



كلية الطب
والصيدلة - مراكش
FACULTÉ DE MÉDECINE
ET DE PHARMACIE - MARRAKECH

Année 2022

Thèse N° 299

L'Analyse quantifiée de la marche après ligamentoplastie du LCA du genou

THÈSE

PRÉSENTÉE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE 02/11/2022

PAR

Mr. **BENHAJJOU Ayman**

Né le 02 janvier 1996 à Rabat

POUR L'OBTENTION DU DOCTORAT EN MÉDECINE

MOTS-CLÉS :

Analyse - Cinématique - Cinétique - Marche - Genou -LCA -
Ligamentoplastie

JURY

M. **Y. NAJEB**

Professeur de Traumato-orthopédie

PRESIDENT

M. **I. ABKARI**

Professeur de Traumato -orthopédie

M. **Y. ABDELFETTAH**

Professeur agrégé de Rééducation et Réhabilitation
Fonctionnelle

RAPPORTEURS

M. **M.A. BENHIMA**

Professeur de Traumato-orthopédie

Mme. **H. ELHAOURY**

Professeur de Traumato-orthopédie

JURY

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ





Serment d'Hippocrate

*Au moment d'être admis à devenir membre de la profession médicale, je m'engage solennellement
à consacrer ma vie au service de l'humanité.*

Je traiterai mes maîtres avec le respect et la reconnaissance qui leur sont dus.

Je pratiquerai ma profession avec conscience et dignité.

La santé de mes malades sera mon Premier but.

Je ne trahirai pas les secrets qui me seront confiés.

*Je maintiendrai par tous les moyens en mon pouvoir l'honneur et les nobles traditions de la
Profession médicale.*

Les médecins seront mes frères.

*Aucune considération de religion, de nationalité, de race, aucune considération politique et
Sociale, ne s'interposera entre mon devoir et mon patient.*

Je maintiendrai strictement le respect de la vie humaine dès sa conception.

*Même sous la menace, je n'userai pas mes connaissances médicales d'une façon contraire
Aux lois de l'humanité.*

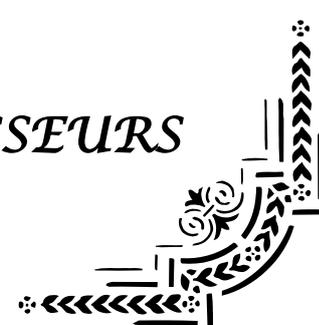
Je m'y engage librement et sur mon honneur.

Déclaration Genève, 1948





LISTE DES PROFESSEURS



UNIVERSITE CADI AYYAD

**FACULTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE
MARRAKECH**

Doyens Honoraires

: Pr. Badie Azzaman MEHADJI
: Pr. Abdelhaq ALAOUI YAZIDI

ADMINISTRARATION

Doyen

: Pr Mohammed BOUSKRAOUI

Vice doyen à la Recherche et la coopération

: Pr. Mohamed AMINE

Vice doyen aux affaires pédagogiques

: Pr. Redouane EL FEZZAZI

Vice doyen chargé de la Pharmacie

: Pr. Said ZOUHAIR

Secrétaire Général

: Mr. Azzeddine EL HOUDAIGUI

Professeurs de l'enseignement supérieur

Nom et Prénom	Spécialité	Nom et Prénom	Spécialité
ABKARI Imad	Traumato-orthopédie	ELOMRANI Abdelhamid	Radiothérapie
ABOUCHADI Abdeljalil	Stomatologie et chirurgie maxillo faciale	ESSAADOUNI Lamiaa	Médecine interne
ABOU EL HASSAN Taoufik	Anésthésie-réanimation	FADILI Wafaa	Néphrologie
ABOULFALAH Abderrahim	Gynécologie-obstétrique	FAKHIR Bouchra	Gynécologie- obstétrique
ABOUSSAIR Nisrine	Génétique	FAKHRI Anass	Histologie-embryologie cytogénétique
ADALI Imane	Psychiatrie	FOURAJI Karima	Chirurgie pédiatrique
ADMOU Brahim	Immunologie	GHANNANE Houssine	Neurochirurgie
AGHOUTANE El Mouhtadi	Chirurgie pédiatrique	GHOUNDALE Omar	Urologie
AISSAOUI Younes	Anésthésie-réanimation	HACHIMI Abdelhamid	Réanimation médicale
AIT AMEUR Mustapha	Hématologie	HAJJI Ibtissam	Ophtalmologie
AIT BENALI Said	Neurochirurgie	HAROU Karam	Gynécologie- obstétrique
AIT BENKADDOUR Yassir	Gynécologie-obstétrique	HOCAR Ouafa	Dermatologie
AIT SAB Imane	Pédiatrie	JALAL Hicham	Radiologie
ALJ Soumaya	Radiologie	KAMILI El Ouafi El Aouni	Chirurgie pédiatrique
AMAL Said	Dermatologie	KHALLOUKI Mohammed	Anésthésie- réanimation
AMINE Mohamed	Epidemiologie clinique	KHATOURI Ali	Cardiologie
AMMAR Haddou	Oto-rhino-laryngologie	KHOUCHANI Mouna	Radiothérapie
AMRO Lamyae	Pneumo-phtisiologie	KISSANI Najib	Neurologie
ANIBA Khalid	Neurochirurgie	KRATI Khadija	Gastro-entérologie
ARSALANE Lamiaa	Microbiologie-virologie	KRIET Mohamed	Ophtalmologie
ASMOUKI Hamid	Gynécologie-obstétrique	LAGHMARI Mehdi	Neurochirurgie
ATMANE El Mehdi	Radiologie	LAKMICH Mohamed Amine	Urologie
BAIZRI Hicham	Endocrinologie et	LAKOUICHMI	Stomatologie et

	maladies métaboliques	Mohammed	chirurgie maxillo faciale
BASRAOUI Dounia	Radiologie	LAOUAD Inass	Néphrologie
BASSIR Ahlam	Gynécologie-obstétrique	LOUHAB Nissrine	Neurologie
BELBARAKA Rhizlane	Oncologie médicale	LOUZI Abdelouahed	Chirurgie générale
BELKHOUS Ahlam	Rhumatologie	MADHAR Si Mohamed	Traumato-orthopédie
BENALI Abdeslam	Psychiatrie	MANOUDI Fatiha	Psychiatrie
BENCHAMKHA Yassine	Chirurgie réparatrice et plastique	MANSOURI Nadia	Stomatologie et chirurgie maxillo faciale
BEN DRISS Laila	Cardiologie	MAOULAININE Fadl mrabih rabou	Pédiatrie
BENELKHAÏAT BENOMAR Ridouan	Chirurgie générale	MATRANE Aboubakr	Médecine nucléaire
BENHIMA Mohamed Amine	Traumato-orthopédie	MOUAFFAK Youssef	Anesthésie- réanimation
BENJELLOUN HARZIMI Amine	Pneumo-phtisiologie	MOUDOUNI Said Mohammed	Urologie
BENJILALI Laila	Médecine interne	MOUFID Kamal	Urologie
BENZAROUËL Dounia	Cardiologie	MOUTAJ Redouane	Parasitologie
BOUCHENTOUF Rachid	Pneumo-phtisiologie	MOUTAOUAKIL Abdeljalil	Ophtalmologie
BOUKHANNI Lahcen	Gynécologie-obstétrique	MSOUGAR Yassine	Chirurgie thoracique
BOUKHIRA Abderrahman	Biochimie-chimie	NAJEB Youssef	Traumato-orthopédie
BOUMZEBRA Drissi	Chirurgie Cardio-vasculaire	NARJIS Youssef	Chirurgie générale
BOURRAHOUEAT Aicha	Pédiatrie	NEJMI Hicham	Anesthésie- réanimation
BOURROUS Monir	Pédiatrie	NIAMANE Radouane	Rhumatologie
BOUSKRAOUI Mohammed	Pédiatrie	OUALI IDRISSE Mariem	Radiologie
BSISS Mohammed Aziz	Biophysique	OUBAHA Sofia	Physiologie
CHAFIK Rachid	Traumato-orthopédie	OULAD SAIAD Mohamed	Chirurgie pédiatrique
CHAKOUR Mohammed	Hématologie	QACIF Hassan	Médecine interne
CHELLAK Laila	Biochimie-chimie	QAMOUISS Youssef	Anesthésie- réanimation
CHERIF IDRISSE EL GANOUNI Najat	Radiologie	RABBANI Khalid	Chirurgie générale
CHOULLI Mohamed Khaled	Neuro pharmacologie	RADA Noureddine	Pédiatrie
DAHAMI Zakaria	Urologie	RAIS Hanane	Anatomie pathologique
DAROUASSI Youssef	Oto-rhino-laryngologie	RAJI Abdelaziz	Oto-rhino- laryngologie
DRAISS Ghizlane	Pédiatrie	ROCHDI Youssef	Oto-rhino- laryngologie
EL ADIB Ahmed	Anesthésie-réanimation	SAMKAOUI Mohamed	Anesthésie- réanimation

Rhassane		Abdenasser	
ELAMRANI Moulay Driss	Anatomie	SAMLANI Zouhour	Gastro-entérologie
EL ANSARI Nawal	Endocrinologie et maladies métaboliques	SARF Ismail	Urologie
EL BARNI Rachid	Chirurgie générale	SORAA Nabila	Microbiologie- virologie
EL BOUCHTI Imane	Rhumatologie	SOUMMANI Abderraouf	Gynécologie- obstétrique
EL BOUIHI Mohamed	Stomatologie et chirurgie maxillo faciale	TASSI Noura	Maladies infectieuses
EL FEZZAZI Redouane	Chirurgie pédiatrique	TAZI Mohamed Illias	Hématologie clinique
ELFIKRI Abdelghani	Radiologie	YOUNOUS Said	Anesthésie- réanimation
EL HAOURY Hanane	Traumato-orthopédie	ZAHLANE Kawtar	Microbiologie- virologie
EL HATTAOUI Mustapha	Cardiologie	ZAHLANE Mouna	Médecine interne
EL HOUDZI Jamila	Pédiatrie	ZAOUI Sanaa	Pharmacologie
EL IDRISSE SLITINE Nadia	Pédiatrie	ZEMRAOUI Nadir	Néphrologie
EL KARIMI Saloua	Cardiologie	ZIADI Amra	Anesthésie- réanimation
EL KHADER Ahmed	Chirurgie générale	ZOUHAIR Said	Microbiologie
EL KHAYARI Mina	Réanimation médicale	ZYANI Mohammad	Médecine interne
EL MGHARI TABIB Ghizlane	Endocrinologie et maladies métaboliques		

Professeurs Agrégés

Nom et Prénom	Spécialité	Nom et Prénom	Spécialité
ABDOU Abdessamad	Chirurgie Cardio-vasculaire	HAZMIRI Fatima Ezzahra	Histologie-embryologie-cytogénétique
ABIR Badreddine	Stomatologie et chirurgie maxillo faciale	JANAH Hicham	Pneumo-phtisiologie
ADARMOUCH Latifa	Médecine communautaire (médecine préventive, santé publique et hygiène)	KADDOURI Said	Médecine interne
AIT BATAHAR Salma	Pneumo-phtisiologie	LAFFINTI Mahmoud Amine	Psychiatrie
ALAOUI Hassan	Anesthésie-réanimation	LAHKIM Mohammed	Chirurgie générale
ALJALIL Abdelfattah	Oto-rhino-laryngologie	MARGAD Omar	Traumato-orthopédie
ARABI Hafid	Médecine physique et réadaptation fonctionnelle	MESSAOUDI Redouane	Ophtalmologie
ARSALANE Adil	Chirurgie thoracique	MLIHA TOUATI Mohammed	Oto-rhino-laryngologie
ASSERRAJI Mohammed	Néphrologie	MOUHSINE Abdelilah	Radiologie
BELBACHIR Anass	Anatomie pathologique	NADER Youssef	Traumato-orthopédie

BELHADJ Ayoub	Anesthésie-réanimation	NASSIM SABAH Taoufik	Chirurgie réparatrice et plastique
BOUZERDA Abdelmajid	Cardiologie	RHARRASSI Issam	Anatomie pathologique
CHRAA Mohamed	Physiologie	SALAMA Tarik	Chirurgie pédiatrique
EL HAOUATI Rachid	Chirurgie Cardio- vasculaire	SEDDIKI Rachid	Anesthésie-réanimation
EL KAMOUNI Youssef	Microbiologie-virologie	SERGHINI Issam	Anesthésie-réanimation
EL MEZOUARI El Mostafa	Parasitologie-mycologie	TOURABI Khalid	Chirurgie réparatrice et plastique
ESSADI Ismail	Oncologie médicale	ZARROUKI Youssef	Anesthésie-réanimation
GHAZI Mirieme	Rhumatologie	ZIDANE Moulay Abdelfettah	Chirurgie thoracique
HAMMOUNE Nabil	Radiologie		

Professeurs Assistants

Nom et Prénom	Spécialité	Nom et Prénom	Spécialité
AABBASSI Bouchra	Psychiatrie	EL JADI Hamza	Endocrinologie et maladies métaboliques
ABALLA Najoua	Chirurgie pédiatrique	EL-QADIRY Rabiyy	Pédiatrie
ABDELFETTAH Youness	Rééducation et réhabilitation fonctionnelle	FASSI Fihri Mohamed jawad	Chirurgie générale
ABOUDOURIB Maryem	Dermatologie	FDIL Naima	Chimie de coordination bio- organique
ABOULMAKARIM Siham	Biochimie	FENANE Hicham	Chirurgie thoracique
ACHKOUN Abdessalam	Anatomie	GEBRATI Lhoucine	Chimie physique
AHBALA Tariq	Chirurgie générale	HAJHOUI Farouk	Neurochirurgie
AIT ERRAMI Adil	Gastro-entérologie	HAJJI Fouad	Urologie
AKKA Rachid	Gastro-entérologie	HAMRI Asma	Chirurgie Générale
AMINE Abdellah	Cardiologie	HAZIME Raja	Immunologie
ARROB Adil	Chirurgie réparatrice et plastique	IDALENE Malika	Maladies infectieuses
AZAMI Mohamed Amine	Anatomie pathologique	KHALLIKANE Said	Anesthésie-réanimation
AZIZ Zakaria	Stomatologie et chirurgie maxillo faciale	LACHHAB Zineb	Pharmacognosie
AZIZI Mounia	Néphrologie	LAHLIMI Fatima Ezzahra	Hématologie clinique
BAALLAL Hassan	Neurochirurgie	LAHMINI Widad	Pédiatrie
BABA Hicham	Chirurgie générale	LAMRANI HANCHI Asmae	Microbiologie- virologie
BELARBI Marouane	Néphrologie	LOQMAN Souad	Microbiologie et toxicologie environnementale
BELFQUIH Hatim	Neurochirurgie	JALLAL Hamid	Cardiologie
BELGHMAIDI Sarah	Ophtalmologie	MAOUJOURD Omar	Néphrologie

BELLASRI Salah	Radiologie	MEFTAH Azzelarab	Endocrinologie et maladies métaboliques
BENAMEUR Yassir	Médecine nucléaire	MILOUDI Mouhcine	Microbiologie-virologie
BENANTAR Lamia	Neurochirurgie	MOUGUI Ahmed	Rhumatologie
BENCHAFAI Ilias	Oto- rhino- laryngologie	MOULINE Souhail	Microbiologie-virologie
BENNAOUI Fatiha	Pédiatrie	NASSIH Houda	Pédiatrie
BENYASS Youssef	Traumatologie-orthopédie	OUERIAGLI NABIH Fadoua	Psychiatrie
BENZALIM Meriam	Radiologie	OUMERZOUK Jawad	Neurologie
BOUHAMIDI Ahmed	Dermatologie	RAGGABI Amine	Neurologie
BOUTAKIOUTE Badr	Radiologie	RAISSI Abderrahim	Hématologie clinique
CHAHBI Zakaria	Maladies infectieuses	REBAHI Houssam	Anesthésie-réanimation
CHEGGOUR Mouna	Biochimie	RHEZALI Manal	Anesthésie-réanimation
CHETOUI Abdelkhalek	Cardiologie	ROUKHSI Redouane	Radiologie
CHETTATI Mariam	Néphrologie	SAHRAOUI Houssam Eddine	Anesthésie-réanimation
DAMI Abdallah	Médecine légale	SALLAHI Hicham	Traumatologie- orthopédie
DARFAOUI Mouna	Radiothérapie	SAYAGH Sanae	Hématologie
DOUIREK Fouzia	Anesthésie réanimation	SBAAI Mohammed	Parasitologie-mycologie
DOULHOUSNE Hassan	Radiologie	SBAI Asma	Informatique
EL-AKHIRI Mohammed	Oto- rhino- laryngologie	SEBBANI Majda	Médecine Communautaire (Médecine préventive, santé publique et hygiène)
EL AMIRI Moulay Ahmed	Chimie de coordination bio-organique	SIRBOU Rachid	Médecine d'urgence et de catastrophe
ELATIQI Oumkeltoum	Chirurgie réparatrice et plastique	SLIOUI Badr	Radiologie
ELBAZ Meriem	Pédiatrie	WARDA Karima	Microbiologie
EL FADLI Mohammed	Oncologie médicale	YAHYAOUI Hicham	Hématologie
EL FAKIRI Karima	Pédiatrie	YANISSE Siham	Pharmacie galénique
EL GAMRANI Younes	Gastro-entérologie	ZBITOU Mohamed Anas	Cardiologie
EL HAKKOUNI Awatif	Parasitologie-mycologie	ZIRAOUI Oualid	Chimie thérapeutique
ELJAMILI Mohammed	Cardiologie	ZOUIA Btissam	Radiologie
EL KHASSOUI Amine	Chirurgie pédiatrique	ZOUIZRA Zahira	Chirurgie Cardio- vasculaire
ELOUARDI Youssef	Anesthésie-réanimation		

Liste Arrêtée Le 03/03/2022



DÉDICACES



Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut...

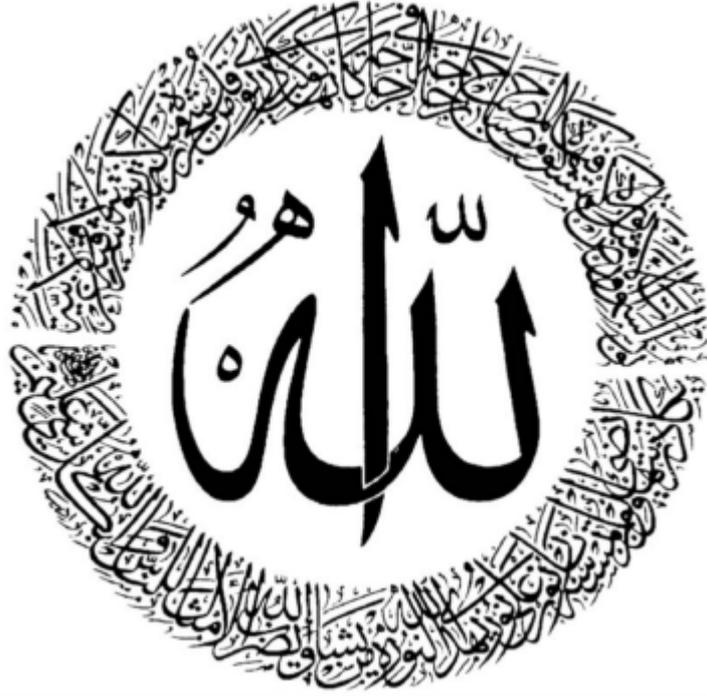
Tous les mots ne sauraient exprimer ma gratitude,

Mon amour, mon respect, et ma reconnaissance...

Aussi, c'est tout simplement que...



Je dédie cette thèse à ...

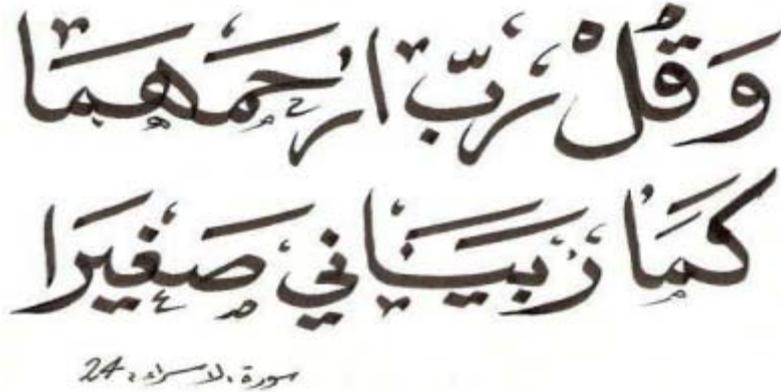


Le Tout puissant, Clément et Miséricordieux de m'avoir donné la santé, le courage et la force nécessaire de mener à bout ce travail. J'implore Dieu afin qu'il me guide sur le droit chemin tout en m'accordant son aide, du recours et de l'assistance.

"الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي بِرِغْمَتِهِ تَتِمُّ الصَّالِحَاتُ"

A MES CHÈRES PARENTS

A ceux qui m'ont donné la vie, A ceux qui m'ont toujours tout donné sans jamais rien compter, Les mots se font pauvres et impuissants pour vous exprimer ce que je ressens en écrivant ces quelques lignes.



À MON TRÈS CHER PÈRE MOHAMED BENHAIJOU :

*Tu es pour moi l'homme idéal, l'exemple que j'admire, pour toutes les peines et les sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation
Ce travail ne saurait exprimer mon amour, mon respect et ma profonde reconnaissance.*

*Aucune expression, ni aucune dédicace ne pourrait exprimer ce que tu représentes dans ma vie, mon grand attachement et mon grand amour, mais j'espère que tu trouveras ici dans ce modeste travail le fruit de tant de sacrifices.
Que dieu te protège et t'accorde santé, longue vie et bonheur.*

Je t'aime papa

À MA TRÈS CHÈRE MÈRE LALLA MERVEM EL AMRANI

Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple de dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi

Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'une grande aide pour mener à bien mes études.

Aucune dédicace n'aurait été assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de faire depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte.

Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin.

Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour.

Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

Je t'aime maman

À MON TRÈS CHER FRÈRE ASSAAD BENHAJJOU

Quoi que je dise, je ne saurais exprimer l'amour et la tendresse que j'ai pour toi.
Tu as toujours été là pour moi dans les hauts et surtout les bas.
Merci d'avoir supporté ma mauvaise humeur dans certains moments.
Aujourd'hui, je te dédie ce travail, qu'il puisse témoigner de mes sentiments les
plus sincères et les plus affectueux.
Je te souhaite la réussite dans ta vie avec tout le bonheur qu'il faut pour te
combler, je t'aime de tout mon cœur mon adorable frère.

À ma mignonne petite sœur NOUR BENHAJJOU

Ma Nina, même si nous passons peu de temps ensemble, tu dois savoir que tu as
une grande place dans ma vie et dans mon cœur, je serai toujours là pour toi.
Je me souviens qu'à ta naissance, j'étais si heureux.
Merci d'avoir supporté ma mauvaise humeur dans certains moments.
Aujourd'hui, je te dédie ce travail, qu'il puisse témoigner de mes sentiments les
plus sincères et les plus affectueux.
Je te souhaite la réussite dans ta vie avec tout le bonheur qu'il faut pour te
combler, je t'aime de tout mon cœur ma petite sœur.

À mon trésor YASMINE RAOUFI

Si on parle du destin, de la chance ou de l'amour, alors on parlera de toi.
Je suis si chanceux d'avoir rencontré une personne avec une telle bonté. Dieu
seul sait à quel point tu es si importante à mes yeux.
Ma chérie, merci d'être toujours là à mes côtés, à m'encourager, à te soucier de
moi.
À chaque fois que je me trouve noyé au fond de mes problèmes, ta main surgit,
me rattrape et me sauve. Je te remercie pour tout le mal que tu te donnes afin
que je sois à la hauteur.
Puisse Dieu nous prêter une vie pleine de bonheur, d'amour et de bonne santé.
Je t'aime mon poussin.

**À la mémoire de mes très chers grands parents,
SIDI MOHAMED EL AMRANI, IZZA OUAGUAG**

J'aurais souhaité votre présence, mais le destin ne nous a pas laissé le temps
pour jouir ce bonheur ensemble, j'espère que, de là-haut, vous êtes fier de votre
petit fils.
Vous restez à jamais vivants dans mon cœur et gravés dans mon esprit. Puisse
Dieu le tout puissant vous accorder sa grâce, sa miséricorde et vous accueillir
dans son vaste et éternel paradis.

À ma grande famille BENHAJJOU et EL AMRANI

*Vous m'avez soutenu et comblé tout au long de mon parcours.
En témoignant de mon attachement et de ma grande considération, j'espère que
vous trouverez à travers ce travail l'expression de mes sentiments les plus
chaleureux.*

Puisse Dieu vous procurer bonheur et prospérité.

À MES CHERS AMIS ANAS DRIOUICH, YASSINE ATMANI, ET OTHMANE
OUTMOUHINE

*Vous êtes pour moi plus que des amis, Je ne saurais trouver une expression
témoignant de ma reconnaissance et des sentiments de fraternité que je vous
porte.*

*Je vous dédie ce travail en témoignage de notre amitié que j'espère durera toute
la vie.*

À TOUS MES AMIS ET AMIES : OUMAIMA RAOUFI, ILIAS BENDALI,
YASSER BERRADA, BOUABID OUSSAMA, ACHRAF MOHAMED BELKA,
SOLEH ABDELWAHEB, YASSER EL ADA

*Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection
et mes pensées, vous êtes pour moi des frères et sœur sur qui je peux compter.
En souvenir des moments agréables passés ensemble, veuillez trouver dans ce
travail l'expression de ma tendre affection et mes sentiments les plus
respectueux avec mes vœux de succès, de bonheur et de bonne santé.*

À toute l'équipe du service Médecine PHYSIQUE ET Réhabilitation
FONCTIONNELLE

*Je vous remercie sincèrement pour l'aide précieuse que vous avez prodigué à
l'élaboration de ce travail.*

À Toute l'équipe du service de traumatologie-orthopédie B du CENTRE
HOSPITALIER UNIVERSITAIRE MOHAMED VI.

*À tous ceux ou celles qui me sont chers et dont l'oubli de la plume n'est pas celui
du cœur*

À tous mes enseignants tout au long de mes études

*À tous ceux qui ont choisi cette noble tâche de soulager les gens et diminuer leur
souffrance.*

Je vous dis merci du fond du cœur, et je vous dédie ce modeste travail.



REMERCIEMENTS



A NOTRE MAÎTRE ET PRÉSIDENT DE THÈSE,
MONSIEUR NAJEB YOUSSEF
Professeur de l'enseignement supérieur et chef de service du service de
traumatologie-orthopédie de l'hôpital IBN TOFAIL

Je suis très sensible de l'honneur que vous m'avez fait en acceptant la présidence de mon jury de thèse.

J'ai eu le grand privilège de bénéficier de votre enseignement lumineux durant mes années d'études.

Votre compétence, votre rigueur et vos qualités humaines exemplaires ont toujours suscité mon admiration.

Je vous exprime ma reconnaissance pour le meilleur accueil que vous m'avez réservé.

Veillez croire à l'expression de ma grande admiration et mon profond respect.

A NOTRE MAÎTRE ET RAPPORTEUR DE THÈSE,
MONSIEUR ABKARI IMAD
Professeur de l'enseignement supérieur et chef de service du service de
traumatologie-orthopédie du Centre Hospitalier Universitaire MOHAMED VI
de Marrakech

Je vous remercie pour la gentillesse, la spontanéité avec lesquelles vous avez bien voulu diriger ce travail et votre disponibilité.

J'ai eu le grand plaisir et le privilège de travailler sous votre direction et de passer au sein de votre service.

Vous m'avez reçu en toute circonstance avec sympathie et bienveillance. Votre compétence, votre dynamisme, votre rigueur et vos qualités humaines et professionnelles ont suscité en moi une grande admiration et un profond respect.

Je souhaite être digne de la confiance que vous m'avez accordée. Veuillez trouver, cher Maître, dans ce travail l'expression de ma haute considération, ma profonde reconnaissance et ma sincère gratitude.

Merci infiniment

A NOTRE MAÎTRE ET RAPPORTEUR DE THÈSE,
MONSIEUR YOUNESS ABDELFETTAH
Professeur agrégé et chef de service du service de Rééducation et Réhabilitation
Fonctionnelle du Centre Hospitalier Universitaire MOHAMED VI de
Marrakech

Il m'est impossible de dire en quelques mots ce que je vous dois.

Merci beaucoup pour votre gentillesse, votre spontanéité et votre disponibilité.

Vous m'avez fait le grand honneur d'accepter de diriger ce travail en consacrant votre temps précieux à chacune des étapes de cette thèse avec une grande rigueur et perspicacité pour le parfaire

Votre compétence, votre dynamisme, votre rigueur et vos qualités humaines et professionnelles ont suscité en moi une grande admiration et un profond respect.

Je souhaite être digne de la confiance que vous m'avez accordée. Veuillez trouver, cher Maître, dans ce travail l'expression de ma haute considération, ma profonde reconnaissance et ma sincère gratitude.

Merci infiniment

A NOTRE MAÎTRE ET JUGE DE THÈSE :
MONSIEUR BENHIMA MOHAMED AMINE
Professeur d'enseignement supérieur de traumatologie-orthopédie au Centre
Hospitalier Universitaire MOHAMED VI de Marrakech

Vous avez accepté de juger ce travail avec une spontanéité et une simplicité émouvante.

C'est pour moi un immense honneur de vous voir siéger parmi le jury de cette thèse.

Je vous remercie pour votre disponibilité, votre modestie et votre gentillesse, qui sont de grands atouts à côté de votre rigueur scientifique.

J'ai eu la chance de compter parmi vos étudiants et de profiter de l'étendue de votre savoir

Je vous dédie ce travail en témoignage de ma profonde reconnaissance et de mes respectueux sentiments.

A NOTRE MAITRE ET JUGE DE THESE :
MADAME ELHAOURY HANANE
Professeur d'enseignement supérieur de traumatologie-orthopédie à l'hôpital
IBN TOFAIL

La première professeur femme de traumatologie orthopédie au monde arabe.

Vous êtes la fierté de notre faculté.

*Vos remarquables qualités humaines et professionnelles ont toujours suscité ma
profonde admiration.*

Vous me faites un grand honneur de siéger au sein de notre respectable jury.

*Je suis très reconnaissant de la simplicité avec laquelle vous avez accepté de
juger ce travail.*

*Je vous prie d'accepter le témoignage de ma reconnaissance et l'assurance de
mes sentiments respectueux.*

À Docteur MOHAMMED MOUSSADIQ
Résident au service de Traumatologie Orthopédie B
CHU MOHAMED VI MARRAKECH

Un grand remerciement pour votre disponibilité et vos efforts afin de réussir ce travail en toute modestie, gentillesse et spontanéité. Veuillez accepter, docteur, mes sincères expressions de gratitude.

À Docteur CHGOURA KARIMA
Résidente au service de Rééducation et Réhabilitation fonctionnelle
CHU MOHAMED VI MARRAKECH

Un grand remerciement pour L'enthousiasme et la sympathie avec lesquels vous m'avez encadré, durant mon sujet de thèse. Mon travail reflète parfaitement votre engagement. Ils reflètent aussi votre souci de perfection. Veuillez accepter mes plus respectueuses salutations.

*FIGURES
ET
TABLEAUX*



Listes des figures :

- Figure 1 :** Laboratoire d'analyse de la marche et du mouvement au CRC du CHU MOHAMED VI de Marrakech
- Figure 2 :** Plateforme de force et matériel de calibrage
- Figure 3 :** Interface du logiciel 'Motiv' de l'analyse quantifiée de la marche
- Figure 4 :** Les marqueurs du mode Rizzoli lower body Protocol
- Figure 5 :** Répartition des patients selon l'âge en année
- Figure 6 :** Répartition des patients selon le sexe
- Figure 7 :** Répartition des patients selon les antécédents
- Figure 8 :** Répartition des patients selon la profession
- Figure 9 :** Répartition des patients selon l'activité physique
- Figure 10 :** Répartition des patients selon leur niveau sportif selon le système CLAS
- Figure 11 :** Répartition des patients selon le genou atteint
- Figure 12 :** Répartition des patients selon l'étiologie de la rupture du LCA
- Figure 13 :** Répartition des patients selon le poids en Kg
- Figure 14 :** Répartition des participants selon la taille en cm
- Figure 15 :** Répartition des patients selon l'IMC en kg/m^2
- Figure 16 :** Répartition des patients selon la pointure
- Figure 17 :** Répartition des patients selon la distance entre les 2 EIAS en Cm
- Figure 18 :** Répartition des patients selon la distance entre l'EIAS et la MI en cm
- Figure 19 :** Répartition des patients selon le délai entre l'accident et la chirurgie en mois
- Figure 20 :** Répartition des patients selon la technique chirurgicale
- Figure 21 :** Répartition des patients selon la durée d'hospitalisation en jours
- Figure 22 :** Répartition des patients selon rééducation
- Figure 23 :** Répartition des patients selon le nombre de séances de rééducation
- Figure 24 :** Répartition des patients selon la douleur résiduelle
- Figure 25 :** Répartition des patients selon l'inspection postopératoire
- Figure 26 :** Répartition des patients selon l'amyotrophie quadricipitale en cm
- Figure 27 :** Graphique des paramètres spatio-temporelles
- Figure 28 :** Graphique des degrés d'antépulsion/rétropulsion du bassin
- Figure 29 :** Graphique des degrés de flexion/extension de la hanche
- Figure 30 :** Graphique des degrés de flexion/extension du genou
- Figure 31 :** Graphique des degrés de flexion/extension de la cheville
- Figure 32 :** Graphique de la réaction de la plateforme de force
- Figure 33 :** Deux représentations complémentaires du cycle de marche : A) d'après Whittle (Whittle 2002) et d'après Veil (Viel 2000)

- Figure 34 :** Chronophotographie d'un homme qui marche (1983) par Etienne Jules Marey
- Figure 35 :** Matériel standard d'un laboratoire d'analyse du mouvement : laboratoire de l'Institut Saint-pierre à Palavas (34. France)
- Figure 36 :** Images représentant l'enregistrement statique des marqueurs et permettant de calculer les positions de ses centres articulaires
- Figure 37 :** Images représentant l'acquisition dynamique qui consiste à faire des allers-retours en s'appuyant sur la plateforme de force (image de gauche)
- Figure 38 :** Principaux paramètres spatiaux du cycle de la marche
- Figure 39 :** Graphiques comparatifs des amplitudes articulaires sur le plan sagittal du pelvis après ligamentoplastie et du pelvis normal au cours de la marche
- Figure 40 :** Graphiques comparatifs des amplitudes articulaires sur le plan sagittal de la hanche après ligamentoplastie et de la hanche normale au cours de la marche
- Figure 41 :** Graphiques comparatifs des amplitudes articulaires sur le plan sagittal du genou après ligamentoplastie et du genou normal au cours de la marche
- Figure 42 :** Graphiques comparatifs des amplitudes articulaires sur le plan sagittal de la cheville après ligamentoplastie et de la cheville normale au cours de la marche
- Figure 43 :** Graphiques comparatifs de la réaction de la plateforme de force lors de la marche après ligamentoplastie et chez un sujet normal

Listes des tableaux :

- Tableau I :** Les marqueurs du mode Rizzoli lower body Protocol
- Tableau II :** Données anthropométriques des patients de l'étude
- Tableau III :** Paramètres spatio-temporelles
- Tableau IV :** Degrés antépulsion / rétropulsion du bassin
- Tableau V :** Degrés de flexion/extension de la hanche
- Tableau VI :** Degrés de flexion/extension du genou
- Tableau VII :** Degrés de flexion/extension de la cheville
- Tableau VIII :** Réaction de la plateforme de force (GRF) du pied droit et gauche
- Tableau IX :** Comparaison des données socio démographiques et anthropométriques
- Tableau X :** Comparaison des paramètres spatio-temporelles
- Tableau XI :** Comparaison des amplitudes articulaires sur le plan sagittal
- Tableau XII :** Comparaison de la réaction de la plateforme de force

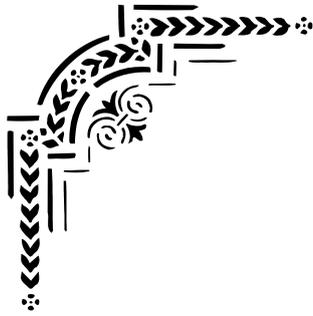


ABBREVIATIONS



Liste des abréviations :

LCA	: Ligament Croisé Antérieur
AQM	: Analyse Quantifiée de la Marche
CHU	: Centre Hospitalier Universitaire
DIDT	: Droit Interne - Demi Tendineux
KJ	: Kenneth Jones
NB	: Notez Bien
EMG	: Electromyogramme
CRC	: Centre de Recherche Clinique
CLAS	: Compétiteur, Loisir, Actif, sédentaire
IMC	: Indice de Masse Corporelle
EIAS	: Epine Iliaque Antéro-Supérieur
MI	: Malléole Interne
Kg	: Kilogramme
Cm	: Centimètre
M²	: Mètre carré
EVA	: Echelle Visuelle Analogique
IRM	: Imagerie par Résonance Magnétique
M	: Mètre
S	: seconde
MIN	: Minimum
MAX	: Maximum
Sag	: Sagittal
Ext	: Extension
Flex	: Flexion
GRF	: Ground Réaction Force
2D	: 2 Dimensions
3D	: 3 Dimensions
HAS	: Haute Autorité de Santé



PLAN



INTRODUCTION	1
MATÉRIELS ET MÉTHODES	4
I. Matériels :	5
1. Type de l'étude :	5
2. Hypothèse :	5
3. Objectif de l'étude :	5
4. Durée de l'étude :	5
5. Lieu de l'étude :	5
6. Patients :	5
II. Méthodes :	6
1. Base de données et logiciels :	6
2. Analyse statistique :	7
3. Evaluation de la marche :	7
4. Considérations éthiques :	12
RÉSULTATS	13
I. Données socio-démographiques :	14
1. Âge :	14
2. Sexe :	14
3. Antécédents :	15
4. Profession :	15
5. Activité sportive :	16
6. Niveau sportif selon le système CLAS :	17
7. Côté dominant :	17
8. Genou atteint :	17
9. Les étiologies :	18
II. Les données anthropométriques :	19
1. Données moyennes des patients :	19
III. Données cliniques préopératoires :	22
1. Délai entre l'accident et la chirurgie :	22
2. Techniques chirurgicales :	23
3. Durée d'hospitalisation :	24
IV. Données cliniques postopératoires :	24
1. Rééducation :	24
2. Complications postopératoires :	25
3. Signes fonctionnels postopératoires :	26
4. Examen clinique postopératoire :	26
V. Données de l'AQM :	28
1. Résultats spatio-temporels :	28
2. Les amplitudes articulaires :	31
3. Réaction de la plateforme de force :	35

DISCUSSION	36
I. Définition de la marche :	37
II. Historique de l'analyse de la marche :	39
III. l'Analyse quantifiée de la marche :	40
1. Définition de l'Analyse quantifiée de la marche :	40
2. Le matériel de l'Analyse quantifiée de la marche	40
3. Déroulement de l'Analyse quantifiée de la marche :	41
4. Données de l'Analyse quantifiée de la marche :	41
5. les limites de l'analyse quantifiée de la marche :	41
IV. La ligamentoplastie :	47
V. intérêt de l'analyse quantifiée de la marche après Ligamentoplastie :	50
VI. Comparaison des données de l'Analyse quantifiée de la marche entre marche physiologique normale et marche après ligamentoplastie. 51	51
1. Identification :	51
2. Paramètres spatio-temporels	53
3. Amplitudes articulaires :	56
4. Réaction de la plateforme de force :	62
5. Conclusion :	64
VII. Notre étude et la littérature :	64
VIII. Perspectives :	66
IX. Limites de notre étude :	66
 CONCLUSION	 68
 ANNEXES	 70
 RÉSUMÉS	 76
 BIBLIOGRAPHIE	 83



INTRODUCTION



L'articulation du genou est une articulation synoviale solide ; dont la congruence est améliorée par les ménisques qui s'insèrent sur la capsule articulaire, et très stable grâce à de puissants ligaments qui s'insèrent entre le fémur et le tibia [5].

Cette articulation est très fréquemment atteinte lors des accidents de sport, plus particulièrement ses structures ménisco-ligamentaires, et plus précisément le LCA [31].

La rupture du LCA est une des lésions ligamentaires du genou les plus fréquemment rencontrées. En France, on compte jusqu'à 15 000 ruptures du LCA par an lors de la pratique du ski. Aux États-Unis, on dénombre près de 175 000 reconstructions annuelles du LCA [32].

Le LCA joue un rôle majeur dans la cinématique du genou, en stabilisant ce dernier dans une vaste gamme de mouvements participant activement à la physiologie de la marche [33].

La lésion du LCA cause en général une instabilité du genou qui va empêcher un retour à l'activité antérieure et modifier cette cinématique en raison de l'adaptation des autres structures pour compenser l'absence du LCA, comme l'ont montré Berchuck et Andriacchi [33].

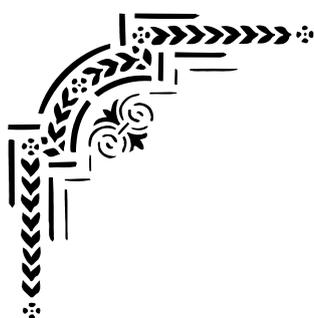
Le choix du greffon et la précision de son implantation déterminent les qualités biomécaniques et la stabilité du genou reconstruit, ainsi que l'évolution et le retour à l'activité antérieure du patient sans déficits [34].

La reconstruction du LCA par le ligament patellaire est une technique chirurgicale validée [35] ; les techniques utilisant les tendons ischio-jambiers sont de plus en plus fréquentes et en constante évolution [36] ; enfin, l'utilisation du fascia lata conserve sa place, de par sa haute résistance biomécanique et la préservation de son insertion distale sur le tubercule de Gerdy constituant une fixation naturelle qu'aucun système de fixation ne saurait remplacer [37].

Malgré la multitude des travaux de recherche concernant la ligamentoplastie du LCA, le problème n'est pas entièrement résolu. Le transplant idéal utilisé pour remplacer le LCA devrait reproduire son anatomie et sa biomécanique, avoir une fixation initiale solide permettant une rééducation immédiate, assurer une incorporation biologique rapide et complète et avoir peu ou pas de morbidité. Mais existe-t-il un tel implant ?[38]

Sur le plan biomécanique, l'analyse quantifiée de la marche est un outil important pour acquérir une compréhension approfondie de la fonction articulaire du genou et surtout du genou ligamentaire. Elle permet de détecter les déficits post ligamentoplastie et permet ensuite de les corriger, ainsi avoir un retour à l'état physiologique de la marche sans déficits.

À travers notre travail, nous allons analyser la cinématique de la marche, et surtout du genou, chez les patients ayant bénéficié d'une ligamentoplastie après rupture du LCA et voir s'ils gardent toujours un déficit.



*MATÉRIELS
ET
MÉTODES*



I. Matériels :

1. Type de l'étude :

Notre travail est une étude rétrospective, descriptive.

2. Hypothèse :

Existe-t'il une modification de la marche après ligamentoplastie du LCA du genou ?

3. Objectif de l'étude :

L'objectif de notre étude est d'analyser la cinématique de la marche et surtout du genou chez les patients opérés pour rupture du LCA du genou.

4. Durée de l'étude :

Notre étude s'est étendue sur une durée de 5 ans : de janvier 2016 à septembre 2021.

5. Lieu de l'étude :

Notre étude a été réalisée conjointement au niveau des services de traumatologie orthopédie B du CHU Mohamed VI de Marrakech, le service de médecine physique et réadaptation fonctionnelle, et le laboratoire d'analyse de la marche et du mouvement au niveau du centre de recherche clinique.

6. Patients :

Les patients opérés pour une rupture du LCA et qui ont bénéficié d'une ligamentoplastie selon les différentes techniques chirurgicales : DIDT, KJ, JAEGER.

Soit 20 patients.

6.1. Critères d'inclusion :

- Patients des deux sexes
- Patients opérés au service de traumatologie B pour une ligamentoplastie du LCA.
- Délai entre l'intervention chirurgicale et l'AQM datant d'au moins 6 mois.
- Patients ayant donné leur consentement pour participer à l'étude.

6.2. Critères d'exclusion :

- Une autre pathologie associée pouvant influencer la force musculaire des jambes (compression des racines nerveuses lombaires, polyneuropathies, myopathies).
- Un antécédent de ligamentoplastie homolatérale (reprise)
- Des lésions ligamentaires associées.

NB : « les patients ayant une atteinte méniscale associée à l'atteinte du LCA qu'elle soit réparée ou non, n'ont pas été exclus de l'étude »

II. Méthodes :

1. Base de données et logiciels :

La base de données :

- Les dossiers médicaux des patients exploités par une fiche d'exploitation (annexe 1).
- Logiciels sur ordinateur pour traitement des données : Microsoft office Word 2018 ; Microsoft office Excel 2018.

2. Analyse statistique :

Les données collectées ont été analysées à l'aide du logiciel Microsoft office Excel 2018. Cette analyse a consisté en le calcul de la moyenne et de l'écart type pour les variables quantitatives, et le calcul des pourcentages pour les variables qualitatives.

3. Evaluation de la marche :

Le laboratoire d'analyse de la marche et du mouvement est intégré dans une structure de recherche appelée le Centre de Recherche Clinique, au sein du Centre hospitalier universitaire Mohamed VI de Marrakech au Maroc.

Le laboratoire d'analyse de la marche et du mouvement a vu le jour en octobre 2017, initié par les professeurs H. SAIDI et Y. ABDELFETTAH.

C'est le premier Laboratoire d'analyse de la marche et du mouvement au Maroc, il constitue une nouvelle plateforme technique instaurée au sein du Centre de recherche clinique du CHU.

Il est composé de 6 caméras optoélectroniques (Optitrack*) (figure 1), 2 plateformes de forces (AMTI*) (figure2), 1 EMG sans fils à 8 canaux (DELSYS*), 2 caméras vidéo (figure 1), un poste informatique de nouvelle génération avec logiciels dédiés (Motiv* et Visual3D*) (figure 3), et autres équipements : marqueurs, outils de calibration (figure 2), bureautiques, rangement.

Ce laboratoire est piloté par un directeur : Professeur ABDELFETTAH Youness, professeur agrégé de médecine physique et réadaptation fonctionnelle. Avec l'aide d'un ingénieur en informatique en collaboration avec une kinésithérapeute du service de traumatologie orthopédique adulte en plus des internes et des résidents de ces différents services.

Caméra optoélectronique



Caméra vidéo

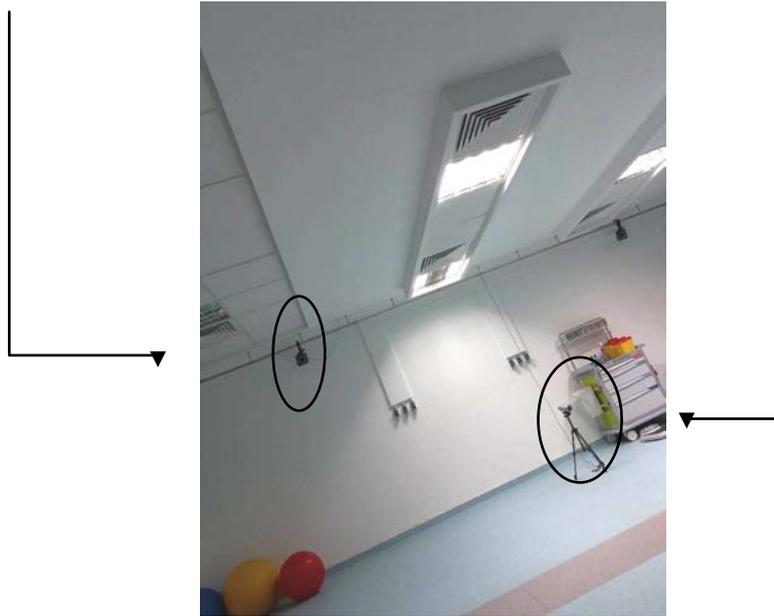


Figure 1 : Laboratoire d'analyse de la marche et du mouvement au CRC du CHU de Marrakech



Figure 2 : Plateforme de force et matériel de calibrage

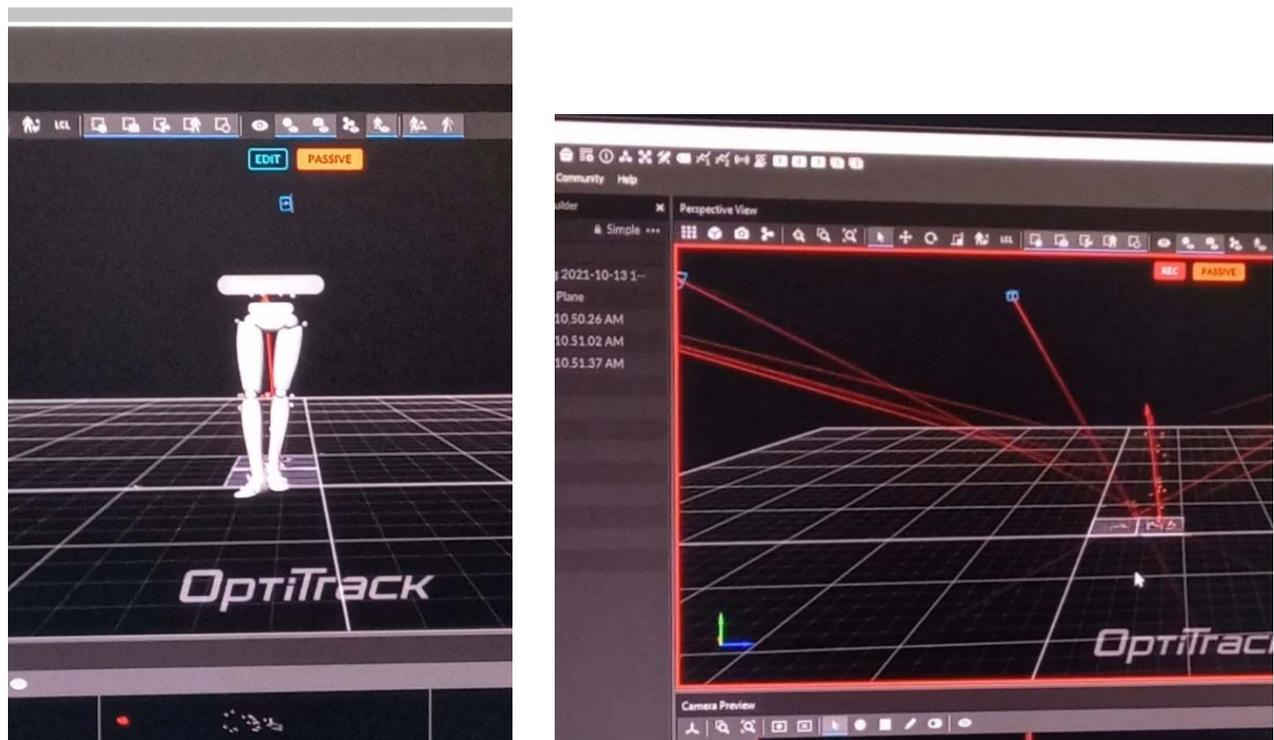


Figure 3 : Interface du logiciel 'Motiv' de l'analyse quantifiée de la marche

Le mode d'acquisition adopté, est le mode « Rizzoli » Le protocole Rizzoli Lower Body (26) qui intègre un nouveau placement des marqueurs pour le suivi du bas du corps. Cet ensemble de marqueurs est conçu pour fournir une description complète du segment 3D et du mouvement articulaire pour l'analyse du genou et de la cinématique des membres inférieurs.

Le tableau suivant comprend des descriptions des repères anatomiques où les marqueurs doivent être placés pour une analyse précise et fiable du mouvement du bas du corps ; Il comprend un total de six marqueurs d'étalonnage pour créer l'actif squelette pendant les essais statiques qui sont surlignés en rouge ; Deux marqueurs de cuisse et deux marqueurs de tige ont été ajoutés au protocole pour mieux distinguer la gauche et la droite du squelette.

Les marqueurs du mode Rizzoli Lower Body Protocol (26) sont détaillés dans le tableau (Tableau I) et la figure (Figure 4) [1][2][3].

Les marqueurs d'étalonnage qui sont surlignés en rouge, doivent être supprimés une fois le squelette créé dans Motiv* (Tableau 1).



Figure 4 : Les marqueurs du mode Rizzoli lower body Protocol (26)

Tableau I : Les marqueurs du mode Rizzoli lower body Protocol (26)

Marqueurs Rizzoli Lower Body Protocol (26)		
Étiquette	Segment du membre Inférieur	La description
RASIS	Bassin	<u>Right And Left Anterior Superior Iliac Spine.</u> Epine iliaque antérosupérieure droite et gauche
LASIS		
RPSIS	Bassin	<u>Right And Left posterior Superior Iliac Spine</u> Epine iliaque postéro-supérieure droite et gauche
LPSIS		
RGT	Cuisse	<u>Right And Left Greater Trochanter</u> Proéminence latérale du grand trochanter droit et gauche.
LGT		
RTH	Cuisse	<u>Right and left Thigh Marker</u> Placer près de la ligne médiane de la cuisse. Utilisé uniquement à des fins de suivi pour distinguer le côté gauche et le côté droit. Pour un résultat optimal, décaler la hauteur du marqueur entre le côté gauche et le côté droit.
LTH		
RLE	Cuisse	<u>Right And Left Lateral Femoral Epicondyle.</u> Proéminence latérale la plus importante de l'épicondyle fémoral latéral droit et gauche. Avec les marqueurs LM, ils déterminent l'emplacement de l'axe de l'articulation du genou.
LLE		
RHF	Jambe	<u>Right And Left Head Of The Fibula.</u> Tête, extrémité proximale du péroné droit et gauche.
LHF		
RTT	Jambe	<u>Right and left tibial tuberosity</u> Bordure la plus antérieure de la tubérosité tibiale droite et gauche.
LTT		
RSK	Jambe	<u>Right and left shin</u> Placer près de la ligne médiane du tibia, utilisé uniquement à des fins de suivi pour distinguer le côté gauche et le côté droit. Pour un résultat optimal, décaler la hauteur du marqueur entre le côté gauche et le côté droit.
LSK		
RLM	Jambe	<u>Right and left lateral malleolus</u> Apex de la malléole latérale droite et gauche.
LLM		

Tableau I : Les marqueurs du mode Rizzoli lower body Protocol (26)

Marqueurs Rizzoli Lower Body Protocol (26)		
Étiquette	Segment du membre Inférieur	La description
RCA	Pied	<u>Right and left calcaneus achiles tendon insertion</u>
LCA		Crête supérieure de la surface postérieure du calcanéum ; à l'insertion du tendon d'Achille sur le calcanéum droite et gauche.
RVM	Pied	<u>Right and left fifth metatarsal</u>
LVM		Face dorsale de la cinquième tête métatarsienne droite et gauche.
RFM	Pied	<u>Right and left first metatarsal</u>
LFM		Face dorsale de la première tête métatarsienne droite et gauche.
RDP	Pied	<u>Right and left first distal phalanx the toe</u>
LDP		Ces marqueurs sont ajoutés sur la phalange distale uniquement à des fins de suivi du segment du gros orteil droit et gauche, et ils ne sont pas inclus dans l'analyse biomécanique. Placer le marqueur près de l'extrémité du gros orteil, plus précisément, le marqueur doit être placé à l'extrémité distale des premières phalanges.
RME	Cuisse	<u>Right and left médial femoral epicondyle</u>
LME		Proéminence médiale de l'épicondyle fémoral médial droit et gauche.
RMM	Partie inférieure de la jambe	<u>Right and left medial malleolus</u>
LMM		Apex distal de la malléole médiale droite et gauche.
RSM	Pied	<u>right and left second metatarsal</u>
LSM		Face dorsale de la deuxième tête métatarsienne droite et gauche.

4. Considérations éthiques

Cette étude a été entreprise dans le respect des lois Marocaines et celui de la déclaration d'Helsinki pour la protection des personnes. Les participants ont été informés des objectifs et de la procédure de l'étude, et leur consentement a été obtenu. Tout au long de l'étude, l'anonymat et le respect de la confidentialité des données ont été assurés.



RÉSULTATS



I. Données socio-démographiques :

1. Âge :

L'âge de nos patients a varié entre 22 à 51 ans avec une moyenne de 31.5 ans. La tranche d'âge la plus concernée se situait entre 20 et 30 ans représentant 47.37% des cas. (Figure5)

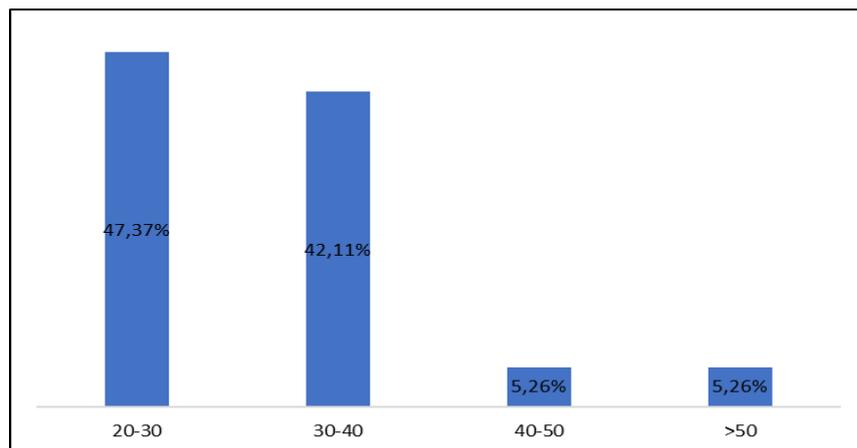


Figure 5 : Répartition des patients selon l'âge en année

2. Sexe :

Notre série comportait 3 femmes (15%) et 17 hommes (85%), avec un sex-ratio de 5,6. (Figure6)

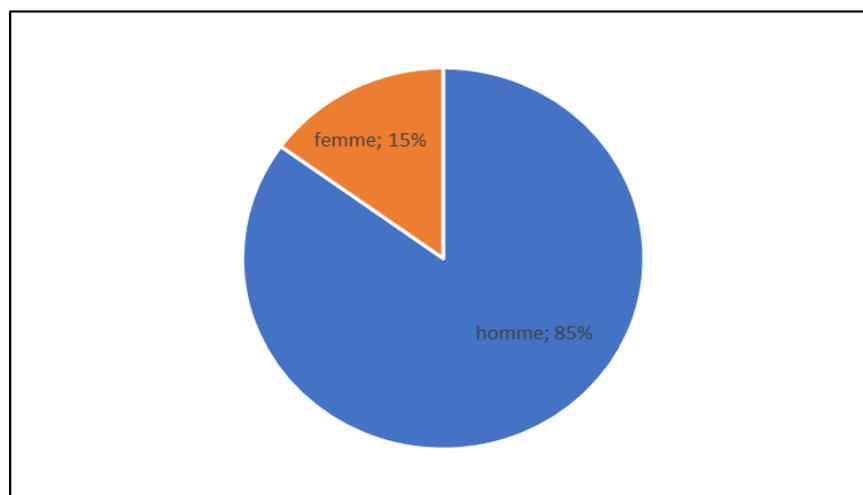


Figure 6 : Répartition des patients selon le sexe

3. Antécédents :

- Médicaux : aucun antécédent médical n'avait été signalé dans notre série.
- Chirurgicaux : cinq patients avaient déjà subi une intervention chirurgicale :
- Un patient opéré pour une anse de seuil méniscale gauche homolatérale à l'atteinte ligamentaire, soit 5% des cas
- Une patiente opérée pour appendicite et fibrome utérin, soit 5% des cas
- Deux patients opérés pour appendicite, soit 10% des cas
- Un patient opéré pour sténose urétérale, soit 5% des cas

(Figure7)

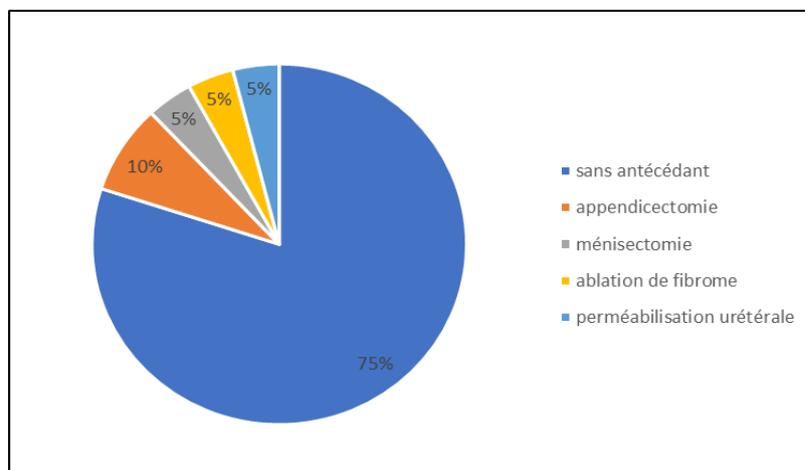


Figure 7 : Répartition des patients selon les antécédents

4. Profession :

Dans notre série 15% des patients étaient des étudiants, 25% des fonctionnaires, 20% des entrepreneurs et 25% des ouvriers, le reste étaient sans professions 15 %. (Figure 8)

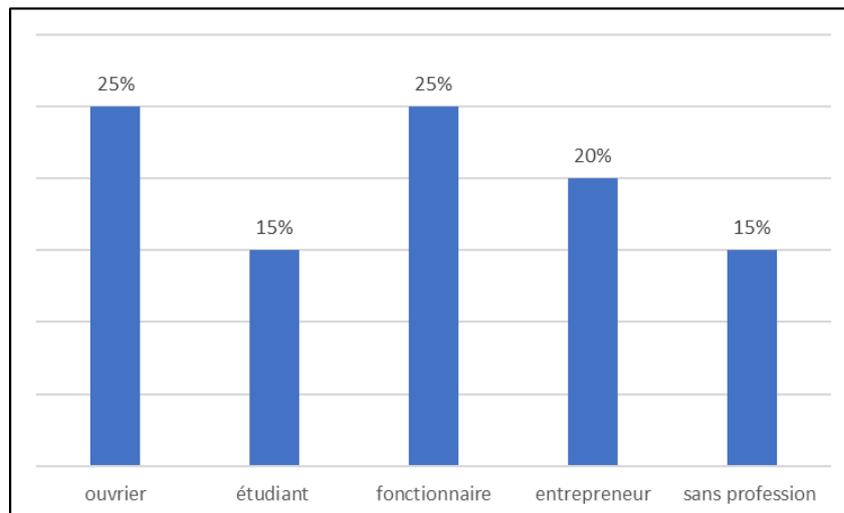


Figure 8 : Répartition des patients selon la profession

5. Activité sportive :

Dans notre série, 60% avaient une activité sportive hebdomadaire, dominée par le football (45%), suivie par la randonnée, le taekwondo et la course à pied représentant (5% chacune), le reste de notre échantillon (40%) ne pratiquait pas d'activité physique. (Figure 9)

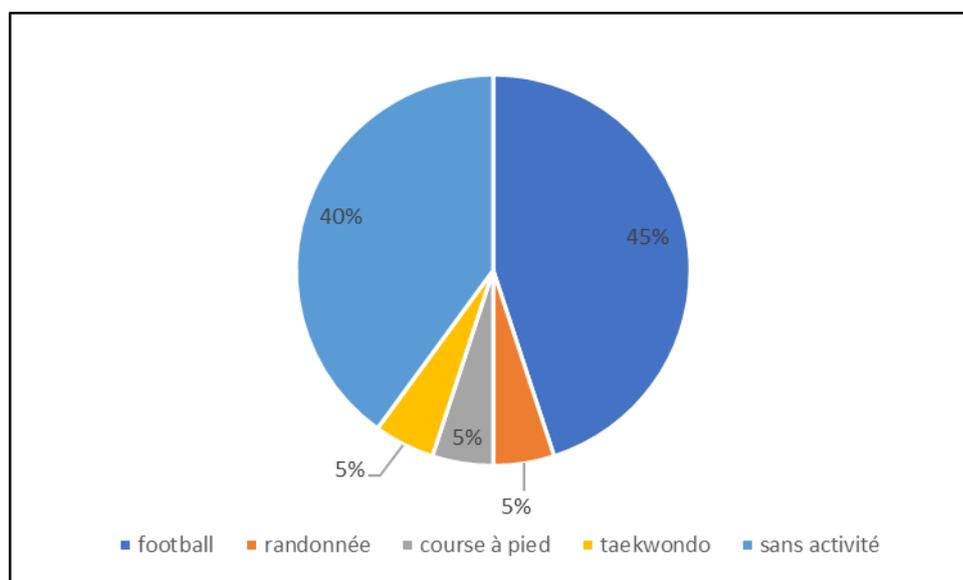


Figure 9 : Répartition des patients selon l'activité physique

6. Niveau sportif selon le système CLAS :

Notre étude a trouvé que, 25% de nos patients étaient des Compétiteurs ,25% d'entre eux étaient des sportifs de Loisir, 10 % étaient des Actifs et 40% d'entre eux ne pratiquaient pas de sport. (Figure 10)

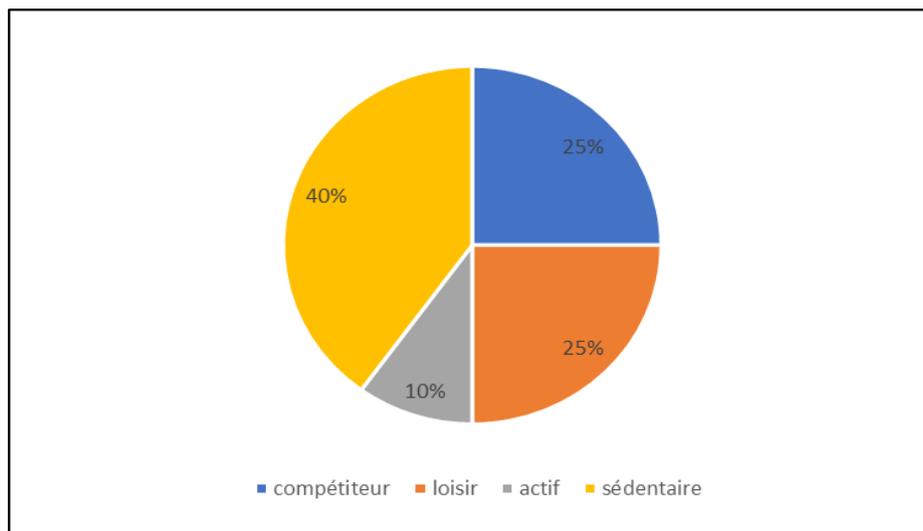


Figure 10 : Répartition des patients selon leur niveau sportif selon le système CLAS

7. Côté dominant :

Dans notre série, 100 % des patients étaient droitiers.

8. Genou atteint :

Dans notre série, le genou droit était le plus touché 60% des cas, alors que le côté gauche représentait 40% des cas. (Figure 11)

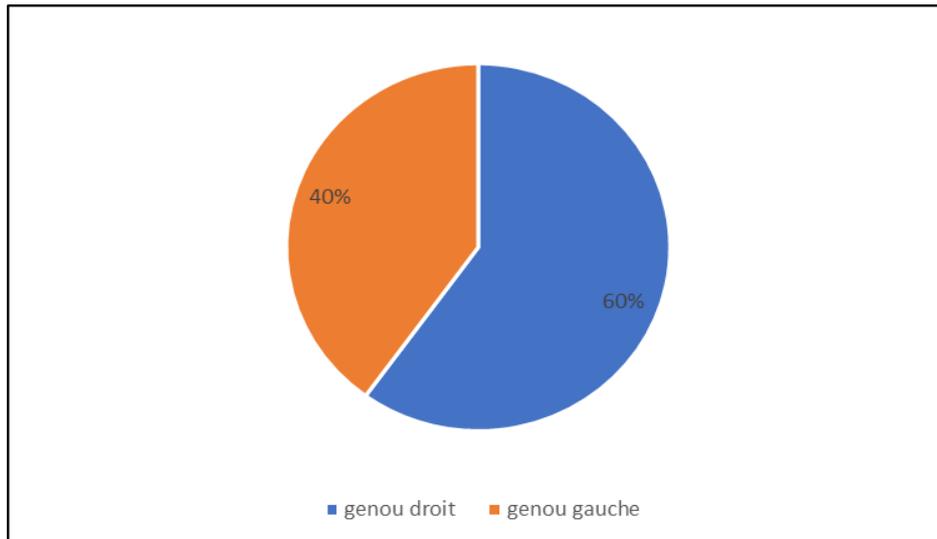


Figure 11 : Répartition des patients selon le genou atteint

9. Les étiologies :

Dans notre série, Les ruptures du LCA étaient dues dans 70% des cas à un accident de sport, dans 20 % à un accident de la voie publique, dans 5 % des cas à un accident de travail, et enfin les chutes sur le genou dans 5% cas. (Figure 12)

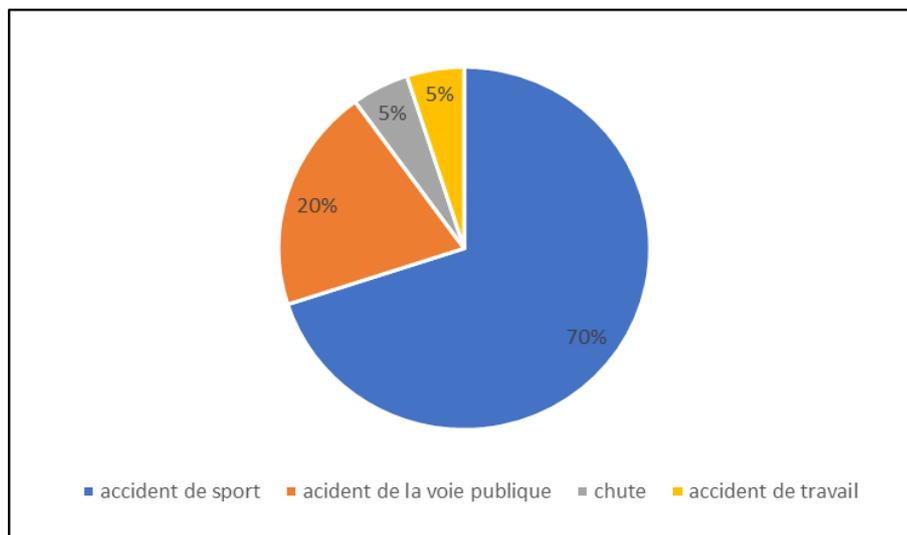


Figure 12 : Répartition des patients selon l'étiologie de la rupture du LCA

II. Les données anthropométriques :

1. Données moyennes des patients :

Tableau II : Données anthropométriques des patients de l'étude

	Minimum	Maximum	Moyenne
Poids en kg	50	97	72.78
Taille en cm	154	191	173
IMC en kg/m ²	18.68	38.36	24.14
Pointure	38	45.5	41.84
Distance entre les 2 EPIAS en cm	11	32	25.60
Distance entre EIAS et MI en cm	81	107	92.71

1.1. Poids :

70% de notre population avaient un poids variant entre 50 et 80 kg, tandis que 30 % des participants restants avaient un poids > 80 Kg. (Tableau II, Figure 13)

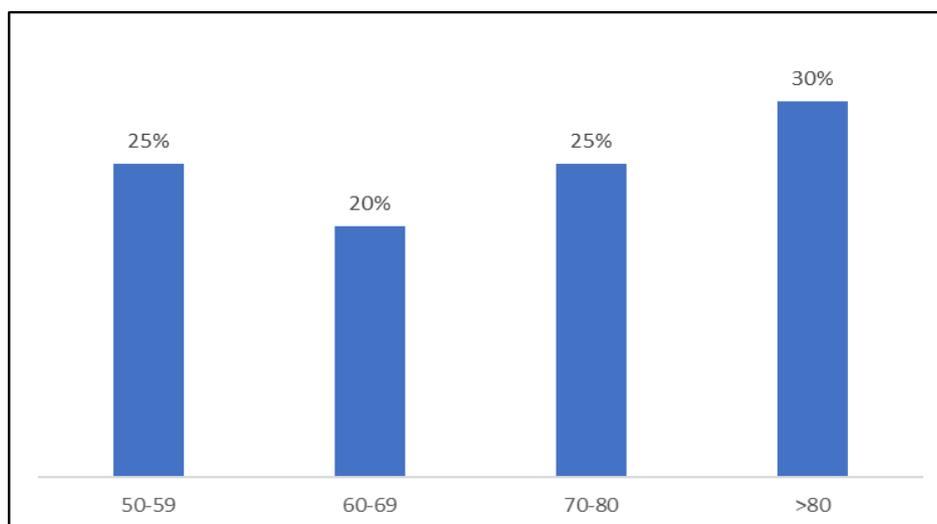


Figure 13 : Répartition des patients selon le poids en Kg

1.2. Taille :

La moitié (50%) des participants à l'étude de la marche avaient une taille entre 170 et 179 cm. (Tableau II, Figure 14)

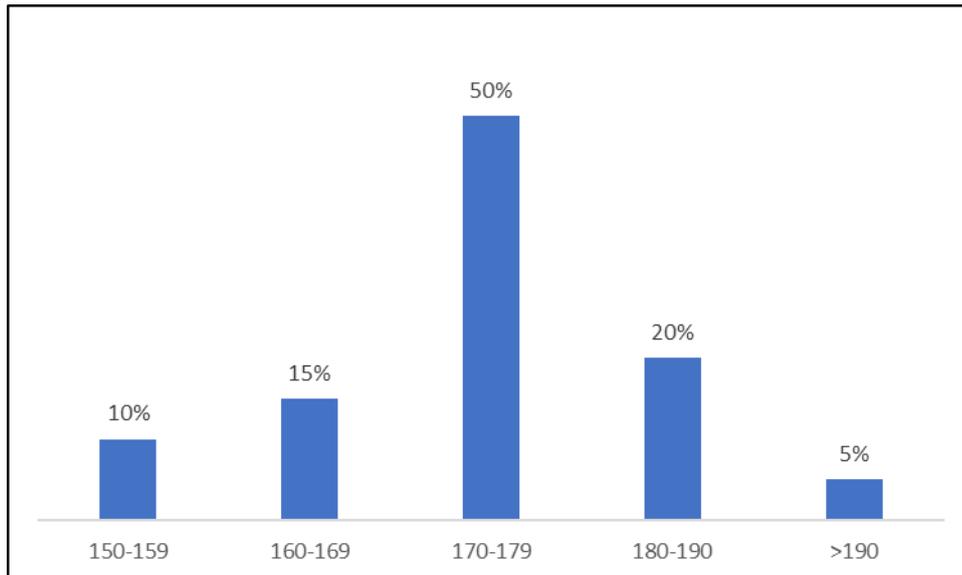


Figure 14 : Répartition des participants selon la taille en cm

1.3.IMC :

Dans notre étude, 75 % de la population avaient un IMC normal, tandis que 15% souffraient de surpoids et 10% souffraient d'obésité. (Tableau II, Figure 15)

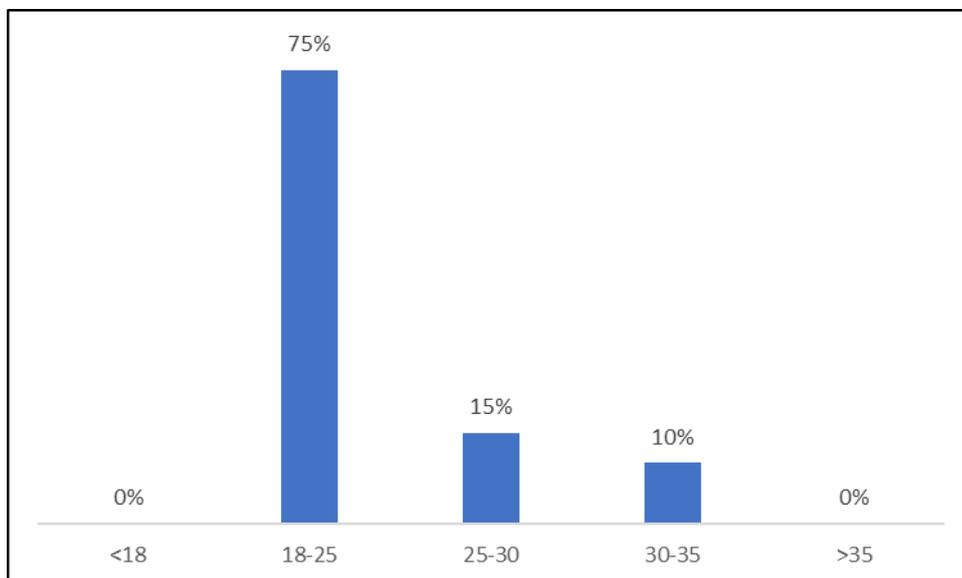


Figure 15 : Répartition des patients selon l'IMC en kg/m²

1.4. Pointure :

65% des participants à l'étude de la marche après ligamentoplastie avaient une pointure entre 41 et 43, alors que les pointures entre 38 et 40 représentaient 20 % et les pointures entre 44 et 45,5 représentaient 15% des patients. (Tableau II, Figure 16)

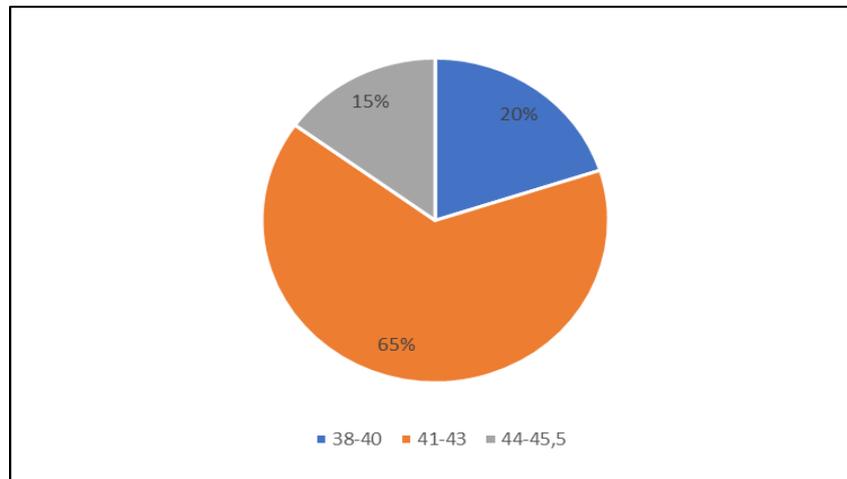


Figure 16 : Répartition des patients selon la pointure

1.5. Distance entre les 2 EIAS :

45 % des participants à notre analyse de la marche avaient une distance entre les deux EIAS allant de 21 à 25 cm, tandis que 35% se situaient entre 26 et 30 cm. (Tableau II, Figure 17)

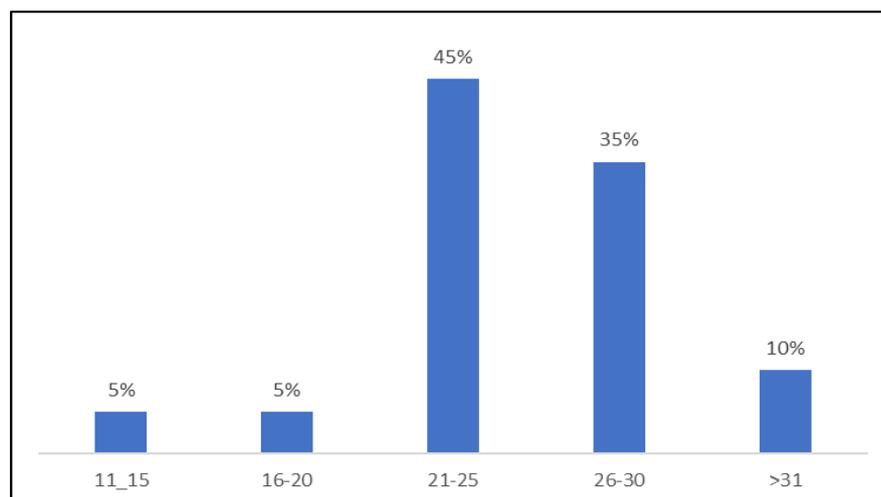


Figure 17 : Répartition des patients selon la distance entre les 2 EIAS en Cm

1.6. Distance entre EIAS et MI :

60 % des participants à l'étude de la marche avaient une longueur entre l'EIAS et la MI entre 90 et 99 cm, tandis que 25 % entre 80 et 89 cm et les 15 % restants avaient une distance entre 100 et 109 Cm. (Tableau II, Figure 18)

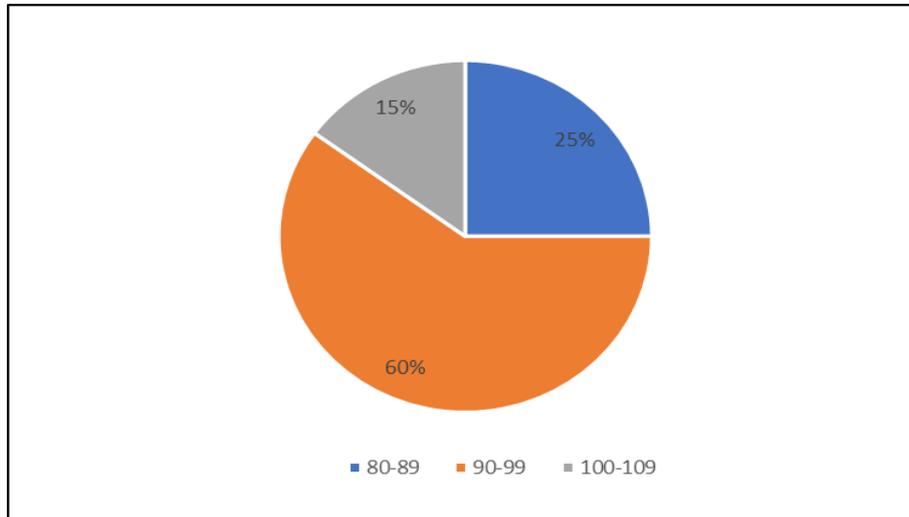


Figure 18 : Répartition des patients selon la distance entre l'EIAS et la MI en cm

III. Données cliniques préopératoires :

1. Délai entre l'accident et la chirurgie :

Dans notre série, le délai moyen entre le traumatisme et l'intervention chirurgicale était de 29 mois, pour un maximum de 9 ans (108 mois) et un minimum d'un mois.

La moitié de notre population a été opérée dans un délai inférieur à 20 mois. (Figure 19)

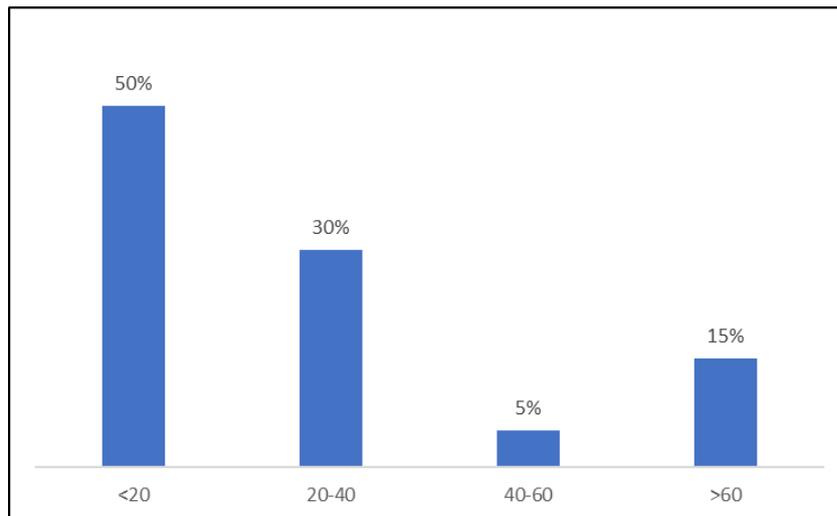


Figure 19 : Répartition des patients selon le délai entre l'accident et la chirurgie en mois

2. Techniques chirurgicales :

Tous nos patients ont été opérés sous arthroscopie.

Pour la technique de ligamentoplastie : 70% ont eu un DIDT, 5% un KJ et 25% ont bénéficié de la technique du fascia lata selon Jaeger. (Figure 20)

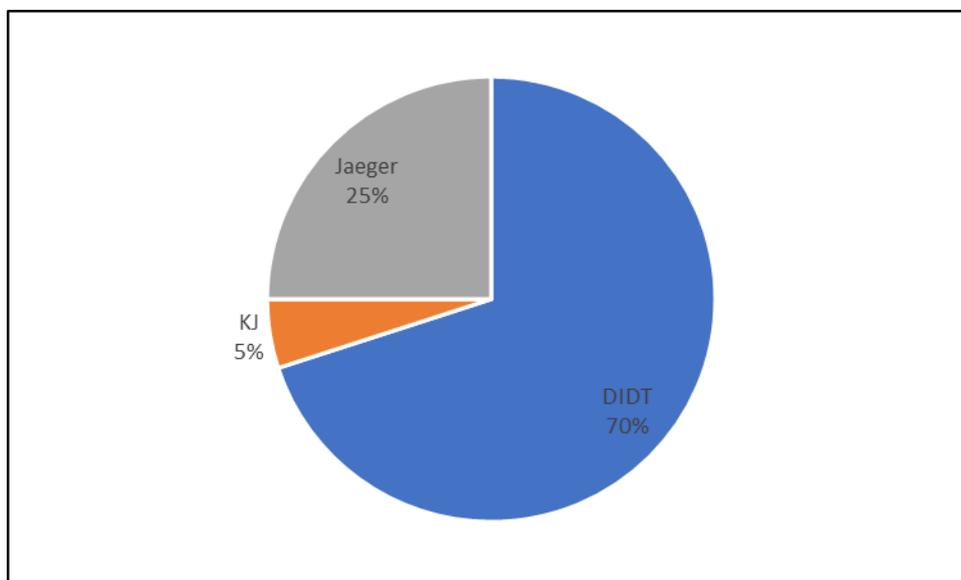


Figure 20 : Répartition des patients selon la technique chirurgicale

3. Durée d'hospitalisation :

La durée moyenne d'hospitalisation des patients dans notre étude était de 06 jours, avec un minimum d'un jour et un maximum de 15 jours.

Presque la moitié de nos patients avaient passé une durée entre 06 et 09 jours au sein de la structure hospitalière. (Figure 21)

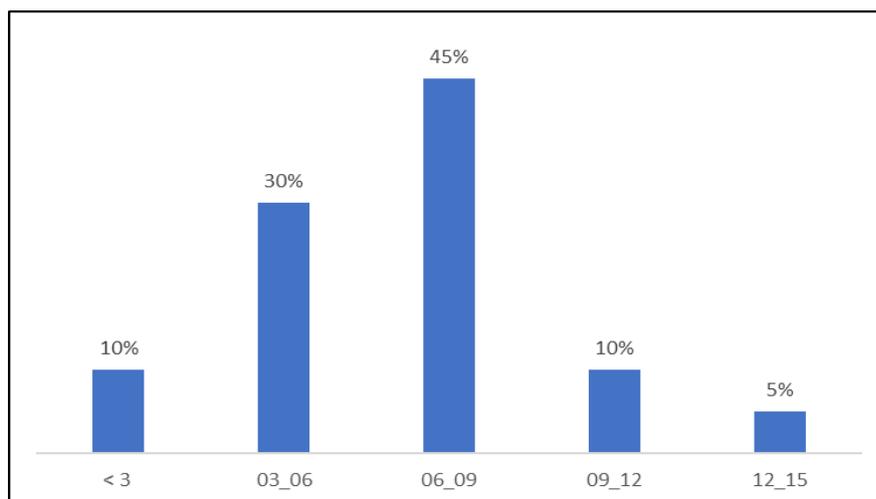


Figure 21 : Répartition des patients selon la durée d'hospitalisation en jours

IV. Données cliniques postopératoires :

1. Rééducation :

Tous nos patients ont bénéficié du même protocole de rééducation, débuté à 24h en post- opératoire avec une autorisation d'appui protégée par orthèse.

Ce programme de rééducation, assuré par l'équipe de kinésithérapie affiliée à notre service, a été poursuivi tout au long de l'hospitalisation.

Après leur sortie de l'hôpital, les patients étaient confiés à la rééducation ambulatoire avec une lettre de protocole bien défini. Il est à noter que la rééducation n'était pas toujours respectée voir non faite chez certains de nos patients après leur sortie par faute de moyens financiers et la difficulté d'accès aux centres de rééducation physique publiques. (Figure 22)

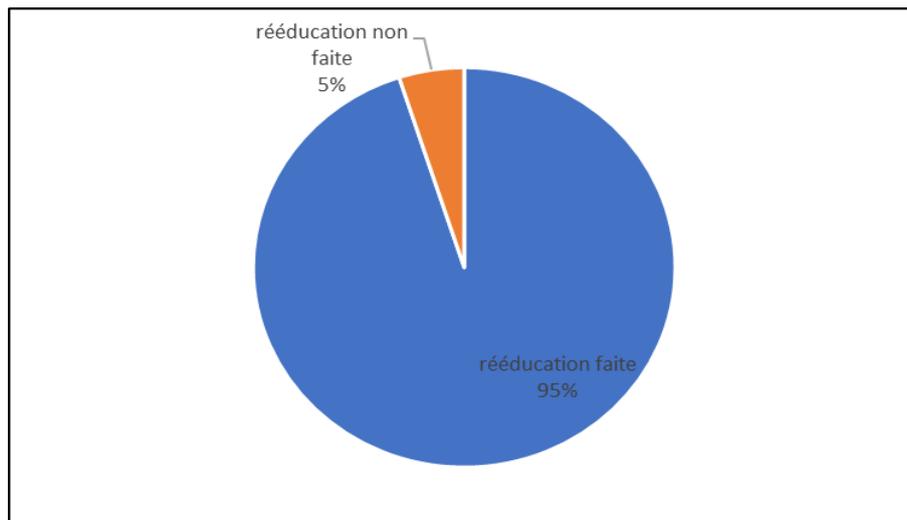


Figure 22 : Répartition des patients selon rééducation

La moyenne des séances de rééducation chez nos patients était de 30 séances, pour un maximum de 75 séances et un minimum de zéro séance. (Figure 23)

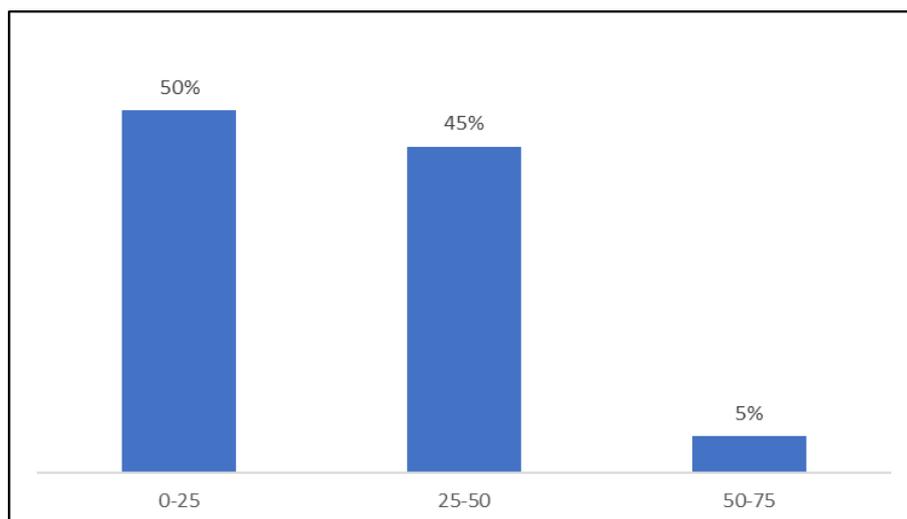


Figure 23 : Répartition des patients selon le nombre de séances de rééducation

2. Complications postopératoires :

Aucune complication post-opératoire immédiate n'a été notée chez nos patients, notamment aucun cas d'infection, de complication thromboembolique ou d'hydarthrose.

3. Signes fonctionnels postopératoires :

3.1. Douleur résiduelle :

La douleur résiduelle en post opératoire a été rapportée seulement par deux patients surtout après un effort, cotée à 3/10 selon l'EVA. (Figure 24)

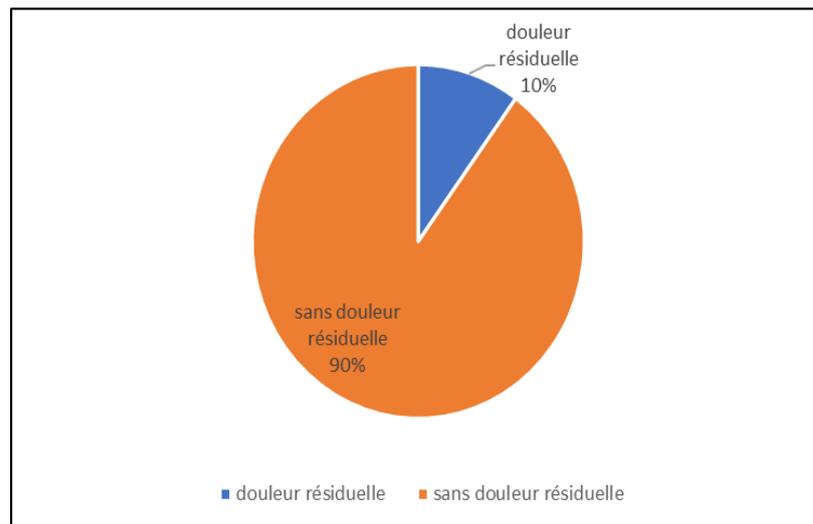


Figure 24 : Répartition des patients selon la douleur résiduelle

3.2. Instabilité du genou :

Aucune sensation d'instabilité du genou n'a été signalée chez nos patients quelle que soit la technique chirurgicale utilisée.

4. Examen clinique postopératoire :

4.1. Inspection :

On a noté que :

- Une patiente a gardé un flessum résiduel estimé à 9°, soit 5% des cas.

L'IRM n'a pas été demandée à la recherche d'un syndrome de cyclope.

- Deux patients présentaient une boiterie, soit 10% des cas
- Le reste des patients ne présentaient aucune anomalie. (Figure 25)

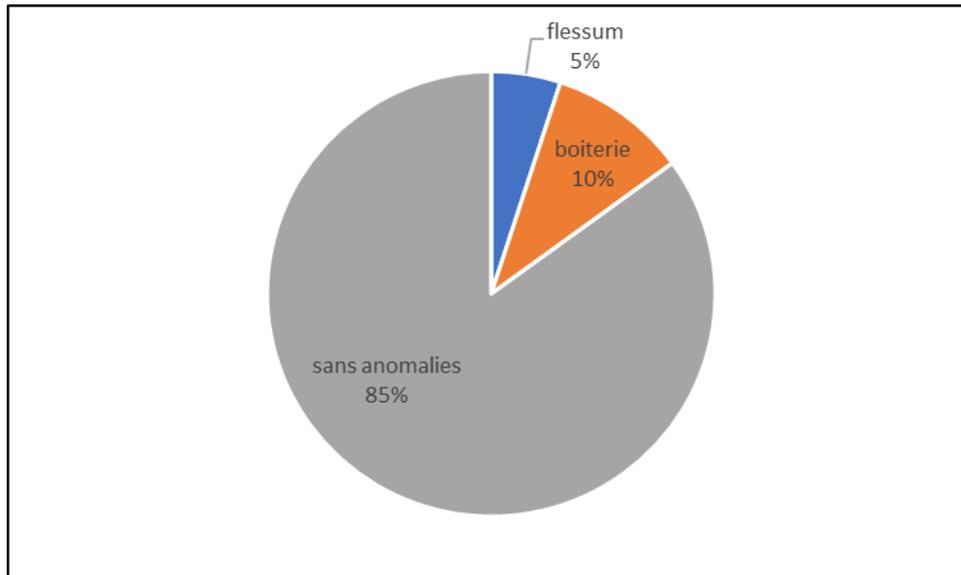


Figure 25 : Répartition des patients selon l'inspection postopératoire

4.2. Palpation :

Lors de la palpation, on a observé que tous les patients présentaient une amyotrophie quadricipitale homolatérale chiffrée entre 4cm comme maximum et 1cm comme minimum, avec une moyenne de 2.15cm par rapport au quadriceps controlatéral. (Figure 26)

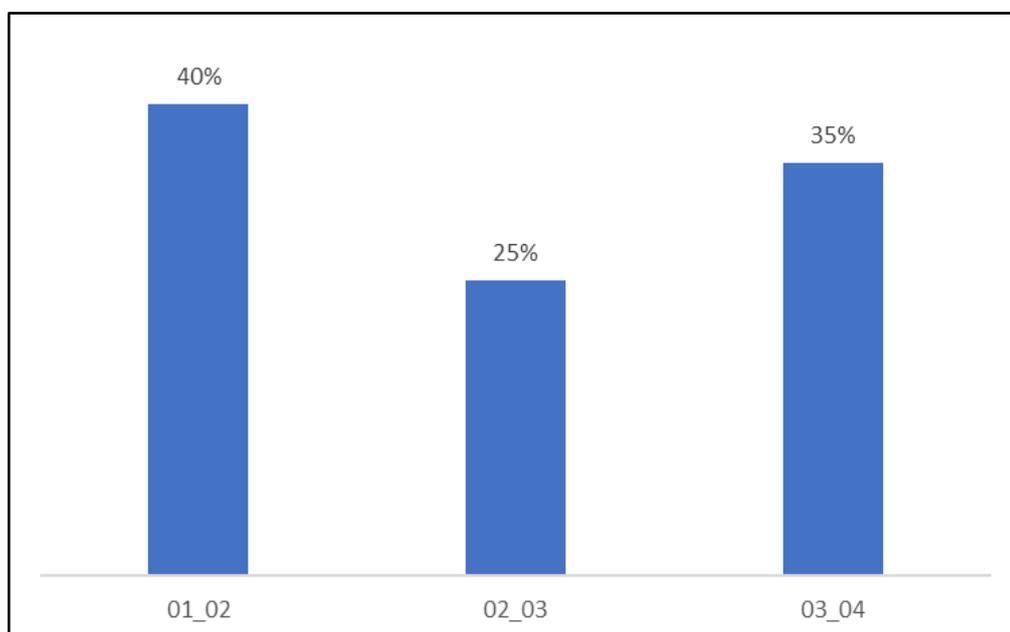


Figure 26 : Répartition des patients selon l'amyotrophie quadricipitales en cm

4.3. Le testing ligamentaire du genou :

- Aucun tiroir antérieur n'a été retrouvé chez nos patients.
- Le test de Lachman était négatif chez tous nos patients.
- Le signe de Ressaut était négatif chez tous nos patients.

V. Données de l'AQM :

1. Résultats spatio-temporels :

Tableau III : Paramètres spatio-temporels

	Valeur	DS
Nombre de cycles analyses	138	
Vitesse (m/s)	1.00	
Cadence (pas/min)	101.1	
Largeur de l'enjambée (m)	0.11	0.026
Longueur de l'enjambée (m)	1.19	0.097
Nombre de pas gauche /minute (pas/min)	100.70	8.680
Nombre de pas droit / minute (pas/min)	101.48	9.094
Longueur du pas gauche (m)	0.60	0.051
Longueur du pas droit (m)	0.59	0.049
Temps d'appui gauche (s)	0.72	0.072
Temps d'appui droit (s)	0.72	0.066
Pourcentage de la phase d'appui (%)	60	
Temps du pas gauche (s)	0.60	0.052
Temps du pas droit (s)	0.60	0.053
Temps du cycle (s)	1.20	0.100
Temps du cycle gauche (s)	1.20	0.100
Temps du cycle droit (s)	1.20	0.100
Temps d'oscillation gauche (s)	0.48	0.039
Temps d'oscillation droit (s)	0.48	0.040
Pourcentage de la phase d'oscillation (%)	40	

L'analyse des données spatio-temporelles des participants à l'étude de la marche après ligamentoplastie a permis d'obtenir les résultats suivants : La vitesse moyenne était de 1.0 mètre/seconde avec une cadence de 101.09 pas/min. La longueur du pas était de l'ordre de 0.595 mètre avec un équilibre notable entre la gauche et la droite, chaque pas prenait en moyenne 0.60 seconde. L'enjambée mesurait 1.19 mètre de longueur et 0.11 mètre de largeur, et le cycle de marche durait 1,20 seconde. La phase d'appui était de 0.72 seconde en moyenne, ce moment représentait 60% de la totalité du cycle de la marche. Tandis que la phase d'oscillation était égale à 0.48 seconde représentant ainsi 40% de la durée d'un cycle de la marche. (Tableau III, Figure 27).

Ces valeurs mesurées ne s'éloignaient guère des valeurs de référence, les petites différences retrouvées ne sont pas significatives sur le plan fonctionnel.

Speed	0.998 m/s	0.575 Statures/s
Stride	Wid(138) 0.109±0.026m	Len(138) 1.193±0.097m
Cycle Time	Computed: 1.197 s	Actual (138) 1.196±0.100 s
Measure±StdDev (Count)		Measure±StdDev (Count)
Left : 0.602±0.051 m (91)	Step Length	Right : 0.594±0.049 m (85)
Left : 0.600±0.052 s (91)	Step Time	Right 0.596±0.053 s (85)
Left Stance : 0.720±0.072 s (83)	Stance/Swing	Left Swing 0.478±0.039 s (93)
Right Stance 0.718±0.066 s (84)	Stance/Swing	Right Swing 0.480±0.040 s (84)
Left : 0.720±0.072 s (83)	Stance Time	Right : 0.718±0.066 s (84)
Left : 0.478±0.039 s (93)	Swing Time	Right : 0.480±0.040 s (84)
Left : 1.195±0.100 s (67)	Cycle Time	Right : 1.197±0.100 s (71)
Left : 100.700±8.680 (91)	Steps / Minute	Right : 101.478±9.094 (85)
Left : 50.557±4.200 (67)	Strides / Minute	Right : 50.454±4.268 (71)
Left : 0.116±0.022 s (96)	Initial DBL Support	Right : 0.122±0.025 s (104)
Dbi Limb Support (200)		0.239±0.047 s

Figure 27 : Graphique des paramètres spatio-temporels

2. Les amplitudes articulaires :

2.1. Amplitudes articulaires du bassin :

Tableau IV : Degrés antépulsion / rétropulsion du bassin

X (sagittal) : antépulsion / rétropulsion				
	Gauche	DS	Droit	DS
Bassin MIN (antépulsion)	7.32	±6.03	7.24	±5.66
Bassin MAX (rétropulsion)	6.15	±5.96	5.68	±5.80
Amplitude	1.17		1.56	
Moyenne des 2 bassins	1.365			

Sur le plan sagittal (X), les degrés d'antépulsion /rétropulsion des bassins, au cours du cycle de marche des participants à l'étude, variaient (de 7.32° à 6.15 °) pour la gauche et (de 7.24° à 5.68°) pour la droite, ainsi donnant une amplitude de 1.17° à gauche et 1.56° à droite, ce qui a donné une moyenne d'amplitude de 1.365° entre les 2 bassins droit et gauche. (Tableau IV, Figure 28)

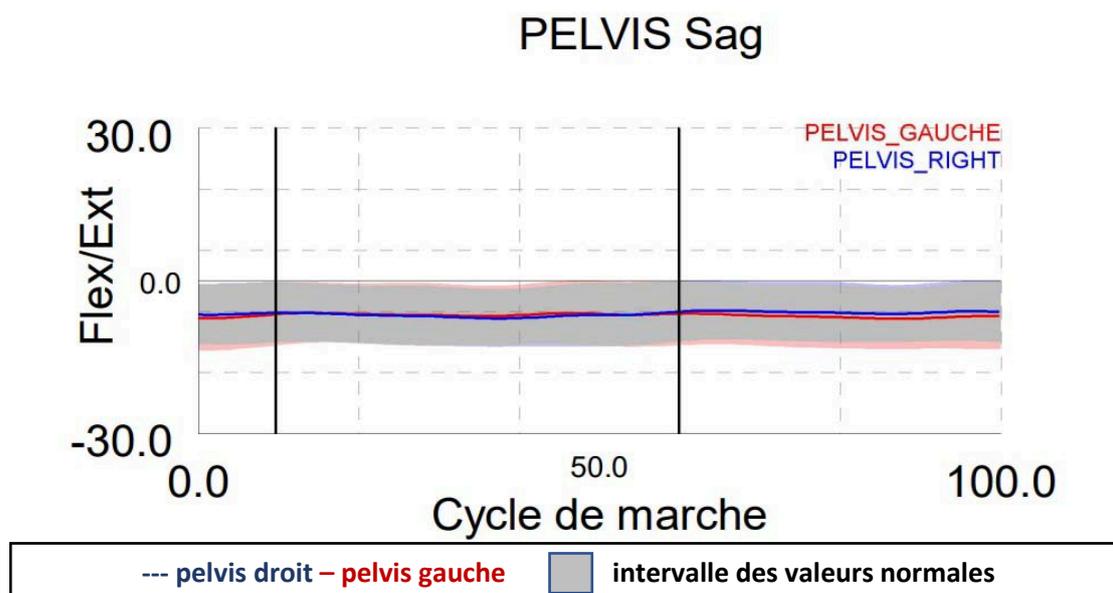


Figure 28 : Graphique des degrés d'antépulsion/rétropulsion du bassin

La moyenne d'amplitude des bassins gauches et droits faisait partie de l'intervalle des valeurs normales, ce qui nous a permis de dire que l'articulation du pelvis est dans les normes. (Figure 28)

2.2. Amplitudes articulaires des hanches :

Tableau V : Degrés de flexion/extension de la hanche

X (sagittal) : flexions / extensions				
	Gauche	DS	Droit	DS
Hanche MIN (extension)	8.85	±7.73	8.47	±7.85
Hanche MAX (flexion)	30.04	±7.48	29.03	±6.85
Amplitude	38.90		37.51	
Moyenne des 2 hanches	38.205			

Sur le plan sagittal (X), les degrés de flexion /extension des hanches, au cours du cycle de marche des participants à l'étude, variaient (de 8.47° comme pic d'extension à 29.03° comme pic de flexion) pour la droite et (de 8.85° comme pic d'extension à 30.04° comme pic de flexion) pour la gauche, donnant une amplitude de 37.51° à droite et 38.90° à gauche, ce qui a donné une moyenne d'amplitude de 38.205° entre les 2 hanches droite et gauche. (Tableau V, Figure 29)

HANCHE Sag

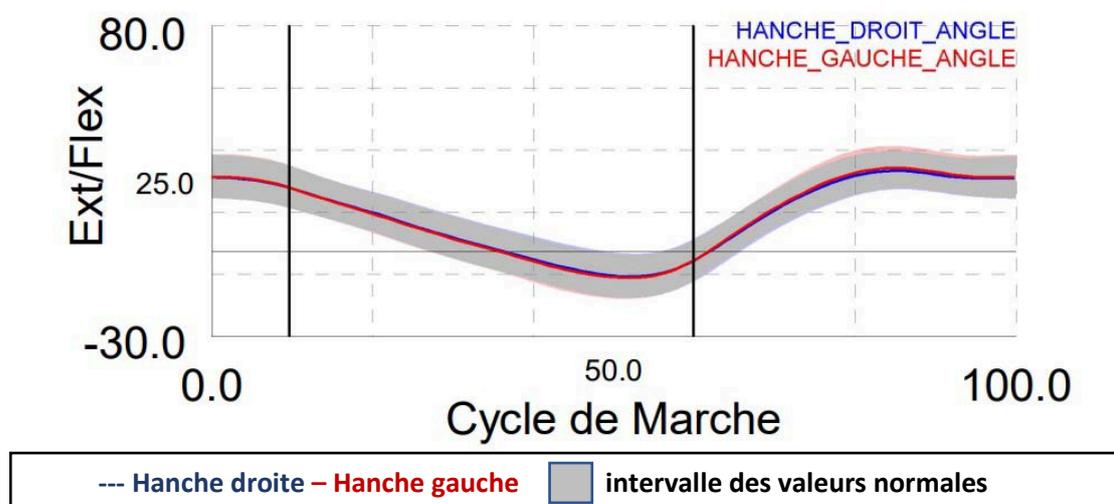


Figure 29 : Graphique des degrés de flexion/extension de la hanche

La moyenne d'amplitude des hanches gauches et droites faisait partie de l'intervalle des valeurs normales, ce qui nous a permis de dire que l'articulation de la hanche est dans les normes. (Figure 29)

2.3. Amplitudes articulaires des genoux :

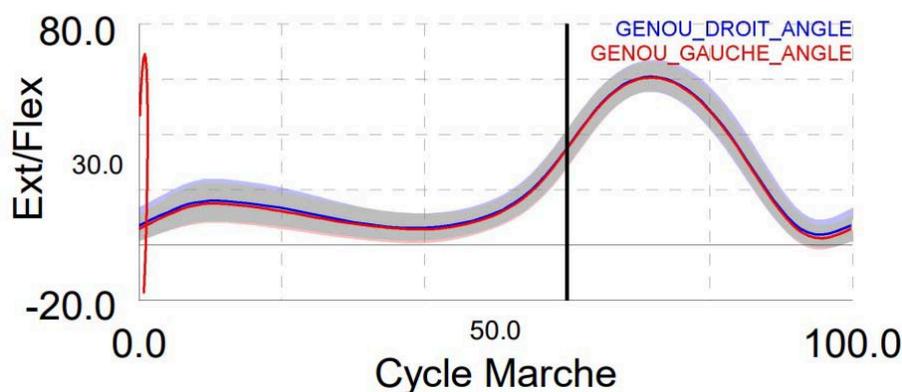
Tableau VI : Degrés de flexion/extension du genou

X (sagittal) : flexions / extensions				
	Gauche	DS	Droit	DS
Genou MIN (Extension)	2.81	±4.38	4.16	±5.09
Genou MAX (Flexion)	61.16	±5.31	61.41	±5.78
Amplitude	58.35		57.25	
Moyenne des 2 genoux	57.80			

Sur le plan sagittal (X), les degrés de flexion/extension des genoux droits, au cours du cycle de marche des participants à l'étude, variaient (de 4.16° équivalent au pic d'extension à 61,41° comme 2^{ème} pic de flexion), alors que le 1er pic était égal à 16.40° ± 7.69, donnant une amplitude de 57.25°.

Pour les genoux gauches, ces paramètres variaient (de 2,81° équivalent au pic d'extension à 61,16° comme 2^{ème} pic de flexion), au moment où le 1er pic était égal à 15.40° ± 7.25, donnant une amplitude de 58.35°. La moyenne d'amplitude des deux genoux droit et gauche était de 57.80°. (Tableau VI, Figure 30)

GENOU Sag



--- Genou droit – Genou gauche intervalle des valeurs normales

Figure 30 : Graphique des degrés de flexion/extension du genou

La moyenne d'amplitude des genoux gauches et droits faisait partie de l'intervalle des valeurs normales, ce qui nous a permis de dire que l'articulation du genou est dans les normes. (Figure 30)

2.4. Amplitudes articulaires des chevilles :

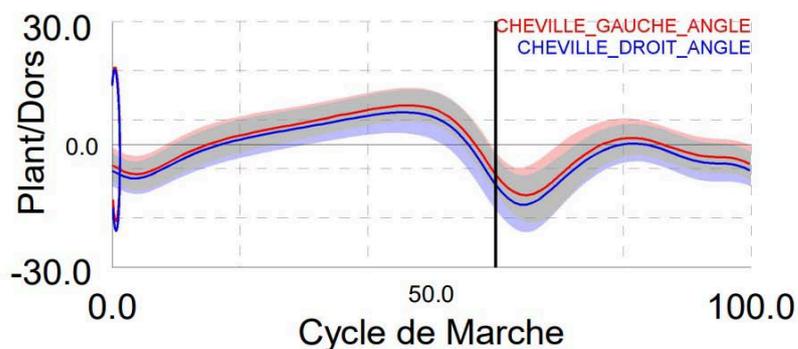
Tableau VII : Degrés de flexion/extension de la cheville

X (sagittal) : flexions / extensions				
	Gauche	DS	Droit	DS
Cheville MIN (Flexion plantaire)	12.21	±6.88	14.48	±7.03
Cheville MAX (Flexion dorsale)	9.83	±4.09	8.11	±5.35
Amplitude	22.04		22.59	
Moyenne des 2 chevilles	22.315			

Sur le plan sagittal (X), les degrés de flexion/extension des chevilles gauches, au cours du cycle de marche des participants à l'étude, variaient (de 12.21 ° équivalent au 2ème pic d'extension à 9.83° comme 1er pic de flexion), donnant une amplitude de 22.04°.

Pour les chevilles droites, ces paramètres variaient (14.48 ° équivalent au 2ème pic d'extension à 8.11° comme 1er pic de flexion), donnant une amplitude de 22.59°. La moyenne des deux chevilles droite et gauche était de 22.315° (Tableau VII, Figure31)

CHEVILLE Sag



University Hospital of Marrakech

--- Cheville droite – Cheville gauche □ intervalle des valeurs normales

Figure 31 : Graphique des degrés de flexion/extension de la cheville

La moyenne d'amplitude des chevilles gauches et droites faisait partie de l'intervalle des valeurs normales, ce qui nous a permis de dire que l'articulation de la cheville est dans les normes. (Figure 31)

3. Réaction de la plateforme de force :

Tableau VIII : Réaction de la plateforme de force (GRF) du pied droit et gauche.

	Gauche (N/kg)		Droit (N/KG)	
Premier pic	0.92	±0.06	0.92	±0.08
Second pic	1.00	±0.07	0.98	±0.07
Minimum entre premier pic et second pic	0.77	±0.06	0.77	±0.05

Le 1er pic de la force exercée par les deux membres en vertical sur la plateforme était égal à 0.92 N/Kg, Le 2ème pic de la force exercée par les deux membres en vertical sur la plateforme était égal à 0.99 N/Kg, Le pic minimal entre les deux pics précédents, de la force exercée par les deux membres en vertical sur la plateforme était égal à 0.77 N/Kg. (Tableau VIII, Figure 32)

GRF

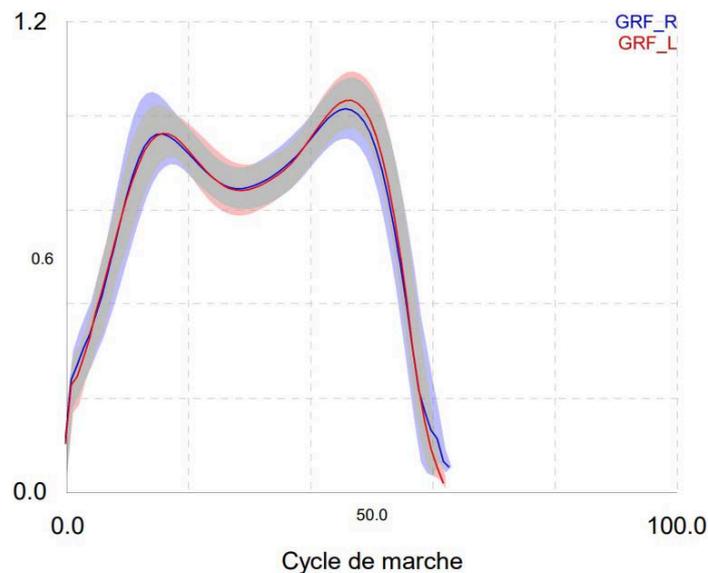


Figure 32 : Graphique de la réaction de la plateforme de force

La moyenne des GRF gauches et droites faisait partie de l'intervalle des valeurs normales, ce qui nous a permis de dire que la réaction de la force au sol après ligamentoplastie est dans les normes. (Figure 32)



DISCUSSION



I. Définition de la marche :

La marche est le mode de déplacement inné de l'homme, lui permettant de combiner le maintien de l'équilibre debout et la propulsion. Elle met en jeu de manière combinée et alternée les deux membres inférieurs de manière synchrone ; la marche consiste à mettre un pied devant l'autre de manière alternée et répétée. La marche est caractérisée par un suivi de doubles appuis et d'appuis unipodaux, le corps restant en permanence en contact avec le sol par au moins un appui unilatéral [5].

La marche est organisée en cycles symétriques de mouvement des membres inférieurs. Pendant ces cycles, les mouvements relatifs des différentes composantes du membre inférieur : les pieds, les jambes, les genoux, les cuisses et le bassin sont également symétriques [4].

La description du cycle de marche est codifiée sur le plan international et constitue la base de la description d'une marche normale ou pathologique. Pour chaque membre, on distingue deux phases différentes : **La phase d'appui** et **la phase oscillante** [5]. (Figure 33)

- **La phase d'appui** : la période où le pied est en contact avec le sol. Le début correspond au contact initial (contact pied/sol) et la fin correspond au décollement des orteils (perte du contact). Elle s'étend de 0% à 60% du cycle de marche [5].
- **La phase oscillante** : la période où le pied n'est plus en contact avec le sol et qui permet l'avancée du membre inférieur. Le début correspond au décollement des orteils et la fin au contact initial suivant du même pied. Elle s'étend de 60% à 100% du cycle de marche [5].

Plusieurs structures anatomiques sont mises en jeu lors de la locomotion, notamment : L'articulation coxo-fémorale, l'articulation du genou, l'articulation Talo-crurale, et les articulations du tarse [6].

Pour conclure : on retiendra que toute atteinte, altération ou dysfonctionnement d'une ou de plusieurs structures anatomiques participant activement à la marche est susceptible de modifier ses caractéristiques [5].

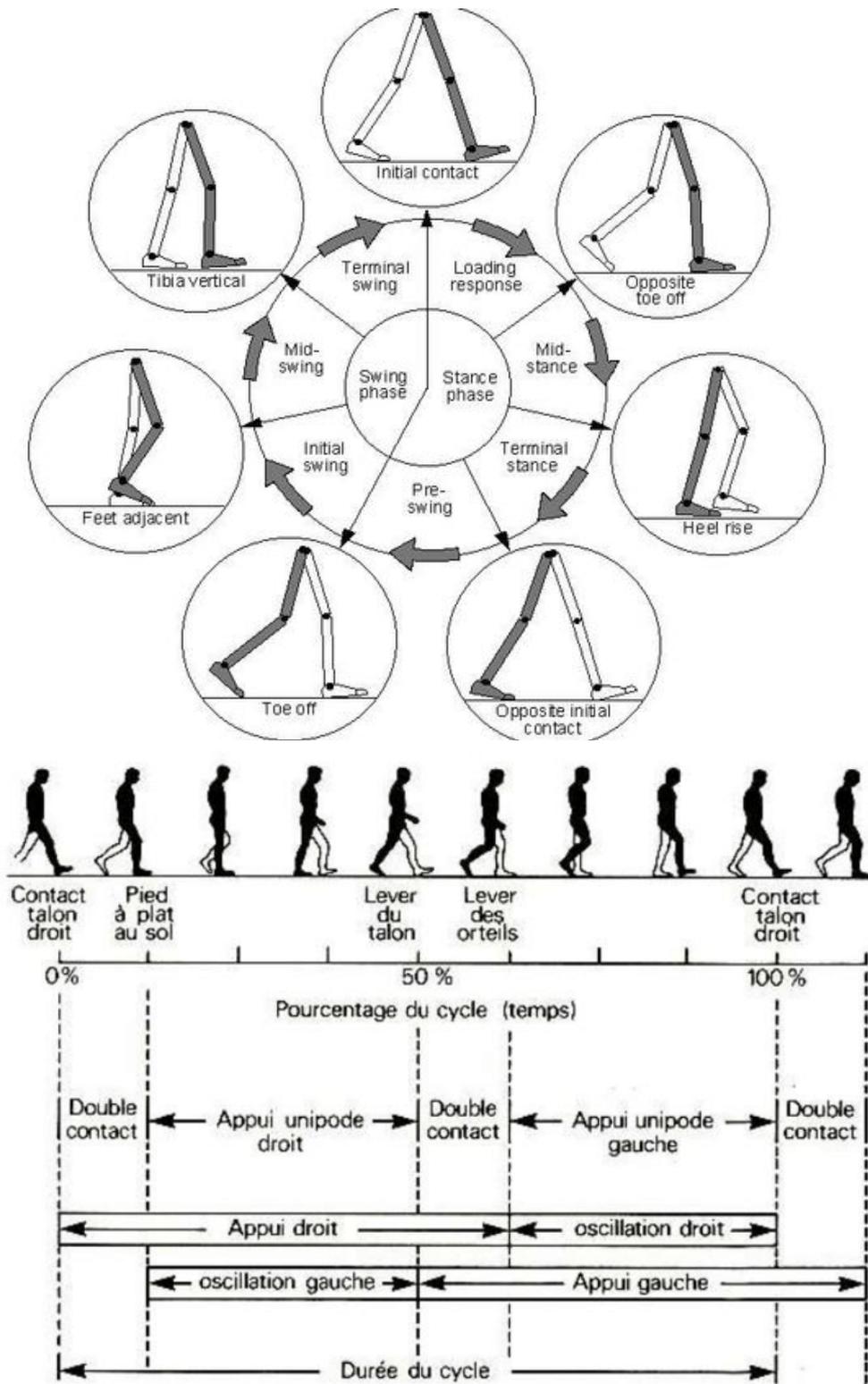


Figure 33 : Deux représentations complémentaires du cycle de marche : (haut) d'après Whittle (Whittle 2002) et (bas) d'après Viel (Viel 2000)

II. Historique de l'analyse de la marche :

La marche humaine constitue le champ d'études le plus ancien et le plus étudié en biomécanique. Les connaissances sur cette discipline sont liées au développement et l'avancée des techniques de mesure du mouvement au fil du temps [7].

Jusqu'au milieu du 19^{ème} siècle, aucun moyen ne permettait d'enregistrer le mouvement de l'Homme. C'est en 1870, lors de l'apparition des systèmes photographiques que Etienne Jules Marey effectuait les premiers clichés [12] (Figure 34). En 1895, Braun et Fischer ont apporté quelques modifications à la technique de Etienne Jules Marey, leur permettant un enregistrement 3D des trajectoires ainsi qu'un calcul de la vitesse et de l'accélération.

Aux Etats-Unis en 1981, Gage a permis l'ouverture du premier laboratoire d'analyse de la marche [13].

En 1990, pour la première fois Berchuck et al, ce sont intéressés aux déviations de la marche après rupture du LCA [60]. 3 ans après, en 1993, Timoney et al, ont étudié les déviations de la marche après ligamentoplastie [61].

Ce type d'exploration de la marche est aujourd'hui considéré comme un examen à part entière puisqu'il fut évalué puis validé par la (HAS, 2006) et introduit dans la Classification Commune des actes médicaux.

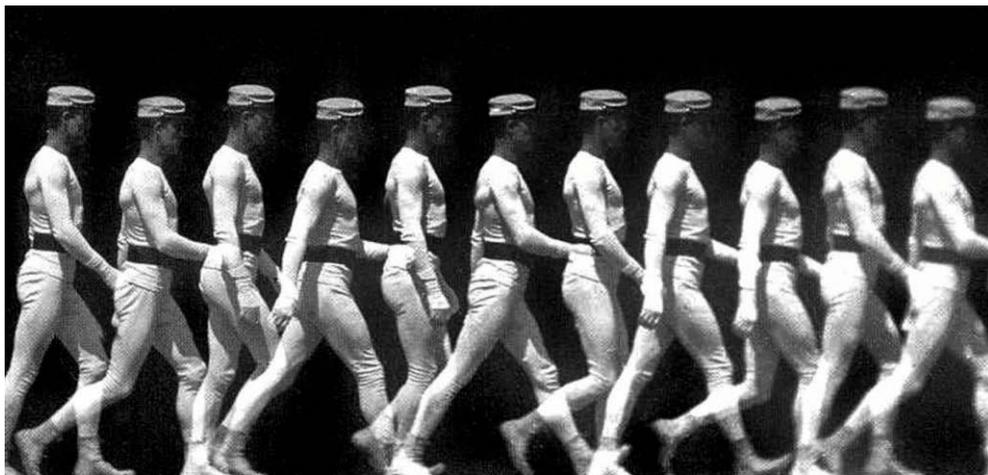


Figure 34 : Image Chronophotographique d'un homme qui marche (1983)
par Etienne Jules Marey

III. l'Analyse quantifiée de la marche :

1. Définition de l'Analyse quantifiée de la marche :

L'AQM est un examen effectué au niveau du laboratoire de la marche, visant à une meilleure compréhension des difformités rencontrées et qui est devenue un outil considérable d'évaluation clinique permettant de choisir les traitements de manière plus efficace [15]. Cet examen est prescrit par un spécialiste en médecine physique et rééducation fonctionnelle, principalement pour les pathologies orthopédiques, post-traumatiques et neurologiques [13].

L'AQM correspond à l'acquisition synchronisée de données cinématiques, cinétiques et électromyographiques du sujet en train de marcher, ce qui permet de mesurer les angles articulaires, les forces de réaction du sol et les activations musculaires, Les paramètres spatio-temporels sont également obtenus par l'AQM [5].

Ces paramètres sont obtenus en utilisant un matériel qui diffère d'un laboratoire à un autre. Mais la plupart travaillent dans une pièce suffisamment grande comportant une ligne droite sur une distance de 10 mètres sur laquelle le patient va marcher et suffisamment large pour placer le matériel d'acquisition permettant d'enregistrer au minimum un cycle de marche complet.

2. Le matériel de l'Analyse quantifiée de la marche : (figure35)

Le matériel d'acquisition comprend : du matériel vidéo pour filmer le patient de face et de profil, un système optoélectronique permettant la mesure de la cinématique des segments, des plates-formes de force au sol pour la dynamique permettant un enregistrement des forces de réaction au sol, un système électromyographique pour enregistrer l'activité des muscles. Le tout est synchronisé et connecté à un ordinateur pour l'acquisition des données. Certains laboratoires évaluent également la consommation d'oxygène ou la pression plantaire des pieds sur le sol [12].

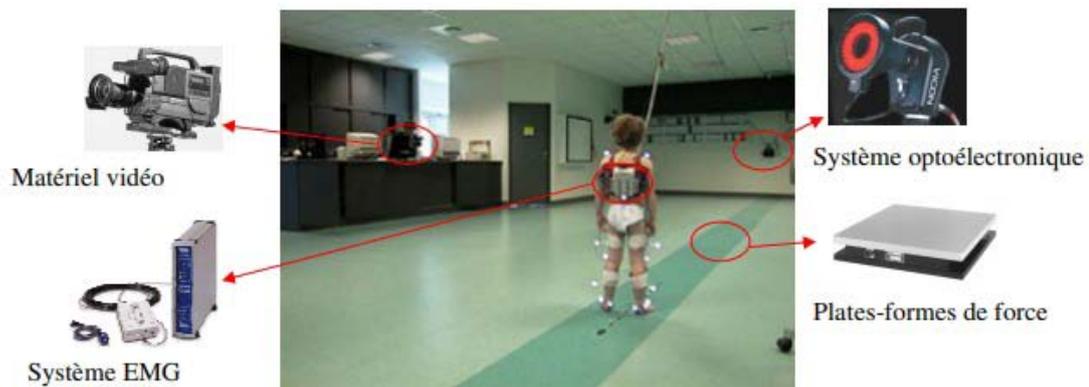


Figure 35 : Matériel standard d'un laboratoire d'analyse du mouvement :
laboratoire de l'Institut Saint-pierre à Palavas (34. France) [12]

3. Déroulement de l'Analyse quantifiée de la marche :

Les patients sont adressés aux laboratoires d'analyse du mouvement sur prescription médicale qui précise à l'anamnèse, le but de l'examen, les éléments à rechercher, et parfois les solutions thérapeutiques envisagées [16].

Avant tout examen, une préparation de la salle d'examen est primordiale par l'ingénieur comprenant : le calibrage du système optoélectronique, le calibrage des plateformes de force, la préparation des électrodes et des marqueurs EMG [30].

L'examen est généralement réalisé en plusieurs parties : un examen clinique minutieux, la préparation du patient et l'enregistrement de la marche [5].

- ✓ **L'examen clinique** consiste à rechercher :
- ✓ Les données anthropométriques du sujet (largeur des articulations, longueur des membres inférieurs, masse, taille ...) nécessaires au modèle musculosquelettique afin de pouvoir calculer par approximation géométrique les positions des centres articulaires des hanches, genoux et chevilles [30].
- ✓ La présence de douleur lors de la marche : préciser sa localisation et son moment de survenue dans le cycle de marche.

- ✓ L'examen des capacités d'équilibration (recherche d'une ataxie).
- ✓ L'examen des amplitudes articulaires des membres inférieurs.
- ✓ L'examen de la force musculaire des membres inférieurs.
- ✓ L'examen de la sensibilité des membres inférieurs et l'examen du tonus musculaire.
Sans oublier de compléter l'examen neurologique avec la recherche d'autres signes d'atteinte du système nerveux central ou périphérique [5].
- ✓ **Préparation du patient** : La préparation du sujet représente l'un des moments essentiels de l'analyse puisque la validité et la précision des valeurs obtenues en dépendent [30]. Elle consiste en la mise en place de 30 marqueurs superficiels sur des repères anatomiques très précis, suscités dans la partie méthodes [5].
- ✓ **Enregistrement** : débute par un enregistrement statique du sujet afin de calibrer la position des marqueurs et de calculer les positions de ses centres articulaires. (Figure 36)

L'acquisition dynamique démarre après, et elle nécessite plusieurs allers-retours du patient afin d'obtenir des données moyennes et davantage représentative de sa marche [30], avec appui sur la plateforme de force [5]. (Figure 37)



Figure 36 : Images représentant l'enregistrement statique des marqueurs et permettant de calculer les positions de ses centres articulaires



Figure 37 : Images représentant l'acquisition dynamique qui consiste à faire des allers-retours en s'appuyant sur la plateforme de force (image de gauche)

4. Données de l'Analyse quantifiée de la marche :

Une fois que l'AQM est réalisée, les données sont analysées, vérifiées et mises dans un rapport qui va servir à l'interprétation des désordres de la marche. Les données numériques de la marche du patient sont présentées sous forme de graphiques et comparées aux données de sujets sains pour identifier les éventuels défauts de marche [16].

Les paramètres qui décrivent les mouvements des membres du corps dans l'espace et le temps sont appelés spatio-temporels et ils sont obtenus à partir des données cinématiques, cinétiques et électromyographiques [17].

❖ **Les principaux paramètres spatiaux sont :** (Figure 38)

- **Le pas :** la progression vers l'avant du pied oscillant par rapport au pied portant [5].
- **La longueur du pas (en mètres) :** distance de progression vers l'avant du pied oscillant par rapport à l'autre. Par exemple : (la longueur du pas gauche correspond à la distance séparant les deux talons lors du temps du double appui de réception gauche) [18].
- **La largeur du pas (en mètres) :** distance entre l'axe de progression et la partie médiane du talon [5].
- **L'angle de pas (en degrés) :** l'angle ouvert en avant formé entre l'axe de progression et l'axe du pied [5].
- **L'enjambée (en mètres) :** la distance entre deux contacts au sol du même membre inférieur (correspond à deux pas). Cette longueur est corrélée à la longueur des membres inférieurs, elle augmente progressivement avec la croissance de l'enfant [19].

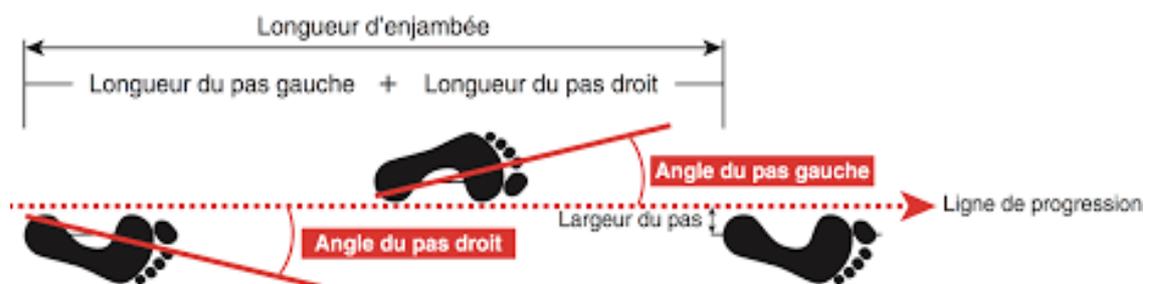


Figure 38 : Principaux paramètres spatiaux du cycle de la marche

❖ **Les principaux paramètres temporels sont [5] :**

- **La cadence de la marche (pas/minute) :** nombre de pas par minute.
- **La vitesse de marche (en mètres/seconde) :** calculée par une relation mathématique entre la cadence de marche (pas/minute) et la longueur

d'enjambée (mètres) ; (Vitesse de marche = (Longueur d'enjambée x cadence) / 120).

Une seconde technique pour calculer la vitesse de marche est de chronométrer la durée mise par le sujet pour parcourir une distance donnée.

- **Le temps d'appui bipodal (en secondes ou en % du cycle de marche)** : la durée moyenne des temps de double appui lors du cycle de marche.
- **Le temps d'appui unipodal (en seconde ou en % du cycle de marche)** : la durée moyenne du temps d'appui unipodal lors d'un cycle de marche droit ou gauche. Le temps d'appui unipodal d'un côté correspond au temps oscillant controlatéral.

En l'absence de pathologie, la marche est dite « symétrique » en termes de paramètres spatio-temporels, quel que soit le sexe et l'âge du patient.

- ❖ **La cinétique** : l'étude des forces et moments de force qui s'exercent sur un objet. Elle est définie par un point d'application, une direction, un sens et une intensité exprimée en Newton. Une force a tendance à déplacer l'objet selon un mouvement de translation, ou à le déformer. Le moment de force en un point est la tendance qu'à cette force à provoquer une rotation de l'objet autour du point. Le moment de force est modulé par l'intensité de la force appliquée et par la longueur du bras de levier. La force qui est analysée est la force de réaction du sol. Celle-ci est mesurée durant toute la phase d'appui. Elle est matérialisée par un vecteur dirigé vers le haut, dont la longueur (intensité) est proportionnelle au poids du sujet [5].
- ❖ **La cinématique** : l'étude des angles articulaires au cours du cycle de marche. L'observation visuelle simple de la marche permet souvent d'appréhender les principales anomalies, mais il s'agit d'une analyse difficile en raison de la rapidité des mouvements, qui de plus n'est pas quantifiée. L'analyse vidéographique tend à se développer pour permettre de faire de l'analyse cinématique 2D voire 3D, mais il ne s'agit pas encore de la technique de référence [5].

- ❖ **L'électromyographie** : étudie le pattern d'activation des muscles au cours d'un cycle de marche [20]. Les données électromyographiques indiquent les périodes et l'intensité de contraction des muscles et permettent d'identifier les périodes anormales de contraction, ou encore une activité spastique [16].

5. les limites de l'analyse quantifiée de la marche :

Bien que l'AQM soit capitale pour comprendre les troubles de la marche, cet examen présente des limites qu'il est nécessaire de connaître lors de l'interprétation des résultats.

Ces limites sont liées à l'enregistrement de la marche (précision des outils de mesures, position des marqueurs), aux modèles biomécaniques utilisés (difficulté à représenter la réalité et la complexité anatomique), aux possibilités et à la variabilité de marche du patient (fatigabilité, marche avec aides techniques) et à l'interprétation des données (distinguer déviations primaires et compensations, influence de la vitesse de marche) [21].

IV. La ligamentoplastie :

La prise en charge des ruptures du LCA a connu une grande évolution grâce à une meilleure compréhension de l'anatomie et de la biomécanique du genou, à l'émergence de plusieurs techniques de ligamentoplastie et de nouveaux moyens de fixation du transplant, et au développement de ces techniques sous arthroscopie, permettant ainsi un meilleur contrôle du positionnement de la greffe et un traitement plus efficace des lésions méniscales ou cartilagineuses associées [40].

Il est démontré que la reconstruction du LCA par autogreffe tendineuse permet de réduire la laxité, de corriger l'instabilité du genou et de retrouver un niveau d'activité meilleur comparé aux réparations primaires par suture tendineuse qui a connu un taux d'échec de 100% selon Frank et Jackson [41] et Grontvedt et al [42][40].

Divers greffons sont utilisés : le tendon patellaire, le fascia-lata, les tendons ischio-jambiers, répondant à plusieurs techniques chirurgicales :

- ✓ **Technique Kenneth-Jones** : utilise le tendon patellaire [40], L'implant le plus populaire avec ses 2 pastilles osseuses, rotuliennes et tibiales. Il possède une excellente résistance à la charge, une grande rigidité et permet une implantation solide os dans os. Son principal désavantage concerne les possibles douleurs au site du prélèvement et une dysfonction de l'articulation fémoro-patellaire [48][49].
- ✓ **Technique DIDT** : utilise les tendons ischio-jambiers (droit interne et du demi-tendineux) [40] combinés de manière à former un greffon à 2 ou 4 faisceaux. Cet implant est très rigide avec une résistance à la charge 2 fois supérieure comparé au LCA natif, mais sa fixation et son intégration aux sites d'insertions sont plus difficiles [50]. C'est la technique la plus utilisée dans notre étude.
- ✓ **La technique de Macintosh (Jaeger)** : utilise une bandelette de fascia Lata [40] est devenue de plus en plus rare, mais elle garde toujours ces indications [47].
- ✓

❖ **Buts de la ligamentoplastie [40] :**

- ✓ Supprimer l'instabilité du genou et si possible pallier la laxité du genou.
- ✓ Traiter les lésions associées : limiter la translation tibiale antérieure pour éviter l'apparition des lésions méniscales secondaires et biaiser la marche.
- ✓ Eviter une arthrose précoce du genou.

❖ **Choix thérapeutiques :**

Généralement les LCA défailants sont à l'origine d'une altération marquée des capacités biomécaniques et dynamiques des genoux lésés.

L'abstention thérapeutique est probablement le meilleur traitement pour les patients âgés, non motivés et ayant peu ou pas d'activité sportive, au contraire pour les jeunes adultes, ayant un haut degré d'activité ou pratiquant un sport de compétition, le traitement chirurgical est considéré comme préférable.

La reconstruction du LCA est bénéfique pour le patient puisqu'elle permet une meilleure évolution et un ralentissement du processus arthrogène.

La supériorité de la ligamentoplastie sous arthroscopie n'est plus à démontrer, tandis que d'autres questions restent débattues depuis plusieurs années dans la littérature :

- ✓ **Le choix du greffon :** Le greffon idéal devrait reproduire l'anatomie complexe du LCA et fournir des propriétés biomécaniques comparables.

Une étude comparative de Kelberine F [43] concernant les autogreffes dans les ligamentoplasties intra-articulaires avait démontré que le tendon rotulien est le plus solide suivi de l'association des deux tendons de la patte d'oie eux-mêmes plus solides que le demi-tendineux isolé et enfin le fascia lata reste le plus fragile.

Marder en 1991a comparé le tendon rotulien et les muscles de la patte d'oie et a démontré une faiblesse de la patte d'oie au testing musculaire. En revanche, il a ajouté que l'utilisation du tendon rotulien met en évidence sans valeur significative une moindre laxité, une meilleure fonction mais aussi des douleurs un peu plus fréquentes.

Enfin. Steiner en 1994 a montré que la stabilité de l'ancrage os-os du tendon rotulien est meilleure que la fixation os-tendon de la patte d'oie

Dans tous les cas, une rééducation doit être prescrite afin de renforcer les muscles ischio-jambiers et quadriceps, et d'améliorer la proprioception. Les différents transplants ont chacun leurs caractéristiques biomécaniques et structurales.

- ✓ **Le choix du moyen de fixation** : les moyens de fixation sont divers et chacun a ses propres caractéristiques (vis d'interférence, vis rondelles, fixation par fil, fixation par bouton). Si un transplant rotulien a été choisi, l'ancrage os-os par vis d'interférence est meilleur que celui pratiqué avec des vis rondelles, lui-même meilleur que la fixation par fil et boutons [43].

- ✓ **Le placement des tunnels** : L'emplacement des tunnels fémoral et tibial est également capital dans les reconstructions du LCA. Diverses études radiologiques [51][52][53] ont montré qu'un placement incorrect des tunnels est généralement source d'échecs après reconstruction. Selon une analyse des erreurs ayant entraîné un échec de la ligamentoplastie, on trouve qu'un placement incorrect des tunnels est à l'origine d'échec dans près de 3 cas sur 4 [54]. Bien que l'emplacement anatomique du ligament croisé antérieur ait été bien documenté [55][56][57][58].

V. intérêt de l'analyse quantifiée de la marche après Ligamentoplastie :

La rupture du LCA a des conséquences biomécaniques : Les forces appliquées au niveau du genou, pendant la phase monopodale de la marche, sont décomposées dans le plan sagittal en deux forces : Une force de compression verticale et une force de cisaillement [39].

A chaque phase d'appui de la marche, la translation tibiale antérieure déplace les forces de compression à la partie postérieure du plateau tibial interne et entraîne des lésions cartilagino-méniscale [39].

Le principal empêchement ou frein à la force de cisaillement est le LCA. C'est un stabilisateur passif qui limite la translation tibiale antérieure [39]. D'où le recours à la ligamentoplastie qui a pour but principal de limiter et contrôler cette translation et éviter l'apparition des lésions dégénératives affectant la marche [40].

L'identification des défauts de marche après ligamentoplastie est impérative pour juger l'efficacité de la chirurgie réalisée. Cependant, il convient de noter que la méthode standard subjective (observation visuelle, périmètre de la marche, instabilité résiduelle, douleur) pour identifier une marche anormale après ligamentoplastie n'a pas donné ses fruits d'où la nécessité de la présence d'un laboratoire d'analyse de mouvement [59].

L'AQM a montré son intérêt pour faire la synthèse des défauts de marche d'un patient en les détectant et en les chiffrant. Par interprétation patho-biomécanique, il est souvent possible de remonter aux causes cliniques de ces troubles de marche. Ainsi pouvoir proposer des traitements efficaces pour pallier à ses biais [26][27][28].

L'AQM a aussi pour rôle d'évaluer le résultat d'un traitement, par exemple la ligamentoplastie en comparant l'AQM réalisée avant et après traitement chirurgicale ; Il devient possible d'ajuster ce dernier soit par une reprise chirurgicale ou bien par un bon protocole de rééducation [75].

VI. Comparaison des données de l'Analyse quantifiée de la marche entre marche physiologique normale et marche après ligamentoplastie.

1. Identification :

Tableau IX : Comparaison des données socio démographiques et anthropométriques

	Notre étude	F.Guidouni [29]	W.Dhahbi et al [62]	S.Winiarski et al [63]	J.Latorre et al [64]	A.Frizowicz et al [65]	B.Pietraszewski et al [66]
Nombre	20	25	18	20	328	28	17
Age	31.5	24	23.30	20.14	43.3	21.1	22
Sexe	85% homme 15% femme	60% homme 40% femme	100% homme	100% Femme	56% femme 44% homme	100% Femme	100% Homme
Poids	72.78	70.28	70	62.6	/	57.1	76.3
Taille	1.73	1.73	1.78	1.68	/	1.67	1.79
IMC	24.14	23.16	22.08	22.17	/	20.33	23.81

Les résultats obtenus par la collecte et l'analyse des dossiers des participants à l'étude de la marche après ligamentoplastie concernent 20 participants. Au moment où S. Winiarski et al [63], W. Dhahbi et al, 2013 [62], F.Guidouni [29] , A.Frizowicz et al [65] et B.Pietraszewski et al [66] ont effectué des recherches similaires mais sur des sujets sains permettant de comparer et de soustraire les défaillances , qui ont respectivement travaillé avec 20, 18 ,25 , 28 et 17 participants.

L'âge moyen de notre population est de 31.5 ans, alors que pour W. Dhahbi et al [62] ont une moyenne de 23.30 ans, 20.14 ans pour S.Winiarski et al [63], 24 ans pour F.Guidouni [29] , 21.1ans pour A.Frizowicz et al [65] et enfin 17 ans pour B.Pietraszewski et al [66] , tous une population de sujet jeune .

La corpulence est détaillée en fonction des moyennes du poids, de la taille et de l'IMC qui sont respectivement égaux à 72.78kg, 1.73m et 24.14 kg/m² très proche aux valeurs trouvées

par F.Guidouni [29] 70,28 kg, 1.73 m et 23,16 kg/m² et B.Pietraszewski et al [66] qui ont trouvé 76.3kg ,1.79m et 23.81 kg/m². Alors qu'ils s'éloignent un peu des valeurs de 70 kg, 1.78 m et 22.08 kg/m² pour W. Dhahbi et al [62] et à 62,6kg, 1.68 m et 22,02 kg/m² pour S. Winiarski et al [63].

Concernant le sexe de la population, W. Dhahbi et al [62] et B.Pietraszewski et al [66] ont travaillé exclusivement avec des hommes tandis que S. Winiarski et al [63] et A.Frizowicz et al [65] ont travaillé exclusivement avec des femmes, contrairement à notre étude et celle de J.Latorre et al [64] qui ont concerné les deux sexes .

2. Paramètres spatio-temporels

Tableau X : Comparaison des paramètres spatio-temporels

	Notre étude	Valeurs marche normale F.Guidouni [29]	Valeurs marche normale W.Dhahbi et al [62]	Valeurs marche normale S.Winiarski et al [63]	Valeurs marche normale J.Latorre et al [64]	Valeurs marche normale A.Frizowicz et al [65]	Valeurs marche normale B.Pietraszewski et al [66]
Vitesse (m/s)	1.00	1.17	1.225	1.04	1.172	1.37	1.16
Cadence (pas/min)	101.1	108.6	68.4	100.8	109.705	/	102.6
Largeur de l'enjambée (m)	0.11 +/- 0.026	0.11 +/- 0.036	/	0.16 +/- 0.02	0.117 +/- 0.03	0.14 +/- 0.02	0.16 +/- 0.02
Longueur de l'enjambée (m)	1.19 +/- 0.097	1.31 +/- 0.134	1.39 +/- 0.12	1.25 +/- 0.08	1.28 +/- 0.12	1.41 +/- 0.09	1.35 +/- 0.13
Nombre de pas gauche /minute (pas/min)	100.70 +/- 8.680	108.12 +/- 7.38	/	/	/	/	/
Nombre de pas droit /minute (pas/min)	101.48 +/- 9.094	108.66 +/- 7.38	/	/	/	/	/
Longueur du pas gauche (m)	0.60 +/- 0.051	0.65 +/- 0.059	/	/	/	/	0.60 +/- 0.05
Longueur du pas droit (m)	0.59 +/- 0.049	0.65 +/- 0.055	/	0.56 +/- 0.04	/	/	0.58 +/- 0.07
Temps d'appui gauche (s)	0.72 +/- 0.072	0.65 +/- 0.048	/	/	/	/	0.78 +/- 0.07
Temps d'appui droit (s)	0.72 +/- 0.066	0.65 +/- 0.046	/	/	/	/	0.79 +/- 0.07

Tableau X : Comparaison des paramètres spatio-temporels » suite »

	Notre étude	Valeurs marche normale F.Guidouni [29]	Valeurs marche normale W.Dhahbi et al [62]	Valeurs marche normale S.Winiarski et al [63]	Valeurs marche normale J.Latorre et al [64]	Valeurs marche normale A.Frizowicz et al [65]	Valeurs marche normale B.Pietraszewski et al [66]
Pourcentage de la phase d'appui (%)	60%	58.77	/	64.5	62	59	64.75
Temps du pas gauche (s)	0.60 +/- 0.052	0.55 +/- 0.038	/	/	/	/	/
Temps du pas droit (s)	0.60 +/- 0.053	0.55 +/- 0.038	/	/	/	/	/
Temps du cycle (s)	1.20+/- 0.100	1.11 +/- 0.104	/	1.20+/- 0.11	1.10+/- 0.102	1.02 +/- 0.05	1.18+/-0.08
Temps du cycle gauche (s)	1.20 +/- 0.100	1.11 +/- 0.092	/	/	/	/	/
Temps du cycle droit (s)	1.20 +/- 0.100	1.12 +/- 0.114	/	/	/	/	/
Temps d'oscillation gauche (s)	0.48 +/- 0.039	0.46 +/- 0.031	/	/	/	/	0.39+/-0.02
Temps d'oscillation droit (s)	0.48 +/- 0.040	0.46 +/- 0.032	/	/	/	/	0.39+/-0.02
Pourcentage de la phase d'oscillation (%)	40%	41.24	/	35.5	38	41	36.25

En comparant, les données spatio-temporelles obtenues chez nos patients, avec celles obtenues chez les sujets sains, on constate (Tableau X) :

- Un **temps du cycle** de 1.20 s, qui est égale à la population saine de S. Winiarski et al [63] ; mais légèrement supérieure de quelques millisecondes par rapport à F.Guidouni [29], J.Lattorre [64], A.frizowicz [65] et B.pietraszewski [66] qui ont trouvé respectivement 1.11s ,1.10 s ,1.02 s , 1.18 s.
- La **vitesse de marche** chiffrée à 1m/s est très proche de celle de S. Winiarski et al [63] qui ont trouvé une vitesse de 1.04m/s ; mais légèrement inférieure aux autres références de marche normale d'une différence moyenne de 0.18 m/s. Cette différence n'est pas significative sur le plan fonctionnel.
- La **cadence de la marche** chiffrée à 101.1 pas/min est comprise entre les données de W.Dahbi et al [62] et S.Winiarski et al [63] qui ont trouvé des valeurs inférieures aux nôtres qui sont respectivement 68.4 pas/min et 100.8 pas /min ; et les valeurs de F.Guidouni [29] , J.Lattorre et al [64] et B.Pietrazewski et al [66] qui ont trouvé respectivement des valeurs plus élevées 108.6 pas/min , 109.705 pas/min et 102.6 pas/min ; Cela montre que la cadence de nos patients est normale puisqu'elle est bornée par deux extrêmes de valeurs normales.
- La **longueur de l'enjambé** chiffrée à 1.19 m est inférieure aux valeurs normales d'une différence maximale de 22cm trouvée par A.Frizowicz et al [65] et une différence minimale de 6cm rapportée par l'étude de S.Winiarski et al [63] ; cette différence n'est pas significative sur le plan fonctionnel.
- La **phase d'appui** représente 60% du cycle de la marche. Selon la définition notre pourcentage est dans les normes. Par rapport aux valeurs de références relayées par les différents auteurs, elle ne s'éloigne guère des pourcentages des sujets sains. Cette phase est limitée par un pourcentage chiffré à 64.75% trouvé par B. Pietraszewzki et al [66] et un pourcentage chiffré à 58.77% trouvé par F. Guidouni [29] dans notre laboratoire de la marche à Marrakech.

- Pour la **phase oscillante** formant un continuum avec la phase d'appui, les chiffres de nos patients respectent la définition et ne s'éloignent pas des valeurs de références rapportées par les différents auteurs de la marche normale.

3. Amplitudes articulaires :

Tableau XI : Comparaison des amplitudes articulaires sur le plan sagittal

Les articulations	Amplitudes articulaires de notre étude	Amplitudes articulaires de la marche normale F.Guidouni [29]	Amplitudes articulaires de la marche Normale W.Dhahbi et al [62]	Amplitudes articulaires de la marche normale S.Winiarski et al [63]	Amplitudes articulaires de la marche normale B.Pietraszewski et al [66]
Bassin	1.365	1.104	/	1.100	1.200
Hanche	38.20	39.26	38.75	/	/
Genou	57.80	59.51	59.76	58.40	57.80
Cheville	22.31	24.72	24.90	/	/

En comparant, les amplitudes articulaires et les graphiques des différentes articulations sur le plan sagittal, on constate :

- **Bassin** : – selon le (tableau XI) : la moyenne d'amplitude articulaire chiffrée à 1.36° est légèrement supérieure de quelques milli degrés par rapport aux valeurs des sujets sains, cette différence non significative permet de dire que le bassin est normal.
– Selon le graphique (figure39) : le bassin montre une légère raideur par rapport au bassin du sujet sain, la cause revient majoritairement à la prédominance du sexe masculin dans notre étude.

- **Hanche** : – selon le (tableau XI) : la moyenne d'amplitude chiffrée à 38.20° est très proche des valeurs normales des sujet sains rapportées par chacun des auteurs de la marche normale : F. Guidouni [29] et W. Dhahbi et al [62] qui ont trouvé respectivement 39.26° et 38.75° .
 - Selon le graphique (figure 40) : la hanche montre une courbe normale calquée sur celle d'un sujet sain.
- **Genou** : – selon le (tableau XI) : la moyenne d'amplitude chiffrée à 57.80° est égale à la valeur normale de B. Pietraszewski et al [66] ; mais légèrement supérieure comparée aux valeurs des autres auteurs ne dépassant pas 2° de différence. Cela montre que le genou après ligamentoplastie a regagné une amplitude normale.
 - Selon le graphique (figure 41) : le genou montre une courbe normale calquée sur celle du sujet sain.
- **Cheville** : – selon le (tableau XI) : la moyenne d'amplitude articulaire est chiffrée à 22.31° . On constate une diminution de la moyenne d'amplitude, moins de 2° de différence par rapport aux valeurs normales.
 - Selon le graphique (figure 42) : la cheville montre une courbe normale calquée sur celle du sujet sain.

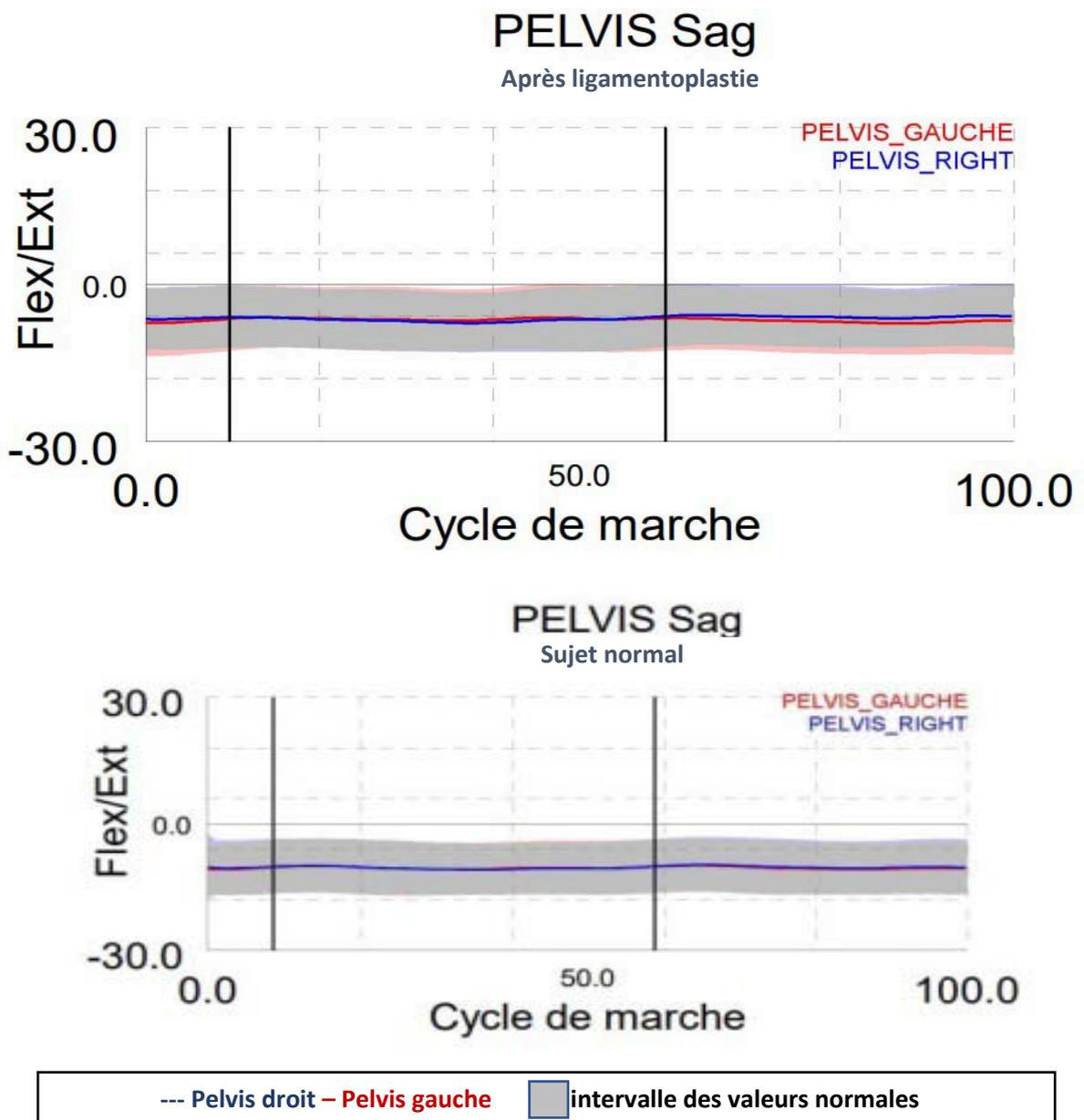
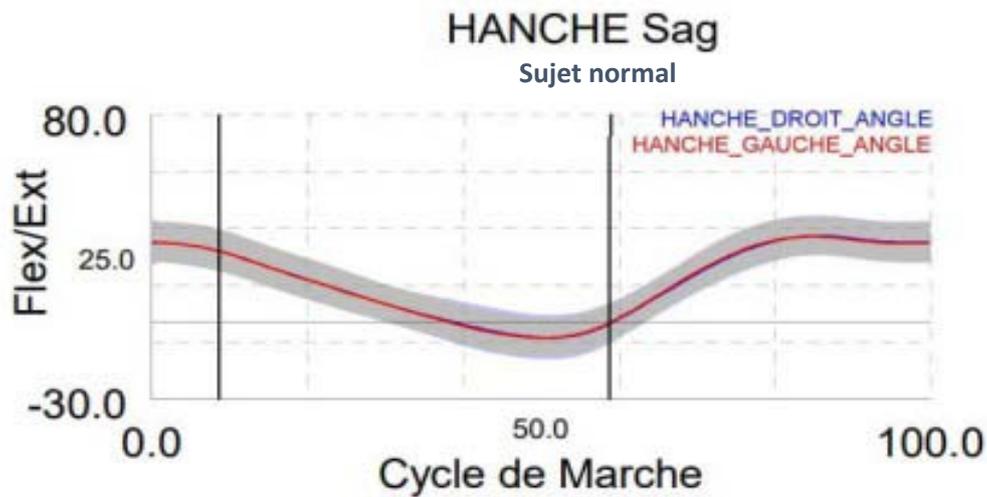
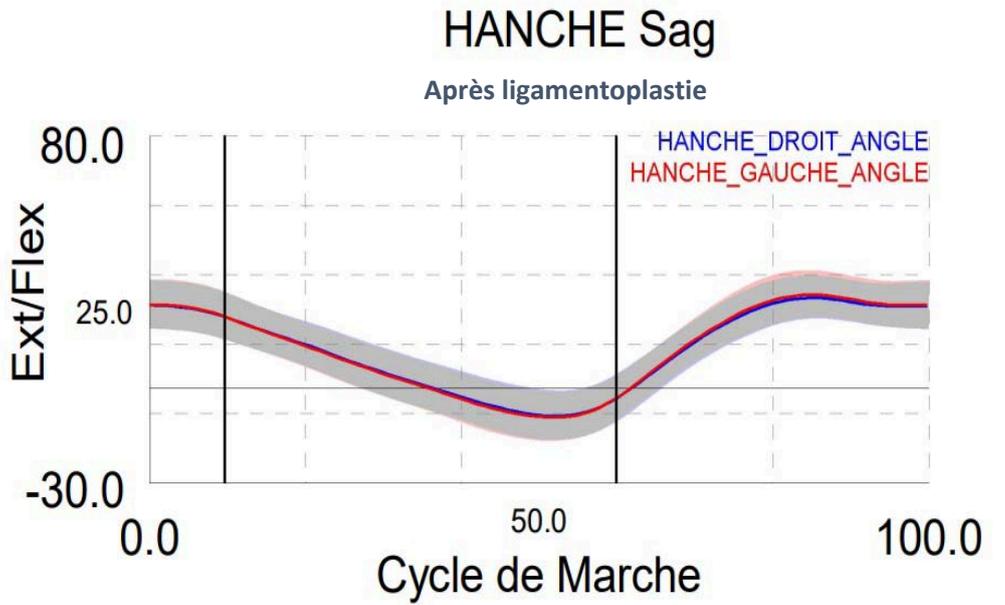


Figure 39 : Graphiques comparatifs des amplitudes articulaires sur le plan sagittal du pelvis après ligamentoplastie et du pelvis normal au cours de la marche



--- Hanche droite – Hanche gauche intervalle des valeurs normales

Figure 40 : Graphiques comparatifs des amplitudes articulaires sur le plan sagittal de la hanche après ligamentoplastie et de la hanche normale au cours de la marche

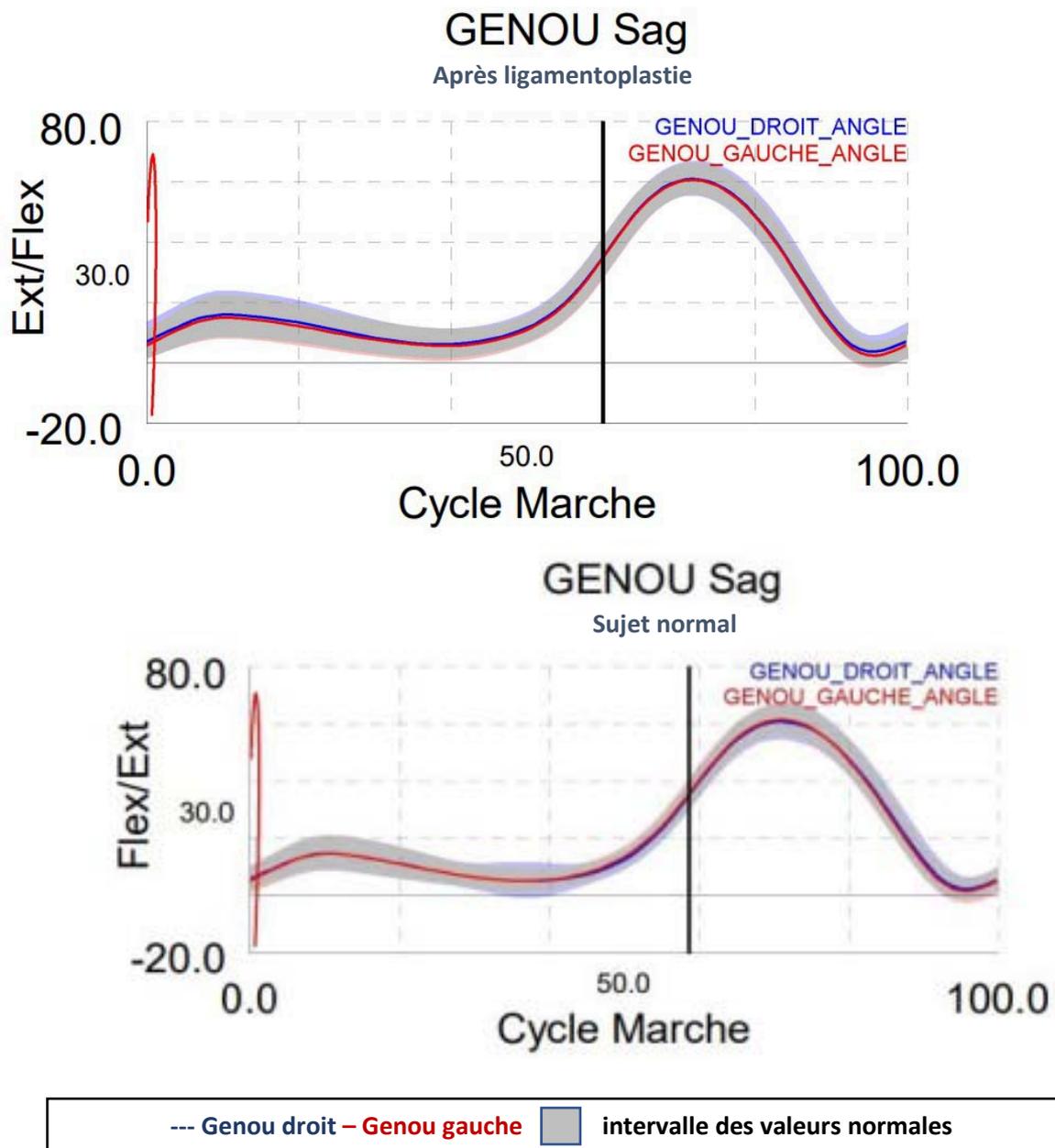
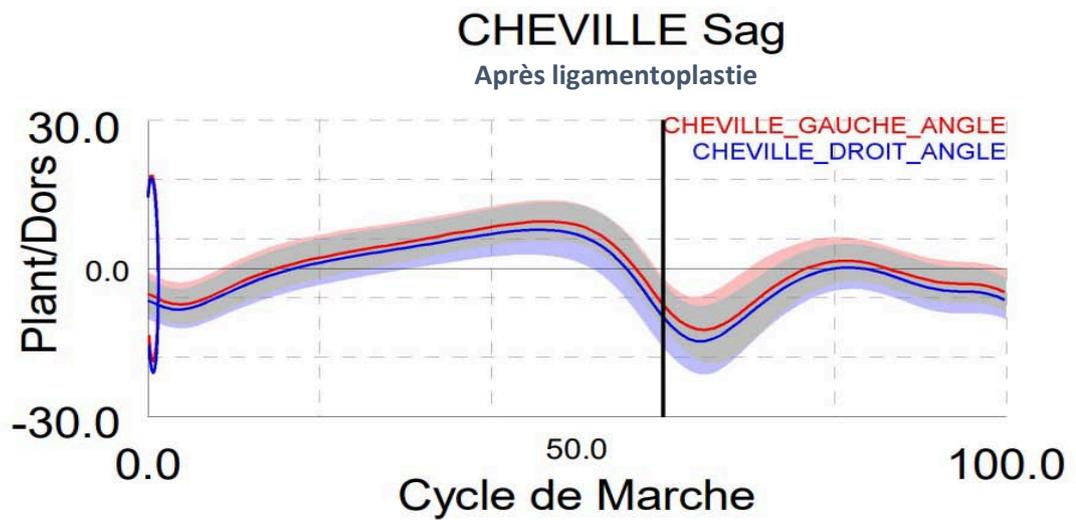
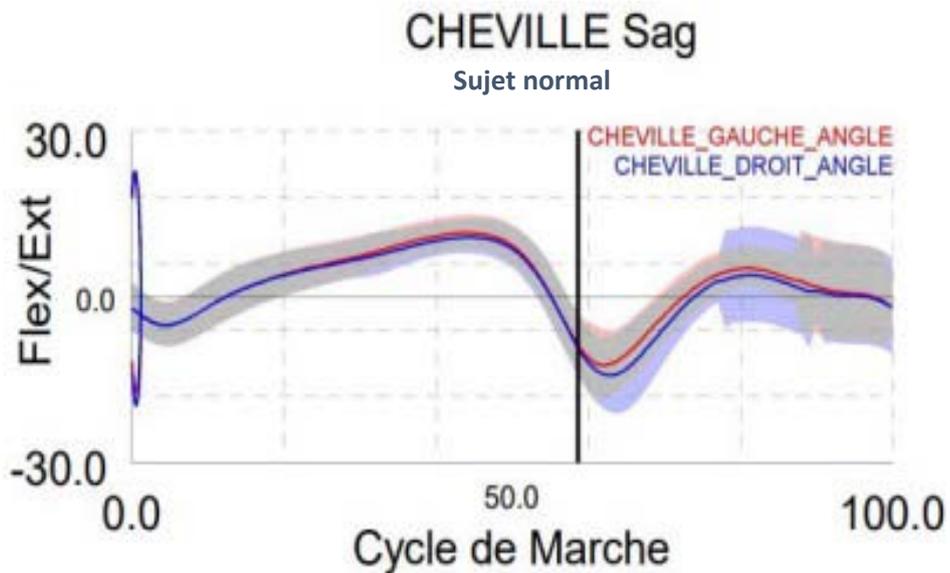


Figure 41 : Graphiques comparatifs des amplitudes articulaires sur le plan sagittal du genou après ligamentoplastie et du genou normal au cours de la marche



University Hospital of Marrakech



--- Cheville droite – Cheville gauche intervalle des valeurs normales

Figure 42 : Graphiques comparatifs des amplitudes articulaires sur le plan sagittal de la cheville après ligamentoplastie et de la cheville normale au cours de la marche

4. Réaction de la plateforme de force :

Tableau XII : Comparaison de la réaction de la plateforme de force

	Notre étude	Réaction de la plateforme de force lors d'une marche normale F.Guidouni [29]	Réaction de la plateforme de force lors d'une marche normale A .Frizowicz et al [65]
1^{er} pic	0.92 +/- 0.07	1.06 +/- 0.07	1.12
2^{eme} pic	0.99 +/- 0.07	1.06 +/- 0.07	1.16
Minimum entre 1^{er} et 2^{eme} pic	0.77 +/- 0.059141	0.77 +/- 0.067	0.80

En comparant les données numériques de la réaction de plateforme de force on constate (tableau XII) :

- 1^{er} pic, on a une diminution maximale de 0.20 N/KG comparé à la valeur de A. Frizowicz et al [65] et une diminution minimale de seulement 0.14N/KG comparé à ce qu'a rapporté F. Guidouni [29].
- 2^{ème} pic, on constate aussi une diminution par rapport aux valeurs des auteurs des sujets sains, une très petite différence par rapport à F. Guidouni [29].
- Le minimum entre les 2 pics, est égale à la valeur de F.guidouni [29] et très proche de celui de A.Frizowcz et al [65].

Cette légère diminution de la réaction de la plateforme de force dans le 1^{er} pic et le second, par rapport aux valeurs des sujets sains, peut être expliquée par une attitude phobique des patients, qui ne s'appuient pas totalement sur leurs pieds du côté opéré.

Selon le graphique (figure 43): le graphique des patients après ligamentoplastie est totalement normal comparé à celui d'un sujet sain et ses valeurs entrent dans l'intervalle des valeurs normales . La légère diminution de la réaction de la plateforme de force qu'on peut constater au niveau du côté droit peut s'expliquer par l'attitude phobique des patients puisque le genou droit est le plus touché dans notre échantillon.

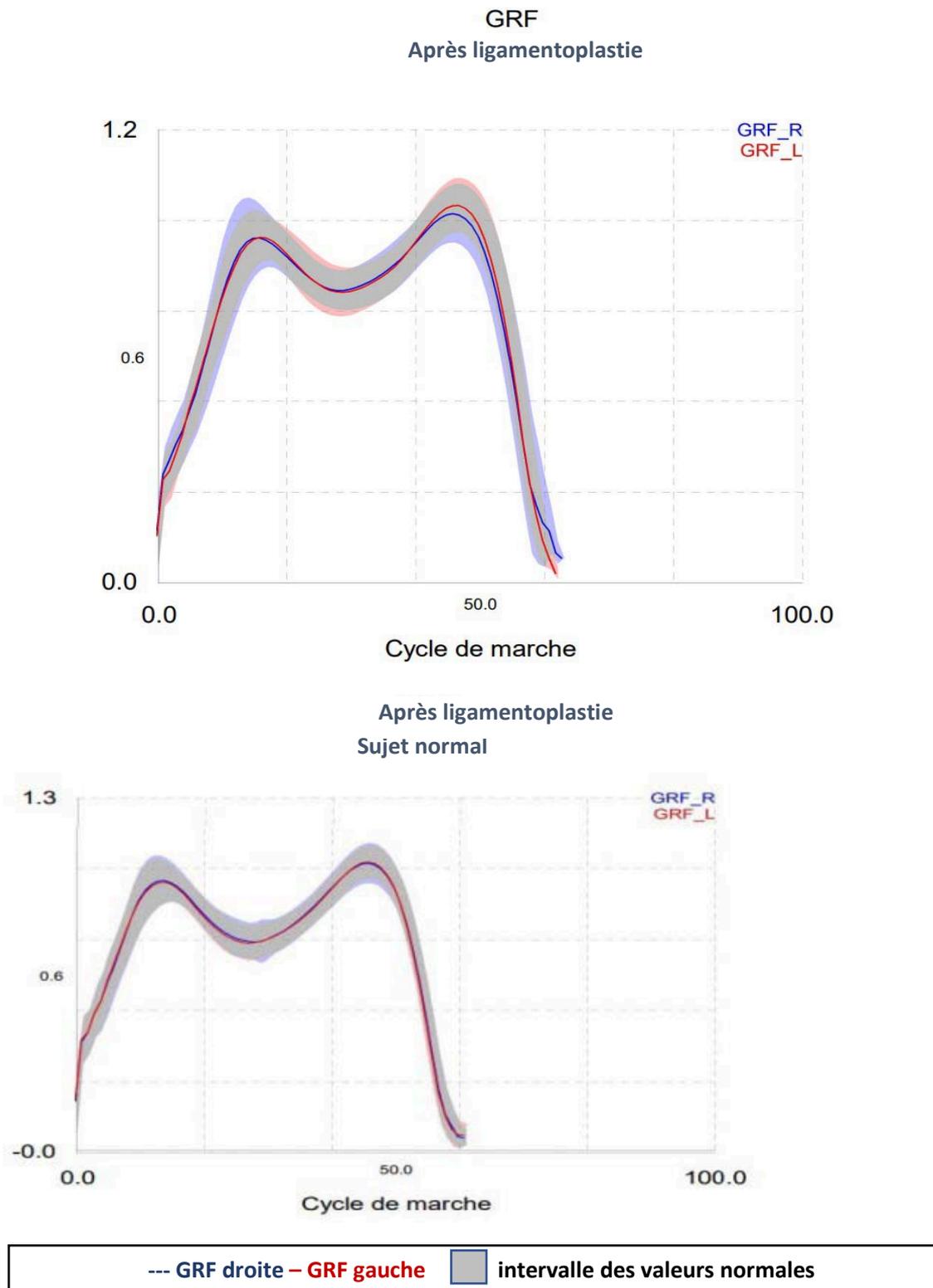


Figure 43 : Graphiques comparatifs de la réaction de la plateforme de force lors de la marche après ligamentoplastie et chez sujet normal

5. Conclusion :

Suite à notre comparaison par rapport aux valeurs normales des différents auteurs : F.Guidouni [29], W.Dhahbi et al [62] , S.Winiarski et al [63] , J.Latorre et al [64], A.Frizowicz et al [65] et B.Pietraszewski et al [66] .

On constate que sur le plan numérique, il y'a une légère différence, qui n'est pas significative.

Sur le plan fonctionnel, et en comparant les graphiques de la cinématique des différentes articulations et la réaction de la plateforme de force, on constate des images identiques qui peuvent être calquées sur les graphiques des sujets sains.

Après cette comparaison entre nos résultats et ceux de la littérature, on conclue que notre population a retrouvé une marche presque normale après la ligamentoplastie et le bon protocole de rééducation.

VII. Notre étude et la littérature :

Suite à notre étude, on a conclu qu'après la ligamentoplastie et un bon protocole de rééducation, nos patients ont regagné des amplitudes articulaires presque normales et une cinématique de la marche similaire aux sujets sains.

En 1993, la toute première AQM après ligamentoplastie faite par J.Timomny et al [61] sur 10 patients après environ 9 mois de la chirurgie ; ont conclu après leur comparaison , que les sujets ayant bénéficié d'une ligamentoplastie évoluent bien comparé aux sujets avec rupture ligamentaire , et que leur marche tend à se normaliser avec le temps comparé à un groupe témoin.

En 1996, P.Bulgheroni et al [67] se sont intéressés à la même étude sur une population de 15 patients , ayant un âge moyen de 25 ans et qui ont subi une ligamentoplastie ; l'AQM a été faite à 17 mois post ligamentoplastie chose qui coïncide avec nos critères d'inclusion (>6

mois post-opératoire) . Leur étude a conclu que sur le plan sagittal les amplitudes articulaires de la hanche, du genou et de la cheville ainsi que la réaction de la plateforme de force étaient similaires à celle du groupe contrôle.

En 2003, D.Anastasios et al [68] ont fait une AQM sur 21 patients dont 2 femmes et 19 hommes, âgés en moyenne de 25 ans , à environ 7 mois après ligamentoplastie . Leur étude a conclu : pas de différences significatives pour les paramètres spatio-temporels, ainsi que pour les amplitudes articulaires et surtout le genou, comparé au groupe contrôle.

Pendant la même année que D.Anastasios et al [68] , vient Z.Knoll et al [69] avec son étude sur 21 patients et qui a consisté à faire une AQM à différents délais après la ligamentoplastie pour noter l'évolution. Cette étude a montré qu'à partir de 4 mois les paramètres spatio-temporelles et amplitudes articulaires tendent à se normaliser ; et à 8 mois il n'y avait plus de différence significative entre le groupe ayant subi une ligamentoplastie et le groupe contrôle.

Pour appuyer leurs résultats Z.Knoll et al [69] ajoutent que B.Joseph et al [70] aussi ont trouvé qu'il n y a pas de différences significatives à 8 mois après chirurgie surtout au niveau de l'articulation du genou.

En 2017, B.Schliemann et al [71], à partir d'un groupe de 30 patients composés de 8 femmes et 22 hommes , âgés en moyenne de 29.1 ans, ont fait des séances d'AQM à 6 semaines post chirurgie, 6 mois et à 1 an. Et qui ont conclu à travers leur étude qu'à partir de 6 mois les valeurs de la marche tendent à se normaliser.

Pendant la même année, J.Majewski et al [72] grâce à leur étude ont conclu qu'après 6 mois post ligamentoplastie, il y'avait une bonne amélioration de la marche et que les valeurs tendaient à se normaliser. Ce résultat rejoint celui trouvé par P.Devita et al [73] qui ont montré qu'à partir de 3 semaines post ligamentoplastie, il y'avait une nette amélioration des amplitudes articulaires et que à 6 mois il n'ont plus trouvé de différences significatives comparé au groupe contrôle .

On reconnaît qu'il y'a une disparité des résultats rapportés par les études analysées de la marche des patients après ligamentoplastie, il est possible que le temps entre la blessure et la ligamentoplastie contribue aux différences révélées dans ces études. En outre, différents processus de rééducation après la chirurgie peuvent également avoir un impact sur les résultats des examens et de la marche des patients à différents stades après ligamentoplastie.

Les résultats de la plupart de ces études indiquent que la ligamentoplastie contribue à un changement substantiel dans le modèle de marche et que la restauration d'un schéma de marche physiologique prend au moins six mois.

VIII. Perspectives :

Nous supposons que l'analyse quantifiée de la marche, et en particulier la cinématique du genou, doit être incluse dans le protocole clinique des patients en rupture du LCA en période de rééducation (après la ligamentoplastie). C'est la seule étude qui va permettre d'évaluer la fonction de l'articulation opérée et celle des membres inférieurs dans leur ensemble. Les résultats de ces études fonctionnelles sont plus objectifs et ne peuvent pas être obtenus par des évaluations cliniques de routine (subjectives).

IX. Limites de notre étude :

- Une étude prospective serait meilleure, prenant les patients avant et après ligamentoplastie en leur faisant une AQM avant et après la chirurgie, pour permette d'avoir une idée sur l'évolution datée et voir le changement apporté par le geste opératoire.
- Dans cette étude nous n'avions pas étudié séparément les performances des différents types de greffes. Trois types de greffons (DIDT, tendon rotulien et fascia

lata) qui ont été utilisés. Bien que la littérature [74] montre que le type de greffe ne joue pas un rôle principal dans les résultats après ligamentoplastie.

- Plusieurs études ainsi que la nôtre trouvent une amélioration sur le plan sagittal, tandis qu'on ne s'est pas intéressés au plan frontal pour dépister une défaillance résiduelle sur le plan médio-latéral.
- D'autres études seraient souhaitables pour évaluer les schémas de rotation tibiale lors des activités qui incluent des forces de rotation plus importantes appliquées sur les genoux après ligamentoplastie surtout durant la course à pied, monter et descendre des escaliers et des sports de pivots (football).



CONCLUSION



Devant les ruptures du LCA, les attitudes thérapeutiques proposées sont nombreuses et variées. La plupart des auteurs s'accordent sur la nécessité d'utiliser un transplant et une fixation permettant d'obtenir un genou « le plus normal possible » apportant des résultats sur le plan biomécanique, anatomique et fonctionnel comparable au genou natif.

La rééducation et le suivi médical sont indispensables en postopératoire dans le but d'accélérer la récupération de la marche (mobilité articulaire, force, équilibre, proprioception, vitesse, cadence ...), de détecter le moment propice au retour à l'activité quotidienne normale, et afin d'éviter de nouvelles blessures.

L'Analyse Quantifiée de la marche, en plus d'autres examens physiques et fonctionnels, doivent être instaurés pour assister le médecin rééducateur.

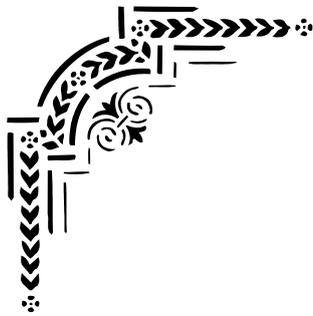
La marche est un phénomène complexe qui peut être altéré par plusieurs pathologies, parmi elles la rupture du LCA, ce qui justifie l'intérêt de son étude spécialisée.

Le laboratoire d'analyse de la marche et du mouvement est une institution scientifique sophistiquée et nouvelle au niveau du CHU de Marrakech qui vient répondre à ce besoin. Il nous a permis de faire des analyses quantifiées de la marche, afin d'étudier la locomotion des sujets ayant subi une ligamentoplastie à partir de 6 mois post opératoire.

Ce qui nous a permis de déduire qu'après la ligamentoplastie quel que soit le greffon utilisé, associé à un bon protocole de rééducation, nos patients ont regagné des amplitudes articulaires presque normales sur le plan sagittal et une cinématique de la marche calquée sur les sujets sains.

Malgré les avancées scientifiques observées, personne ne peut prétendre à l'heure actuelle restaurer un genou entièrement normal. D'autres études seraient souhaitables pour évaluer les schémas de rotation tibiale lors des activités qui incluent des forces de rotation plus importantes appliquées sur les genoux après ligamentoplastie surtout durant la course à pied, monter et descente des escaliers et des sports de pivots.

La recherche dans ce domaine est toujours d'actualité, et dans l'attente de découvrir « le greffon idéal » et « la technique idéale », on devra adapter autant que possible les techniques existantes pour subvenir aux attentes et spécificités de nos patients.



ANNEXES



Fiche d'exploitation

Identité :

- N° dossier : Année :20
- Nom & Prénom :
- Age :
- Sexe : M F
- Adresse :
- Numéro de téléphone :
- Profession :
- Activité sportive : oui non
Laquelle :
- Niveau sportif selon le système CLAS :
Compétiteur Loisir Actif Sédentaire
- Coté dominant : D G

ATCD :

- Médicaux :
- Chirurgicaux :
- Genou atteint : D G
- Etiologie : sport
Travail
AVP
Domestique
Autres

Examen clinique :

- Mensurations : Poids :
Taille :
IMC :
Pointure :
Distance entre les 2 épines iliaques Antéro- supérieur :
Distance entre EIAS et la MI :

Examen paraclinique :

- IRM :

.....
.....
.....

Geste chirurgical :

- Date d'entrée : Date de sortie :
- Durée d'hospitalisation :
- Délai entre l'accident et l'opération :
- Arthroscopie : oui non
- Technique : Kenneth Jones

DIDT

Jaeger

Post-opératoire :

- Rééducation : oui non
Début : Séances :
- Complication post opératoire : oui non

- Signes fonctionnels : * douleur : oui non
* dérobement : oui non
- Examen clinique : – inspection : * flessum : oui non
*boiterie : oui non
– palpation : *test de lachman :
*Tiroir antérieur :
*Ressaut rotatoire :
*quadriceps :

Analyse quantifiée de la marche :

- Paramètres spatio-temporels :

	Valeur	DS
Nombre de cycles analyses		
Vitesse (m/s)		
Cadence (pas/s)		
Largeur de l'enjambée (m)		
Longueur de l'enjambée (m)		
Nombre de pas gauche /seconde (pas/s)		
Nombre de pas droit / seconde (pas/s)		
Longueur du pas gauche (m)		
Longueur du pas droit (m)		
Temps d'appui gauche (s)		
Temps d'appui droit (s)		
Pourcentage de la phase d'appui (%)		
Temps du pas gauche (s)		
Temps du pas droit (s)		
Temps du cycle (s)		
Temps du cycle gauche (s)		
Temps du cycle droit (s)		
Temps d'oscillation gauche (s)		
Temps d'oscillation droit (s)		
Pourcentage de la phase d'oscillation (%)		

- Paramètres cinématiques :

« Angle moyen des bassins droit et gauche en fonction des trois plans »

X(sagittal) : antépulsion / rétropulsion				
	Gauche	DS	Droit	DS
Bassin MIN				
Bassin MAX				
Amplitude				

y(frontal) : inclinaison latérale / inclinaison médiale				
	Gauche	DS	Droit	DS
Bassin MIN				
Bassin MAX				

Amplitude				
-----------	--	--	--	--

z(transversale) : rotation externe / interne				
	Gauche	DS	Droit	DS
Bassin MIN				
Bassin MAX				
Amplitude				

« Angle moyen hanche droite et gauche en fonction des trois plans »

x(sagittal) : flexions / extensions				
	Gauche	DS	Droit	DS
Hanche MIN				
Hanche MAX				
Amplitude				

Y(frontal) : adduction / abduction				
	Gauche	DS	Droit	DS
Hanche MIN				
Hanche MAX				
Amplitude				

z(transversal) : rotation externe / interne				
	Gauche	DS	Droit	DS
Hanche MIN				
Hanche MAX				
Amplitude				

« Angle moyen des genoux droit et gauche en fonction des trois plans »

x(sagittal) : flexions / extensions				
	Gauche	DS	Droit	DS
Genou MIN				
Genou MAX				
Amplitude				

y(frontal) : varus / valgus				
	Gauche	DS	Droit	DS
Genou MIN				
Genou MAX				
Amplitude				

z(transversal) : rotation externe / interne				
---	--	--	--	--

	Gauche	DS	Droit	DS
Genou MIN				
Genou MAX				
Amplitude				

« Angle moyen des chevilles droit et gauche en fonction des trois plans »

x(sagittal) : flexions / extensions				
	Gauche	DS	Droit	DS
Chevilles MIN				
Chevilles MAX				
Amplitude				
y(frontal) : adduction / abduction				
	Gauche	DS	Droit	DS
Chevilles MIN				
Chevilles MAX				
Amplitude				

Z(transversal) : rotation externe / rotation interne				
	Gauche	DS	Droit	DS
Chevilles MIN				
Chevilles MAX				
Amplitude				

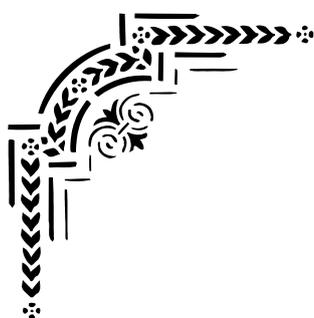
« les degrés de progression des pieds droit et gauche »

	Gauche	DS	Droit	DS
Progression du pied MIN				
Progression du pied MAX				
Amplitude				

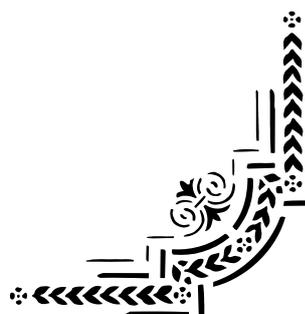
- Paramètres cinétiques :

« Réaction de la plateforme de force GRF du pied droit /gauche »

	Gauche (N/kg)		Droit (N/KG)	
Premier pic				
Second pic				
Minimum entre premier pic et second pic				



RÉSUMÉS



RÉSUMÉ :

INTRODUCTION : l'analyse quantifiée de la marche est un outil permettant d'acquérir une compréhension approfondie de la fonction articulaire et surtout du genou ligamentaire. Elle permet de détecter les déficits post ligamentoplastie et ensuite de les corriger, ainsi avoir un retour à l'état physiologique de la marche sans déficits.

OBJECTIF : À travers notre travail, nous allons analyser la cinématique de la marche, et surtout du genou, chez les patients ayant bénéficié d'une ligamentoplastie après rupture du LCA et voir s'ils gardent toujours un déficit.

MATÉRIELS T MÉTHODES : Pour cela nous avons mené une étude rétrospective descriptive d'une série de 20 patients, réalisée conjointement au niveau des services de traumatologie orthopédie B du CHU Mohamed VI de Marrakech, le service de médecine physique et réadaptation fonctionnelle, et le laboratoire d'analyse de la marche et du mouvement au niveau du centre de recherche clinique, durant la période allant de janvier 2016 à septembre 2021.

RÉSULTATS : -L'âge moyen de nos patients était de 31.5 ans avec une taille moyenne à 173 cm et un IMC à 24,14 ; une prédominance masculine de 85% a été constaté.

-L'étiologie la plus retrouvée était les accidents de sport dans 70% des cas. Le côté droit était le plus atteint dans 60% des cas.

-Le délai moyen entre le traumatisme et l'intervention chirurgicale était de 29 mois, la technique chirurgicale la plus utilisée dans notre série était la DIDT 70% des cas.

-Tous nos patients ont bénéficié du même protocole de rééducation, débuté à 24h post-opératoire avec autorisation d'appui, la moyenne des séances de rééducation était de 30 séances.

-Aucune complication post-opératoire immédiate n'a été notée chez nos patients, une douleur résiduelle a été rapportée par seulement 2 patients plus précisément à l'effort, aucune instabilité du genou n'a été rapportée.

-A l'Examen clinique post opératoire, tous les patients présentaient une amyotrophie quadricipitale en moyenne de 2.15cm, les différents tests ligamentaires étaient négatifs.

-Les données de l'Analyse quantifiée de la marche montrent que les paramètres spatio-temporels ne s'éloignent guère des valeurs normales de référence, les amplitudes articulaires ainsi que la réaction de plateforme de force font partie intégrante de l'intervalle des valeurs normales.

CONCLUSION : Cette étude montre qu'après une bonne prise en charge et un bon protocole de rééducation le patient ayant subi une ligamentoplastie du LCA retrouve une marche presque normale.

SUMMARY:

INTRODUCTION: Gait analysis is a tool for understanding joint function, especially the knee with ligament defect. It makes it possible to detect post ligament reconstruction deficits and then correct them, the aim is a restoration of the physiological state of walking without deficits.

OBJECTIVE: Through our work, we will analyze the kinematics of gait, and especially of the knee, of patients who have undergone ligament reconstruction after ACL tear and see if they still have a deficit.

MATERIALS AND METHODS: For this, we conducted a descriptive retrospective study of 20 patients series, carried out jointly at the orthopedic and traumatology department B of the UHC Mohamed VI of Marrakesh, the physical medicine and functional rehabilitation department, and gait and movement analysis laboratory at the clinical research center, during the period from January 2016 to September 2021.

RESULTS:

- The average age of our patients was 31.5 years with an average height of 173 cm and a BMI of 24.14; a male predominance was found (85%).
- The most found etiology was sport accidents (70%). The right side was the most affected (60%).
- The average time between trauma and surgery was 29 months, the most used surgical technique in our series was 4SHS (70%).
- All our patients benefited from the same rehabilitation protocol, started 24 h post ligament reconstruction with support authorization, the average rehabilitation session was 30 sessions.

- No immediate postoperative complications were noted in our patients, residual pain was reported by only 2 patients, more specifically when doing efforts, no knee instability was reported.
- At the postoperative clinical examination, all the patients presented quadriceps amyotrophy on average of 2.15cm. The various ligament tests were negative.
- The data from the Gait Analysis shows that the spatio-temporal settings barely deviate from the normal reference values, the articular amplitudes are an integral part of the interval of normal values as well as the platform force reaction.

CONCLUSION: This study shows that after good care and a good rehabilitation protocol, the patient who has undergone ACL reconstruction regains almost normal walking.

ص خ ل م

مقدمة: تحليل المشي هو أداة لاكتساب فهم معمق لوظيفة المفصل وخاصةً رباط الركبة. إنه يجعل من الممكن الكشف عن عيوب ما بعد عملية الأربطة ثم تصحيحها ، وبالتالي العودة إلى الحالة الفسيولوجية للمشي دون عجز

الهدف: من خلال عملنا ، سنقوم بتحليل حركات المشي ، وخاصة الركبة ، عند المرضى الذين خضعوا لإعادة بناء الأربطة بعد تمزق الرباط الصليبي الأمامي ومعرفة ما إذا كان لا يزال لديهم عجز

المواد والطرق: لهذا أجرينا دراسة وصفية بأثر رجعي لسلسلة من 20 مريضاً، تم إجراؤها بشكل مشترك على مستوى مصلحة جراحة العظام والمفاصل بـ "ب" بالمركز الاستشفائي الجامعي بمراكش ، و مصلحة الطب الفيزيائي والتأهيل الوظيفي ، و مختبر تحليل المشي والحركة بمركز الأبحاث السريرية ، خلال الفترة من يناير 2016 إلى سبتمبر 2021. النتائج .

- كان متوسط عمر مرضانا 31.5 سنة, بمتوسط طول 173 سم ومؤشر كتلة الجسم 24.14 وأغلبية مرضانا ذكور بنسبة 85%
- أكثر المسببات كانت الحوادث الرياضية في 70% من الحالات. كان الجانب الأيمن هو الأكثر تضرراً في 60% من الحالات
- كان متوسط الوقت بين الحادثة والجراحة 29 شهراً ، وكانت التقنية الجراحية الأكثر استخداماً هي تقنية أوتار العضلة نصف الوترية و العضلة الناحلة في 70% من الحالات
- استفاد جميع مرضانا من نفس بروتوكول إعادة التأهيل ، الذي بدأ بعد العملية الجراحية بـ 24 ساعة بإذن الدعم، وكان متوسط جلسات إعادة التأهيل 30 جلسة
- لم يتم ملاحظة أي مضاعفات فورية بعد الجراحة في مرضانا ، تم الإبلاغ عن الألم المتبقي من قبل مريضين فقط ، وبشكل أكثر تحديداً عند المجهود ، ولم يتم الإبلاغ عن عدم استقرار الركبة
- في الفحص السريري بعد العملية الجراحية ، أظهر جميع المرضى ضمور عضلات الفخذ بمعدل 2.15 سم وكانت اختبارات الأربطة المختلفة سلبية

- تُظهر البيانات المأخوذة من تحليل المشي: أن المعلمات المكانية والزمانية بالكاد تنحرف عن القيم المرجعية العادية ، والسعات المفصليّة هي جزء لا يتجزأ من مدى القيم العادية وكذلك رد فعل منصة القوة

الخلاصة: تظهر هذه الدراسة أنه بعد الرعاية الجيدة وبروتوكول إعادة التأهيل الجيد ، يستعيد المريض الذي

خضع لعملية بناء الرباط الصليبي الأمامي المشي الطبيعي تقريباً



BIBLIOGRAPHIE



1. **A.Leardini ,Sawacha, Z., Paolini, G., Ingrosso, S., Nativo, R., Benedetti, MG,**
Un nouveau protocole basé sur l'anatomie pour l'analyse de la marche chez les enfants.
Gait Posture 26, 2007. 560–571.
2. **A.Leardini, Benedetti, MG, Berti, L., Bettinelli, D., Nativo, R., Giannini, S**
Mouvement de l'arrière-pied, du milieu du pied et de l'avant-pied pendant la phase
d'appui de démarche. Gait Posture 2007. 25. 453–462.
3. **A. Leardini, Biagi, F., Merlo, A., Belvedere, C., Benedetti, MG,**
Cinématique du tronc à segments multiples pendant la locomotion et les exercices
élémentaires. Clin. Biomech. 2011.26, 562–571.
4. **S. Lobet , Hermans , Ch. Detrembleu,**
l'analyse quantifiée de la marche: principes et applications cliniques. 2016 p208
5. **D.Gasq , Molinier F, Lafosse JM,**
Physiologie, méthodes d'explorations et troubles de la marche. 2009,02–16
6. **J.Perry , k. Slac Thorofare; J.R Davids,**
Gait analysis: normal and pathological function.Journal of Pediatric Orthopaedics:
November–December 1992. Volume 12 .6 : 815
7. **P.Allard , Cappozzo, A., Lundberg, A. et Vaughan, C. L,**
Three–dimensional Analysis of Human Locomotion International Society of Biomechanics
Series, John Wiley & Sons Ltd1997,
8. **J.Breasted,**
The edwin smith surgical papyrus. University of Chicago Press, Chicago, 1930.volume 1.
9. **M.T.Provencher et W.A. Abdu ,**
Historical perspective : Giovanni Alfonso Borelli : « Father of spinal biomechanics ». Spine,
2000, vol. 25,no. 1, page 131,.
10. **N.Fusco ,**
Analyse, modélisation et simulation de la marche pathologique. Sciences du Vivant [qbio].
Université Rennes 2, 2
11. **R. F Kleissen, Buurke, J. H., Harlaar, J. et Zilvold, G.**
Electromyography in the biomechanical analysis of human movement and its clinical
Application.Gait & Posture, Vol. 8, n°2, pp. 143–158, 1998

12. **S.Armand,**
Analyse Quantifiée de la Marche : extraction de connaissances à partir de données pour l'aide à l'interprétation clinique de la marche digitigrade. These doctorat en sciences et techniques des activités physiques et sportives. Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis 2005. 05-07 :
13. **H.Benz ,**
L'intérêt de l'analyse quantifiée de la marche (AQM) dans le choix thérapeutique d'une jeune patiente paraplégique incomplète, à la suite d'une tumeur intramédullaire traitée chirurgicalement. TFE pour le Diplôme d'Etat de Masseur-Kinésithérapeute. REGION DES PAYS DE LA LOIRE 2016. p6-17
14. **M.K.Holden , Gill, K. M., Magliozzi, M. R., Nathan, J. et Piehl Baker, L,**
Clinical gait assessment in the neurologically impaired. Reliability and meaningfulness. Physical Therapy, 1984, vol. 64, no. 1
15. **G.F .Penneçot,**
Marche pathologique de l'enfant paralysé cérébral : marche normale, analyse et compréhension des phénomènes pathologiques, traitement, évaluation. Montpellier : Sauramps médical; 2009. 1 :333 . 9-82.
16. **R.B.Davis,**
Reflections on clinical gait analysis. J Electromyogr Kinesiol 1997;7:251-7
17. **E.Villalobos,**
Analyse cinématique de la marche de travailleurs exposés à une surcharge mécanique sur l'articulation fémorotibiale (AF-T). Mémoire pour maîtrise en sciences biomédicales Option Musculo-squelettique. Université de Montréal. 2011. p8
18. **R.N.Kirkwood et al,**
Step length appears to be a strong discriminant gait parameter for elderly females highly concerned about falls: a cross-sectional observational study. Physiotherapy. 2011 Jun; 97(2):126-31.
19. **F.Legrain ,**
Analyse des paramètres spatio-temporels de la marche. These de doctorat en médecine, FACULTE DE MEDECINE HENRI WAREMBOURG. 2012. 22-24
20. **V.Boxtel , Geraats LH, Van den Berg-Lenssen MM, Brunia CH,**
Detection of EMG onset in ERP research. Psychophysiology 1993;30(4):405-12.

21. **Revue médicale Suisse, 2015,**
Revue Médicale Suisse – www.revmed.ch – 14 octobre 2015 ; 11 : 1916–20
22. **M. Whittle ,**
Gait analysis: an introduction, Butterworth–Heinemann, Oxford, 2002, p. 220
23. **.M.Mills , Barrett. R. S,**
« Swing phase mechanics of healthy young and elderly men », Human movement science, 2001, n° 20, p. 427–446.
24. **H.Stolze , J. P, Mondwurf .C, Johnk.K, Friege.L,**
« Retest reliability of spatiotemporal gait parameters in children and adults », Gait & posture, 1998, vol. 7, n° 2, p. 125–130
25. **J.Perry , k. Slac Thorofare; J.R Davids,**
Gait analysis: normal and pathological function.Journal of Pediatric Orthopaedics: November–December 1992. Volume 12 .6 : 815
26. **P.A.DeLuca , Davis, R. B., 3rd, Ounpuu, S., Rose, S. et Sirkin, R,**
Alterations in surgical decision making in patients with cerebral palsy based on threedimensional gait analysis Journal of Pediatric Orthopedics, Vol. 17, n°5, pp. 608–614, 1997
27. **R.M.Kay, Dennis, S., Rethlefsen, S., Reynolds, R. A., Skaggs, D. L. et Tolo, V. T,**
The effect of preoperative gait analysis on orthopaedic decision making Clinical Orthopaedics and Related Research, 2000a, n°372, pp. 217–222,
28. **R.M.Kay, Dennis, S., Rethlefsen, S., Skaggs, D. L. et Tolo, V. T,**
Impact of postoperative gait analysis on orthopaedic care Clinical Orthopaedics and Related Research, 2000b, n°374, pp. 259–264,
29. **F.Guidouni**
Intérêt du laboratoire d'analyse de la marche et du mouvement en pathologie de l'appareil locomoteur : Etude bibliographique à travers des cas cliniques . Thèse faculté de médecine et de pharmacie de Marrakech ,2020
30. **H . BENZ**
L'intérêt de l'analyse quantifiée de la marche (AQM) dans le choix thérapeutique d'une jeune patiente paraplégique incomplète, à la suite d'une tumeur intramédullaire traitée chirurgicalement . Travail Écrit de Fin d'Études a Institut Régional de Formation aux Métiers de Rééducation et Réadaptation des Pays de la Loire,2015–2016.

31. **Rochcongar P.**
Lésions chroniques de l'appareil locomoteur chez le sportif. Encycl Méd Chir (Elsevier, Paris), Appareil locomoteur, 15-902-A-10, 1999, 8 p.
32. **Tsai KJ, Chiang H, Jiang CC.**
Magnetic resonance imaging of anterior cruciate ligament rupture. BMC Musculoskelet Disord 2004;5:21.33
33. **Berchuck M, Andriacchi TP, Bach BR.**
Gait adaptations by patients who have a deficient anterior cruciate ligament. J Bone Joint Surg 72A:871-877, 1990.
34. **S.jellal**
Les résultats cliniques du traitement chirurgical du LCA selon la technique DIDT sous arthroscopie.these faculte de medecine et de pharmacie de marrakech ,2019
35. **Ioncu A, Mader R, Bonin N, Ternamian P-J, Dejour D.**
Prélèvement d'un greffon patellaire par voie mini-invasive à une voie versus voie classique dans la reconstruction du ligament croisé antérieur : étude prospective. Rev Chir Orthopédique Traumatol 2012; 98: 378-383
36. **Collette M, Cassard X.**
La technique Tape Locking Screw (TLS®) : une nouvelle méthode de reconstruction du ligament croisé antérieur utilisant une autogreffe courte aux tendons ischiojambiers. Rev Chir Orthopédique Traumatol 2011; 97: 540-544.
37. **Khiami F, Wajsfisz A, Meyer A, Rolland E, Catonné Y, Sariali E.**
Reconstruction du ligament croisé antérieur au moyen du fascia lata par une technique de prélèvement arthroscopique peu invasive. Rev Chir Orthopédique Traumatol 2013; 99: 75-81
38. **Miller SL, Gladstone JN.**
Graft selection in anterior cruciate ligament reconstruction. Orthop Clin N Am 2002; 9.
39. **M.Zaroual**
Ligamentoplastie du ligament croisé antérieur du genou par transplant du tendon rotulien (A propos de 100 cas, colligés à l'HMA de Marrakech CHU Med VI.these faculte de medecine et de pharmacie de marrakech ,2010
40. **S.Ait Essi**
Résultats cliniques et isocinétiques des ligamentoplasties du LCA.these faculte de medecine et de pharmacie de marrakech,2020

41. **Shelbourne KD, Klotwyk TE, Wilckens JH, De Carlo M.**
Ligament stability two to six years after anterior cruciate ligament reconstruction with autogenous patellar tendon graft and participation in accelerated rehabilitation program. *Am J Sports Med* 23:575–9, 1995
42. **Dauty M, Le Brun J, Huguet D, Paumier S, Dubois C, Letenneur J.**
Return to Pivot–contact sports after anterior cruciate ligament reconstruction: patellar tendon or hamstring autografts. *Rev chir orthop reparatrice* 2008;94:552–60.
43. **Klebrine.F, Franceschi JP.**
Implants utilisables dans les ligamentoplasties intra articulaires du LCA. Société française d'arthroscopie, *Arthroscopie* 1999 p 132 à 137
44. **Franc A.**
Reconstruction du LCA avec forage du tunnel fémoral de dedans en dehors tunnel fémoral borgne Société française d'arthroscopie, *Arthroscopie* 1999 P 149à154
45. **R.J. WILLIMAS, J. HYMAN, F. PETRIGLIANO, T. ROZENTAL, T.L.WICKIEWICZ**
Anterior cruciate ligament reconstruction with a four strand hamstring tendon autograph *J. BONE JOINT SURG.* 2004, (Am.) VOL 86, p. 225/232
46. **Christel P.**
Anatomie du LCA et isométrie Société française d'arthroscopie, *Arthroscopie* 1999p124à131
47. **Franc A.**
Enquête sur les différentes techniques de reconstruction du LCA pratiquées par les membres de la SFA www.sofarthro.com/ANNALES/Annales_1994/LCA_RES_SFA2.html
48. **Aglietti P, Buzzi R, Zaccherotti G, DeBiase P, Indelicato P.**
Patellar tendon versus doubled semitendinosus and gracilis tendons for anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 22:211–219
49. **Beynon BD, Johnson RJ, Fleming BC, Kannus P, Kaplan M, Samani J, Renstrom P.**
Anterior cruciate ligament replacement: comparison of bonepatellar– tendon–bone grafts with two–strand hamstring grafts. A prospective, randomized study. *J Bone Joint Surg* 84A:1503–13, 2002
50. **Williams RJ 3rd, Hyman J, Petrigliano F, Rozental T, Wickiewicz TL.**
Anterior cruciate ligament reconstruction with a four–strand hamstring tendon autograft. *J Bone Joint Surg* 86A:225–232, 2004.

51. **Hefzy MS, Grood ES.**
Sensitivity of insertion locations on length patterns of anterior cruciate ligament fibers. J Biomech Eng 108:73–82, 1986.
52. **Khalfayan EE, Sharkey PF, Alexander AH, Bruckner JD, Bynum EB.**
The relationship between tunnel placement and clinical results after anterior cruciate ligament reconstruction. Am J Sports Med 24:335–341, 1996
53. **Shelbourne KD, Klootwyk TE, Wilckens JH, De Carlo M.**
Ligament stability two to six years after anterior cruciate ligament reconstruction with autogenous patellar tendon graft and participation in accelerated rehabilitation program. Am J Sports Med 23:575–9, 1995
54. **Paessler H.**
Revisionseingriffe nach vorderer Kreuzbandoperation und neuerlicher Instabilität: Ursachenanalyse und taktische Vorgehen. Hefte Unfallchirurg 268 :447–450, 1997
55. **Dienst M, Burks RT, Greis PE.**
Anatomy and biomechanics of the anterior cruciate ligament. Orthop Clin North Am 33:605–620, 2002.
56. **Girgis FG, Marshall JL, Monajem A.**
The cruciate ligaments of the knee joint. Anatomical, functional and experimental analysis. Clin Orthop 106:216:231, 1975.
57. **Harner CD, Baek GH, Vogrin TM, et al.**
Quantitative analysis of human cruciate ligament insertions. Arthroscopy 15:741–749, 1999
58. **Odensten M, Gillquist J.**
Functional anatomy of the anterior cruciate ligament and a rationale for reconstruction. J Bone Joint Surg 67A:257–262, 1985.
59. **Y.S.Alshehri**
Gait Analysis Post Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using Inertial Sensors: A Longitudinal Study. Thesis of Faculty of the University of Kansas Medical Center, 2019
60. **Berchuck M, Andriacchi TP, Bach BR et al (1990)**
Gait adaptations by patients who have a deficient anterior cruciate ligament. J Bone Jt Surg Am 72:871–877

61. **Timoney JM, Inman WS, Quesada PM, et al (1993)**
Return of normal gait pattern after anterior cruciate ligament reconstruction. Am J Sports Med 21: 887-889
62. **W.Dhahbi , A. Zouita, F.Z. Ben Salah, A. Chaouachi, K. Chamari, L. Chèze**
, Reference database of the gait cycle for young healthy Tunisian adults. Tunisia. 2013 :2-4
63. **S.Winiarski , J.Pietraszewska, B.Pietraszewski,**
Three-Dimensional Human Gait Pattern: Reference Data for Young, Active Women Walking with Low, Preferred, and High Speeds.Poland 2018 :2-8
64. **Jorge Latorre, Carolina Colomer , Mariano Alcañiz, Roberto Llorens**
Gait analysis with the Kinect v2: normative study with healthy individuals and comprehensive study of its sensitivity, validity, and reliability in individuals with stroke
65. **ANNA FRYZOWICZ1, MICHAŁ MURAWA , JAROSŁAW KABACIŃSKI , AGATA RZEPNICKA , LECHOSŁAW B. DWORAK**
Reference values of spatiotemporal parameters, joint angles, ground reaction forces, and plantar pressure distribution during normal gait in young women
66. **PIETRASZEWSKI, SŁAWOMIR WINIARSKI, SEBASTIAN JAROSZCZUK**
Three-dimensional human gait pattern - reference data for normal men BOGDAN
67. **P. Bulgheroni , M. V. Bulgheroni , L. Andrini , P. Guffanti , A. Giughello**
Gait patterns after anterior cruciate ligament reconstruction
68. **Anastasios D. Georgoulis MD, Anastasios Papadonikolakis, Christos D. Papageorgiou,, Argyris Mitsou,, and Nicholas Stergiou,**
Three-Dimensional Tibiofemoral Kinematics of the Anterior Cruciate Ligament-Deficient and Reconstructed Knee during Walking
69. **Zsolt Knoll , László Kocsis , Rita M. Kiss**
Gait patterns before and after anterior cruciate ligament reconstruction
70. **Bush-Joseph CA, Hurwitz DE, Patel RR, Bahrani Y, Garretson R, Bach BR**
Dynamic function after anterior cruciate ligament reconstruction with autologous patellar tendon. Am J Sports Med 29:36-41

71. **Benedikt Schliemann · Johannes Glasbrenner · Dieter Rosenbaum · Katharina Lammers · Mirco Herbort · Christoph Domnick · Michael J. Raschke · Clemens Kösters**
Changes in gait pattern and early functional results after ACL repair are comparable to those of ACL reconstruction

72. **Joanna Majewska ,Magdalena Szczepanik, Daniel Szymczyk, Katarzyna Bazarnik–Mucha, Mariusz Drużbicki, Sławomir Snela, Agnieszka Jarmuziewicz, Robert Pyczuła**
Evaluation of Selected Gait Parameters in Patients Prior to and at 6 Months Following Early Anterior Cruciate Ligament Reconstruction

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

74. **Spindler, K.R., Kuhn, J.E., Freedman, K.B., Matthews, C.E., Dittus, R.S., Harrell, F.E., 2004**
Anterior cruciate ligament reconstruction autograft choice. Bone–tendonbone versus hamstring – does it really matter? A systematic review. American Journal of Sports Medicine 32, 1986–1995

75. **L'enfant** – apport de l'analyse quantifiée de la marche (AQM) à la prise de décision chirurgicale La marche humaine, la course et le saut : biomécanique, explorations, normes et dysfonctionnements. E. Viel. Paris, Masson, 2000

تسم الطبيب

أقسيم بالله العظيم
أن أراقب الله في مهنتي
وأن أصون حياة الإنسان في كافة أطوارها في كل الظروف والأحوال
بأذ لا وسعي في إنقاذها من الهلاك والمرض والألم والقلق .
وأن أحفظ للناس كرامتهم، وأستر عورتهم، وأكتم سرهم .

وأن أكون على الدوام من وسائل رحمة الله مسخرًا
رعايتي الطبية للقريب والبعيد، والصالح والطالح والطاهر

أكل
السديق

التحليل الكمي للمشي بعد إعادة بناء الرباط الصليبي الأمامي للركبة

الأطروحة

قدمت ونوقشت علانية يوم 2022/11/02

من طرف

السيد أيمن بنحجو

المزداد في 02 يناير 1996 بالرباط

لنيل شهادة الدكتوراة في الطب

الكلمات الأساسية :

تحليل - الكينماتية - الحركية - المشي - الركبة - الرباط الصليبي الأمامي -
إعادة بناء الأربطة الصليبية

اللجنة

الرئيس	السيد	ي. ناجب	أستاذ في جراحة العظام والمفاصل
المشرفين	السيد	ع. عبكري	أستاذ في جراحة العظام والمفاصل
	السيد	ي. عبد الفتاح	أستاذ مبرز في الترويض الطبي وإعادة التأهيل الوظيفي
الحكام	السيد	م. أ. بنهيمه	أستاذ في جراحة العظام والمفاصل
	السيدة	ح. الهوري	أستاذة في جراحة العظام والمفاصل