandji¹¹, le ligament collatéral médial (LCM) et le ligament collatéral latéral (LCL) sont tendus en extension et relâchés en

flexion²¹. Ce changement de tension ligamentaire est lié au mouvement de rollback, lift-off et de pivot médial.

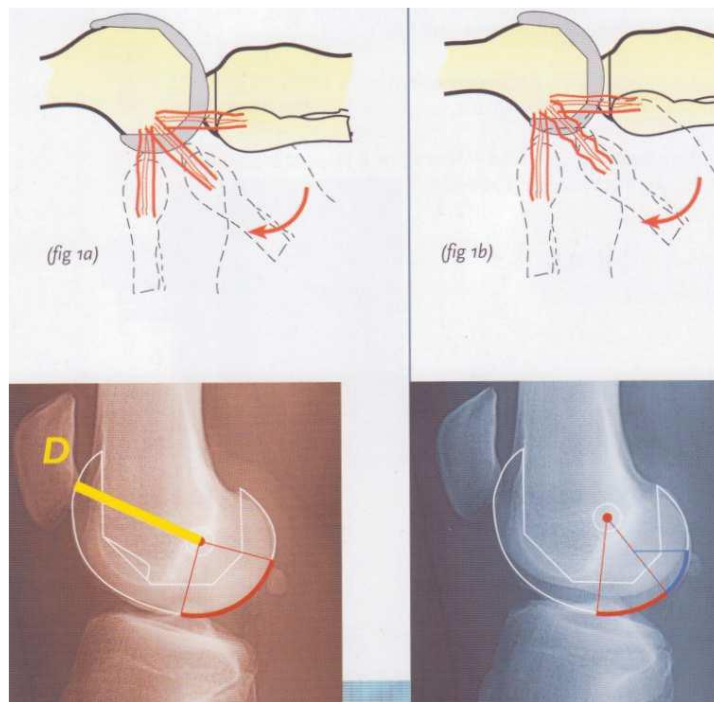


Figure 4 Implants à Rayon Unique (RU) vs Rayons Multiples (RM)

Parallèlement, sont nés les implants fémoraux à rayon de courbure unique (RU) avec un centre de rotation superposé avec le centre des condyles postérieurs. Ceci rend la cinétique du genou simplifiée. Pendant tout l'arc de flexion actif, la distance du centre de rotation fémoral au plateau tibial reste identique entraînant une tension ligamentaire périphérique constante (figure 4).

1.4. La philosophie du rayon unique et l'implant Triathlon©

La théorie du rayon unique instaure une distance constante entre le centre de rotation du fémur et le plateau tibial dans l'arc fonctionnel de mobilité 0° à 110°. Ce rayon est unique sur tout l'arc fonctionnel de Freeman. Le centre de rotation est légèrement postérieur (10 mm) et plus distal que ceux des condyles. Cela entraîne un allongement du bras de levier du quadriceps,

et ainsi une réduction de la force nécessaire pour l'extension du genou. Elle devient proche de celle du genou sain²².



Figure 5 Implant Triathlon

Pendant le mouvement, il n'y a pas de modifications des rayons des arcs de flexion permettant ainsi l'isométrie des ligaments collatéraux. La prothèse est alors posée sans modification de l'ensemble capsulo-ligamentaire. C'est le principe du positionnement de la prothèse dans l'enveloppe ligamentaire.

Les modifications apportées sur l'implant fémoral Triathlon aboutissent à une diminution des contraintes fémoro-patellaires grâce à un rayon de courbure antérieur réduit ainsi qu'à une diminution des arcs condyliens postérieurs. Ceci permet un meilleur verrouillage actif en extension et une flexion maximale sans tension postérieure surajoutée.

Les avantages d'un implant à rayon unique sont nombreux mais sa pose n'est pas aisée. Elle nécessite un équilibrage ligamentaire optimum impliquant un positionnement de l'implant dans l'enveloppe ligamentaire au prix d'un compromis sur l'alignement.

1.5. Alignement

L'alignement est mesuré par l'angle hanche-genu-cheville (Hip-Knee-Ankle ; HKA). Physiologiquement, cet angle mesure $178,7^{\circ} \pm 2^{\circ}$ ²³, statistiquement plus faible chez les hommes ($178,1^{\circ}$) que chez la femme ($179,4^{\circ}$).

1.5.1. L'alignement mécanique (AM) :

Pour répartition homogène des contraintes, l'alignement neutre à 180° est la norme dans l'arthroplastie totale du genou, définissant l'alignement mécanique (AM). Cette notion a été introduite dans les années 70, notamment par Insall²⁴ et Freeman. Il reste à l'heure actuelle, le principe d'alignement le plus répandu. Cette technique vise à positionner perpendiculairement les composants par rapport à l'axe mécanique fémoral et tibial. Ceci permet de créer un interligne articulaire perpendiculaire à l'axe mécanique neutre du membre.

Cette technique d'AM ne consiste pas à restaurer l'alignement constitutionnel initial du patient, mais plutôt à créer systématiquement un genou prothétique axé sur le plan biomécanique. Ce concept définit une approche systématique en arthroplastie du genou, visant un positionnement des implants identique quel que soit le patient et sa morphologie initiale. Cette approche systématique a montré des limites. Dans les cas de varus par exemple, elle entraîne fréquemment un déséquilibre fémoral latéral difficile à corriger²⁵ imposant la réalisation de gestes de libération (release et pie-crusting) capsulo-ligamentaire interne²⁶.

1.5.2. L'alignement cinématique (KA) :

Au cours des années 2000, Howell développait parallèlement l'alignement cinématique (KA)²⁷. Les études rapportant que 32% des hommes et 17% des femmes avaient un varus constitutionnel supérieur à 3°, la question de laisser une déformation résiduelle post-opératoire se posait²³. De plus, d'autres études^{28,29} ne retrouvaient pas d'effet délétère d'une déformation postopératoire résiduelle après PTG sur la survie des implants et les résultats cliniques. Certains auteurs rapportaient, que le défaut de correction même involontaire dans la déformation en varus, pouvait conduire à de meilleurs résultats²⁸. C'est ainsi que Howell a élaboré cette nouvelle réflexion d'alignement cinématique des PTG.

Cet alignement était basé sur de nouvelles notions biomécaniques mises en évidence par Donald et al en 2005, avec la description des trois axes régissant le mouvement de la patella et du tibia par rapport au fémur : l'axe de flexion de la patella, l'axe de flexion-extension du tibia et l'axe de rotation du tibia. Ces bases permettaient d'implanter une PTG dans une position spécifique à chaque patient avec une procédure osseuse et donc de conserver l'enveloppe ligamentaire native. Cependant, cela pouvait entraîner des déformations importantes du membre inférieur causant ainsi un risque d'usure de descellement. Les résultats préliminaires étaient intéressants mais avec un recul inférieur à 10 ans³⁰.

La seule similitude entre ces 2 alignements réside dans le positionnement sagittal du composant fémoral. Toutes les autres étapes de la pose des implants étaient propres à chaque technique (*Figure 6*).

	PTG KA	PTG MA
Coupe fémorale antérieure	Parallèle à la diaphyse fémorale	Parallèle à la diaphyse fémorale
Coupe fémorale distale	Parallèle à la surface articulaire fémorale distale après prise en compte de l'usure	Perpendiculaire à l'axe mécanique fémoral
Coupe fémorale postérieure (rotation)	Rotation neutre (parallèle à l'axe condylien postérieur) nécessite une mesure des résections osseuses	0 à 5 degrés en fonction de repères osseux
Coupe tibiale	Parallèle au plateau tibial médial après prise en compte de l'usure (ne pas prendre en compte l'axe du tibia)	Perpendiculaire à l'axe mécanique tibial
Pente tibiale	Parallèle à la pente du plateau médial	Entre 2 et 7 degrés
Rotation tibiale	Parallèle à l'axe principal du plateau tibial latéral	Parallèle à la jonction 1/3 médial : 2/3 latéral de la TTA (d'autres repères existent)

Figure 6 Résumé des différences entre réalisation d'une PTG avec alignement mécanique (MA) ou cinématique (KA)

Ces 2 philosophies ont évolué au fil des années et de nouvelles techniques ont émergé. L'apparition de l'alignement mécanique ajusté (AMA), technique basée sur l'alignement mécanique mais avec une tolérance de 3° de déformation résiduelle. L'alignement cinématique restreint est une technique utilisée pour les grandes déformations (>10°). La tolérance d'une déformation résiduelle globale est inférieure à 6°, et la déformation segmentaire postopératoire inférieure à 5° (Figure 7).

Alignement constitutionnel

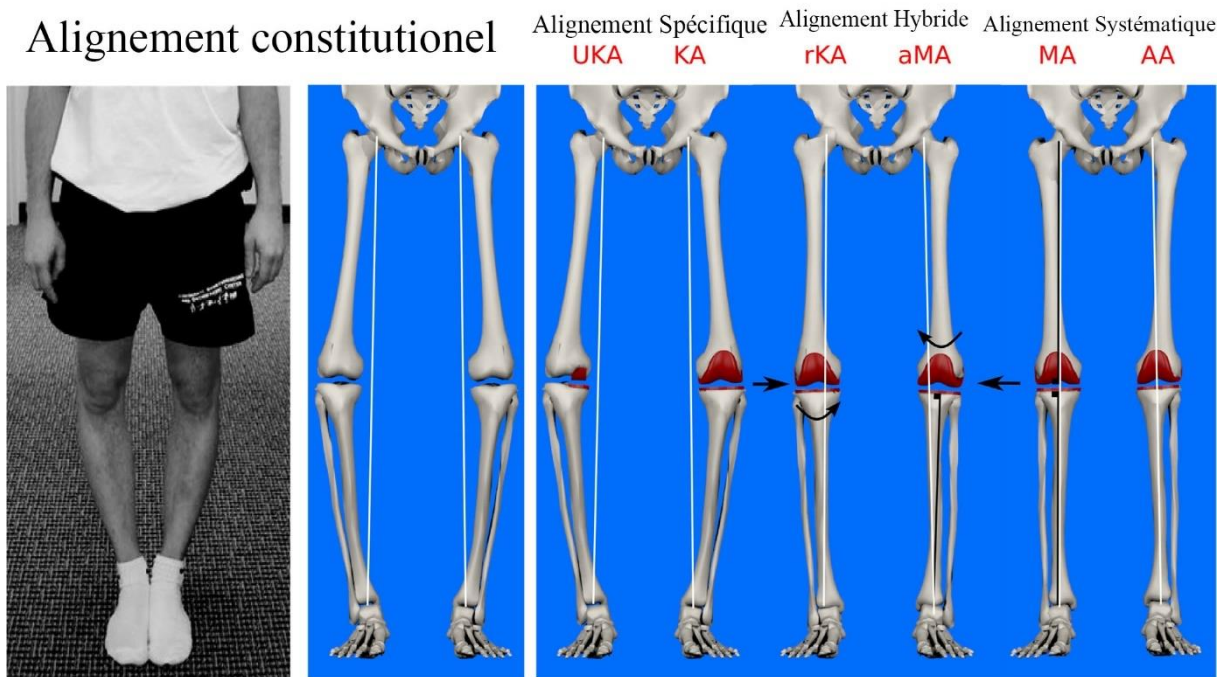


Figure 7 Différents type d'Alignement³¹. UKA = unicompartmental, KA = cinématique, rKA = cinématique restreint, aMA = mécanique ajusté, MA = mécanique, AA = anatomique ; Alignment options for total knee arthroplasty: A systematic review, Rivière and al, 2017

1.6. Apport de la robotique

Les systèmes de chirurgie orthopédique assistée par ordinateur ont été initialement développés pour améliorer la reproductibilité³² et optimiser les résultats cliniques. Les systèmes robotiques sont apparus assez récemment en chirurgie orthopédique^{33,34}.

La robotique est classée en deux types de système : actif et semi-actif (haptique). Les systèmes actifs ou autonomes suivent un plan préopératoire et la chirurgie est réalisée sans l'intervention du chirurgien sauf via un bouton d'arrêt d'urgence. Les systèmes haptiques sont guidés par le chirurgien via un degré de liberté autorisé par le système. Le geste est ainsi guidé par l'interface robotique limitant la mise en place d'ancillaire et protégeant les parties molles périphériques³⁵.

- ROBODOC (Curexo Technology, Fremont, CA, USA) était le premier système robotique utilisé en chirurgie orthopédique en 1992(17). C'était un système autonome pour la pose de l'implant fémoral de PTH sans ciment. Son apport a été trop limité en raison de sa complexité technique, de l'augmentation du temps opératoire et de sa polyvalence insuffisante (18).
- CASPAR (Ortho-Maquet/URS, Schwerin, Allemagne) était un autre système autonome. Il s'agissait d'un robot actif guidé par l'image, utilisé pour les arthroplasties totales du genou et de la hanche, similaire au ROBODOC (19). Depuis sa mise en circulation début des années 2000, les résultats sont encourageants. Aucun événement indésirable majeur lié au système CASPAR n'a été signalé.
- ROSA (20)(Robotic Surgical Assistant) Knee system (Zimmer Biomet, Warsaw, IN) est un système robotique semi-automatique. Il permet la pose de PTG spécifique au patient en ajustant la résection osseuse, la mesure des espaces, et l'alignement ligamentaire.
- Robotic Arm Interactive Orthopedic System (21) (MAKO Surgical Corp., Lauderdale, FL, USA) est un système robotique haptique qui requiert une participation active du chirurgien et l'assiste dans l'arthroplastie du genou. Il crée un modèle tridimensionnel de l'anatomie du patient, permettant au chirurgien d'élaborer un planning préopératoire. L'assistance robotique améliorerait l'alignement frontal et sagittal des implants, la gestion des espaces et l'équilibrage ligamentaire.

Le but de la robotique dans la chirurgie prothétique du genou est double : il s'agit d'augmenter la précision pour assurer l'alignement le plus adéquat et tout en obtenant un équilibrage ligamentaire le plus optimal possible avec une bonne reproductibilité de la procédure. Ainsi, depuis le début de notre pratique de la robotique MAKO®, la technique a été

modifiée pour optimiser la gestion de l'équilibrage ligamentaire et l'alignement des PTG. La technique première, basée sur un modèle systématique ajusté à la déformation osseuse a évolué pour un modèle spécifique adapté à l'enveloppe capsulo-ligamentaire.

1.7. Objectifs de l'étude

L'objectif principal de ce travail était l'analyse des résultats d'une technique d'alignement spécifique en fonction de l'équilibrage ligamentaire par l'appréciation des écarts maximaux.

L'objectif secondaire était l'analyse comparative entre deux techniques d'alignements robotisés: une systématique osseuse (alignement mécanique ajustée) et une spécifique ligamentaire (alignement par les écarts maximaux).

2. Matériel & Méthode

2.1. Design de l'étude

Pour répondre aux objectifs de l'étude, deux séries de patients ont été réalisées. La première série était prospective et correspondait au suivi des patients opérés via la technique d'alignement spécifique selon les écarts-maximaux. La seconde série était rétrospective, cas-témoin et comparative de 70 patients dans un bras alignement systématique osseux et 70 dans un bras alignement spécifique ligamentaire. Tous les patients étaient pris en charge au sein du Service de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique du CHU de Nîmes. Cette étude était approuvée par un IRB local.

2.1.1. Critères d'inclusion et d'exclusion

Les critères d'inclusion étaient :

- Arthroplastie du genou de 1ère intention par procédure MAKO®,
- Gonarthrose de stade 3 ou plus de Ahlbäck³⁶,
- Majeur en capacité d'exprimer son accord pour l'inclusion dans l'étude.

Les critères d'exclusions correspondaient à tout patient :

- Maladie inflammatoire articulaire,
- Antécédents de gestes chirurgicaux osseux,
- N'ayant pas rempli tous les critères pour l'appariement.

2.1.2. Cohorte prospective

L'inclusion des patients éligibles, ayant reçu la méthode d'alignement spécifique ligamentaire, a été réalisée entre janvier et septembre 2020. La série était composée de 70 patients. L'âge moyen au moment de la chirurgie était de 70,3 ans +/- 7,8 (49-87), pour un sexe ratio équilibré de 50% de femme (35) pour 50% d'hommes (35). Quarante-trois genoux droits pour 27 genoux gauches ont été inclus avec un Indice de Masse Corporel (IMC) moyen de 28,9 +/- 4,9 (19,3-42,6). Le dernier recul moyen était de 297 jours +/- 79,5 (191-443). Le morphotype frontal radiographique préopératoire était divisé en 3 classes : 53 genoux en varus (<178° ; 75,7%), 12 genoux normo-axé (178°-182° ; 17,1%) et 5 genoux en valgus (>182° ; 7,2%). L'angle HKA radiographique préopératoire moyen était de 174,8° +/- 4,6 (165-191). La déformation absolue moyenne, degré maximal de déformation dans la concavité, était de 6°. Toutes les caractéristiques démographiques de la cohorte prospective étaient résumées dans le tableau 1.

	cohorte prospective
N	70
Age à la chirurgie (années)	70,3 +/- 7,8 (49-87)
Sexe ratio (H/F)	35/35
Coté opéré (D/G)	43/27
Indice de masse corporelle	28,9 +/- 4,9 (19,3-42,6)
Recul (jours)	297 +/- 79,5 (191-443)
Morphotype frontal	
. Catégorie (n/%) : varus, normo-axé, valgus	53 (75,7%), 12 (17,1%), 5 (7,2%)
. HKA (°)	174,8 +/- 4,6 (165-191)
. Déformation (°)	5,2 +/- 4,6 (-11 ;15)
. Déformation absolue	6.0 +/- 3.3 (0-15)

Tableau 1 : Caractéristiques démographiques de la cohorte prospective

2.1.3. Cohorte rétrospective

L'analyse comparative cas-témoin a été réalisée entre la cohorte alignement spécifique ligamentaire (cas) et une cohorte alignement systématique osseux (témoin). Cette dernière était composée de patients opérés de janvier 2019 à décembre 2019 et analysée de façon rétrospective. Un appariement a été réalisé entre les deux cohortes pour l'étude comparative cas-témoin.

2.1.3.1. Appariement

La population éligible a été séparée en deux groupes : le groupe alignement spécifique ligamentaire (ASL) et le groupe alignement systématique osseux (ASO). Après sélection de la population, le morphotype de chaque patient a été réparti en trois classes : varus ($HKA < 178^\circ$), valgus ($HKA > 182^\circ$), normo-axé ($HKA = 180^\circ \pm 2^\circ$). Un patient de chaque classe était apparié à un patient de la même classe dans l'autre groupe selon un ratio 1:1, avec la méthode du score de propension³⁷, en tenant compte du sexe, de l'IMC, de l'âge et de la déformation morphologique du membre. Ce score comprenait ainsi les valeurs de confusions suivantes : l'IMC, l'âge, le sexe. Une valeur de ce score était donnée pour chaque patient en fonction des facteurs de confusion. Chaque patient était associé à un patient de l'autre groupe qui avait un score proche du sien et le même morphotype. Chaque appariement avait un coût, ce dernier a été fixé à maximum 0,03 par paire. Le but de ce classement et de l'appariement était d'avoir deux populations similaires en tous points.

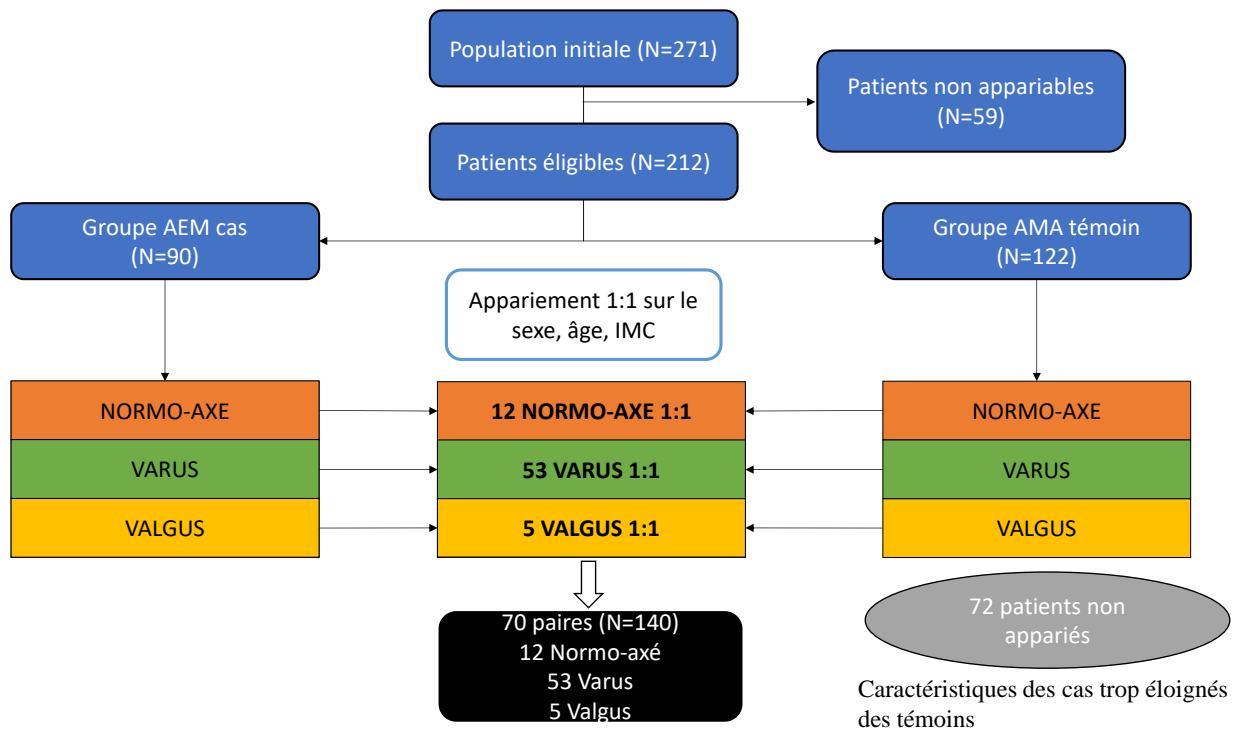


Figure 8 Flow chart ; IMC = indice de masse corporel, N= nombre.

Parmi les 271 patients opérés pendant la période d'inclusion, 212 étaient éligibles pour un appariement en deux groupes équilibrés. Sur ces deux groupes, 140 patients ont pu être appariés. Ceci a permis de créer 12 paires de patients avec un morphotype axé, 53 paires avec un morphotype en varus et 5 paires avec un morphotype en valgus. Les données de 72 patients non appariables n'ont pas été analysées.

2.1.3.2. Données démographiques des deux cohortes

	Cas (ASL)	Témoin (ASO)	p
N	70	70	
Age à la chirurgie (années)	70,3 +/- 7,8 (49-87)	69,9 +/- 7,5 (48-86)	0,835
Sexe ratio (H/F)	35/35	35/35	1
Coté opéré (D/G)	43/27	34/36	0,127
Indice de masse corporelle	28,9 +/- 4,9 (19,3-42,6)	30,4 +/- 6,5 (18,8-46,1)	0,157
Recul (jours)	297 +/- 79,5 (191-443)	501,3 +/- 140,7 (150-788)	<0,0001
Morphotype frontal			
. Catégorie (n/%) :			
varus,	53 (75,7%)	53 (75,7%),	1
normo-axé,	12 (17,1%)	12 (17,1%),	
valgus	5 (7,2%)	5 (7,2%)	
. HKA (°)	174,8 +/- 4,6 (165-191)	174,6 +/- 4,9 (165-187)	0,776
. Déformation (°)	5,2 +/- 4,6 (-11 ; 15)	5,4 +/- 4,9 (-7 ; 15)	0,776
. Déformation absolue	6 +/- 3,3 (0-15)	6,5 +/- 3,2 (1-15)	0,374

Tableau 2 : Caractéristiques démographiques de la cohorte rétrospective

Les caractéristiques démographiques de la cohorte rétrospective étaient résumées dans le tableau 2. Les deux séries étaient composées de 70 patients chacune. Il n'y avait pas de différence significative entre les groupes concernant l'âge, le sexe, la latéralité, l'IMC, l'angle HKA moyen, la déformation moyenne et absolue. Le recul moyen était statistiquement différent entre les deux groupes ($p < 0.0001$) entre les cas (297.0 +/- 79.5 jours) et les témoins (501.3 +/- 140.7 jours).

2.2. Méthode :

La méthode chirurgicale était en tous points la même sauf pour la réalisation de l'alignement et de l'équilibrage.

2.2.1. Technique chirurgicale

En préopératoire était réalisé un scanner morphologique spécifique avec reconstruction triplanaire, les données étaient traitées par un MPS (MAKO® Product Specialist) permettant la détermination de la taille des implants ainsi qu'un pré-positionnement systématique de ceux-ci, perpendiculaires aux axes mécaniques fémoral et tibial. Le système de navigation du robot MAKO® nécessitait la mise en place d'une antenne fémorale et d'une antenne tibiale. Ce système déterminait l'angle HKA selon différentes conditions de flexion via les axes mécaniques fémoraux et tibiaux, déterminés grâce à l'acquisition du centre de rotation de la hanche, de la cheville puis du centre du genou.

Ensuite, une voie d'abord para-patellaire interne ou externe était réalisée en fonction de la déformation. L'articulation était exposée après luxation simple de la rotule.

La procédure MAKO® commençait par un « bone-morphing » fémoral et tibial permettant de faire correspondre le scanner préopératoire aux repères chirurgicaux. Le système de navigation du MAKO® établissait un espace médial et latéral selon le pré-positionnement préopératoire des coupes osseuses. La déformation préopératoire était ainsi acquise. L'opérateur gérait ensuite les espaces selon la technique d'alignement choisie.

L'alignement était réalisé en modifiant les coupes osseuses selon les adaptations du chirurgien avec une répercussion immédiate des changements sur les données affichées. Chaque patient recevait un implant Triathlon (STRYKER®, Surgical Corp., Lauderdale, FL, USA) du

type « Condylar Stabilizing » (CS) ou postéro stabilisé (PS). Ce choix était décidé par l'opérateur en peropératoire.

Lorsque la planification était satisfaisante, selon la méthode d'alignement choisie (ASL ou ASO), le chirurgien validait les coupes osseuses. Le chirurgien réalisait les coupes fémorales puis tibiales à la scie assistée par le bras motorisé MAKO®. Après les coupes, des essais étaient réalisés permettant de valider cliniquement la procédure chirurgicale, de procéder aux points d'ancrage de la prothèse définitive, ainsi qu'au resurfaçage de la rotule et d'adapter la taille du polyéthylène. Après lavage et infiltration des coques postérieures, les implants définitifs tibiaux et fémoraux non cimentés ainsi qu'une rotule cimentée était mise en place.

Pendant toute la procédure, l'ingénieur MPS retraçait toutes les valeurs données par la navigation du robot MAKO® (déformation initiale et finale, corrections appliquées, espaces médiales et latérales, amplitude articulaire). Son rôle était aussi de collecter toutes les données liées à l'épaisseur des coupes osseuses ainsi que la taille et le positionnement définitif des implants.

L'infiltration d'anesthésiques locaux était réalisée dans la capsule avant fermeture selon le protocole du service. Un drainage intra-articulaire était laissé jusqu'à la fin de la première séance d'arthromoteur.

Dans le service, la rééducation commençait dès le retour du bloc opératoire. Cela débutait par une mobilisation passive sur arthromoteur. Le patient était levé le jour même de l'intervention ou le lendemain matin. Le patient était hospitalisé pendant deux à cinq jours avant une sortie en centre de rééducation ou à domicile avec un protocole de récupération améliorée après chirurgie (RAAC).

2.2.2. Technique d'alignement systématique osseux (ASO)

L'alignement systématique osseux était considéré comme le gold-standard. Il s'agissait d'un alignement par correction unidirectionnelle de la déformation dans l'objectif d'obtenir un angle HKA le plus proche de 180°. L'encombrement prothétique minimal de la prothèse Triathlon© était de 18mm +/- 1 mm pour les tailles extrêmes. Ce chiffre pouvait varier en fonction du choix du polyéthylène tibial. Ainsi concernant la gestion des espaces, l'espace médial devait idéalement être égal à l'espace latéral tant en flexion qu'en extension soit environ 18mm. Pour équilibrer les espaces en flexion et en extension, les coupes osseuses étaient ajustées de façon à laisser une déformation inférieure à 3° et une libération ligamentaire « release » ou « pie crusting » pouvait être réalisée à la demande.

2.2.3. Technique d'alignement systématique ligamentaire (ASL)

La technique d'alignement spécifique ligamentaire correspondait à la technique des écarts maximaux. L'objectif était de connaître l'écart en millimètre du compartiment médial et latéral, en flexion à 90° et en extension, lors d'un varus et d'un valgus forcé. Sous contrainte en varus et valgus forcé, les espaces fémoro-tibiales médial et latéral étaient appelés écarts maximaux. En extension et valgus (figure 9), l'écart maximal médial (EEMM) testait la tension du ligament collatéral médial (LCM). En extension et varus l'écart maximal latéral (EEML) mesurait la tension du ligament collatéral latéral (LCL).

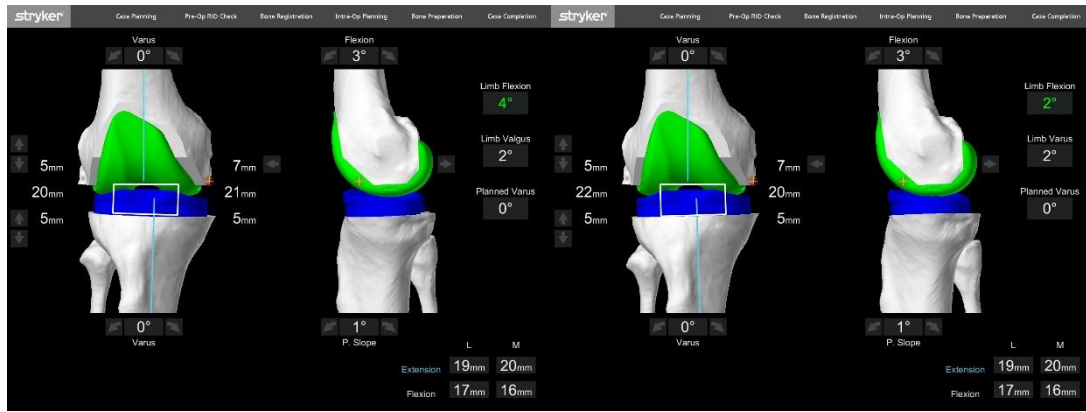


Figure 9 Ecart maximal médial

Ecart maximal latéral

En flexion à 90° (figure 10), l'évaluation était la même en mesurant en valgus, l'écart maximal médial (FEMM) et en varus l'écart maximal latéral (FEML). Ces manœuvres permettaient d'estimer la tension de l'enveloppe ligamentaire en extension et en flexion.

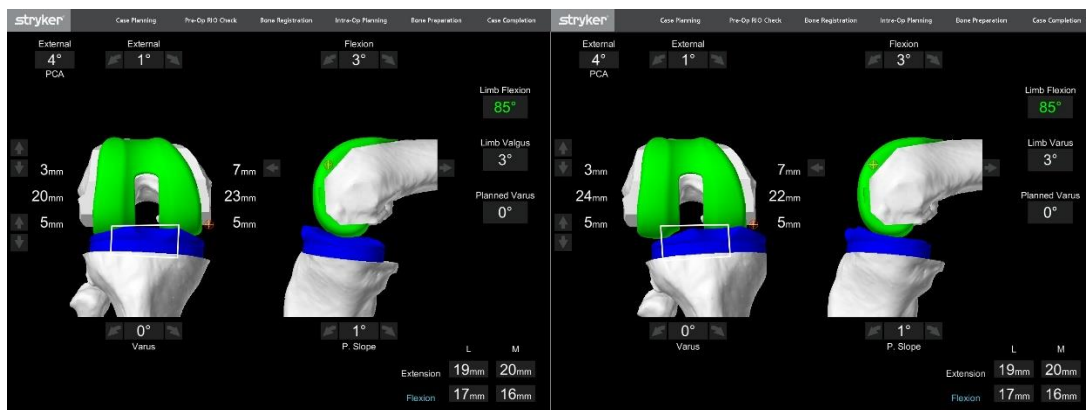


Figure 10 Ecart maximal avec valgus forcé en flexion

Ecart maximal avec varus forcé en flexion

L'objectif était de modifier les coupes osseuses de façon à obtenir des écarts-maximaux en flexion et extension égaux et proche de 18 mm et une déformation résiduelle globale < 5°. La déformation segmentaire ne devait pas excéder 5°.

2.2.4. Gestion des variables analysées

2.2.4.1. Modalité de revue

Les patients étaient évalués en préopératoire de façon radio-clinique. En peropératoire les données de robotiques étaient colligées. Le suivi postopératoire radio-clinique était effectué à 6 semaines, 4 mois et demi et 1 an par chaque chirurgien traitant. Au dernier recul une évaluation clinique était assurée par un observateur indépendant.

2.2.4.2. Série prospective

Un compte-rendu opératoire exhaustif rempli par le MPS informait sur les valeurs des écarts maximaux (en millimètre) médial et latéral, en flexion puis en extension combiné au varus et valgus forcé ainsi que la déformation résiduelle (en degré) pour chaque position. Ces valeurs étaient mesurées par le système MAKO®. Chaque valeur représentait la différence entre la position neutre et la position sous contrainte en varus/valgus.

Au dernier recul, les amplitudes articulaires étaient récupérées par mesure goniométrique du récurvatum, du flessum, et de la flexion maximale.

Les mesures radiographiques postopératoires étaient effectuées sur les clichés à six semaines. Ils comportaient une radiographie du genou de face, de profil ainsi qu'une télémétrie en charge du membre inférieur concerné. Les données radiographies (angle HKA, Angle Fémoral mécanique (AFM), Angle Tibial mécanique (ATM)) étaient mesurées par un observateur unique sur le logiciel PACS. Une déformation résiduelle post-opératoire était considérée comme « aberrante », si elle était supérieure à 5°. Une mesure « *contrariée* » correspondait à un patient changeant de classe de déformation, par exemple, initialement un axe varus devenait alors valgus en post-opératoire ou vice versa.

2.2.4.3. Série rétrospective

Concernant les scores cliniques au recul, un observateur indépendant les relevait lors d'une consultation dédiée. Les patients remplissaient un auto-questionnaire contenant les scores : Forgotten Joint Score^{38,39} (FJS-12, score d'articulation oubliée), Oxford Knee Score⁴⁰(OKS) et la partie subjective du Knee Society Score⁴¹ (KSS).

Le FJS-12, était un score croissant de 0 (pour un genou gênant en permanence) à 100 (pour un genou totalement oublié). Le score OKS allait de 0 (pour mauvais résultat) à 48 (pour un excellent résultat), il représentait le point de vue du patient sur la fonctionnalité de son genou. Le KSS, score composite, (sur 200 points), comprenait une partie genou objective remplie par un observateur indépendant (coté de 0 à 100) et une partie fonctionnelle subjective (coté de 0 à 100) remplie par le patient.

Durant la consultation de contrôle, il était également recueilli la douleur du genou opéré (cotée de 0 = pas de douleur, à 4 = douleur sévère), le signe fonctionnel résiduel principal (aucun, douleur, pseudo-lâchage, épanchement), l'amplitude articulaire (mesure goniométrique du récurvatum, flessum, et flexion maximale).

2.2.5. Critères de jugements

2.2.5.1. Critères de jugement principal

Le critère de jugement principal de l'étude était la mesure de la laxité résiduelle ligamentaire en millimètre et en degré ainsi que sa corrélation entre la convexité et la concavité dans la série prospective.

2.2.5.2. Critère de jugements secondaires

Les critères de jugements secondaires étaient :

- Pour la série prospective :
 - Les mesures des déformations résiduelles MAKO et radiographiques en analysant leur différence et leur corrélation.
 - L'amplitude articulaire post-opératoire.

- Pour la série rétrospective :
 - L'analyse clinique avec le signe fonctionnel résiduel et les scores cliniques FJS, OKS et KSS.
 - L'analyse de la déformation résiduelle robotique, les valeurs aberrantes ou contrariées et les résections osseuses.
 - L'analyse radiologique avec les déformations résiduelles, les déformations segmentaires (ATM, AFM), leurs valeurs aberrantes ou contrariées.

2.3. Analyse statistique

L'analyse statistique était réalisée avec le logiciel R. Elle avait eu lieu après le recueil complet des données cliniques et radiologiques L'appariement était basé sur la méthode du score de propension³⁷. Ce dernier avait un coût total de 1,926.

Les variables quantitatives étaient présentées par leurs moyennes, leurs écarts-types et les valeurs minimales et maximales. Les variables qualitatives étaient assorties de leur nombre et de leur pourcentage. Les variables quantitatives non-appariées étaient comparées à l'aide d'un test de Student. Les variables appariées étaient comparées à l'aide d'un test de Wilcoxon. Les variables qualitatives étaient comparées à l'aide d'un test du Chi-2. Le seuil de significativité était placé à $p < 0.05$ pour l'ensemble des analyses.

3. Résultats

3.1. Série prospective

3.1.1. Laxité résiduelle

3.1.1.1. Ecart-maximaux résiduels (millimètres)

Les écarts-maximaux en extension présentaient une forte corrélation ($p = 0.0098$; $\rho : 0.307$) entre concavité et convexité, mais les séries restaient statistiquement différentes ($p < 0.0001$). De même, les écarts-maximaux en flexion présentaient une forte corrélation ($p < 0.0001$; $\rho : 0.485$) entre concavité et convexité, malgré cela les séries restaient statistiquement différentes ($p = 0.0034$). Comparativement entre extension et flexion, les écarts-maximaux n'étaient pas corrélés et les séries statistiquement différentes, tant pour la concavité que pour la convexité. Toutes ces valeurs étaient résumées dans le tableau 3.

	Concavité (mm)	Convexité (mm)	p	Corrélation (p ; rho)
Extension	1.33 +/- 0.99 (0-4)	2.13 +/- 1.0 (0-4)	<0.0001	0.0098 ; 0.307
Flexion	1.91 +/- 1.6 (0-7)	2.71 +/- 1.6 (0-8)	0.0034	<0.0001 ; 0.485
p	0.0099	0.0104		
Corrélation (p ; rho)	0.807 ; 0.041	0.311 ; 0.123		

Tableau 3 Écarts maximaux résiduels

3.1.1.2. Laxité résiduelle (degrés)

Les laxités résiduelles en extension ne présentaient pas de corrélation entre concavité et convexité, mais les séries restaient statistiquement différentes ($p = 0.012$). Les laxités résiduelles en flexion présentaient une forte corrélation ($p = 0.0086$; $\rho : 0.342$) entre concavité et convexité néanmoins les séries n'étaient statistiquement pas différentes ($p = 0.169$).

Comparativement entre extension et flexion, les laxités résiduelles de la concavité étaient corrélées ($p < 0.0001$; $\rho : 0.519$). Toutefois les séries restaient statistiquement différentes, tant pour la concavité que pour la convexité. Tous ses valeurs sont retranscrites dans le tableau 4.

	Concavité (°)	Convexité (°)	p	Corrélation (p ; rho)
Extension	1.81 +/- 0.96 (0-5)	2.26 +/- 1.03 (0-6)	0.012	0.132 ; 0.199
Flexion	3.15 +/- 1.7 (0-8)	3.59 +/- 1.8 (0-8)	0.169	0.0086 ; 0.342
p	<0.0001	<0.0001		
Corrélation (p ; rho)	<0.0001 ; 0.519	0.176 ; 0.180		

Tableau 4 Laxité résiduelle

3.1.1.3. Corrélation écart-maximaux et laxité

En extension, les écarts-maximaux présentaient une forte corrélation ($p < 0.0001$; $\rho : 0.648$) avec la laxité résiduelle et les séries restaient statistiquement différentes ($p = 0.0013$). En flexion les écarts-maximaux présentaient également une forte corrélation ($p < 0.0001$; $\rho : 0.714$) avec la laxité résiduelle et les séries restaient statistiquement différentes ($p < 0.0001$). Comparativement entre les écarts-maximaux et la laxité résiduelle, les mesures en extension et en flexion étaient corrélées avec des séries statistiquement différentes. Tant pour la série des écarts maximaux et de la laxité, les mesures en extension et en flexion présentaient une forte corrélation et des séries étaient statistiquement différentes. Toutes ces valeurs sont résumées dans le tableau 5.

	Laxité (mm)	Laxité (°)	p	Corrélation (p ; rho)
Extension	1.64	1.91	<i>0.0013</i>	<i><0.0001 ; 0.648</i>
Flexion	2.28	3.15	<i><0.0001</i>	<i><0.0001 ; 0.714</i>
p	<i><0.0001</i>	<i><0.0001</i>		
Corrélation (p ; rho)	<i><0.0001 ; 0.504</i>	<i><0.0001 ; 0.493</i>		

Tableau 5 Corrélation entre écart maximal en mm vs laxité en degré

3.1.1.4. Influence de la taille sur les espaces en extension (Figure 11)

Plus la taille des implants est importante, plus les écarts maximaux moyens augmentent. Pour un implant de taille 2, l'écart maximal moyen est de 1.87 tandis que pour un implant de taille 7, l'écart maximal moyen est de 2.66. Cependant, pour la laxité angulaire, cette variable n'est pas sensiblement modifiée.

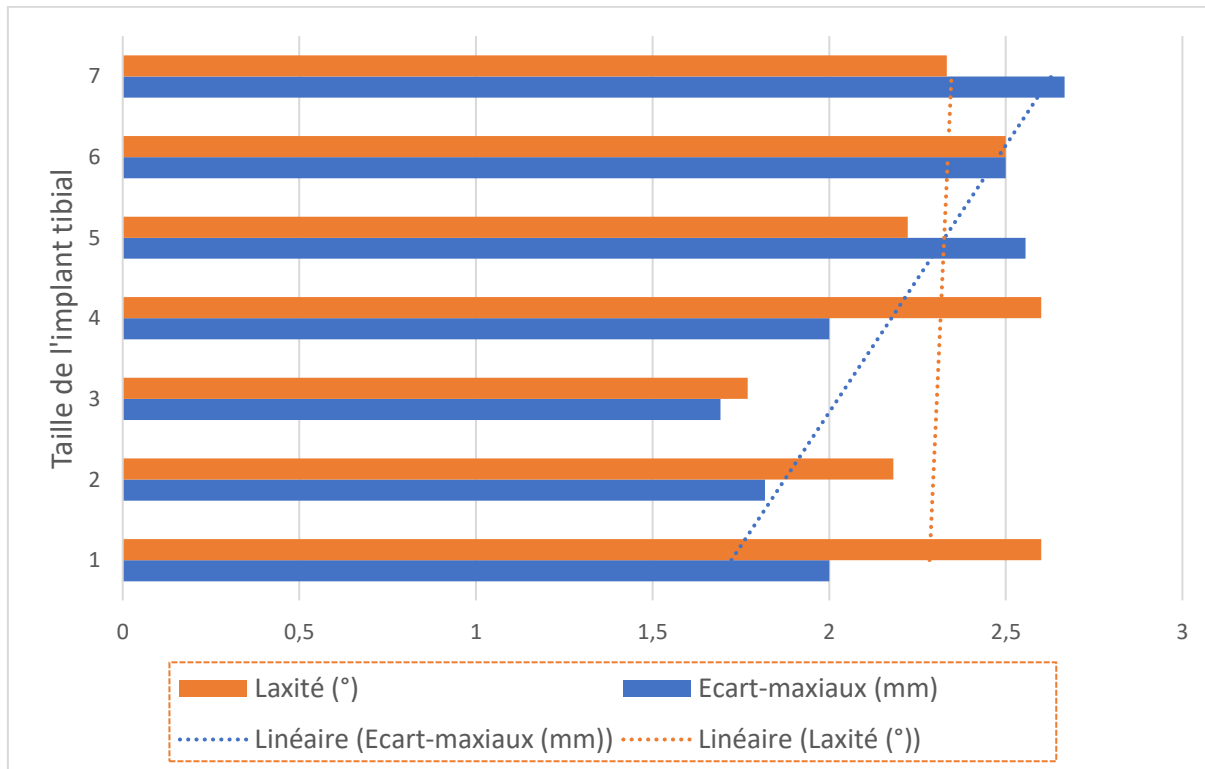


Figure 11 Influence de la taille de l'implant tibial sur les espaces en extension

3.1.2. Déformation résiduelle

3.1.2.1. Déformation MAKO® (Tableau 6)

La déformation moyenne préopératoire donnée par la navigation MAKO® était de 5.24° +/- 4.47 (-11 ; 15). En post-opératoire, cette moyenne était de 2.4° +/- 1.84 (-2 ; 6). Il existait une différence statistiquement significative entre la déformation pré et post-opératoire ($p < 0,0001$). Ces données étaient rassemblées dans le tableau 6. La proportion de déformation résiduelle aberrante (HKA MAKO® post-opératoire $> 5^\circ$) était de 2,9%, soit 2 patients sur 70.

3.1.2.2. Déformation Radiographique (Tableau 6)

La déformation moyenne radiologique préopératoire mesurée était de 3.96° +/- 5.79 (-18 ; 18). En post-opératoire, cette déformation moyenne était de 0.51° +/- 1.69 (-2 ; 5). Il y avait une différence statistiquement significative entre les radiographies pré et post opératoire ($p < 0,0001$). Ces données étaient résumées dans le tableau 4. En post-opératoire, 4 patients (5.7%) avaient un HKA contrarié, 5 patients (7.1%) avaient un axe mécanique fémoral contrarié et un patient (1.4%) avait avec un axe tibial contrarié.

	Pré opératoire	Post-opératoire	
Déformation MAKO (°)	5.24 +/- 4.47	2.4 +/- 1.84	<0.0001
Déformation radiologique (°)	3.96 +/- 5.79	0.51 +/- 1.69	<0.0001

Tableau 6 Valeurs moyennes déformation MAKO / déformation radiologique

3.1.2.3. Comparaison de la déformation : MAKO® vs Radio

La série des déformations post-opératoires MAKO® présentait une forte corrélation statistique ($p < 0,0001$; $\rho = 0.6702$) avec la série des déformations radiographiques post opératoires mais les séries étaient statistiquement différentes.

3.1.2.4. Différentiel des déformations MAKO ® et Radiographique

En moyenne, la différence entre les déformations MAKO® et les déformations radiologiques était de $2.21^{\circ} \pm 1.38$ (0-5).

3.1.3. Mobilité post-opératoire :

3.1.3.1. Recurvatum

Dans cette série, le degré moyen de recurvatum était de $0.07^{\circ} \pm 0.6$ (0-5). 10 patients de la population présentaient un recurvatum mais toujours inférieur à 5° .

3.1.3.2. Flessum

Dans la population, le degré moyen de flessum était de $1.21^{\circ} \pm 3.0$ (0-15). La proportion de patients avec un flessum $<5^{\circ}$ était de 8 cas, avec un flessum entre 5 et 10° était de 3 cas et avec un flessum allant 10 et 15° était de 1. Aucun flessum supérieur à 15° n'a été retrouvé.

3.1.3.3. Flexion maximale

Dans la série, la flexion maximale moyenne était de $124.5^{\circ} \pm 11.7$ (95-140). La répartition était : 1,4% avec une flexion $<100^{\circ}$; 2,8% avec une flexion à 100° ; 21,4% avec une flexion de 110° ; 17,1% avec une flexion de 120° ; 38,6% avec une flexion de 130° et 18,6% avec une flexion de 140° .

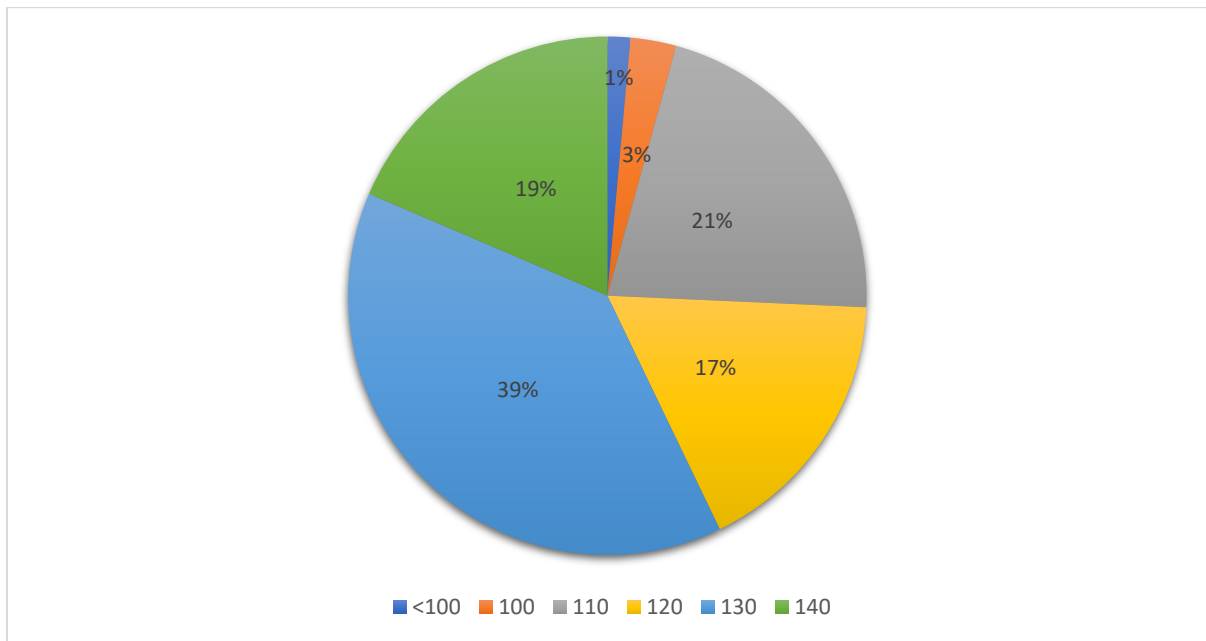


Figure 12 Diagramme de répartition des flexions maximales

3.2. Étude comparative type cas-témoin :

3.2.1. Signes cliniques (Tableau 7)

	Cas	Témoin	P value
Douleurs moyenne	1.6 +/- 1.22 (0-4)	1.49 +/- 1.07 (0-3)	0.594
Symptomatologie (n)	42	55	0.017
Douleurs (n)	8	6	0.573
Pseudo-lâchage (n)	6	16	0.02
Epanchement (n)	6	1	0.0525

Tableau 7 Signes cliniques avec douleurs moyenne et proportion de douleur, pseudo-lâchage et épanchement dans chaque groupe

La douleur résiduelle moyenne au dernier recul était de 1.49 +/- 1.07 (0-3) dans le groupe alignement systématique osseux contre 1.6 +/- 1.22 (0-4) dans le groupe alignement spécifique ligamentaire (p = 0.594).

Concernant la symptomatologie résiduelle principale, aucune symptomatologie n'était déclarée dans 42 cas (60%) dans le groupe témoin contre 55 cas (78.6%) dans le groupe cas (p = 0.017). Il y avait statistiquement plus de pseudo-lâchage dans le groupe témoin (16 cas /

22.9%) que dans le groupe cas (6 cas / 8.6%)(p = 0.020) Aucune différence n'était retrouvée entre les deux groupes concernant la douleur (8/70 vs 6/70 ; p=0.573) ou l'épanchement (6/70 vs 1/70 ; p = 0.0525).

3.2.2. Scores fonctionnels (Tableau 8)

	Cas	Témoin	p value
FJS	60.0 +/- 26.4 (0-100)	52.0 +/- 29.8 (0-100)	0.097
OKS	36.7 +/- 10.0 (10-48)	38.7 +/- 8.2 (16-48)	0.199
KSS	172.9 +/- 23.8 (102-200)	180.6 +/- 22.3 (120-200)	0.124
Genou	92.1 +/- 11.5 (56-100)	88.6 +/- 14.7 (45-100)	0.130
Fonction	88.6 +/- 14.7 (45-100)	92.1 +/- 11.5 (56-100)	0.054

Tableau 8 Score fonctionnels au dernier recul, pas de différences statistiquement significatives

➤ Score d'articulation oubliée : FJS

Le score FJS était meilleur dans le groupe alignement spécifique ligamentaire 60.0 +/- 26.4 (0-100) que dans le groupe alignement systématique osseux 52.0 +/- 29.8 (0-100) sans différence significative (p = 0.097.)

➤ Score Oxford genou : OKS

Il n'y avait pas de différence significative entre le groupe témoin (36.7 +/- 10.0 (10-48)) et le groupe cas (38.7 +/- 8.2 (16-48)) (p = 0.199).

➤ Score de société du genou : KSS

Concernant le score genou, il n'y avait pas de différence significative entre le groupe témoin (88.6 +/- 14.7 (45-100)) et le groupe cas (92.1 +/- 11.5 (56-100))(p = 0.124). Concernant le score fonction, il n'y avait pas de différence significative entre le groupe témoin (88.6 +/- 14.7 (45-100)) et le groupe cas (92.1 +/- 11.5 (56-100))(p = 0.130). Il n'y avait pas de différence

significative concernant le score général KSS entre les deux groupes (172.9 +/- 23.8 (102-200) vs 180.6 +/- 22.3 (120-200) ; p = 0.054)

3.2.3. Données robotiques

➤ Comparaison des déformations

			Cas	Témoin	p
Déformation préopératoire (°)	absolue	MAKO	5.9 +/- 3.4 (0-15)	5.4 +/- 4.9 (-7 ; 15)	0.870
Déformation postopératoire (°)	absolue	MAKO	2.5 +/- 1.7 (0-6)	1.6 +/- 1.9 (-2 ; 6)	0.019
Différence postopératoire	déformation pré vs		2.9 +/- 3.4 (-11 ;11)	3.8 +/- 4.3 (-9 ;13)	0.214
Contrariés HKA MAKO (n)			3 (4.3%)	9 (12.9%)	0.07

Tableau 9 Comparaison des déformation MAKO pré et post opératoire des cas et des témoins

➤ HKA contrariés

Il y avait plus de patients en fin de procédure MAKO dont l'HKA étaient inverse à la déformation, dans le groupe alignement systématique osseux (9 cas / 12.9%) comparativement au groupe alignement spécifique ligamentaire (3 cas / 4.3%). Toutefois la différence n'était pas statistiquement significative (p = 0.07) (*tableau 9*).

➤ Résections osseuses

Toutes les résections osseuses planifiées étaient identiques entre les groupes à l'exception de la somme des résections dans la convexité, inférieure dans le groupe alignement spécifique ligamentaire (p = 0.047) (*tableau 10*).

➤ Bilan des résections osseuses

	Cas	Témoin	p
Résection tibiale concavité (mm)	4.0 +/- 1.6 (1-8)	4.4 +/- 2.4 (2.5-10.5)	0.735
Résection tibiale convexité (mm)	5.9 +/- 1.7 (1-8.5)	6.0 +/- 1.7 (1-8.5)	0.780
Résection fémorale concavité (mm)	7.2 +/- 1.7 (3-10)	6.7 +/- 1.7 (3-10)	0.214
Résection fémorale convexité (mm)	5.3 +/- 2.0 (1-10)	5.8 +/- 2.0 (1-10)	0.087
Résection concavité (mm)	11.3 +/- 2.1 (5.5-15.5)	10.8 +/- 2.2 (4.3-15.5)	0.246
Résection convexité (mm)	11.1 +/- 2.4 (2.5-17)	11.8 +/- 1.4 (8.5-16)	0.047
Résection totale (mm)	22.4 +/- 3.3 (14.5-30.5)	22.6 +/- 2.9 (16.3-29)	0.692

Tableau 10 Résultats des résections osseuses tibiales et fémorales dans la concavité et la convexité

➤ Choix du type d'alignement

	Cas	Témoin	p
Alignement mécanique (n)	20	32	0.036
Alignement mécanique ajusté tibia (n)	9	20	0.021
Alignement mécanique ajusté fémur (n)	7	9	0.595
Alignement cinématique restreint (n)	34	9	<0.0001

Tableau 11 Choix du type d'alignement

Dans le groupe des cas, la répartition de l'alignement était de 20 patients (28,6%) avec un alignement mécanique, 9 patients (12,9%) avec un alignement ajusté au tibia, 7 patients (10%) avaient un alignement mécanique ajusté au fémur et 34 patients (48,5%) avec un alignement cinématique restreint. Pour le groupe témoin, 32 patients (45,6%) avaient eu un alignement mécanique, 20 patients (28,6%) avaient eu un alignement mécanique ajusté au tibia, 9 patients (12,9%) avaient eu un alignement mécanique ajusté au fémur et 9 patients (12,9%) avaient eu un alignement cinématique. Cette distribution était statistiquement différente, entre les cas et les témoins, pour l'alignement mécanique ($p=0.036$), mécanique ajusté au tibia

($p=0.021$) et cinématique restreint ($p<0.001$). Toutes ces données étaient notifiées dans le tableau 11 et la figure 13.

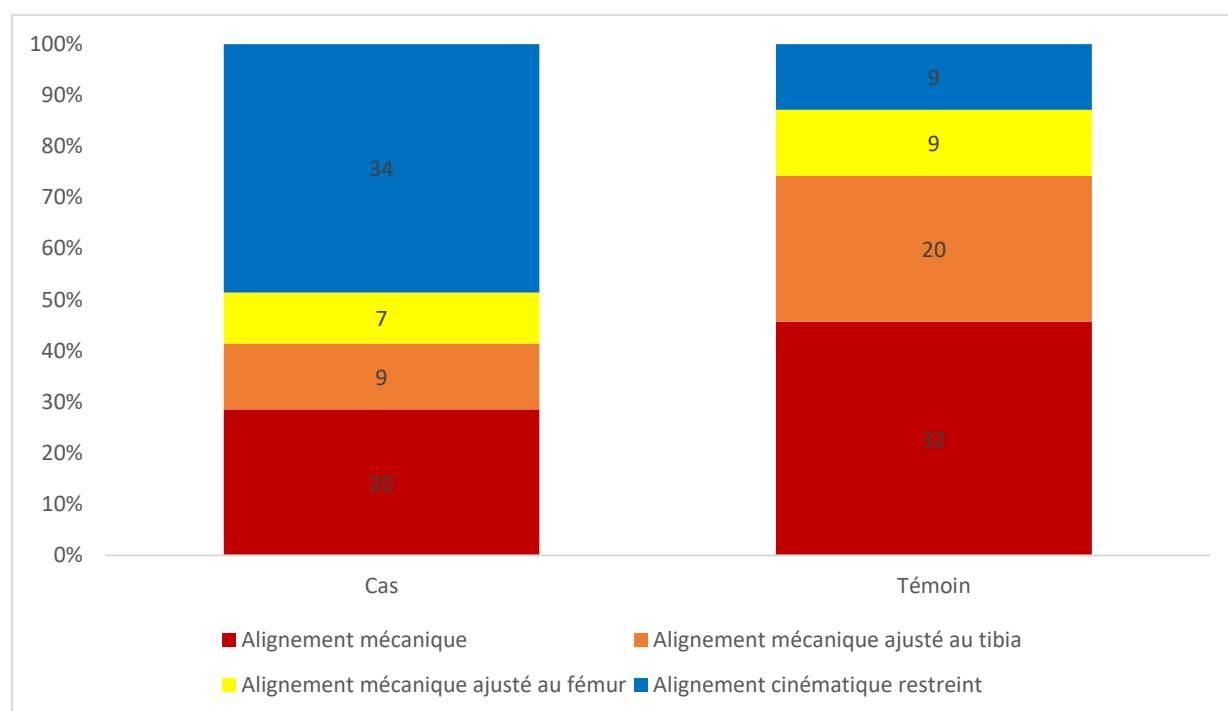


Figure 13 Répartition des alignements en fonction du groupe

3.2.4. Résultats radiologiques

L'angle HKA radiographique moyen post opératoire était statistiquement différent ($p<0.0001$) entre les cas (179.5 +/- 1.7 (175-182)) et les témoins (180.7 +/- 1.9 (177-185)). La correction radiographique moyenne était supérieure ($p=0.025$) dans le groupe systématique (7.0 +/- 2.9 (1-12)) contre (5.5 +/- 3.7 (0-16.5)) dans le groupe spécifique. Ces données étaient résumées dans le *tableau 12*.

	Cas	Témoins	p
HKA radio préop (°)	176.0 +/- 5.8 (162-198)	174.8 +/- 5.2 (168-189)	0.227
HKA radio postop (°)	179.5 +/- 1.7 (175-182)	180.7 +/- 1.9 (177-185)	<0.0001
Correction moyenne RX	5.5 +/- 3.7 (0-16.5)	7.0 +/- 2.9 (1-12)	0.025

Tableau 12 Comparaison HKA pré et post opératoire avec la correction moyenne dans chaque groupe

Les déformations segmentaires de l'ATM et l'AFM post-opératoire étaient différentes entre les deux groupes ($p=0.0002$ pour l'ATM et 0.046 pour l'AFM). L'ATM moyen post-opératoire des cas étaient de $89.8^\circ \pm 1.4$ (86-92) comparativement aux témoins qui étaient de 90.8 ± 1.5 (88-95). Pour les données préopératoires, aucune différence n'a été démontrée (*voir tableau 10*).

	Cas	Témoin	p
ATM radio préop (°)	87.3 +/- 3.6 (77-98)	87.3 +/- 3.0 (80-99)	0.925
ATM radio postop (°)	89.8 +/- 1.4 (86-92)	90.8 +/- 1.5 (88-95)	0.0002
AFM radio préop (°)	90.9 +/- 2.4 (85-95)	91.09 +/- 2.5 (86-97)	0.757
AFM radio postop (°)	89.7 +/- 1.0 (86-92)	90.0 +/- 1.1 (86-92)	0.046

Tableau 13 ATM et AFM pré et post-opératoire

Les patients avec un l'alignement frontal contrarié étaient bien différents ($p=0.0007$) entre les cas ($n=4$, 5,7%) et les témoins ($n=17$, 24,3%). Cette différence des contrariés était également présente pour l'AFM ($p=0.0002$) et l'ATM ($p=0.001$), voir *figure 12*.

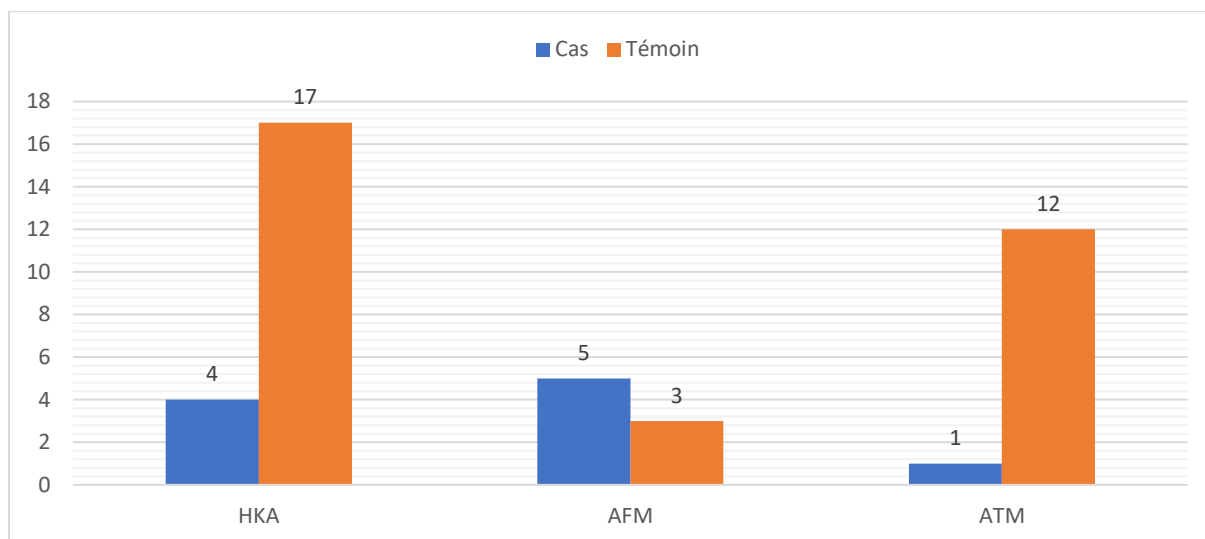


Figure 14 Histogramme de répartition des alignements contrariés ; n max = 70

3.2.5. Complications liées à la chirurgie

Les deux groupes ne présentaient ni décès, ni perdu de vue. Aucune infection ou descellement précoce n'a été retrouvé. Un patient (1,42%) du groupe systématique (témoin) présentait un défaut de flexion dans les 2 mois opératoires et avait nécessité une mobilisation sous anesthésie générale. Quatre patients (5,7%) des cas ont présenté une algoneurodystrophie dans les suites post-opératoires, tandis que pour les témoins, trois patients (4,3%) ont été concernés par cette pathologie.

Concernant les complications propres à la procédure MAKO®, aucune fracture sur les sites des broches n'a été rapportée. Aucun dysfonctionnement de la procédure robotique MAKO® n'a été rencontré. Toutes les complications étaient réparties dans la figure 2.

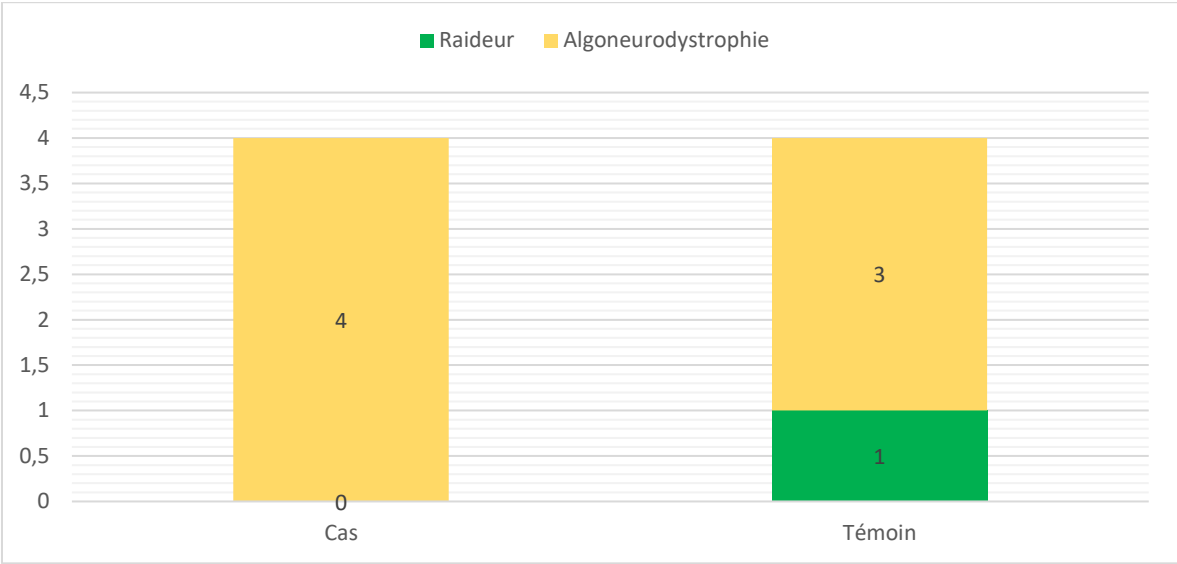


Figure 15 Histogramme de répartition des complications

4. Discussion

L'objectif principal de ce travail était d'évaluer l'alignement et la laxité de PTG après utilisation d'une technique originale d'équilibrage ligamentaire basée sur l'analyse des écarts maximaux. Avec des écarts-maximaux moyens inférieurs à 3 mm en extension et en flexion, cette technique d'alignement spécifique ligamentaire donne des résultats satisfaisants en terme de retente de l'enveloppe capsulo-ligamentaire. Avec une bonne corrélation entre valeurs millimétriques valeurs en degrés ces conclusions peuvent être extrapolées à une estimation de la laxité résiduelle. L'optimisation de cette laxité résiduelle a toujours été obtenue en maintenant un alignement dont la déformation résiduelle n'a jamais excédé 6°.

Renyi Benjamin Seah and al⁴² montraient sur sa série de 1507 prothèses qu'un genou était stable si la laxité étaient inférieure à 5° sur le plan médio-latéral. En appliquant ces résultats à notre série, 90% (63/70) de nos prothèses pouvaient être considérées comme stables. Les écarts et laxité en flexion semblent supérieurs à ceux obtenus en extension. Ce résultat est difficile à interpréter car les forces de varus / valgus en flexion sont supérieures (bras de levier plus long) et l'orientation des traceurs peuvent fausser les mesures. L'usage d'un capteur de pression pourrait être utile pour exercer une force constante sur l'enveloppe ligamentaire lors des différentes positions.

Robinson and al⁴³ ainsi que Sugita and al⁴⁴ rapportaient que la tension physiologique du LCM (~120 Newton) est supérieure à la tension du LCL(~60 Newton). Cette asymétrie entre les compartiments médial et latéral du genou était également retrouvée autour des PTG par Winemaker⁴⁵ et Griffin⁴⁶. Dans ce travail, la résultante ligamentaire de notre technique retrouvait cette asymétrie postopératoire entre concavité et convexité. Par analogie avec ces deux points, l'asymétrie est probablement le reflet d'une enveloppe capsulo-ligamentaire respectée. Fehring and al⁴⁷ trouvaient un lien entre instabilité articulaire prothétique et usure

du PE⁴⁸ et/ou un descellement précoce de l'implant. Son hypothèse ⁴⁷ renforçait l'idée qu'une gestion ligamentaire optimale permettait de réduire le taux de reprise précoce (jusqu'à 40%). Une analyse à long terme de notre cohorte permettra d'évaluer l'incidence de ces complications qui à ce jour n'ont pas le recul nécessaire.

L'implant Triathlon, son design au rayon unique ⁴⁹, a été conçu pour maintenir une tension ligamentaire équivalente sur tout l'arc de mobilité du genou⁵⁰. Toutefois l'optimisation d'une isométrie des espaces au cours de la flexion est indispensable. L'excellente corrélation des espaces, entre flexion et extension via la technique d'alignement spécifique ligamentaire, optimise la biomécanique du rayon unique. Le respect de l'enveloppe ligamentaire reste le point d'orgue de cette technique. Premièrement, l'utilisation du robot MAKO®⁵¹ permettait une préservation des parties molles ⁵²⁻⁵⁵ par l'absence d'agression iatrogène, améliorant ainsi le gain immédiat et une récupération plus rapide des patients^{56,57}. Deuxièmement, Dennis and al⁵⁸ et Blakeney and al⁵⁹ suggéraient qu'il y avait moins de déséquilibre ligamentaire avec une technique d'alignement spécifique. De plus, ces techniques permettent une diminution des gestes de libération⁶⁰. Dans le cas, d'un alignement systématique osseux, des gestes de libération capsulo-ligamentaire sont indispensables afin de limiter le risque d'instabilité ^{25,26}, notamment concernant les grandes déformations préopératoires²⁵. C'est l'usage du MAKO, via une prothèse à rayon unique associée à l'alignement spécifique ligamentaire qui permet d'éviter les gestes de libération et ainsi d'optimiser une tension physiologique de l'enveloppe capsulo-ligamentaire.

Concernant les objectifs secondaires de notre série et à partir de deux groupes comparables méthodologiquement, l'usage d'une technique d'alignement spécifique ligamentaire ne générait pas plus de défaut de mobilité du genou ou de complications à court terme mais retrouvait moins de sensation de pseudo-lâchage. Les scores fonctionnels étaient

identiques entre les groupes mais le recul n'était pas le même. Enfin concernant l'alignement, la déformation résiduelle était plus importante avec moins de déformation contrariée pour le groupe alignement spécifique ligamentaire.

La mobilité des PTG de cette série est semblable aux amplitudes post-opératoires des PTG actuelles⁶¹. L'usage principal d'implants CS, réputés pour avoir une amplitude moindre^{49,62} aux PS, ne semble pas affecter la mobilité. Dennis and al⁵⁸ et Watanabe and all⁶³ suggéraient que l'équilibre ligamentaire entre l'extension et la flexion améliorerait l'amplitude maximale par le respect d'une biomécanique physiologique. Concernant le symptôme résiduel principal, 6 patients rapportaient des pseudo-lâchages dans le groupe ASL contre 16 dans le groupe ASO. Malgré un recul inférieur, ne permettant pas d'écarter l'hypothèse d'un pseudo-lâchage d'origine musculaire par défaut de rééducation, cette différence pouvait être expliquée par l'optimisation de l'équilibrage ligamentaire dans le groupe ASL.

Concernant les scores fonctionnels FJS³⁹, OKS⁴⁰ et KSS⁴¹ le recul plus faible dans le groupe des cas était une limite à l'interprétation des résultats. Certains auteurs rapportent une durée de un an pour avoir une récupération fonctionnelle complète^{64,65}. De plus, les scores FJS et KSS progresseraient considérablement entre 6 mois et 1 an⁶⁶, ce qui devrait aller dans le sens de notre technique. A ce jour aucune étude au niveau de preuve suffisant, n'a montré de supériorité clinique d'une technique d'alignement mécanique contre cinématique⁶⁷⁻⁷⁰. A court terme, la méta-analyse de Gao and al⁶⁰ semblait montrer une légère supériorité de la technique d'alignement cinématique. Nos scores cliniques étaient superposables à la littérature actuelle^{27,49,60,65,69-76}.

Abdel and al²⁹ avaient montré qu'à long terme, un alignement neutre du membre ne garantissait pas un résultat fonctionnel et une meilleure survie de l'implant. Dans notre série, il était toléré de laisser de la déformation résiduelle dans la concavité (2.5° en moyenne) pour la technique d'alignement spécifique ligamentaire. Cette déformation ne semble pas

préjudiciable^{28,59,77} Il est arrivé dans 12 cas (3 chez les cas et 9 chez les témoins) que la déformation résiduelle mesurée par la procédure MAKO ait abouti à un changement de morphotype (varus devenus des valgus en post-opératoire). Par mesures radiographiques, ce changement était arrivé dans 4 cas chez les cas et 17 chez les témoins. Statistiquement, cet évènement était moins fréquent ($p=0.0007$) avec la technique d'alignement spécifique. Avec la technique systématique, la volonté d'obtenir un axe neutre pouvait entraîner un excès de correction rapporté comme une des limites connues de l'alignement systématique²⁵

Comparativement aux radiographies standards, les systèmes de navigation ont prouvé leurs supériorités^{78,79} pour l'estimation de l'angle HKA et des axes mécaniques des membres. Les mesures radiographiques peuvent être variables en fonction du positionnement du patient⁸⁰ (flessum, récurvatum, rotation du membre) ainsi qu'en fonction de l'observateur réalisant les mesures^{81,82}. Basées sur des clichés scanographiques^{51,83,84}, les analyses morphologiques par la robotique semblaient plus fiables et reproductibles.

Le dogme selon lequel une PTG doit être posée de façon systématique évolue. De nombreuses études^{85,86} s'attardent sur un alignement de la prothèse plus spécifique au patient. Toutes ces études sont basées sur un référentiel osseux en réalisant un compromis sur l'enveloppe ligamentaire. Par exemple Hubert and al⁸⁷, prouve que seulement 44% des patients ne peuvent être éligibles à une technique cinématique pure. Dans notre étude, cette proportion est proche (47%). Ceci suggère qu'en changeant ce référentiel et en se basant avant tout sur l'enveloppe capsulo-ligamentaire, le chirurgien peut choisir un alignement plus adapté au patient.

Notre étude comprenait de nombreuses limites. Les séries n'étaient pas continues et une randomisation pour la constitution des groupes n'a pu avoir lieu car la première série était prospective tandis que la seconde était rétrospective. Cependant, ceci a permis d'obtenir deux séries comparables et ainsi de pouvoir évaluer nos deux techniques. Malgré une répartition

uniforme des classes (varus/normo-axé/valgus) dans chaque effectif, une analyse détaillée de chaque morphotype fut impossible par défaut de puissance statistique. La faible présence de valgus (5 paires) et de normo-axé (12 paires) dans chaque groupe était un facteur limitant. Ceci a empêché d'obtenir des résultats significatifs à travers une analyse en sous-groupes. Le recul est également un facteur marquant. Entre les 2 groupes, il y a une différence de plus de 200 jours, soit un écart de près de 7 mois. Avec une évaluation trop précoce de la technique ASL, ceci a probablement sous-estimé les résultats cliniques. Les études⁸⁸⁻⁹⁰ montrent que les résultats fonctionnels des PTG progressent jusqu'à 2 ans post-opératoire. Pour limiter ce biais, une nouvelle analyse comparative à recul équivalent semble nécessaire. Enfin la description morphologique des patients est basée sur des mesures radiographiques réalisées par un unique observateur. Ilahi and al⁸¹ a démontré une variabilité intra-observateur de moins de 4° sur des radiographies standard. Lonner and al⁸⁰ avait montré l'influence majeure du positionnement du membre avec une fluctuation de mesure pouvant aller jusqu'à 8° pendant l'évaluation radiographique. Or ces mesures sont effectuées sur des radiographies en charge où le flessum, la rotation du membre et l'équilibre sagittal ne sont pas contrôlés. En conséquence, tous ces éléments ont pu entraîner un biais dans les mesures radiographiques pré et post-opératoires (HKA, AFM, ATM).

Parallèlement l'un des principaux points forts de notre étude était que de nombreuses données se basent sur des données morphologiques (espaces, alignement, déformation) mesurées par le système robotique et étaient donc robustes. L'utilisation du robot pour la réalisation de la chirurgie est un avantage notamment pour sa précision et sa fiabilité^{55,91-93}. De plus, c'est grâce à cet outil de chirurgie assistée par ordinateur que nous avons pu positionner la prothèse dans les écarts-maximaux de l'enveloppe capsulo-ligamentaire. C'est la première description de cette technique chirurgicale à ce jour. Enfin peu d'études comparent^{68,73} deux techniques chirurgicales utilisant la robotique et ses mesures chirurgicales. Le maintien de la

comparabilité des groupes grâce à un appariement contrôlant les facteurs de confusion était une force. La comparaison de deux techniques différentes avec le même instrument chirurgical réalisées à distance de notre courbe d'apprentissage donnait de la force à nos résultats.

5. Conclusion :

La technique d'alignement spécifique ligamentaire, via l'usage du MAKO® et des écarts maximaux, permet de resituer une tension ligamentaire satisfaisante tout en maintenant une déformation résiduelle raisonnable. Les résultats cliniques et radiologiques à court terme ne sont pas inférieurs à une technique systématique.

Cette technique spécifique permet de réaliser une arthroplastie du genou en respectant au mieux l'enveloppe capsulo-ligamentaire dans son intégrité et sa déformation native. Un suivi de ces cohortes au même délai, à moyen et long terme serait pertinent pour mettre en avant la supériorité de la technique d'alignement spécifique ligamentaire.

6. Bibliographie

1. Chevalier X. Physiopathologie de l'arthrose. :10.
2. Richette P. Généralités sur l'arthrose : épidémiologie et facteurs de risque. *EMC - Appareil locomoteur*. 2008;3(4):1-5. doi:10.1016/S0246-0521(08)45639-5
3. Oliveria SA, Felson DT, Reed JI, Cirillo PA, Walker AM. Incidence of symptomatic hand, hip, and knee osteoarthritis among patients in a health maintenance organization. *Arthritis Rheum*. 1995;38(8):1134-1141. doi:10.1002/art.1780380817
4. Ehlinger M. Aspect médico-économique des prothèses totales de genou. Published online 2016:4.
5. Parratte S, Pesenti S, Argenson J-N. Obesity in orthopedics and trauma surgery. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*. 2014;100(1, Supplement):S91-S97. doi:10.1016/j.otsr.2013.11.003
6. Odum SM, Springer BD, Dennon AC, Fehring TK. National obesity trends in total knee arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2013;28(8 Suppl):148-151. doi:10.1016/j.arth.2013.02.036
7. ANSM. Surveillance des dispositifs médicaux à risque : Prothèses totales de genou (PTG). Accessed October 1, 2021. https://archiveansm.integra.fr/var/ansm_site/storage/original/application/3798f4f2a1e239b28ddf80c8b675ee86.pdf
8. Dagneaux L. Résultats fonctionnels et qualité de vie après prothèse totale de genou : revue récente de la littérature. Published online 2016:7.
9. Bourne RB, Chesworth BM, Davis AM, Mahomed NN, Charron KDJ. Patient Satisfaction after Total Knee Arthroplasty: Who is Satisfied and Who is Not? *Clin Orthop Relat Res*. 2010;468(1):57-63. doi:10.1007/s11999-009-1119-9
10. Masouros S, Bull A, Amis A. Biomechanics of the knee joint. *Orthopaedics and Trauma*. 2010;24:84-91. doi:10.1016/j.mporth.2010.03.005
11. Kapandji IA. *The Physiology of the Joints: The Lower Limb*. 6e édition. Churchill Livingstone; 2010.
12. Fukubayashi T, Torzilli PA, Sherman MF, Warren RF. An in vitro biomechanical evaluation of anterior-posterior motion of the knee. Tibial displacement, rotation, and torque. *J Bone Joint Surg Am*. 1982;64(2):258-264.
13. Schipplein OD, Andriacchi TP. Interaction between active and passive knee stabilizers during level walking. *J Orthop Res*. 1991;9(1):113-119. doi:10.1002/jor.110090114
14. Baratta R, Solomonow M, Zhou BH, Letson D, Chuinard R, D'Ambrosia R. Muscular coactivation. The role of the antagonist musculature in maintaining knee stability. *Am J Sports Med*. 1988;16(2):113-122. doi:10.1177/036354658801600205

15. Johal P, Williams A, Wragg P, Hunt D, Gedroyc W. Tibio-femoral movement in the living knee. A study of weight bearing and non-weight bearing knee kinematics using “interventional” MRI. *J Biomech.* 2005;38(2):269-276. doi:10.1016/j.jbiomech.2004.02.008
16. Hill PF, Vedi V, Williams A, Iwaki H, Pinskerova V, Freeman MA. Tibiofemoral movement 2: the loaded and unloaded living knee studied by MRI. *J Bone Joint Surg Br.* 2000;82(8):1196-1198. doi:10.1302/0301-620x.82b8.10716
17. Harner CD, Xerogeanes JW, Livesay GA, et al. The human posterior cruciate ligament complex: an interdisciplinary study. Ligament morphology and biomechanical evaluation. *Am J Sports Med.* 1995;23(6):736-745. doi:10.1177/036354659502300617
18. Dennis DA. Évaluation par fluoroscopie de la cinématique du genou après prothèse totale à plateau fixe et mobile.
19. Freeman M a. R, Pinskerova V. The movement of the knee studied by magnetic resonance imaging. *Clin Orthop Relat Res.* 2003;(410):35-43. doi:10.1097/01.blo.0000063598.67412.0d
20. Thompson WO, Thaete FL, Fu FH, Dye SF. Tibial meniscal dynamics using three-dimensional reconstruction of magnetic resonance images. *Am J Sports Med.* 1991;19(3):210-215; discussion 215-216. doi:10.1177/036354659101900302
21. Grieco TF, Sharma A, Komistek RD, Cates HE. Single Versus Multiple-Radii Cruciate-Retaining Total Knee Arthroplasty: An In Vivo Mobile Fluoroscopy Study. *J Arthroplasty.* 2016;31(3):694-701. doi:10.1016/j.arth.2015.10.029
22. Ostermeier S, Stukenborg-Colsman C. Quadriceps force after TKA with femoral single radius. *Acta Orthop.* 2011;82(3):339-343. doi:10.3109/17453674.2011.574564
23. Bellemans J, Colyn W, Vandenuecker H, Victor J. The Chitranjan Ranawat award: is neutral mechanical alignment normal for all patients? The concept of constitutional varus. *Clin Orthop Relat Res.* 2012;470(1):45-53. doi:10.1007/s11999-011-1936-5
24. Insall JN, Binazzi R, Soudry M, Mestriner LA. Total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 1985;(192):13-22.
25. Rivière C, Iranpour F, Auvinet E, et al. Mechanical alignment technique for TKA: Are there intrinsic technical limitations? *Orthop Traumatol Surg Res.* 2017;103(7):1057-1067. doi:10.1016/j.otsr.2017.06.017
26. Gu Y, Roth JD, Howell SM, Hull ML. How Frequently Do Four Methods for Mechanically Aligning a Total Knee Arthroplasty Cause Collateral Ligament Imbalance and Change Alignment from Normal in White Patients? AAOS Exhibit Selection. *J Bone Joint Surg Am.* 2014;96(12):e101. doi:10.2106/JBJS.M.00306
27. Howell SM, Howell SJ, Kuznik KT, Cohen J, Hull ML. Does A Kinematically Aligned Total Knee Arthroplasty Restore Function Without Failure Regardless of Alignment Category? *Clin Orthop Relat Res.* 2013;471(3):1000-1007. doi:10.1007/s11999-012-2613-z
28. Magnussen RA, Weppe F, Demey G, Servien E, Lustig S. Residual varus alignment does not compromise results of TKAs in patients with preoperative varus. *Clin Orthop Relat Res.* 2011;469(12):3443-3450. doi:10.1007/s11999-011-1988-6

29. Abdel MP, Ollivier M, Parratte S, Trousdale RT, Berry DJ, Pagnano MW. Effect of Postoperative Mechanical Axis Alignment on Survival and Functional Outcomes of Modern Total Knee Arthroplasties with Cement: A Concise Follow-up at 20 Years. *J Bone Joint Surg Am.* 2018;100(6):472-478. doi:10.2106/JBJS.16.01587
30. Young SW, Sullivan NPT, Walker ML, Holland S, Bayan A, Farrington B. No Difference in 5-year Clinical or Radiographic Outcomes Between Kinematic and Mechanical Alignment in TKA: A Randomized Controlled Trial. *Clin Orthop Relat Res.* 2020;478(6):1271-1279. doi:10.1097/CORR.0000000000001150
31. Rivière C, Iranpour F, Auvinet E, et al. Alignment options for total knee arthroplasty: A systematic review. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2017;103(7):1047-1056. doi:10.1016/j.otsr.2017.07.010
32. Siebert W, Mai S, Kober R, Heeckt PF. Technique and first clinical results of robot-assisted total knee replacement. *Knee.* 2002;9(3):173-180. doi:10.1016/s0968-0160(02)00015-7
33. Bautista M, Manrique J, Hozack WJ. Robotics in Total Knee Arthroplasty. *J Knee Surg.* 2019;32(07):600-606. doi:10.1055/s-0039-1681053
34. Lang JE, Mannava S, Floyd AJ, et al. Robotic systems in orthopaedic surgery. *The Journal of Bone and Joint Surgery British volume.* 2011;93-B(10):1296-1299. doi:10.1302/0301-620X.93B10.27418
35. Batailler C, Hannouche D, Benazzo F, Parratte S. Concepts and techniques of a new robotically assisted technique for total knee arthroplasty: the ROSA knee system. *Arch Orthop Trauma Surg.* Published online July 13, 2021. doi:10.1007/s00402-021-04048-y
36. Galli M, De Santis V, Tafuro L. Reliability of the Ahlbäck classification of knee osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage.* 2003;11(8):580-584. doi:10.1016/s1063-4584(03)00095-5
37. Filleron T, Kwiatowski F. Le score de propension, une alternative crédible à la randomisation ? *Bulletin du Cancer.* 2016;103(1):113-122. doi:10.1016/j.bulcan.2015.10.012
38. Klouche S, Giesinger JM, Sariali E. Traduction et validation transculturelle du score de l'articulation oubliée (Forgotten Joint Score) dans les prothèses totales de hanche. *Revue de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique.* 2018;104(5):466-470. doi:10.1016/j.rcot.2018.05.012
39. Giesinger JM, Behrend H, Hamilton DF, Kuster MS, Giesinger K. Normative Values for the Forgotten Joint Score-12 for the US General Population. *J Arthroplasty.* 2019;34(4):650-655. doi:10.1016/j.arth.2018.12.011
40. Gummaraju A, Maillot C, Baryeh K, Villet L, Rivière C. Le score Oxford Knee et l'EQ-5d prédisent mal la satisfaction du patient après une arthroplastie totale du genou suivant un alignement mécanique : une étude transversale. *Revue de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique.* 2021;107(3):308. doi:10.1016/j.rcot.2021.02.024
41. Debette C, Parratte S, Maucort-Boulch D, et al. French adaptation of the new Knee Society Scoring System for total knee arthroplasty. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research.* 2014;100(5):531-534. doi:10.1016/j.otsr.2014.03.025

42. Seah RB, Yeo SJ, Chin PL, Yew AKS, Chong HC, Lo NN. Evaluation of medial-lateral stability and functional outcome following total knee arthroplasty: results of a single hospital joint registry. *J Arthroplasty*. 2014;29(12):2276-2279. doi:10.1016/j.arth.2014.04.015
43. Robinson JR, Bull AMJ, Amis AA. Structural properties of the medial collateral ligament complex of the human knee. *J Biomech*. 2005;38(5):1067-1074. doi:10.1016/j.jbiomech.2004.05.034
44. Sugita T, Amis AA. Anatomic and biomechanical study of the lateral collateral and popliteofibular ligaments. *Am J Sports Med*. 2001;29(4):466-472. doi:10.1177/03635465010290041501
45. Winemaker MJ. Perfect balance in total knee arthroplasty: The elusive compromise. *The Journal of Arthroplasty*. 2002;17(1):2-10. doi:10.1054/arth.2002.29321
46. Griffin FM, Insall JN, Scuderi GR. Accuracy of soft tissue balancing in total knee arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2000;15(8):970-973. doi:10.1054/arth.2000.6503
47. Fehring TK, Odum S, Griffin WL, Mason JB, Nadaud M. Early failures in total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*. 2001;(392):315-318. doi:10.1097/00003086-200111000-00041
48. Kuster MS, Stachowiak GW. Factors affecting polyethylene wear in total knee arthroplasty. *Orthopedics*. 2002;25(2 Suppl):s235-242.
49. Luo Z, Zhou K, Wang H, Pei F, Zhou Z. Comparison between Mid-Term Results of Total Knee Arthroplasty with Single-Radius versus Multiple-Radii Posterior-Stabilized Prostheses. *J Knee Surg*. Published online July 13, 2020. doi:10.1055/s-0040-1713897
50. Ezechieli M, Dietzek J, Becher C, et al. The influence of a single-radius-design on the knee stability. *Technol Health Care*. 2012;20(6):527-534. doi:10.3233/THC-2012-0698
51. Batailler C, Fernandez A, Swan J, et al. MAKO CT-based robotic arm-assisted system is a reliable procedure for total knee arthroplasty: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. Published online September 25, 2020. doi:10.1007/s00167-020-06283-z
52. Sultan AA, Piuze N, Khlopas A, Chughtai M, Sodhi N, Mont MA. Utilization of robotic-arm assisted total knee arthroplasty for soft tissue protection. *Expert Review of Medical Devices*. 2017;14(12):925-927. doi:10.1080/17434440.2017.1392237
53. Kayani B, Konan S, Pietrzak JRT, Haddad FS. Iatrogenic Bone and Soft Tissue Trauma in Robotic-Arm Assisted Total Knee Arthroplasty Compared With Conventional Jig-Based Total Knee Arthroplasty: A Prospective Cohort Study and Validation of a New Classification System. *The Journal of Arthroplasty*. 2018;33(8):2496-2501. doi:10.1016/j.arth.2018.03.042
54. Khlopas A, Sodhi N, Sultan AA, Chughtai M, Molloy RM, Mont MA. Robotic Arm-Assisted Total Knee Arthroplasty. *The Journal of Arthroplasty*. 2018;33(7):2002-2006. doi:10.1016/j.arth.2018.01.060
55. Onggo JR, Onggo JD, De Steiger R, Hau R. Robotic-assisted total knee arthroplasty is comparable to conventional total knee arthroplasty: a meta-analysis and systematic review. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2020;140(10):1533-1549. doi:10.1007/s00402-020-03512-5

56. Kayani B, Konan S, Tahmassebi J, Pietrzak JRT, Haddad FS. Robotic-arm assisted total knee arthroplasty is associated with improved early functional recovery and reduced time to hospital discharge compared with conventional jig-based total knee arthroplasty: a prospective cohort study. *Bone Joint J.* 2018;100-B(7):930-937. doi:10.1302/0301-620X.100B7.BJJ-2017-1449.R1
57. Hommel H, Abdel MP, Perka C. Kinematic femoral alignment with gap balancing and patient-specific instrumentation in total knee arthroplasty: a randomized clinical trial. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2017;27(5):683-688. doi:10.1007/s00590-016-1865-9
58. Dennis DA, Komistek RD, Kim RH, Sharma A. Gap Balancing versus Measured Resection Technique for Total Knee Arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 2010;468(1):102-107. doi:10.1007/s11999-009-1112-3
59. Blakeney W, Beaulieu Y, Kiss M-O, Rivière C, Vendittoli P-A. Less gap imbalance with restricted kinematic alignment than with mechanically aligned total knee arthroplasty: simulations on 3-D bone models created from CT-scans. *Acta Orthop.* 2019;90(6):602-609. doi:10.1080/17453674.2019.1675126
60. Gao Z, Long N, Zhang S, Yu W, Dai Y, Xiao C. Comparison of Kinematic Alignment and Mechanical Alignment in Total Knee Arthroplasty: A Meta-analysis of Randomized Controlled Clinical Trials. *Orthop Surg.* 2020;12(6):1567-1578. doi:10.1111/os.12826
61. Malavolta M, Compagnoni R, Mezzari S, Calanna F, Pastrone A, Randelli P. Good clinical results using a modified kinematic alignment technique with a cruciate sacrificing medially stabilised total knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* Published online August 3, 2020. doi:10.1007/s00167-020-06196-x
62. Scott CEH, Bell KR, Ng RT, MacDonald DJ, Patton JT, Burnett R. Excellent 10-year patient-reported outcomes and survival in a single-radius, cruciate-retaining total knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2019;27(4):1106-1115. doi:10.1007/s00167-018-5179-9
63. Watanabe T, Muneta T, Sekiya I, Banks SA. Intraoperative joint gaps and mediolateral balance affect postoperative knee kinematics in posterior-stabilized total knee arthroplasty. *Knee.* 2015;22(6):527-534. doi:10.1016/j.knee.2015.03.006
64. Pozzi F, Snyder-Mackler L, Zeni J. Physical exercise after knee arthroplasty: a systematic review of controlled trials. *Eur J Phys Rehabil Med.* 2013;49(6):877-892.
65. Lustig S, Batailler C, Servien E. Résultats à long terme des prothèses du genou. *Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine.* 2018;202(5-6):1071-1085. doi:10.1016/S0001-4079(19)30274-2
66. Giesinger K, Hamilton DF, Jost B, Holzner B, Giesinger JM. Comparative responsiveness of outcome measures for total knee arthroplasty. *Osteoarthritis Cartilage.* 2014;22(2):184-189. doi:10.1016/j.joca.2013.11.001
67. Shelton TJ, Gill M, Athwal G, Howell SM, Hull ML. Outcomes in Patients with a Calipered Kinematically Aligned TKA That Already Had a Contralateral Mechanically Aligned TKA. *J Knee Surg.* 2021;34(1):87-93. doi:10.1055/s-0039-1693000
68. Takahashi T, Ansari J, Pandit HG. Kinematically Aligned Total Knee Arthroplasty or Mechanically Aligned Total Knee Arthroplasty. *J Knee Surg.* 2018;31(10):999-1006. doi:10.1055/s-0038-1632378

69. Courtney PM, Lee G-C. Early Outcomes of Kinematic Alignment in Primary Total Knee Arthroplasty: A Meta-Analysis of the Literature. *J Arthroplasty*. 2017;32(6):2028-2032.e1. doi:10.1016/j.arth.2017.02.041
70. Luo Z, Zhou K, Peng L, Shang Q, Pei F, Zhou Z. Similar results with kinematic and mechanical alignment applied in total knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2020;28(6):1720-1735. doi:10.1007/s00167-019-05584-2
71. Young SW, Walker ML, Bayan A, Briant-Evans T, Pavlou P, Farrington B, The Chitranjan S. Ranawat Award : No Difference in 2-year Functional Outcomes Using Kinematic versus Mechanical Alignment in TKA: A Randomized Controlled Clinical Trial. *Clin Orthop Relat Res*. 2017;475(1):9-20. doi:10.1007/s11999-016-4844-x
72. Calliess T, Bauer K, Stukenborg-Colsman C, Windhagen H, Budde S, Ettinger M. PSI kinematic versus non-PSI mechanical alignment in total knee arthroplasty: a prospective, randomized study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2017;25(6):1743-1748. doi:10.1007/s00167-016-4136-8
73. Yeo J-H, Seon J-K, Lee D-H, Song E-K. No difference in outcomes and gait analysis between mechanical and kinematic knee alignment methods using robotic total knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2019;27(4):1142-1147. doi:10.1007/s00167-018-5133-x
74. McEwen PJ, Dlaska CE, Jovanovic IA, Doma K, Brandon BJ. Computer-Assisted Kinematic and Mechanical Axis Total Knee Arthroplasty: A Prospective Randomized Controlled Trial of Bilateral Simultaneous Surgery. *J Arthroplasty*. 2020;35(2):443-450. doi:10.1016/j.arth.2019.08.064
75. Yoon J-R, Han S-B, Jee M-K, Shin Y-S. Comparison of kinematic and mechanical alignment techniques in primary total knee arthroplasty. *Medicine (Baltimore)*. 2017;96(39):e8157. doi:10.1097/MD.00000000000008157
76. Li Y, Wang S, Wang Y, Yang M. Does Kinematic Alignment Improve Short-Term Functional Outcomes after Total Knee Arthroplasty Compared with Mechanical Alignment? A Systematic Review and Meta-analysis. *J Knee Surg*. 2018;31(1):78-86. doi:10.1055/s-0037-1602136
77. Howell SM, Papadopoulos S, Kuznik K, Ghaly LR, Hull ML. Does varus alignment adversely affect implant survival and function six years after kinematically aligned total knee arthroplasty? *International Orthopaedics (SICOT)*. 2015;39(11):2117-2124. doi:10.1007/s00264-015-2743-5
78. Kim HJ, Yoon J-R, Choi GW, Yang J-H. Imageless Navigation Versus Conventional Open Wedge High Tibial Osteotomy: A Meta-Analysis of Comparative Studies. *Knee Surg Relat Res*. 2016;28(1):16-26. doi:10.5792/ksrr.2016.28.1.16
79. Lee HW, Song SJ, Bae DK, Park CH. The influence of computer-assisted surgery experience on the accuracy and precision of the postoperative mechanical axis during computer-assisted lateral closing-wedge high tibial osteotomy. *Knee Surg Relat Res*. 2019;31(1):15. doi:10.1186/s43019-019-0023-1
80. Lonner JH, Laird MT, Stuchin SA. Effect of rotation and knee flexion on radiographic alignment in total knee arthroplasties. *Clin Orthop Relat Res*. 1996;(331):102-106. doi:10.1097/00003086-199610000-00014
81. Ilahi OA, Kadakia NR, Huo MH. Inter- and intraobserver variability of radiographic measurements of knee alignment. *Am J Knee Surg*. 2001;14(4):238-242.

82. Rubenfeld GD, Caldwell E, Granton J, Hudson LD, Matthay MA. Interobserver variability in applying a radiographic definition for ARDS. *Chest*. 1999;116(5):1347-1353. doi:10.1378/chest.116.5.1347
83. Agarwal N, To K, McDonnell S, Khan W. Clinical and Radiological Outcomes in Robotic-Assisted Total Knee Arthroplasty: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Arthroplasty*. Published online March 11, 2020. doi:10.1016/j.arth.2020.03.005
84. Jeon S-W, Kim K-I, Song SJ. Robot-Assisted Total Knee Arthroplasty Does Not Improve Long-Term Clinical and Radiologic Outcomes. *J Arthroplasty*. 2019;34(8):1656-1661. doi:10.1016/j.arth.2019.04.007
85. Hutt JRB, LeBlanc M-A, Massé V, Lavigne M, Vendittoli P-A. Kinematic TKA using navigation: Surgical technique and initial results. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2016;102(1):99-104. doi:10.1016/j.otsr.2015.11.010
86. Lustig S, Sappey-Marinié E, Fary C, Servien E, Parratte S, Batailler C. Personalized alignment in total knee arthroplasty: current concepts. *SICOT J*. 2021;7:19. doi:10.1051/sicotj/2021021
87. Huber K, Christen B, Calliess S, Calliess T. True Kinematic Alignment Is Applicable in 44% of Patients Applying Restrictive Indication Criteria-A Retrospective Analysis of 111 TKA Using Robotic Assistance. *J Pers Med*. 2021;11(7):662. doi:10.3390/jpm11070662
88. Kim Y-H, Yoon S-H, Park J-W. Does Robotic-assisted TKA Result in Better Outcome Scores or Long-Term Survivorship Than Conventional TKA? A Randomized, Controlled Trial. *Clin Orthop Relat Res*. 2020;478(2):266-275. doi:10.1097/CORR.0000000000000916
89. Pua Y-H, Poon CL-L, Seah FJ-T, et al. Predicting individual knee range of motion, knee pain, and walking limitation outcomes following total knee arthroplasty. *Acta Orthop*. 2019;90(2):179-186. doi:10.1080/17453674.2018.1560647
90. Barrois B, Ribinik P, Gougeon F, Rannou F, Revel M. What is the role of the physical medicine and rehabilitation unit after total knee arthroplasty? Clinical practice recommendations. *Ann Readapt Med Phys*. 2007;50(9):729-733, 724-728. doi:10.1016/j.annrmp.2007.08.005
91. Deckey DG, Rosenow CS, Verhey JT, et al. Robotic-assisted total knee arthroplasty improves accuracy and precision compared to conventional techniques. *Bone Joint J*. 2021;103-B(6 Supple A):74-80. doi:10.1302/0301-620X.103B6.BJJ-2020-2003.R1
92. Mancino F, Cacciola G, Malahias M-A, et al. What are the benefits of robotic-assisted total knee arthroplasty over conventional manual total knee arthroplasty? A systematic review of comparative studies. *Orthop Rev (Pavia)*. 2020;12(Suppl 1):8657. doi:10.4081/or.2020.8657
93. Sires JD, Craik JD, Wilson CJ. Accuracy of Bone Resection in MAKO Total Knee Robotic-Assisted Surgery. *J Knee Surg*. 2021;34(7):745-748. doi:10.1055/s-0039-1700570

Annexes



FICHE PATIENT PTG ROBOT MAKO

Etiquette patient

NOM :

PRENOM :

DATE DE NAISSANCE :

AGE :

DATE DE CONSULTATION:

Post opératoire : Genou

QUESTIONNAIRE FJS

Merci de compléter ce questionnaire en cochant la réponse adaptée

1) Avez-vous conscience de votre genou opéré?

Dans votre lit la nuit ?

Jamais presque jamais rarement parfois souvent

Lorsque vous restez assis sur une chaise pendant plus d'une heure ?

Jamais presque jamais rarement parfois souvent

Lorsque vous marchez plus de 15 minutes ?

Jamais presque jamais rarement parfois souvent

Lorsque vous prenez un bain ou une douche ?

Jamais presque jamais rarement parfois souvent

Lorsque vous voyagez en voiture ?

Jamais presque jamais rarement parfois souvent

Lorsque vous montez les marches d'un escalier ?

Jamais presque jamais rarement parfois souvent

Lorsque vous marchez sur un sol inégal ?

Jamais presque jamais rarement parfois souvent

Lorsque vous vous relevez d'une position assise basse ?

Jamais presque jamais rarement parfois souvent

Lorsque vous restez longtemps debout ?

Jamais presque jamais rarement parfois souvent

Lorsque vous faites des travaux ménagers ou du jardinage ?

Jamais presque jamais rarement parfois souvent

Lorsque vous faites de la marche ou bien de la randonnée ?

Jamais presque jamais rarement parfois souvent

Lorsque vous pratiquez votre sport favori ?

Jamais presque jamais rarement parfois souvent

2) Comment décririez-vous votre douleur et gêne au niveau de votre genou opéré ?

Score OKS

Comment décririez-vous la douleur ressentie ?

Aucune Minimale Légère Modérée
Sévère

Avez-vous des difficultés pour vous laver et sécher le corps par vous-même (des pieds à la tête) à cause de votre genou ?

Aucune difficulté - Difficultés minimales - Difficultés modérées -
Difficultés sévères - Impossible à réaliser

Avez-vous des difficultés à cause de votre genou pour entrer ou sortir d'un véhicule ou pour utiliser les transports en commun ?

Aucune difficulté - Difficultés minimales - Difficultés modérées - Difficultés sévères -
Impossible à réaliser

Combien de temps pouvez-vous marcher (sans vous arrêter) avant que la douleur dans votre genou ne devienne trop importante ?

Pas de douleur après 30 min - 16 à 30 min - 5 à 15 min - aux abords du domicile -
Pas du tout

Après être resté(e) assis(e), à quel degré évaluez-vous votre douleur lorsque vous vous levez, à cause de votre genou ?

Pas douloureux du tout - Légèrement douloureux - Modérément douloureux -
Très douloureux - Insupportable

Boitez-vous à la marche à cause de votre genou ?

Rarement/jamais - quelquefois - souvent - la plupart du temps - Tout le temps

Êtes-vous capable de mettre seul(e) vos bas, collants ou chaussettes ?

Oui facilement - Difficultés légères - Difficultés modérées - Difficultés sévères - Non impossible

Avez-vous déjà souffert de douleurs nocturnes causées par votre genou ?

Jamais - 1 ou 2 fois - Quelques nuits - la plupart des nuits - Toutes les nuits

La douleur de votre genou est-elle gênante dans votre travail ou vos activités habituelles (tâches ménagères comprises) ?

Pas du tout - Un peu - modérément - Fortement - Tout le temps

Avez-vous déjà eu l'impression que votre genou pouvait vous lâcher ou vous faire tomber ?

Rarement ou jamais - Parfois - Souvent - La plupart du temps - Tout le temps

Pouvez-vous faire tout(e) seul(e) des courses pour la maison ?

Oui facilement - Difficultés légères - Difficultés modérées - Difficultés sévères - Non impossible

Êtes-vous capable de monter un étage en utilisant les escaliers ?

Oui facilement - Difficultés légères - Difficultés modérées - Difficultés sévères - Non impossible

***De quelle manière se fait votre montée et descente des escaliers ?**

Normale descente uniquement avec la rampe montée et descente avec la rampe
montée avec rampe et incapable de descendre impossible

Pouvez-vous faire du sport ?

OUI NON

Si oui : Peu intense actif intense occasionnel intense régulier

Quels sports pratiquez-vous ?

.....

Combien d'heures par semaine ?

.....

Est-il possible pour vous de vous mettre à genoux ?

Oui Non

Pouvez-vous choisir entre vos 2 genoux, celui que vous préférez ?

Genoux Droit Genoux Gauche Aucun

Pourquoi ?

.....

! NE PAS REMPLIR – PARTIE MEDICALE !

Post-opératoire

FICHE GENOU – KSS /OKS

- Signes fonctionnels : douleur blocage lâchage épanchement
- => **Douleur** :
- Aucune (50)/ Légère occasionnelle (45)/ Légère dans les escaliers uniquement (40)/ Légère pendant la marche et dans les escaliers (30)/ Modérée occasionnelle (20)/ Modérée en continu (10)/ Sévère(0)
- Genou controlatéral :
- Rééducation : absence Kiné à domicile Centre de rééducation

EXAMEN CLINIQUE :

- Poids / Taille
- Marche : boiterie d'esquive
- Palpation : FTI, FTE, FP
- Mobilités : Droit : / /
- Gauche : / /
- Flessum :
- Lâchage : journalier /hebdomadaire /mensuel ; Fréquence :.....
- VALGUS /VARUS
- VALFE :...../...../..... / VRI :...../...../.....
- VALFE (90°) :...../...../..... / VRI 90° :...../...../.....
- TA/ TP
- Force musculaire : quadriceps...../5 ischio-jambier :...../5
- Périmètre de cuisse droite :..... – Gauche :.....
- Différence de périmètre cuisse :.....
- Marche :
 - Illimité / > 1000m / 500-1000m / <500 / domicile uniquement / impossible
- Aide à la marche
 - Aucun /une canne / 2 cannes / béquilles ou déambulateur
- Combien de temps depuis l'opération avez-vous lâchez vos cannes ?
.....

SERMENT

- *En présence des Maîtres de cette école, de mes chers condisciples et devant l'effigie d'Hippocrate, je promets et je jure, au nom de l'Être suprême, d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la médecine.*
- *Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail.*
- *Admis (e) dans l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe, ma langue taira les secrets qui me seront confiés, et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs, ni à favoriser le crime.*
- *Respectueux (se) et reconnaissant (e) envers mes Maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.*
- *Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses. Que je sois couvert (e) d'opprobre et méprisé (e) de mes confrères si j'y manque.*

Introduction : L'équilibrage ligamentaire est important pour le résultat fonctionnel d'une prothèse totale de genou. L'alignement mécanique est le plus utilisé. Grâce à l'avancée de la technologie et une meilleure compréhension de la biomécanique du genou et des parties molles, de nouvelles techniques d'alignements ont émergé. L'objectif principal était l'évaluation d'une technique d'alignement spécifique avec équilibrage ligamentaire par l'appréciation des écarts maximaux. L'objectif secondaire était l'analyse comparative entre deux techniques d'alignements robotisées: une systématique osseuse (alignement mécanique ajustée) et une spécifique ligamentaire (alignement par les écarts maximaux).

Matériel et Méthodes : Une série prospective de 70 patients avec une technique d'alignement spécifique ligamentaire (ASL) était constituée. Elle permettait d'évaluer l'alignement et la stabilité ligamentaire par la mesure des écarts maximaux résiduels dans la concavité et la convexité en flexion/extension. Une série comparative rétrospective type cas-témoin a permis de comparer la technique ASL à une technique d'alignement systématique osseuse (ASO). Les 2 séries étaient appariées. Les procédures chirurgicales étaient réalisées à l'aide du bras robotisé haptique MAKO®.

Résultats: La cohorte prospective retrouvait des écarts maximaux similaires dans la concavité et dans la convexité. Une corrélation entre les espaces exprimés en distance (millimètre) et en angulation (degré) avait été retrouvée en extension ($p < 0.001$) ainsi qu'en flexion ($p < 0.001$). La déformation résiduelle post opératoire moyenne était de 2.4° en mesure MAKO® contre 0.51° sur les télémétries. Les résultats fonctionnels dans la série comparative n'ont pas montré de différences significatives entre les groupes. Il existait autant de complications dans les 2 groupes. Il existait moins d'alignements contrariés post opératoires dans la série prospective ($p < 0.001$). L'épaisseur des coupes osseuses était moindre dans la convexité pour le groupe ASL.

Conclusion : La technique d'alignement spécifique ligamentaire, via l'usage du MAKO®, permet de resituer une tension ligamentaire satisfaisante tout en maintenant une déformation résiduelle raisonnable. Cette technique spécifique permet de réaliser une arthroplastie du genou en respectant au mieux l'enveloppe capsulo-ligamentaire dans son intégrité et sa déformation initiale.

Mots clés : PTG, équilibre ligamentaire, alignement systématique, alignement spécifique, robotique