HAL open science

Bilan fonctionnel et analyse du mouvement dans l'arthrose de cheville

Mathias Hechiche-Riguet

To cite this version:

Mathias Hechiche-Riguet. Bilan fonctionnel et analyse du mouvement dans l'arthrose de cheville. Médecine humaine et pathologie. 2021. dumas-03424999

HAL Id: dumas-03424999

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03424999

Submitted on 10 Nov 2021

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

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

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

UNIVERSITE DE MONTPELLIER

FACULTE DE MEDECINE MONTPELLIER-NIMES

THESE

Pour obtenir le titre de
DOCTEUR EN MEDECINE

Présentée et soutenue publiquement
Par
Mathias Hechiche-Riguet

Le 23 septembre 2021

BILAN FONCTIONNEL ET ANALYSE DU MOUVEMENT DANS L'ARTHROSE DE CHEVILLE.

Directeur de thèse : Patrick ABOUKRAT

JURY

Présidente : Professeure Isabelle LAFFONT

Assesseurs :
Docteur Yves-Marie PERS
Docteur Patrick ABOUKRAT

Université de Montpellier
FACULTÉ de MÉDECINE
Montpellier-Nîmes

ANNEE UNIVERSITAIRE 2020 - 2021

PERSONNEL ENSEIGNANT

Professeurs Honoraires

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

Université de Montpellier
FACULTÉ de MÉDECINE
Montpellier-Nîmes

Professeurs Emérites

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

Docteurs Emérites

PRAT Dominique
PUJOL Joseph

Université de Montpellier
FACULTÉ de MÉDECINE
Montpellier-Nîmes

ANNEE UNIVERSITAIRE 2020 - 2021

PERSONNEL ENSEIGNANT

Professeurs des Universités - Praticiens Hospitaliers

PU-PH de classe exceptionnelle

ALRIC Pierre	Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire (option chirurgie vasculaire)
BACCINO Eric	Médecine légale et droit de la santé
BASTIEN Patrick	Parasitologie et mycologie
BEREGI Jean-Paul	Radiologie et imagerie médicale
BLAIN Hubert	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
BOULOT Pierre	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
CAPDEVILA Xavier	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
CHAMMAS Michel	Chirurgie orthopédique et traumatologique
COLSON Pascal	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
COMBE Bernard	Rhumatologie
COSTES Valérie	Anatomie et cytologie pathologiques
COTTALORDA Jérôme	Chirurgie infantile
COUBES Philippe	Neurochirurgie
COURTET Philippe	Psychiatrie d'adultes ; addictologie
CRAMPETTE Louis	Oto-rhino-laryngologie
CRISTOL Jean Paul	Biochimie et biologie moléculaire
CYTEVAL Catherine	Radiologie et imagerie médicale
DE LA COUSSAYE Jean Emmanuel	Médecine d'urgence
DE WAZIERES Benoît	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
DELAPORTE Eric	Maladies infectieuses ; maladies tropicales
DEMOLY Pascal	Pneumologie ; addictologie
DOMERGUE Jacques	Chirurgie viscérale et digestive

DUFFAU Hugues	Neurochirurgie
ELIAOU Jean François	Immunologie
FABRE Jean Michel	Chirurgie viscérale et digestive
FRAPIER Jean-Marc	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
HAMAMAH Samir	Biologie et Médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
HERISSON Christian	Médecine physique et de réadaptation
JABER Samir	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
JEANDEL Claude	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
JORGENSEN Christian	Thérapeutique ; médecine d'urgence ; addictologie
KOTZKI Pierre Olivier	Biophysique et médecine nucléaire
LABAUGE Pierre	Neurologie
LEFRANT Jean-Yves	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
LEHMANN Sylvain	Biochimie et biologie moléculaire
LUMBROSO Serge	Biochimie et Biologie moléculaire
MERCIER Jacques	Physiologie
MEUNIER Laurent	Dermato-vénéréologie
MONDAIN Michel	Oto-rhino-laryngologie
MORIN Denis	Pédiatrie
PAGEAUX Georges-Philippe	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
PUJOL Pascal	Biologie cellulaire
QUERE Isabelle	Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire (option médecine vasculaire)
RENARD Eric	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques ; gynécologie médicale
REYNES Jacques	Maladies infectieuses, maladies tropicales
RIPART Jacques	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
ROUANET Philippe	Cancérologie ; radiothérapie
SOTTO Albert	Maladies infectieuses ; maladies tropicales
TAOUREL Patrice	Radiologie et imagerie médicale

TOUITOU Isabelle	Génétique
VANDE PERRE Philippe	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
YCHOU Marc	Cancérologie ; radiothérapie

PU-PH de 1re classe

AGUILAR MARTINEZ Patricia	Hématologie ; transfusion
ASSENAT Éric	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
AVIGNON Antoine	Nutrition
AZRIA David	Cancérologie ; radiothérapie
BAGHDADLI Amaria	Pédopsychiatrie ; addictologie
BLANC Pierre	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
BORIE Frédéric	Chirurgie viscérale et digestive
BOURDIN Arnaud	Pneumologie ; addictologie
CAMBONIE Gilles	Pédiatrie
CAMU William	Neurologie
CANOVAS François	Anatomie
CAPTIER Guillaume	Anatomie
CARTRON Guillaume	Hématologie ; transfusion
CAYLA Guillaume	Cardiologie
CHANQUES Gérald	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
CORBEAU Pierre	Immunologie
COULET Bertrand	Chirurgie orthopédique et traumatologique
CUVILLON Philippe	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
DADURE Christophe	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
DAUVILLIERS Yves	Physiologie
DE TAYRAC Renaud	Gynécologie-obstétrique, gynécologie médicale
DE VOS John	Histologie, embryologie et cytogénétique

DEMARIA Roland	Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire
DEREURE Olivier	Dermatologie - vénéréologie
DROUPY Stéphane	Urologie
DUCROS Anne	Neurologie
DUPEYRON Arnaud	Médecine physique et de réadaptation
FESLER Pierre	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
GARREL Renaud	Oto-rhino-laryngologie
GENEVIEVE David	Génétique
GUILLAUME Sébastien	Psychiatrie d'adultes ; addictologie
GUIU Boris	Radiologie et imagerie médicale
HAYOT Maurice	Physiologie
HOUEDE Nadine	Cancérologie ; radiothérapie
KLOUCHE Kada	Médecine intensive-réanimation
KOENIG Michel	Génétique
KOUYOUMDJIAN Pascal	Chirurgie orthopédique et traumatologique
LAFFONT Isabelle	Médecine physique et de réadaptation
LAVABRE-BERTRAND Thierry	Histologie, embryologie et cytogénétique
LAVIGNE Jean-Philippe	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
LE MOING Vincent	Maladies infectieuses ; maladies tropicales
LECLERCQ Florence	Cardiologie
MARIANO-GOULART Denis	Biophysique et médecine nucléaire
MATECKI Stéfan	Physiologie
MORANNE Olivier	Néphrologie
MOREL Jacques	Rhumatologie
NAVARRO Francis	Chirurgie viscérale et digestive
NOCCA David	Chirurgie viscérale et digestive
PASQUIE Jean-Luc	Cardiologie

PERNEY Pascal	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
PRUDHOMME Michel	Anatomie
PUJOL Jean Louis	Pneumologie ; addictologie
PURPER-OUAKIL Diane	Pédopsychiatrie ; addictologie
ROGER Pascal	Anatomie et cytologie pathologiques
TRAN Tu-Anh	Pédiatrie
VERNHET Hélène	Radiologie et imagerie médicale

PU-PH de 2ème classe

BOURGIER Céline	Cancérologie; radiothérapie
CANAUD Ludovic	Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire (option chirurgie vasculaire)
CAPDEVIELLE Delphine	Psychiatrie d'Adultes ; addictologie
CLARET Pierre-Géraud	Médecine d'urgence
COLOMBO Pierre-Emmanuel	Cancérologie ; radiothérapie
COSTALAT Vincent	Radiologie et imagerie médicale
DAIEN Vincent	Ophtalmologie
DORANDEU Anne	Médecine légale et droit de la santé
FAILLIE Jean-Luc	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
FUCHS Florent	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
GABELLE DELOUSTAL Audrey	Neurologie
GAUJOUX Viala Cécile	Rhumatologie
GODREUIL Sylvain	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
GUILPAIN Philippe	Médecine Interne, gériatrie et biologie du vieillissement; addictologie
HERLIN Christian	Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique, brulologie
IMMEDIATO DAIEN Claire	Rhumatologie
JACOT William	Cancérologie ; Radiothérapie
JEZIORSKI Eric	Pédiatrie

JUNG Boris	Médecine intensive-réanimation
KALFA Nicolas	Chirurgie infantile
LACHAUD Laurence	Parasitologie et mycologie
LALLEMANT Benjamin	Oto-rhino-laryngologie
LE QUINTREC DONNETTE Moglie	Néphrologie
LETOUZEY Vincent	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
LONJON Nicolas	Neurochirurgie
LOPEZ CASTROMAN Jorge	Psychiatrie d'Adultes ; addictologie
LUKAS Cédric	Rhumatologie
MENJOT de CHAMPFLEUR Nicolas	Radiologie et imagerie médicale
MILLET Ingrid	Radiologie et imagerie médicale
MURA Thibault	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de la communication
NAGOT Nicolas	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de la communication
OLIE Emilie	Psychiatrie d'adultes; addictologie
PANARO Fabrizio	Chirurgie viscérale et digestive
PARIS Françoise	Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
PELLESTOR Franck	Histologie, embryologie et cytogénétique
PEREZ MARTIN Antonia	Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire (option médecine vasculaire)
POUDEROUX Philippe	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
RIGAU Valérie	Anatomie et cytologie pathologiques
RIVIER François	Pédiatrie
ROSSI Jean François	Hématologie ; transfusion
ROUBILLE François	Cardiologie
SEBBANE Mustapha	Médecine d'urgence
SIRVENT Nicolas	Pédiatrie
SOLASSOL Jérôme	Biologie cellulaire
STOEBNER Pierre	Dermato-vénéréologie

SULTAN Ariane	Nutrition
THOUVENOT Éric	Neurologie
THURET Rodolphe	Urologie
TUAILLON Edouard	Bactériologie-virologie; hygiène hospitalière
VENAIL Frédéric	Oto-rhino-laryngologie
VILLAIN Max	Ophtalmologie
VINCENT Denis	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
VINCENT Thierry	Immunologie
WOJTUSCISZYN Anne	Endocrinologie-diabétologie-nutrition

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

1re classe :

COLINGE Jacques (Cancérologie, Signalisation cellulaire et systèmes complexes)

LAOUDJ CHENIVESSE Dalila (Biochimie et biologie moléculaire)

VISIER Laurent (Sociologie, démographie)

PROFESSEURS DES UNIVERSITES - Médecine générale

1re classe :

LAMBERT Philippe

AMOUYAL Michel

PROFESSEURS ASSOCIES - Médecine Générale

CLARY Bernard

DAVID Michel

GARCIA Marc

PROFESSEURS ASSOCIES - Médecine

BESSIS Didier (Dermato-vénéréologie)

MEUNIER Isabelle (Ophtalmologie)

MULLER Laurent (Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire)

PERRIGAULT Pierre-François (Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire)

QUANTIN Xavier (Pneumologie)

ROUBERTIE Agathe (Pédiatrie)

VIEL Eric (Soins palliatifs et traitement de la douleur)

Université de Montpellier
FACULTÉ de MÉDECINE
Montpellier-Nîmes

ANNEE UNIVERSITAIRE 2020 - 2021

PERSONNEL ENSEIGNANT

Maîtres de Conférences des Universités - Praticiens Hospitaliers

MCU-PH Hors classe - Echelon Exceptionnel

RICHARD Bruno	Médecine palliative
SEGONDY Michel	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière

MCU-PH Hors classe

BADIOU Stéphanie	Biochimie et biologie moléculaire
BOULLE Nathalie	Biologie cellulaire
CACHEUX-RATABOUL Valère	Génétique
CARRIERE Christian	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
CHARACHON Sylvie	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
FABBRO-PERAY Pascale	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
GIANSILY-BLAIZOT Muriel	Hématologie ; transfusion

MCU-PH de 1re classe

BERTRAND Martin	Anatomie
BOUDOUSQ Vincent	Biophysique et médecine nucléaire
BRET Caroline	Hématologie biologique
BROUILLET Sophie	Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
COSSEE Mireille	Génétique
GIRARDET-BESSIS Anne	Biochimie et biologie moléculaire
LAVIGNE Géraldine	Hématologie ; transfusion
LESAGE François-Xavier	Médecine et Santé au Travail
MARTRILLE Laurent	Médecine légale et droit de la santé
MATHIEU Olivier	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie

MOUZAT Kévin	Biochimie et biologie moléculaire
PANABIERES Catherine	Biologie cellulaire
RAVEL Christophe	Parasitologie et mycologie
SCHUSTER-BECK Iris	Physiologie
STERKERS Yvon	Parasitologie et mycologie
THEVENIN-RENECéline	Immunologie

MCU-PH de 2éme classe

BERGOUGNOUX Anne	Génétique
CHIRIAC Anca	Immunologie
DE JONG Audrey	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
DU THANH Aurélie	Dermato-vénéréologie
FITENI Frédéric	Cancérologie ; radiothérapie
GOUZI Farès	Physiologie
HERRERO Astrid	Chirurgie viscérale et digestive
HUBERLANT Stéphanie	Gynécologie-obstétrique ; Gynécologie médicale
KUSTER Nils	Biochimie et biologie moléculaire
MAKINSON Alain	Maladies infectieuses, Maladies tropicales
PANTEL Alix	Bactérologie-virologie ; hygiène hospitalière
PERS Yves-Marie	Thérapeutique; addictologie
ROUBILLE Camille	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie
SZABLEWSKY	Anatomie et cytologie pathologiques

Maîtres de Conférences des Universités - Médecine Générale

MCU-MG de 1re classe

COSTA David

OUDE ENGBERINK Agnès

MCU-MG de 2ème classe

FOLCO-LOGNOS Béatrice

CARBONNEL François

Maîtres de Conférences associés - Médecine Générale

CAMPAGNAC Jérôme

LOPEZ Antonio

MILLION Elodie

PAVAGEAU Sylvain

REBOUL Marie-Catherine

SERAYET Philippe

Université de Montpellier
FACULTÉ de MÉDECINE
Montpellier-Nîmes

ANNEE UNIVERSITAIRE 2020 - 2021

PERSONNEL ENSEIGNANT

Maitres de Conférences des Universités

Maîtres de Conférences hors classe

BADIA Eric	Sciences biologiques fondamentales et cliniques
CHAZAL Nathalie	Biologie cellulaire

Maîtres de Conférences de classe normale

BECAMEL Carine	Neurosciences
BERNEX Florence	Physiologie
CHAUMONT-DUBEL Séverine	Sciences du médicament et des autres produits de santé
DELABY Constance	Biochimie et biologie moléculaire
GUGLIELMI Laurence	Sciences biologiques fondamentales et cliniques
HENRY Laurent	Sciences biologiques fondamentales et cliniques
HERBET Guillaume	Neurosciences
LADRET Véronique	Mathématiques appliquées et applications des mathématiques
LAINE Sébastien	Sciences du Médicament et autres produits de santé
LE GALLIC Lionel	Sciences du médicament et autres produits de santé
LOZZA Catherine	Sciences physico-chimiques et technologies pharmaceutiques
MAIMOUN Laurent	Sciences physico-chimiques et ingénierie appliquée à la santé
MOREAUX Jérôme	Science biologiques, fondamentales et cliniques
MORITZ-GASSER Sylvie	Neurosciences
MOUTOT Gilles	Philosophie
PASSERIEUX Emilie	Physiologie
RAMIREZ Jean-Marie	Histologie
RAYNAUD Fabrice	Sciences du Médicament et autres produits de santé
TAULAN Magali	Biologie Cellulaire

Université de Montpellier
FACULTÉ de MÉDECINE
Montpellier-Nîmes

ANNEE UNIVERSITAIRE 2020 - 2021

PERSONNEL ENSEIGNANT

Praticiens Hospitaliers Universitaires

BARATEAU Lucie	Physiologie
BASTIDE Sophie	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
CAZAUBON Yoann	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
DAGNEAUX Louis	Chirurgie orthopédique et traumatologique
DUFLOS Claire	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de la communication
GOULABCHAND Radjiv	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie
LATTUCA Benoit	Cardiologie
MARIA Alexandre	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie
MIOT Stéphanie	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie
SARRABAY Guillaume	Génétique
SOUCHE François-Régis	Chirurgie viscérale et digestive

Université de Montpellier
FACULTÉ de MÉDECINE
Montpellier-Nîmes

ANNEE UNIVERSITAIRE 2020 - 2021

PERSONNEL ENSEIGNANT

PH chargés d'enseignements

ABOUKRAT Patrick
AKKARI Mohamed
ALRIC Jérôme
AMEDRO Pascal
AMOUROUX Cyril
ANTOINE Valéry
ARQUIZAN Caroline
ATTALIN Vincent
AYRIGNAC Xavier
BADR Maliha
BAIS Céline
BARBAR Saber Davide
BASSET Didier
BATIFOL Dominique
BATTISTELLA Pascal
BAUCHET Luc
BENEZECH Jean-Pierre
BENNYS Karim
BERNARD Nathalie
BERTCHANSKY Ivan
BIBOULET Philippe
BIRON-ANDREANI Christine
BLANC Brigitte
BLANCHARD Sylvie
BLANCHET Catherine
BLATIERE Véronique
BOBBIA Xavier
BOGE Gudrun
BOURRAIN Jean Luc
BOUYABRINE Hassan
BRINGER-DEUTSCH Sophie
BRINGUIER BRANCHEREAU Sophie
BRISOT Dominique
BRONER Jonathan
CADE Stéphane
CAIMMI Davide Paolo
CARR Julie
CARTIER César
CASPER Thierry
CASSINOTTO Christophe
CATHALA Philippe
CAZABAN Michel
CHARBIT Jonathan
CHEVALLIER Thierry
CHEVALLIER-MICHAUD Josyane
COLIN Olivier
CONSEIL Mathieu
CORBEAU Catherine
COROIAN Flavia-Oana
COUDRAY Sarah
CRANSAC Fréderic
CUNTZ Danielle
DARDALHON Brigitte
DAVID Aurore
DE BOUTRAY Marie
DE LA TRIBONNIÈRE Xavier
DEBIEN Blaise
DELPONT Marion
DENIS Hélène
DEVILLE de PERIERE Gilles
DJANIKIAN Flora
DONNADIEU-RIGOLE Hélène
FAIDHERBE Jacques
FATTON Brigitte
FAUCHERRE Vincent
FILLERON Anne
FITENI Frédéric
FOURNIER Philippe
GAILLARD Nicolas
GALMICHE Sophie
GENY Christian
GERONIMI Laetitia
GINIES Patrick
GRECO Frédéric
GUEDJ Anne Marie
GUYON Gaël
HENRY Vincent
JAMMET Patrick
JEDRYKA François
JREIGE Riad
KINNE Mélanie
LABARIAS Coralie
LACAMBRE Mathieu
LANG Philippe
LAZERGES Cyril
LE GUILLOU Cédric
LEGLISE Marie Suzanne
LOPEZ Régis
LUQUIENS Amandine
MANZANERA Cyril
MARGUERITTE Emmanuel
MARTIN Lucille
MATTATIA Laurent
MEROUEH Fadi
MEYER Pierre
MILESI Christophe

MORAU Estelle
MOSER Camille
MOUSTY Eve
MOUTERDE Gaël
PANSARD Nicole
PERNIN Vincent
PERRIGAULT Pierre François
PEYRON Pierre-Antoine
PICARD Eric
PICOT Marie Christine
PIERONI Laurence
POQUET Hélène
PUJOL Sarah-Lise
PUPIER Florence
QUANTIN Xavier
RAFFARD Laurence
RAPIDO Francesca
RIBRAULT Alice
RICHAUD-MOREL Brigitte
RIDOLFO Jérôme
RIPART Sylvie
RONGIERES Michel
ROULET Agnès
RUBENOVITCH Josh
SANTONI Fannie
SASSO Milène
SCHULDINER Sophie
SEGURET Fabienne
SENESSE Pierre
SKALLI El Medhi
SOLA Christelle
SOULLIER Camille
STOEBNER DELBARRE Anne
TEOT Luc
THIRION Marina
VACHIERY-LAHAYE Florence
VERNES Eric
VINCENT Laure
WAGNER Laurent
ZERKOWSKI Laetitia

REMERCIEMENTS

Je tiens tout particulièrement à remercier les personnes qui, par leur contribution active ou leur soutien, m'ont permis d'élaborer ce travail, je pense tout particulièrement :

Aux membres du jury

A Madame la Professeure Isabelle LAFFONT, Présidente de mon Jury,

Je vous suis très reconnaissant de pouvoir évaluer cette thèse et votre présence me fait honneur. Je vous remercie pour votre écoute et pour tout l'accompagnement que vous m'avez apporté, au long de mon internat. Je suis très heureux d'avoir pu travailler dans votre service. Merci pour votre pédagogie et pour ces staffs de grande qualité.

A Monsieur le Docteur Patrick ABOUKRAT, Directeur de ma Thèse,

Merci infiniment pour m'avoir fait confiance et pour m'avoir transmis la passion de la podologie. Ton expérience m'a été très précieuse. Merci pour ta gentillesse, ta disponibilité et pour tous les conseils que tu as apporté dans la préparation de cette thèse. J'ai beaucoup appris en suivant tes consultations.

A Monsieur le Docteur Yves-Marie PERS,

Je te remercie de m'avoir fait découvrir l'analyse du mouvement et la possibilité de réaliser cette expérience très enrichissante. Merci pour tout le temps passé lors de mon stage en rhumatologie, tu es un modèle pour moi dans l'empathie que tu manifestes envers tes patients. Enfin merci beaucoup pour l'investissement que tu as consacré à ce travail et à ta réactivité.

A ceux qui m'ont accompagné durant toute la préparation ce travail

Merci à Gilles DUFFOUR, ingénieur de recherche,

Pour m'avoir accompagné dans ce projet et pour m'avoir expliqué toutes les utilisations possibles de l'analyse du mouvement. Merci de m'avoir formé au système et de m'avoir bien aidé à analyser les données. La présence d'un véritable expert en biomécanique aura été un véritable atout, tout au long de ce chemin.

Merci aux podologues, Cyril GAREAU et Ahmed Ben BOUAZZA,

Pour la réalisation des orthèses, l'aide dans les mesures et pour les échanges que nous avons eu sur l'évaluation podoscopique des patients. Bravo pour l'investissement que vous mettez dans votre travail et merci pour votre aide dans l'apprentissage de la baropodométrie.

A mes proches

A toi, ma petite Maman chérie, merci mille fois pour ton soutien sans faille dont tu as fait preuve. Tu as su me redonner le courage dans les moments les plus difficiles. Merci mille fois d'avoir cru en moi ; tu as été là pour m'accompagner, tout au long de mes études. Merci pour tous les moments de bonheur que nous avons partagé ensemble et pour tous les moments à venir aussi. Je t'aimerai toujours.

A mon Père. Mon cher Papa, tu es et tu resteras un modèle pour moi. C'est ton parcours qui m'a inspiré et qui m'aura motivé à travailler avec persévérance. Merci pour toutes les discussions importantes « père-fils » que nous avons eu. Je te suis infiniment reconnaissant pour l'extrême gentillesse, l'amour et le regard que tu as toujours porté sur moi. Je suis fier de toi, tout comme tu es fier de moi.

A mes Grands-Parents, Maurice et Josette, Je garderai un souvenir impérissable de toutes les jolies balades que nous faisions dans le mâconnais. Papy (mi), merci encore pour être cette personne si bienveillante qui m'a transmis le gout de la lecture. Tu es infatigable quand il

s’agit de faire des blagues. Mamy (zette), j’ai toujours apprécié ta tranquillité, et surtout les bons petits plats que tu préparais spécialement quand j’allais chez vous.

A mon cher Thierry ! Je suis si heureux de t’avoir rencontré. J’adore ta joie de vivre et ton énergie. Tu es toujours plein de vie et tu sais profiter des instants. Merci d’être toi !

A mamy Simone. Tu me manques beaucoup là-haut. Je suis si heureux de t’avoir rencontré. Merci pour avoir veillé sur moi lorsque j’étais petit.

A papy Rachid, tu as malheureusement rejoint mamy cette année. J’espère que vous avez trouvé la paix.

A Alain, mon tonton au grand cœur. Toujours là pour délirer ! Merci pour ta bonne humeur et pour toutes les rigolades ensemble. Ton soutien Je suis toujours partant pour aller courir avec toi le long des Rives du Lez.

A Louise qui l’accompagne ; quel beau mariage ! Vous formez un super couple.

A Monique et Michel. Pour votre gentillesse, et l’hospitalité digne des rois que vous nous apportez quand nous venons nous rendre visite. J’ai adoré le séjour passé chez vous, lors de mon stage au Creusot.

A Nadir et Patricia. Pour leur humour sans faille et leur inventivité à toute épreuve.

A Lilia pour ta sérénité et bien sûr pour m’avoir fait découvrir ta région merci !

A Nicolas qui m’aura bien si bien conseillé pendant mes études.

A tous mes cousins et cousines. On ne se voit malheureusement pas assez mais c’est toujours un plaisir de vous revoir lors d’événements familiaux. Lilian (morray ahah) tu as eu un parcours incroyable, j’adore délirer avec toi. Etienne, Jehan et Jehan j’ai le sourire aux lèvres lorsque je repense à toutes ces parties de jeux. Ekwan pour les moments de snowboard mythiques passés chez toi. Tatiana pour le courage admirable dont tu fais preuve. Aguirre, j’adore discuter avec toi, tu as toujours une imagination débordante dans tes expos ! A Pauline et Margaux mes cousines ! C’est bien peu dire que je sois fier de vous ! Vous avez parcouru tant de chemin ensemble.

Maxime AB, le grand et l'unique, le meilleur avocat que je connaisse. Tu as toujours cru en moi, tu as toujours eu les mots adéquats. Merci mon ami. J'ai de la chance de t'avoir rencontré ! Avec ton intelligence et ta vivacité je suis certain que tu réussiras tous tes projets.

Pierre-Alexandre. Ah mon PA. Qu'est-ce que j'adore le plus chez toi ? Je dirai tout ! On a partagé tellement de galères ensemble, cela n'a fait que renforcer notre amitié. Je suis toujours partant pour partager une bière avec toi mon ami.

Julien (mamène). Le BG de la bande. Le nombre de délire qu'on a eu est incalculable. On adore se chamailler mais c'est toujours bon enfant. J'ai spécialement adoré nos voyages partagés.

Arne, pour toutes les soirées dans la Kockoloc, la meilleure de Dijon. Ton dynamisme est légendaire, tout comme tes fins de soirées… On formait un duo de choc.

Florian le plus grand, pour ton franc parler. J'adore toujours venir squatter chez toi. Tu as toujours le sourire aux lèvres pour tout, c'est mythique. Je suis super content que tu te plaises dans ta spécialité.

A Elise, merci pour avoir réussi à canaliser notre Flo national. Quand tu m'as annoncé que tu me rejoignais en MPR, tu ne sais pas à quel point cela m'a fait plaisir ! On peut compter sur toi, en toutes circonstances.

Victor, tu me fais toujours rêver avec tes histoires, tu en surjoues (beaucoup) mais c'est pour ça qu'on t'aime. Anne-Claire, que j'ai vu se transformer toutes ces années, je prends toujours plaisir à te voir.

Remy et Marion, c'est trop génial de vous avoir rencontré ! Vous arrivez toujours au bon moment pour relancer les soirées, on ne s'ennuie jamais avec vous. J'ai hâte de découvrir votre maison.

Aux rencontres durant l'internat

A Guillaume. Mister le blond. Mais comment fait tu pour avoir autant d'imagination. C'est toujours chouette de partir faire des virées escalade ensemble.

A Claire. Tellement de choses à dire. Mais faisons simple : spontanée, rigolote, bonne vivante, cela résume assez bien. Toujours partant de faire des randonnées avec toi et, bien sûr, jouer à des jeux de sociétés !

A mes super co-équipiers d'escalade. Olivier D. mon kiné espagnol. Tu vas beaucoup me manquer maintenant que tu pars te rapprocher de l'Espagne mais c'est pour une super raison et je suis content pour toi. Olivier C. et Jade à quand nos prochaines excursions, c'est toujours un plaisir avec vous. Marie et Justine, le binôme de choc, j'aimerais avoir la moitié de votre motivation quand il s'agit de faire du sport. Sven ta bonne humeur redonne toujours le moral.

A mes co-internes de MPR, Baptiste le co-équipier de l'enfer du 3 bis, Yasmine et Manon pour les merveilleuses soirées passées à Doudou, Tim la recrue héroïque !

Merci à Matthieu et à Claire pour les supers moments passé à l'UNV et en hospit de neuro. On avait bien besoin de pauses entre 2 urgences.

Merci à Benjamin, Sirivanh et Lalao. On était une chouette équipe, on pouvait vraiment compter les uns sur les autres.

Aux plus jeunes MPR : Léa, Robin, Cloé, Bris, Benjamin, Ali. De super moments passés ensemble aux cours de DES.

A toutes les équipes médicales rencontrées

Merci à tous les médecins dijonnais qui m'ont inspiré dans leur attitude mais aussi dans leur savoir-faire. Pr Casillas, votre rencontre m'a confirmé dans le choix de la MPR. Pr Maillefert et Pr Ornetti pour votre pédagogie et l'enseignement de l'appareil locomoteur. Pr Giroud pour vos visites si passionnantes et vos questions pointilleuses lors des visites en neuro. Dr Berthier pour m'avoir fait aimer la sémiologie et la rigueur dans mes premières observations médicales.

Merci au Pr Dupeyron pour son accueil à Nîmes mais surtout pout sa pédagogie et son éclairage sur les pathologies rachidiennes. Merci à mes premiers chefs au 3 bis Nicolas Mathieu et Célia Dauvergne, une sacrée mise en route dans le grand bain, je me suis beaucoup amélioré en clinique grâce à vous.

Merci aux Docteurs Anne Brunon et Sylvie Petiot, mes chefs en RRL au Grau du Roi, pour l'apprentissage de l'appareillage et pour la découverte de l'importance de l'examen clinique du pied !

Merci à la super équipe du PSR à Perpignan. Au Dr Michel Enjalbert pour son accueil, à Claire Anquetil, Catherine Leblond et Guillaume Schlachet qui se sont fortement investis pour que je me sente bien dans le centre.

Merci au Pr Labauge et à toute l'équipe médicale de neurologie pour leur encadrement. Spécialement mes chefs de clinique Florian, Perrine, Mélissa, Elisa, Aurélie vous êtes au top ! Quelle ambiance géniale avec vous !

Au service de rhumatologie de Montpellier : Merci au Pr Jorgensen pour sa bienveillance et au Dr Ferreira pour son œil expert sur l'arthrose. Merci à mes chefs Guillaume et Clémentine. Vous étiez toujours là pour répondre à mes questions ! On a bien rigolé ensemble.

Au service de MPR du CHU de Montpellier : Merci à toute l'équipe médicale, en particulier Fanny, François et Florence qui sont toujours disponibles pour répondre aux questions.

Bilan fonctionnel et analyse du mouvement dans l'arthrose de cheville

Table des matières

1 L'ARTHROSE DE LA CHEVILLE : INTRODUCTION 12

1.1 Contexte et justification 12

1.1.1 Définition - Généralités 12

1.1.2 Anatomie et biomécanique de la cheville et de l'arrière-pied 12

1.1.2.1 Articulation talo-crurale 12

1.1.2.2 Articulation sous-talienne 13

1.1.2.3 Muscles moteurs péri-articulaires 14

1.1.3 Physiopathologie 15

1.1.4 Symptomatologie 16

1.1.5 Evaluation radiologique 16

1.1.6 Modalités thérapeutiques 18

1.1.6.1 Mesures non pharmacologiques 18

1.1.6.2 Traitements pharmacologiques 20

1.1.6.3 Infiltrations intra-articulaires : corticoïdes, acide hyaluronique et plasma riche en plaquettes 20

1.1.6.4 Traitements chirurgicaux 21

1.2 Evaluation clinique dans l'arthrose de cheville 21

1.2.1 Description de la marche 21

1.2.2 Arthrose de cheville et analyse de la marche 23

1.2.3 Présentation des capteurs X-SENS et données de la littérature 24

1.2.4 Analyse baropodométrique et arthrose de cheville 26

2 ETUDE DE CAS 26
2.1 Objectifs 26
2.2 Matériels et Méthodes 27
2.3 Déroulement 28
2.3.1 Evaluation clinique 28
2.3.2 Mesure de paramètres radiologiques 29
2.3.3 Utilisation de la baropodométrie 29
2.3.4 Mesure des paramètres cinématiques : utilisation des capteurs X-SENS 32
3 RESULTATS 34
3.1 Population étudiée 34
3.2 Comparaison de la population étudiée avec des sujets sains 34
3.2.1 Comparaison des paramètres spatiotemporels 35
3.2.2 Comparaison des paramètres cinématiques 38
3.3 Modifications associées à la mise en place d'orthèses plantaires correctrices évaluées par les capteurs Xsens 41
3.3.1 Paramètres cinématiques 41
3.3.1.1 Marche simple 41
3.3.1.2 Marche rapide 43
3.3.2 Paramètres spatiotemporels 44
3.3.2.1 Marche simple 44
3.3.2.2 Marche rapide 45
3.3.3 Tests de Wilcoxon 45
3.4 Données obtenues avec le dispositif de baropodométrie Runtime® 47
3.5 Recherche de corrélations entre questionnaire AOS et données obtenues avec Xsens 48

3.5.1 Résultats du questionnaire 48

3.5.2 Corrélations entre scores AOS et paramètres spatiotemporels 50

3.5.3 Corrélations entre scores AOS et paramètres cinématiques 53

3.6 Recherche de corrélations entre paramètres cliniques et données obtenues avec Xsens 53

3.6.1 Corrélations entre paramètres cliniques et paramètres spatiotemporels 53

3.6.2 Corrélations entre paramètres cliniques et paramètres cinématiques 55

4 DISCUSSION 56

5 CONCLUSION 58

6 BIBLIOGRAPHIE 59

7 TABLE DES FIGURES ET ILLUSTRATIONS 63

8 LISTE DES TABLEAUX 64

9 LISTE DES ABREVIATIONS 65

10 SERMENT 66

11 DOS DE COUVERTURE : RESUME ET MOTS CLEFS 67

1 L'ARTHROSE DE LA CHEVILLE : INTRODUCTION

1.1 Contexte et justification

1.1.1 Définition - Généralités

L'arthrose est l'un des troubles ostéoarticulaires les plus courants dans le monde. Cette pathologie chronique est à l'origine de douleurs articulaires pouvant, à terme, causer des incapacités fonctionnelles. On estime à 1% la prévalence de l'arthrose de cheville dans la population mondiale (1). Contrairement à l'arthrose de genou et de hanche, l'arthrose de cheville est presque toujours d'origine secondaire. Cette pathologie touche en général des patients d'âge plus jeune et a une origine post traumatique dans 90% des cas (1,2). Les traumatismes comprennent principalement fractures intra-articulaires sévères (pilon tibial et malléoles) et des séquelles d'entorses sévères (2,3). Plus rarement, l'arthrose de cheville est primitive et sous l'influence de facteurs de risque tels de la surcharge pondérale ou les comorbidités.

1.1.2 Anatomie et biomécanique de la cheville et de l'arrière-pied

1.1.2.1 Articulation talo-crurale

L'articulation de la cheville se nomme articulation talo-crurale ou tibio-tarsienne. Elle relie l'extrémité supérieur du talus aux extrémités inférieurs du tibia et de la fibula.

De nombreux ligaments renforcent cette articulation et permettent d'unir les structures osseuses :

- Le ligament collatéral latéral est souvent impliqué dans les entorses de cheville et est composé de 3 faisceaux : calcanéo-fibulaire, talo-fibulare antérieur et talo-fibulaire postérieur.
- Le ligament collatéral médial qui est composé du ligament deltoïde dans sa partie superficielle et des ligaments tibio-talaire antérieur et postérieur dans sa partie profonde.
- Les ligaments tibio-fibulaire antérieur et postérieur ont un rôle plus accessoire.

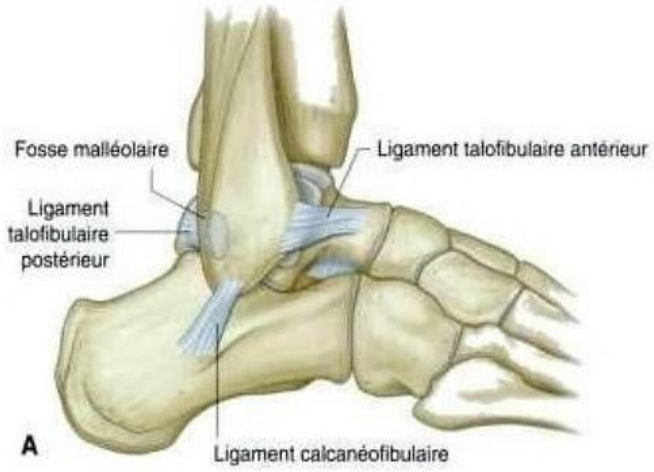

Illustration 1 : Anatomie ligamentaire de la cheville : vue latérale

Cette articulation a un seul degré de liberté dans le plan sagittal. Elle permet une importante mobilité articulaire comprise entre 70 et 80°, avec une flexion plantaire entre 20 et 30° pour une flexion dorsale entre 40 et 50°.

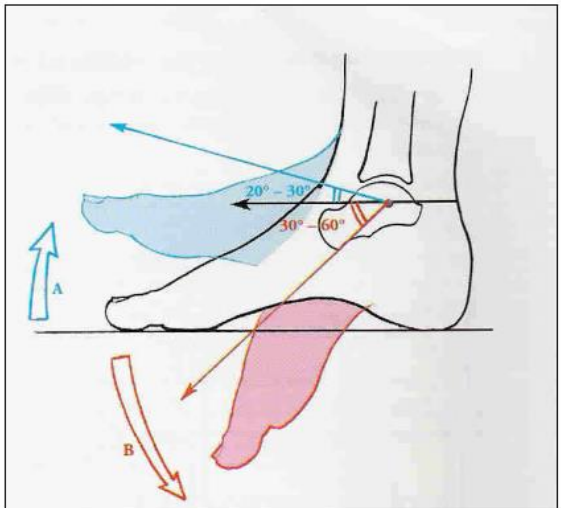

Illustration 2 : Amplitudes de la talo-crurale : Flexion dorsale (A) et flexion plantaire (B)

1.1.2.2 ***Articulation sous-talienne***

L'articulation sous-talienne ou subtalaire fait partie du tarse postérieur. Elle relie la face inférieure du talus à la face supérieur du calcanéus et comporte un petit espace nommé sinus du tarse. Elle permet la stabilité de l'arrière pied et l'adaptation, lors de la marche en terrain instable. Les mouvements de la sous-talienne sont indissociables des mouvements d'inversion et d'éversion du pied.

1.1.2.3 Muscles moteurs péri-articulaires

Les muscles moteurs de la jambe sont situés dans trois loges séparées :

- La loge antérieure comprend le muscule tibial antérieur, le muscle extenseur commun des orteils et le muscle extenseur propre de l'hallux
- La loge latérale comprend le muscle long fibulaire et le muscle court fibulaire
- La loge postérieure comprend :
    - Un plan superficiel composé du muscle triceps sural (gastrocnémiens et soléaire) et du muscle plantaire qui est inconstant
    - Un plan profond composé du muscle tibial postérieur, du muscle long fléchisseur des orteils, du muscle long fléchisseur de l'hallux

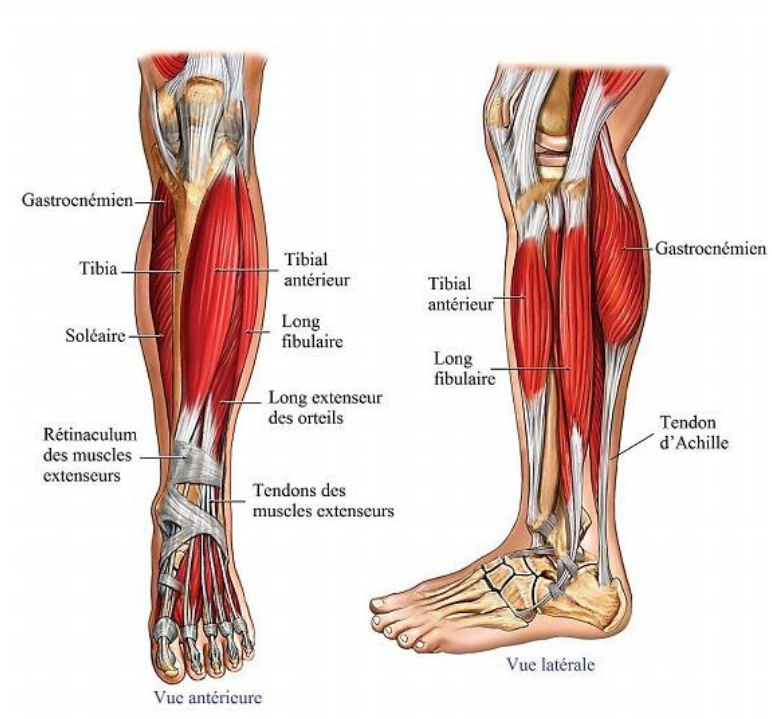

Illustration 3 : Vues antérieures et latérales de muscles de la jambe

Ces muscles jouent un rôle dans la stabilité et la propulsion de la cheville, comme le montre le tableau 1 ci-après.

Tableau 1 : Muscles moteurs de la cheville

MUSCLE	INSERTIONS	ACTION
Tibial antérieur	Face externe du tibia → 1er métatarsien et 1er cunéiforme	Flexion dorsale.
Extenseur propre de l'hallux	1/3 moyen de la fibula → Phalange distale du 1er orteil	Extension du 1er orteil
Extenseur commun des orteils	Face supérieure latérale du tibia + 2/3 supérieur de la fibula→ Phalanges intermédiaires et distales du 2 au 5ème orteil	Extension des orteils 2 à 5
Triceps sural	Gastrocnémiens : condyles fémoraux médial et latéral Soléaire : face postéro-supérieure du tibia et face postérieure de la fibula	Flexion plantaire
Long fléchisseur de l'hallux	2/3 inférieure de la fibula et membrane interosseuse → phalange distale de l'hallux	Flexion de l'hallux. Extension et inversion du pie.
Long fléchisseur des orteils	Face dorsale du corps du tibia, membrane interosseuse → phalanges distales des orteils 2 à 5	Flexion des orteils 2 à 5.
Tibial postérieur	2/3 supérieurs de la face postérieure du tibia et de la fibula → face inférieure du tarse	Flexion plantaire. Inversion.
Long fibulaire	2/3 supérieurs de la fibula → 1er métatarsien et cunéiforme médial	Flexion plantaire. Eversion.
Court fibulaire	Face inférieure de la fibula → 5e métatarsien	Flexion plantaire. Eversion.

1.1.3 Physiopathologie

La physiopathologie de l'arthrose post-traumatique est complexe et non totalement comprise. A la suite d'un traumatisme ou microtraumatisme local, il se produit une perturbation de l'équilibre homéostasique avec altération de la matrice extra-cellulaire. Différentes cellules dont les chondrocytes sont altérées par des mécanismes faisant intervenir une phase inflammatoire avec libération de cytokines pro-inflammatoires. Il en résulte une destruction apoptotique du cartilage environnant mais aussi les différents tissus péri-articulaires comme l'os sous chondral et l'articulation synoviale (4).

1.1.4 Symptomatologie

La symptomatologie clinique est très variable et diffère grandement d'un patient à l'autre. Les patients atteints d'arthrose de cheville peuvent être longtemps asymptomatiques malgré une radiographie montrant un stade radiographique avancé. Il n'y a en effet aucune corrélation anatomo-clinique retrouvée entre la douleur et la sévérité structurale. On note cependant une importante corrélation entre la plainte douloureuse et l'axe du pied retrouvée sur les radiographies.

Habituellement, les patients présentent des douleurs d'horaire mécanique autour de l'articulation de cheville, qui s'aggravent avec le mouvement, les amenant souvent à arrêter les activités physiques ainsi que le sport en général. Au fur et mesure que les contraintes mécaniques altèrent l'articulation de cheville, certains malades peuvent présenter des tableaux hyperalgiques avec de véritables crises inflammatoires et des douleurs nocturnes. Ces symptômes sont parfois accompagnés de difficultés au verrouillage ainsi que d'une importante rigidité articulaire. Le contrôle sensorimoteur semble également modifié dans l'arthropathie de cheville, ce qui affecte la stabilité articulaire et l'équilibre postural (5). Dans certains cas , il a été décrit une faiblesse musculaire plus importante voire une amyotrophie des muscles gastrocnémiens et soléaire en comparaison du côté controlatéral (6).

Afin d'évaluer la douleur et le retentissement, il est possible d'utiliser des questionnaires spécifiques se basant sur une mesure quantitative similaire à l'échelle visuelle analogique. Les principaux utilisés sont l'auto-questionnaire AOS pour Ankle Osteoarthritis Scale, le score American Orthopaedic Foot and Ankle Score ou AOFAS. Des scores plus généraux sont également utilisés comme le questionnaire SF 36.

1.1.5 Evaluation radiologique

Pour déterminer le stade radiologique de l'arthrose, la littérature se base, en priorité, sur l'échelle radiographique de Kellgren et Lawrence (K&L) qui est composée de 4 stades. Cette échelle est validée dans l'arthrose de cheville post traumatique (7). Certaines équipes utilisent d'autres classifications plus spécifiques comme celle de Takakura ou celle de COFAS qui tient compte des paramètres statiques de l'arrière-pied (8,9). Les signes radiologiques de l'arthrose sont le pincement localisé, l'ostéocondensation, les géodes sous chondrale et l'ostéophytose.

Illustration 4 : stade 1 : ostéophyte au niveau de la malléole médiale

Illustration 5 : stade 4 : ostéophytes des malléoles médiales et latérales associées à une diminution importante de l'interligne articulaire et une ostéosclérose tibio-talaire sous chondrale

La radiographie de cheville et du pied est demandée en charge pour permettre de dégager l'interligne articulaire. Les clichés sont faits de face et de profil auxquels s'ajoute l'incidence de Meary qui permet d'estimer le degré d'axation de l'arrière-pied.

Illustration 6 : Incidence de Meary

Le clinicien peut parfois être amené à demander d'autres examens pour étayer le diagnostic. En situation pré-opératoire les chirurgiens orthopédistes souhaitent régulièrement avoir un bilan complet local dont les informations sont apportées au mieux par l'arthroscanner. L'IRM de cheville permet de rechercher des complications secondaires comme un œdème intra-osseux, une ostéonécrose, une fissure osseuse ou une atteinte des tissus mous péri-articulaires.

1.1.6 Modalités thérapeutiques

Il existe de multiples modalités de prise en charge de l'arthrose de cheville (8).

1.1.6.1 Mesures non pharmacologiques

Les thérapies non médicamenteuses sont toujours recommandées quel que soit le stade. En premier lieu viennent les stratégies visant à diminuer les contraintes locales.

- **Conseils généraux :**

On retient surtout l'importance des conseils d'économie articulaire et l'arrêt des activités pouvant traumatiser la cheville en particulier les sports tels que la course à pied, la danse, le tennis, le basket etc. Il est également primordial d'encourager les mesures hygiéno-

diététiques, la perte de poids et la pratique d'activités physiques ne provoquant pas d'impact comme la natation ou le vélo.

- **Utilisation des orthèses plantaires**

L'utilisation de dispositifs simples tels que les **orthèses plantaires** peut être utile afin de corriger des troubles statiques provoqués par l'arthropathie.

Elles sont appelées couramment « semelles orthopédiques ». Elles sont fabriquées par des podologues diplômés et sont délivrés sur prescription médicale. Elles ont des indications diverses et des propriétés très précises (10) :

- Éviter un appui pathologique : par exemple, formation d'un trouble trophique cutané chez un patient diabétique ou formation d'un point d'appui d'hyperkératose « durillon plantaire »
- Modifier un appui, à l'aide de cales intercalaires placées à l'intérieur de la semelle, pour éviter un trouble statique du pied ou pour éviter un appui pathologique.
- Répartir les appuis avec l'utilisation de moulages thermoformés du pied

Illustration 7 : Orthèses faites par thermomoulage du pied

L'utilisation d'orthèses plantaires fait partie des thérapies physiques qui peuvent être proposées en premier recours, dans l'arthropathie talo-crurale. En effet, on suppose que celles-ci permettraient une meilleure posture, et par conséquent une amélioration des paramètres de marche. Des évaluations ont également montré que l'utilisation des orthèses

pourraient modifier la biomécanique avec une diminution de l'amplitude de flexion dorsale durant la montée et la descente des escaliers. (11). L'étude de Huang a insisté sur le fait que les orthèses avec arrière-pied rigide pourraient permettre une plus grande restriction de mouvement de l'arrière-pied, tout en permettant une bonne amplitude de mouvement de l'avant-pied (12) . Un autre objectif biomécanique des orthèses est de pouvoir augmenter l'amplitude de la mobilité sous talienne et d'essayer d'horizontaliser l'interligne talo-crurale.

- **Rééducation de la cheville**

Il n'existe pas de protocoles de rééducation validée dans l'arthrose de cheville. Les mesures comprennent principalement un entretien des amplitudes articulaires, du renforcement musculaire, un travail proprioceptif et de la physiothérapie antalgique.

1.1.6.2 Traitements pharmacologiques

Les traitements médicamenteux sont d'abord symptomatiques visant à soulager les douleurs et à réduire l'inflammation locale ; ils comprennent les antalgiques courants dont le paracétamol et les anti-inflammatoires non stéroïdiens. Les AINS peuvent également être utilisés par voie locale(13). Cependant, ces traitements sont peu efficaces au long cours et peuvent exposer à des effets secondaires non négligeables, notamment dans des populations à risque rénal ou vasculaire.

1.1.6.3 Infiltrations intra-articulaires : corticoïdes, acide hyaluronique et plasma riche en plaquettes

Les infiltrations locales de cortisone ont principalement un intérêt lors des phases de poussées inflammatoires avec épanchement articulaire. Les effets sur la douleur sont globalement positifs à court terme mais elles ne peuvent pas être répétées trop régulièrement (14).

Les infiltrations d'acide hyaluronique améliorent modestement les scores d'évaluation de douleur et de fonction et permettraient de limiter la progression de la destruction articulaire dans les arthropathies peu symptomatiques. Cependant, peu d'études sont probantes avec absence d'un comparateur et non-respect de l'aveugle. Une revue de la Cochrane de 2015 souligne qu'il n'y a actuellement pas assez de données pour réaliser des guidelines dans l'arthrose de cheville (15).

Concernant les infiltrations de PRP, il n'existe pas à l'heure actuelle d'étude probante retrouvée, mais seulement quelques séries de cas montrant une amélioration des paramètres

de douleurs et de fonction(16,17). Le PRP ne fait pas actuellement pas partie des recommandations systématiques, dans la prise en charge de l'arthrose de cheville.

1.1.6.4 Traitements chirurgicaux

En cas d'échec du traitement médical bien conduit et après plusieurs années de bonne tolérance clinique d'une arthrose évoluée ou lorsque surviennent des situations d'incapacité qui altèrent la qualité de vie (station debout, marche prolongée, descente d'escaliers), il est alors envisagé de recourir à une intervention chirurgicale. Les principales interventions réalisées sont, d'un côté, l'ostéotomie de réaxation et, d'autre part, l'arthrodèse talo-crurale et la prothèse totale de cheville.

L'arthrodèse talo-crurale consiste en une fusion de l'articulation talo-crurale. Elle est efficace dans la diminution de la douleur et corrige la statique de l'arrière pied. C'est la chirurgie de référence et un traitement de choix pour les patients jeunes avec une arthropathie évoluée et en demande d'activité physique. Elle entraine une diminution de la mobilité et nécessite une immobilisation de 6 semaines à 3 mois dans les suites opératoires (18).

La prothèse totale de cheville est une autre technique ayant des résultats fonctionnels intéressants qui permettent de conserver une bonne mobilité articulaire. Elle n'est pas recommandée chez les sujets de moins de 60 ans (19). En effet la survie des implants prothétiques est limitée dans le temps (88 % à 55 ans) nécessitant une ou plusieurs reprises chirurgicales. (20).

1.2 Evaluation clinique dans l'arthrose de cheville

1.2.1 Description de la marche

La marche est le mode de locomotion le plus utilisé dans l'espèce humaine pour se déplacer. Cette activité met en relation les mobilités du bassin des hanches, des genoux, des chevilles et des pieds. L'angulation au niveau des mouvements de ces articulations va varier en fonction du pourcentage du cycle de marche.

La cheville supporte l'ensemble du poids du corps en charge et assure le contrôle postural, grâce à de multiples structures osseuses, tendino-musculaires, ligamentaires, et nerveuses.

Toute atteinte anatomique à ce niveau risque de perturber la stabilité articulaire et, in fine, d'avoir un retentissement fonctionnel (5,21).

Il existe un couplage entre l'arrière-pied, le medio-pied et l'avant-pied aboutissant au bon déroulé du pas (20). Pour permettre une marche physiologique, il est nécessaire que la cheville ait une mobilité d'au moins 15° de flexion plantaire et 10° de flexion dorsale.

Chaque cycle de marche débute lorsque le talon touche le sol et se termine avec le retour du même talon en contact avec le sol. Comme cela est illustré ci-dessous, un cycle comporte pour chaque pied 2 phases :

- La phase d'appui : elle représente environ 60% du cycle
    - Elle commence par la phase d'attaque du talon au sol (15% du cycle)
    - Elle se poursuit avec une phase plantigrade ou l'ensemble du pied est en contact avec le sol (25% du cycle)
    - Elle se termine lorsque le talon décolle du sol (40-60% du cycle) : c'est la phase digitigrade. A noter qu'il est indispensable d'avoir une flexion dorsale du gros orteil d'au moins 30°.
- La phase oscillante : représente les 40% du cycle, elle est composée de 3 périodes et se termine lorsque le talon ipsi-latéral touche le sol.

La phase d'appui peut être séparée en simple appui lorsqu'un seul pied est en contact avec le sol et en double appui lorsque les deux pieds sont en contact. Il existe ainsi une période de double appui de réception et une période de double appui de propulsion.

Les principaux paramètres spatiotemporels recueillis lors d'une analyse de la marche sont : (21) :

- La vitesse de marche (en mètres par secondes) : elle correspond à la longueur du pas multipliée par la cadence
- La cadence : elle est le nombre de pas effectués en une unité de temps
- La longueur du pas : elle est définie comme la distance séparant les contacts des talons au sol ipsilatéral d'un côté et controlatéral de l'autre
- La longueur de foulée : elle est définie par la distance séparant les contacts des talons d'un même côté
- La largeur du pas
- L'angle du pas

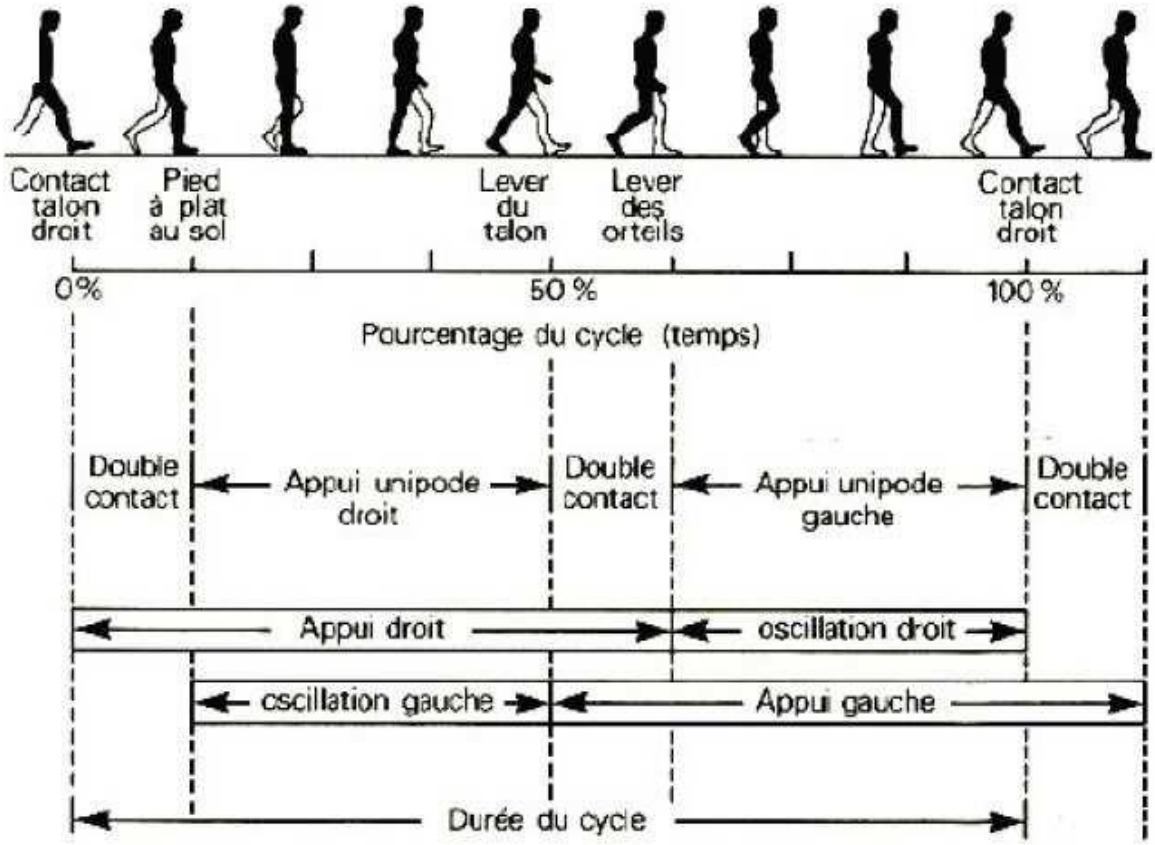

Illustration 8 : Représentation du cycle de la marche selon Viel (2000)

1.2.2 Arthrose de cheville et analyse de la marche

L'évaluation clinique basée sur un simple examen visuel d'un patient ayant une pathologie arthrosique de cheville permet d'en donner certaines caractéristiques, avec des formes de démarche et de boiteries reconnaissables. Cette évaluation est cependant incomplète et nécessite l'utilisation d'outils plus complexes, implantés dans les laboratoires d'analyse de la marche et du mouvement (22).

Les patients qui présentent une arthropathie symptomatique cliniquement sont d'autant plus handicapés dans leur vie quotidienne. On note, en effet, une diminution nette de l'amplitude de mouvement maximale et des indices de qualités de vie altérés dans ce type de population(21). Plusieurs études montrent une diminution importante de l'amplitude de flexion plantaire(23,24) mais également de la flexion dorsale (21,23,25) associée à une diminution de la vitesse de marche(24,25). Cependant, ces effets sont difficiles à quantifier sans analyse cinématique et cinétique détaillée. Hughes-Oliver et al. ont montré que la phase

oscillante augmente alors que la phase d'appui est plus faible, sur le membre présentant une arthrose de cheville (26).

Cependant, selon certains auteurs, dans l'arthrose de cheville évoluée, l'alignement de l'arrière pied ne semble pas modifier les variables spatio-temporelles lors de la marche (24,27). La seule amélioration retrouvée serait un meilleur appui unipodal au niveau du test Timed Up and Go, chez les patients avec alignement tibio-talaire en varus par rapport à un alignement neutre ou en valgus (27).

Dans une méta-analyse récente qui regroupe 17 études, l'équipe de Deleu retrouve chez les patients ayant eu une prothèse totale de cheville des améliorations au niveau des paramètres spatio-temporels, au niveau de la vitesse de marche et du mouvement de cheville (28)

1.2.3 Présentation des capteurs X-SENS et données de la littérature

En matière d'analyse du mouvement, les capteurs optoélectroniques des systèmes VICON et Qualitys sont une référence.

D'autres dispositifs de capteur de mouvement existent comme le système XSENS Awinda qui est facile d'utilisation et peut être utilisé en ambulatoire (29) . Ce système utilise des capteurs sensoriels posés sur différentes parties du corps humain. Il permet d'estimer l'orientation, la vitesse et l'accélération de chaque segment du corps humain grâce à une analyse de signaux émis par un gyroscope, des magnétomètres et accéléromètres. Les informations enregistrées sont ensuite analysées dans un programme informatique. Initialement utilisée dans l'animation et le cinéma, il représente aujourd'hui un modèle biomécanique du corps humain pouvant être évalué de façon standardisée dans le domaine médical.

Ainsi l'utilisation de ces capteurs permet déjà d'avoir une estimation fiable des mouvements du tronc et des articulations du membre inférieur lors de la marche(30). Cependant la validité des résultats dépend de multiples paramètres dont la position du capteur sur l'articulation, la procédure de calibration ou la tache demandée au sujet (31).

Dans une autre récente étude comparative, les auteurs ont pu montrer que l'amplitude du mouvement, estimée à l'aide des capteurs tri-dimensionnels, est significativement diminuée chez des sujets atteints d'arthrose de cheville (21).

Illustration 9 Photo des capteurs de mouvement.

Illustration 10 Photo de gauche : capteurs positionnés au niveau des genoux et des pieds

Illustration 11 Photo de droite : capteurs positionnés au niveau des cuisses

Il est important de noter que les capteurs inertiels peuvent être combinés avec une

analyse des pressions plantaires sur des marches de longues distances. En faisant marcher des sujets sur un tapis de marche, il est possible de mesurer la statique et la dynamique (force, moment et puissance) de la cheville et du pied et de mettre en évidence les différences entre sujets sains et sujets arthrosiques (32,33).

1.2.4 Analyse baropodométrique et arthrose de cheville

L'utilisation des plateformes de force et de baropodométrie sont des outils en train d'émerger en analyse du mouvement. Elles peuvent estimer avec une assez bonne reproductibilité sur les paramètres spatiotemporels (34) et leur utilisation peut être couplée aux systèmes de capture du mouvement lors de la marche (35). Différents modèles existent sur le marché. Nous avons utilisé le tapis de marche et de course Runtime® qui permet de réaliser toutes ces mesures.

2 ETUDE DE CAS

2.1 Objectifs

L'objectif principal est de décrire les paramètres cinématiques et spatio-temporels apportés par les capteurs de mouvement Xsens chez les patients atteints d'arthrose de cheville.

Les objectifs secondaires sont d'étudier :

- Les modifications associées à la mise en place d'orthèses plantaires correctrices par les capteurs Xsens et avec le Runtime®
- Les corrélations entre des paramètres cliniques, le questionnaire d'arthrose de cheville AOS et les données obtenues avec Xsens
- Les données obtenues avec le dispositif de baropodométrie Runtime®

Peu d'études retrouvent dans la littérature des informations concernant la technologie Xsens et l'arthropathie de cheville. De plus, aucune donnée n'a été retrouvée concernant l'effet de correction obtenue avec l'utilisation des orthèses plantaires.

L'originalité de notre étude est qu'elle vise à étudier le mouvement des sujets atteints d'arthrose de cheville, grâce à une nouvelle technique d'évaluation basée sur les capteurs inertiels. Cette méthode permet d'avoir des données objectives et utiles à l'analyse du mouvement, dans la pathologie de la cheville et de l'arrière-pied.

2.2 Matériels et Méthodes

2.2.1. Méthodologie

Il s'agit d'une étude pilote prospective contrôlée d'évaluation d'une méthode d'analyse du mouvement, dans la prise en charge de sujets présentant une arthrose de cheville. Le design de l'étude est de type observationnel.

L'étude a été coordonnée par 2 médecins, spécialistes en pathologie ostéo-articulaire.

Les compétences (indispensables à l'élaboration d'une telle étude) d'un ingénieur en recherche en biomécanique ont été sollicitées, en particulier pour l'extraction des données spatiotemporelles via les capteurs Xsens.

Au total, une évaluation globale de 10 patients a été réalisée entre décembre 2020 et juin 2021. Les patients avaient été suivis auparavant, en consultation de rhumatologie et de médecine physique au CHU de Montpellier.

Les données recueillies ont été rassemblées de façon rétrospective, et anonymement, dans des classeurs du tableur Excel®. Elles ont été analysées avec ce même logiciel et son extension Xlstat® ainsi que le logiciel Sofastats®.

Les <u>critères d'inclusion</u> étaient :

- Un âge d'au moins 18 ans,
- La présence d'une arthrose de cheville unilatérale,
- La capacité de marcher au moins 20 mètres sans aide technique.

Les <u>critères d'exclusion</u> comprenaient :

- Un antécédent de traumatisme ou une chirurgie du rachis ou des articulations des membres inférieurs (hors cheville) datant de moins de deux ans,
- Une infiltration intra-articulaire à la cheville dans le mois précédent l'inclusion, un antécédent de rhumatisme articulaire inflammatoire,

- Un déficit sensitivomoteur central ou périphérique touchant les membres inférieurs, un antécédent d'artériopathie des membres inférieurs (stade ≥ 2)-
- Une douleur au niveau d'une articulation controlatérale (hanche, genou ou cheville).

2.3 Déroulement

Chaque patient était évalué, sur une durée d'environ 3 heures, pour la réalisation de plusieurs mesures successives.

2.3.1 Evaluation clinique

Ensuite, le parcours du patient était retracé à l'aide d'un cahier des charges. Ce dernier précisait l'âge, le sexe, l'IMC, le niveau de douleur avec une échelle numérique, la date de début des douleurs, le date de retentissement dans les activités de la vie quotidienne, les antécédents traumatiques au niveau de la cheville symptomatique et les éventuelles chirurgies réalisées par le passé.

Il était également noté le type d'activité physique et la quantité pratiquée par semaine, les traitements entrepris et leur efficacité (médicaments, infiltrations, orthèses plantaires).

Une mesure de la qualité de vie perçue était faite en utilisant le questionnaire AOS (36,37) qui comporte 18 questions. A la manière d'une échelle visuelle analogique, les patients répondent en inscrivant une marque sur une ligne de 10 cm de longueur pour décrire leur niveau de douleur et de difficulté à effectuer la tâche demandée. Chaque sous-partie comporte 9 questions séparées en « Intensité de douleur » et « Degré de difficulté ». La somme des réponses, pour chaque sous partie, donne un score puis un calcul additionnel pour le score total qui reprend les deux parties.

Un examen clinique orienté sur les membres inférieurs était réalisé avec mesures goniométriques des principales amplitudes articulaires aux hanches, genoux et chevilles. Concernant l'empreinte plantaire, une mesure sur podoscope permettait de classer l'empreinte en 3 types : normal, pied plat ou pied creux. Afin d'obtenir une évaluation du retentissement fonctionnel, un test de marche de 6 minutes était réalisé par un kinésithérapeute.

2.3.2 Mesure de paramètres radiologiques

Dans un premier temps, une analyse radiographique des chevilles et des pieds, avec étude podométrique, était faite. Les incidences réalisées étaient de face, de profil et l'incidence de Meary.

Les paramètres recueillis étaient :

- L'angle de Dijian-Annonier en cliché de profil permettant de classer le pied en normal, pied creux ou pied plat
- Le stade radiographique selon la classification K&L dans toutes les incidences
- L'axe de l'arrière-pied établi à l'aide de l'incidence de Meary : pied axé, pied valgus ou pied varus

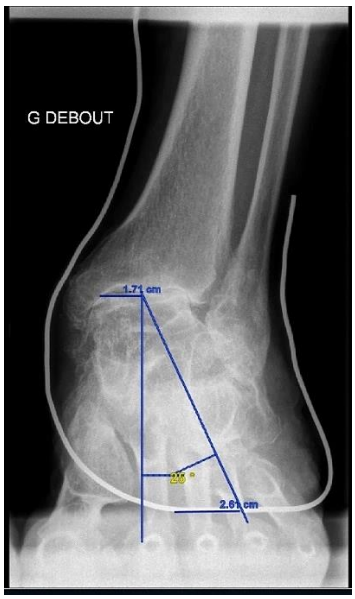

Illustration 12 : Incidence de Meary montrant un valgus de l'arrière-pied gauche de 25°

2.3.3 Utilisation de la baropodométrie

Les patients ont également été évalués en salle de podologie pour la réalisation de séries de mesures baropodométriques avec le dispositif Runtime®. Cet appareil est un tapis de marche et de course, composé de 4800 capteurs résistifs, avec utilisation de fréquences d'acquisition données. Le sujet se place sur le tapis qui enregistre en temps réel les pressions plantaires. Les données sont ensuite traitées avec un logiciel informatique appelé FREESTEP qui donne une représentation graphique des différents points d'appui.

Une première analyse était faite en position statique, durant laquelle le patient était placé sur le tapis, les bras le long du corps, avec pour consigne de fixer un point situé à 120 cm devant eux. Une cale en bois, réalisée selon les normes de 1985, était située à l'arrière de leur talon.

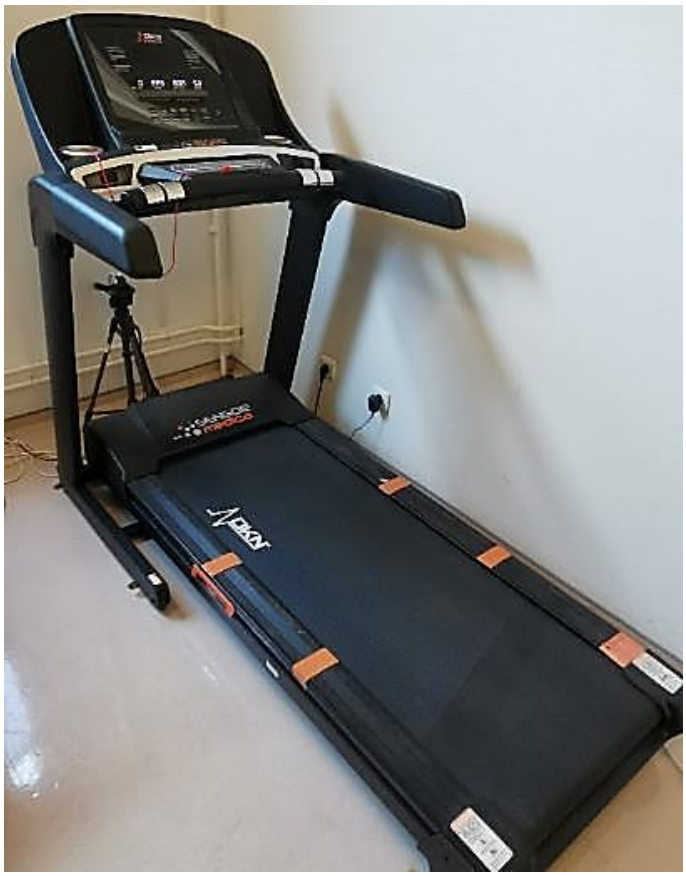

Illustration 13 Tapis de marche Runtime®

Une deuxième analyse faite était à visée posturologique avec l'aide des données de stabilométrie, pour une évaluation des paramètres d'équilibres : elle était faite sur 30 secondes, en demandant d'abord au patient de garder les yeux ouverts, puis une 2ème analyse était faite sur 30 secondes, les yeux fermés.

Une troisième analyse était réalisée de façon dynamique, avec l'aide de caméras vidéo, en demandant au sujet de marcher sur le tapis ; la vitesse était paramétrée par l'évaluateur et progressivement augmentée.

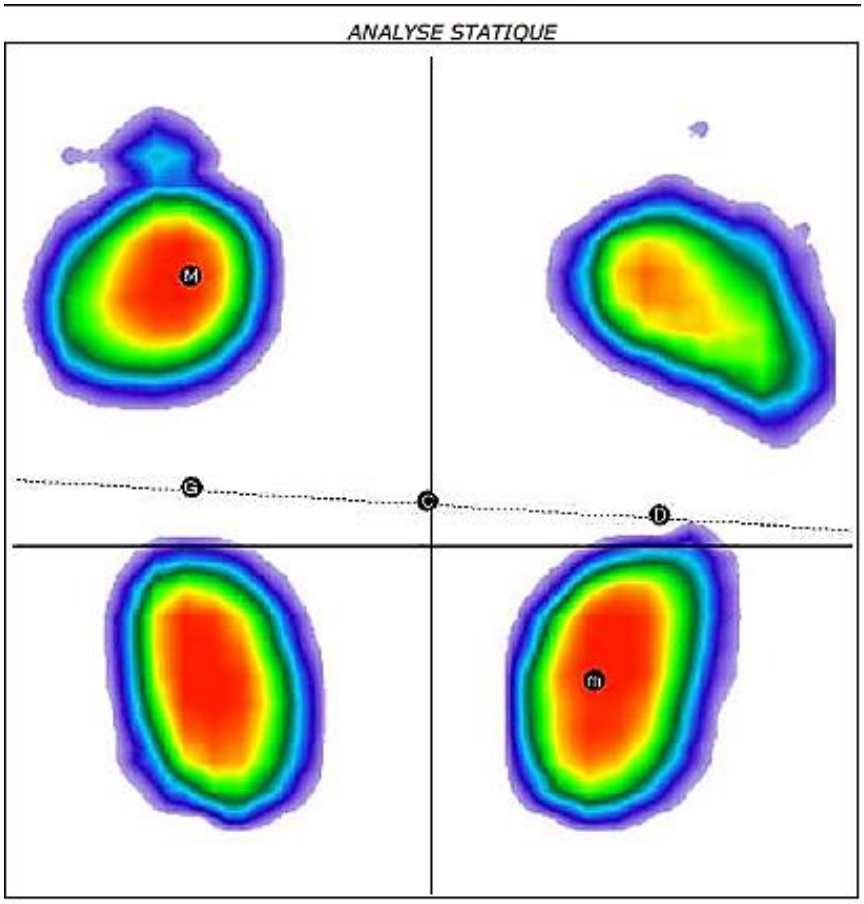

Illustration 14 Représentation baropodométrique en analyse statique

Pour la confection des orthèses, le podologue réalisait une empreinte du pied permettant la confection, à partir du moulage, de semelles thermoformées. Les corrections apportées prenaient en compte le trouble statique au niveau du pied, ainsi qu'une éventuelle inégalité de longueur des membres inférieurs. Une deuxième évaluation était réalisée avec l'appareil Runtime®, avec les chaussures et les orthèses plantaires.

Tableau 2 : Paramètres recueillis avec le Run Time

EN STATIQUE	EN DYNAMIQUE
Date de naissance	Durée totale de l'examen (s)
Taille	Nombre d'empreintes analysées
Poids	Vitesse moyenne (km/h)
Pointure	Pas par minute
Avant-pied Surface cm²	
% de charge	Longueur du demi-pas (cm)
Ratio A/P %	Temps d'appui (ms)
Arrière-pied Surface cm²	Durée double appuis/suspension (ms)
% de charge	Temps d'oscillation
Ratio A/P %	Phase talligrade (ms)
Total Surface cm²	Phase plantigrade (ms)
% de charge	Phase digitigrade (ms)
Charge kg	Surface cm2
P. Max gr/cm²	P. max gr/cm2
P. Moy (gr/cm²)	P. moyenne gr/m2
Valeurs Angle podalique°	Charge à l'avant-pied %
Axe podalique °	Charge à l'arrière-pied %
Longueur mm	Charge médiale %
Largeur mm	Charge latérale %
	Axe podalique °
	Surface cm2

2.3.4 Mesure des paramètres cinématiques : utilisation des capteurs X-SENS

Enfin une analyse du mouvement était faite avec les capteurs X-SENS. Ces dispositifs sont présents en salle d'analyse de marche du service de MPR. Nous avons utilisé 8 capteurs positionnés à des localisations très précises au niveau du thorax, du bassin, des cuisses, des jambes et des pieds. Les capteurs doivent être allumés et avoir une autonomie suffisante.

Plusieurs étapes sont indispensables au bon déroulement de l'analyse :

- Une mesure de différents segments du corps dont la hauteur du sujet, la hauteur des de la cheville, la hauteur du genou, la hauteur de hanche, la largeur de taille. Ces mesures sont rentrées dans le logiciel manuellement.
- Ensuite une mesure de calibration était effectuée et enregistrée. Ceci permettait d'obtenir avec précision une représentation visuelle d'un avatar du sujet en 3 dimensions sur le logiciel.

- L'analyse en elle-même est décomposée en 2 parties
    - Une analyse de marche. Chaque sujet avait une distance d'environ 6 mètres sur plusieurs séries de manière (au moins 2 allers retour à chaque fois).
        - En mesure de marche à vitesse normale, la consigne est de marcher « le plus naturellement possible » lorsque l'évaluateur le demandait, et de s'arrêter lorsque le sujet arrive au bout du parcours.
        - En vitesse de marche à vitesse plus rapide, l'évaluation se fait de la même façon mais le sujet a, pour consigne préalable, « d'accélérer le pas dès le départ ».
    - Une évaluation de la montée et descente d'escaliers qui comportaient 8 marches. Le sujet montait les marches à son rythme, sans s'aider de la rampe.

Les évaluations du mouvement et de la marche ont été faites dans le même temps, une première fois sans orthèses puis une deuxième fois avec les orthèses plantaires correctrices.

Toutes les données étaient ensuite enregistrées sur l'ordinateur de l'ingénieur biomédical du service de MPR, pour analyses ultérieures.

Tableau 3 : Paramètres recueillis avec Xsens

En spatiotemporel	En cinématique
Pourcentage de simple contact, Pourcentage de double contact, Pourcentage d'oscillation, Longueur du pas et Longueur de foulée, Cadence de foulée, Walking ratio, Vitesse (m/s), Cadence du pas (par minute)	Flexion maximale, Extension minimale, Amplitude, Angle au contact

3 RESULTATS

3.1 Population étudiée

Le tableau ci-après présente les caractéristiques de base de la population étudiée. Dix patients ont été intégrés dans cette étude, 5 hommes et 5 femmes âgés de 39 à 75 ans, pour une moyenne d'âge de 59.2 ans. L'IMC moyen était de 25,6 kg/m^2.

Tous les patients avaient eu des traumatismes de type entorse ou fracture de la cheville par le passé. Quatre patients avaient eu une opération : trois ostéosynthèses avec retrait du matériel, une ostéosynthèse avec greffe osseuse et greffe musculo-cutanée ancienne.

Tableau 4 : Caractéristiques de la population étudiée

Nombre total de cas	10
Sexe Homme Femme	 5 5
Age moyen à l'examen en années (écart-type)	59,2 (11,9)
IMC moyen (écart-type) en kg/m^2	25,6 (3)
Traumatisme Entorse Fracture	 4 6
Moyenne échelle numérique douleur repos (/10) (écart-type)	2,9 (2,8)
Moyenne échelle numérique douleur effort (/10) (écart-type)	5,2 (3,1)
Antécédent d'opération sur la cheville	4
Stade radiographique de la talo-crurale (pied arthrosique) Stade 1 Stade 4	 2 8

3.2 Comparaison de la population étudiée avec des sujets sains

Afin de pouvoir comparer les caractéristiques spatiotemporels et cinématiques, les données ont été recueillies sur 10 individus sains, travaillant au CHU de Montpellier.

Tableau 5 : Caractéristiques des sujets sains

Nombre total de cas	10
Sexe Homme Femme	 6 4
Age moyen à l'examen en années (écart-type)	38 (7,9)
IMC moyen (écart-type) en kg/m^2	22,4 (1,8)

En comparaison aux patients, l'IMC des sujets sains est moins important et l'âge est plus faible.

3.2.1 Comparaison des paramètres spatiotemporels

Sur le tableau ci-après, on remarque que, chez les sujets sains, le temps de double contact paraît plus court et la vitesse moyenne plus importante alors que la longueur du pas et la longueur de foulée sont plus longues.

Tableau 6 : Paramètres spatiotemporels chez sujets sains et patients de l'échantillon

	Moyenne (écart-type) des 10 sujets sains	Moyenne (écart-type) des 10 patients (avant orthèses)	Variation de la Moyenne
Simple Contact (%)	41,57% (1,9%)	40,53% (3,5%)	-2,5%
Double Contact (%)	16,45% (4,4%)	18,01% (6,4%)	9,5%
Oscillation (%)	41,81% (2,4%)	41,57% (2,9%)	-0,6%
Stride Length (m)	1,30 (0,18)	1,18 (0,2)	-9,9%
Step Length (m)	0,59 (0,08)	0,54 (0,09)	-8,4%
Stride Cadence (stride/min)	55,37 (3,44)	49,73 (5,21)	-10,2%
Walking Ratio	5,64 (0,91)	6,11 (0,94)	8,3%
Speed (m/s)	1,20 (0,18)	0,88 (0,2)	-27,0%
Step Cadence (step/min)	122,27 (14,29)	109,96 (13,24)	-10,1%

Sur le tableau ci-après, les valeurs des variables spatiotemporelles ont toutes été comparées à l'aide d'un test statistique d'homogénéité de Mann-Whitney, utilisable pour des échantillons non appariés. Pour tous les tests le risque alpha accepté est de 0.05.

Pour sept variables sur les neuf, l'hypothèse nulle (absence de différence significative) n'est pas rejetée. Les moyennes ne sont donc pas significativement différentes sur les échantillons des sujets sains et des patients étudiés.

Sur deux variables (Stride cadence et Speed), la p calculée est inférieur au seuil alpha = 0,05, on doit rejeter l'hypothèse nulle H0.

Tableau 7 : Tests de Mann-Whitney pour la comparaison de variables spatiotemporelles entre sujets sains et patients de l'échantillon

	Simple Contact	**Double Contact**	**Oscillation**	**Stride Length**	**Step Lenght**	**Stride cadence**	**Walking Ratio**	**Speed**	**Step Cadence**
U	41	56	50	32	33	17	69	9	28
U (normalisé)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Espérance	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Variance (U)	174,86	174,86	174,86	175,00	174,86	174,47	174,86	174,86	175,00
p-value (bilatérale)	**0,516**	**0,669**	**0,986**	**0,190**	**0,211**	**0,011**	**0,160**	**0,001**	**0,105**
alpha	**0,050**	**0,050**	**0,050**	**0,050**	**0,050**	**0,050**	**0,050**	**0,050**	**0,050**

Les box plots (ci-après) des paramètres Cadence de foulée et Vitesse montrent des asymétries. Pour la cadence de foulée des dix patients ; le quartile inférieur est plus éloigné de la médiane que le quartile supérieur : (ce qui signifie que les données sont plus étalées). Pour les 10 sujets sains, c'est le quartile supérieur qui est plus éloigné de la médiane. Pour la vitesse des dix patients, le quartile inférieur est plus proche de la médiane.

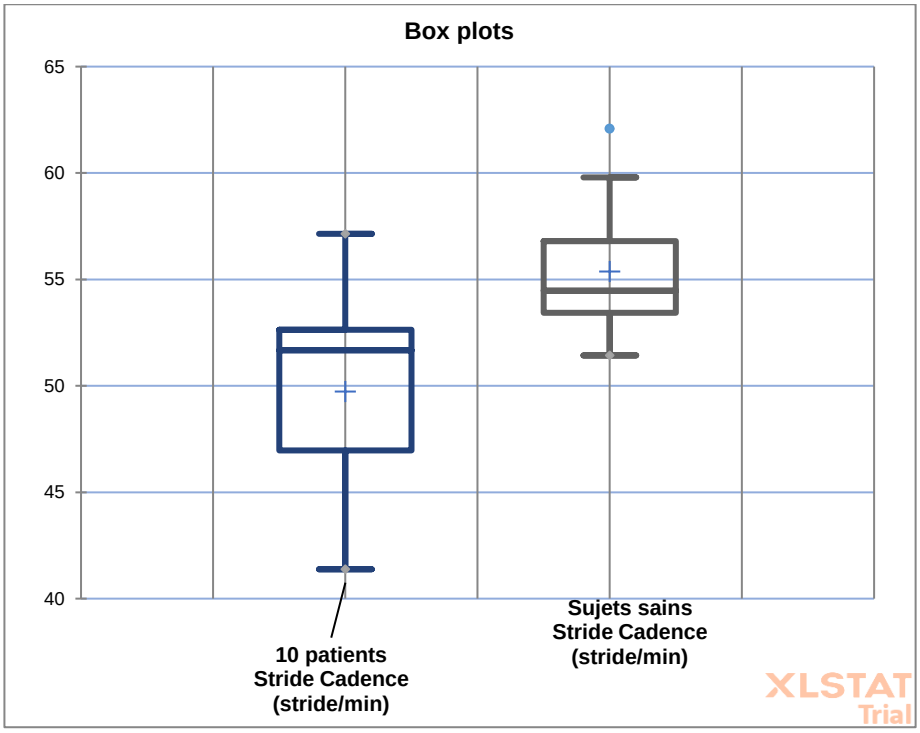

Figure 1 : Comparaison de la variable Cadence de foulée

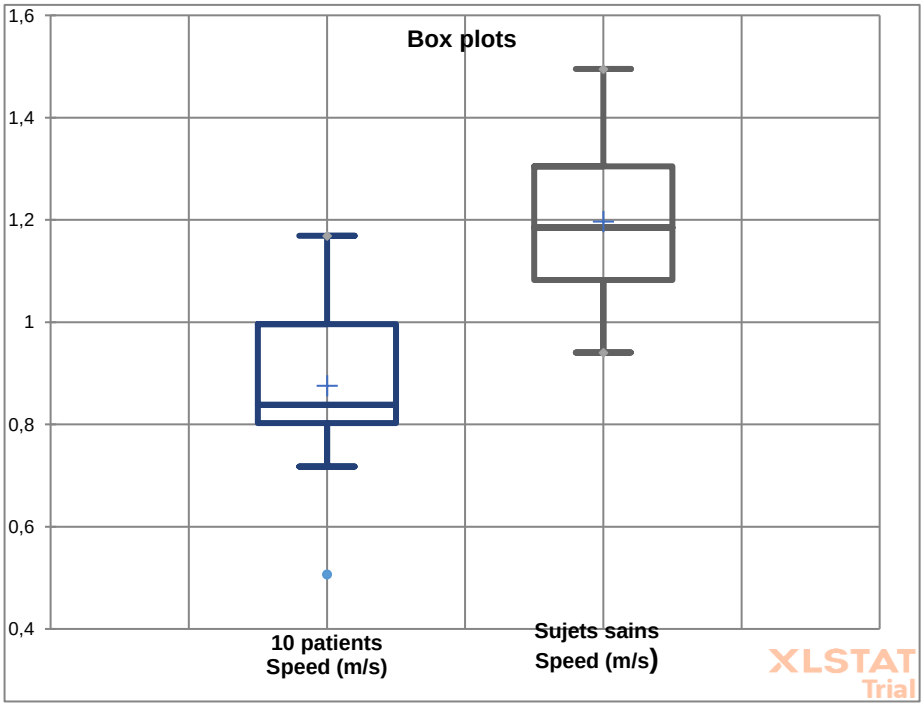

Figure 2 : Comparaison de la variable Vitesse

3.2.2 Comparaison des paramètres cinématiques

Pour les paramètres cinématiques, on constate sur le tableau ci-après que, pour la cheville, il y a d'importantes variations de l'angle de contact, l'extension minimum et l'amplitude.

Tableau 8 : Comparatifs de la cinématique en degrés entre sujets sains et patients de l'échantillon pour la cheville et le genou

Cheville	**Moyenne (et écart-type) des sujets sains**	**Moyenne (et écart-type) des 10 patients (avant orthèses)**	Variation de la Moyenne
Max Flexion	14,11 (2,9)	11,53 (4,7)	-18,3%
Min Extension	-17,70 (8,2)	-7,96 (7,2)	55,0%
Amplitude	31,81 (7,1)	19,50 (9)	-38,7%
Angle at contact	-2,04 (3,3)	1,99 (4,2)	197,3%
Genou	**Moyenne (et écart-type) des 10 sujets sains**	**Moyenne (et écart-type) des 10 patients (avant orthèses)**	Variation de la Moyenne
Max Flexion	58,63 (7,6)	55,68 (8)	-5,0%
Min Extension	0,82 (3,1)	-0,52 (3,9)	-163,3%
Amplitude	57,81 (8,7)	56,19 (9,5)	-2,8%
Angle at contact	2,03 (4)	1,89 (4,6)	-6,6%

Les tests de Mann-Whitney permettent de préciser les trois variables (**Extension minimale de cheville, Amplitude de cheville, Angle au contact de cheville**) pour lesquelles on a une différence significative entre les deux échantillons au seuil de 5 % (tableau ci-dessous).

Tableau 9 : Tests de Mann-Whitney pour la comparaison de variables cinématiques

	Max Ankle Flexion	**Min Ankle Extension**	**Ankle Amplitude**	**Ankle Angle At Contact**	Max Knee Flexion	Min Knee Extension	Knee Amplitude	Knee Angle At Contact
U	65	16	85	23	58	62	52	51
U (normalisé)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Espérance	50,00	50,00	50,00	50,00	50,0	50,00	50,00	50,00
Variance (U)	175,00	175,000	175,000	175,00	175,00	175,00	175,00	175,00
p-value (bilatérale)	**0,280**	**0,009**	**0,007**	**0,043**	**0,579**	**0,393**	**0,912**	**0,971**
alpha	**0,050**	**0,050**	**0,050**	**0,050**	**0,050**	**0,050**	**0,050**	**0,050**

Les box-plots ci-dessous représentent les trois variables pour lesquelles la différence est significative avec alpha = 0,05.

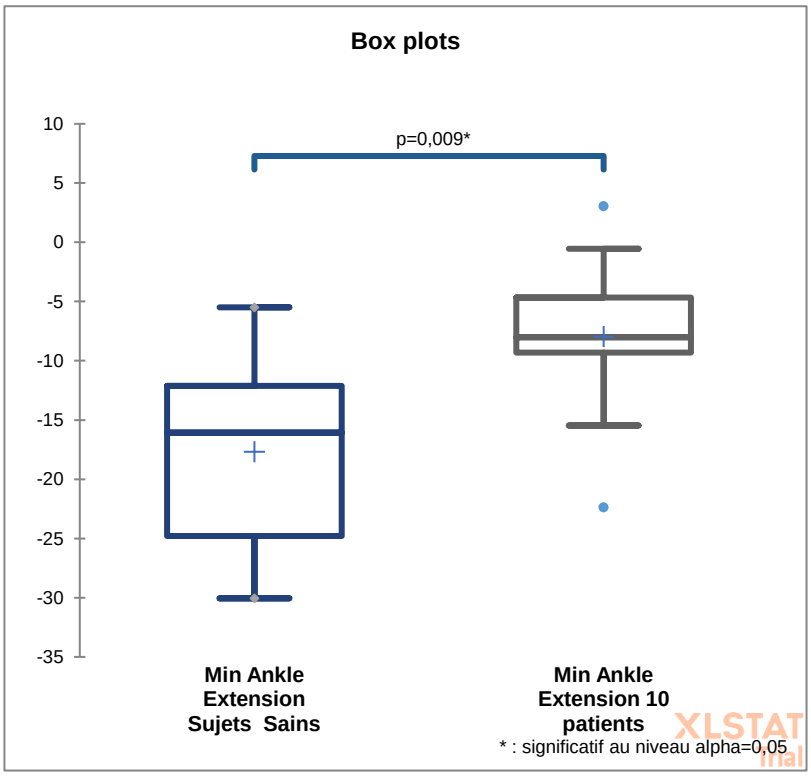

Figure 3 : Comparaison de la variable extension de cheville

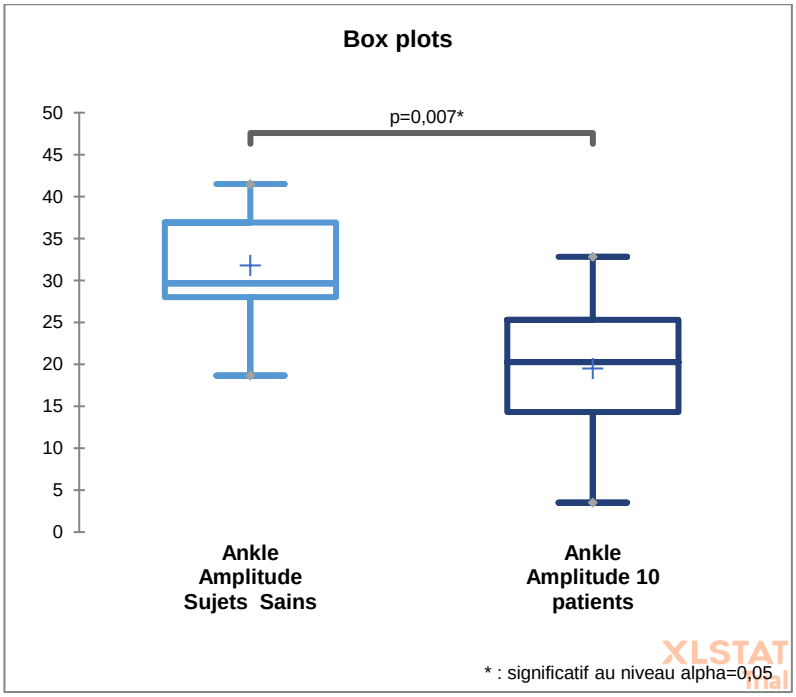

Figure 4 : Comparaison de la variable amplitude de cheville

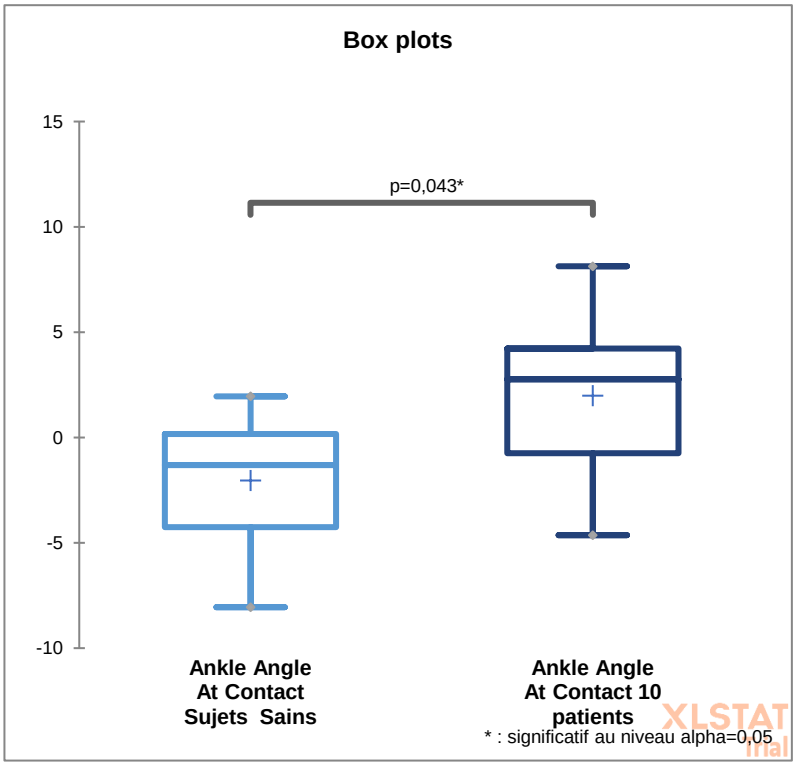

Figure 5 : Comparaison de la variable angle au contact

3.3 Modifications associées à la mise en place d'orthèses plantaires correctrices évaluées par les capteurs Xsens

3.3.1 Paramètres cinématiques

3.3.1.1 Marche simple

Concernant l'évaluation des chevilles atteintes, nous constatons sur le tableau ci-dessous une augmentation de l'extension minimum et une diminution de l'angle au contact. La flexion maximale est très peu modifiée. Les p values ne montrent pas de différence significative sur nos échantillons.

Tableau 10 : Paramètres cinématiques en degré des chevilles pathologiques en marche simple

MARCHE SIMPLE	Moyenne PRE (et écart-type)	Moyenne POST (et écart-type)	Variation de la Moyenne	p-value
Max Flexion	11,53 (4,75)	11,56 (4,87)	0,2%	0,557
Min Extension	- 7,96 (7,16)	- 6,71 (6,62)	15,8%	0,232
mplitude	19,50 (8,98)	18,27 (7,87)	-6,3%	0,375
Angle at contact	1,99 (4,17)	1,72 (3,59)	-13,3%	0,770

Concernant l'évaluation des genoux côté cheville atteinte, l'extension minimum parait augmentée en moyenne sur nos échantillons. Cependant les calculs des p-values ne montrent pas de différence significative des moyennes avant et après orthèses.

Tableau 11 : Paramètres cinématiques en degrés des genoux côté cheville pathologique en marche simple

MARCHE SIMPLE	Moyenne PRE (et écart-type)	Moyenne POST (et écart-type)	Variation de la Moyenne	p-value
Max Flexion	55,68 (8,05)	55,85 (4,22)	0,3%	0,846
Min Extension	- 0,52 (3,92)	- 0,01 (4,82)	97,2%	0,695
Amplitude	56,19 (9,48)	55,86 (5,80)	-0,6%	0,492
Angle at contact	1,89 (4,58)	2,62 (5,27)	38,4%	0,432

Les graphiques ci-après nous montrent une légère baisse des écarts-types pour cinq paramètres sur huit.

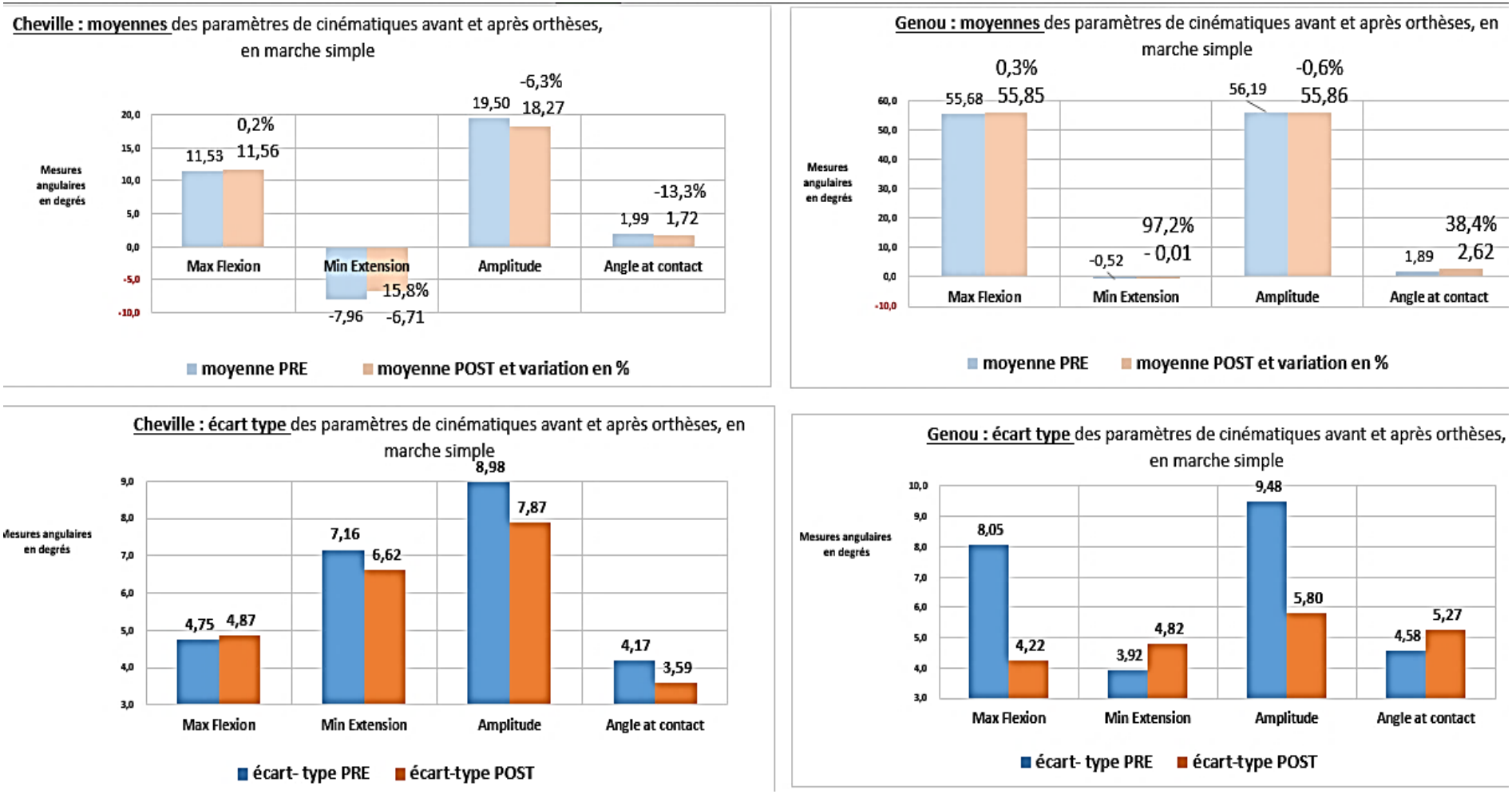

Figure 1 Evolution PRE POST des paramètres cinématiques de la cheville et du genou : moyenne et écart type

3.3.1.2 Marche rapide

Comme pour la marche simple, les paramètres d'extension minimum des chevilles atteintes augmentent tandis que l'angle au contact diminue avec le port des orthèses plantaires.

Tableau 12 : Paramètres cinématiques en degrés des chevilles pathologiques en marche rapide

MARCHE RAPIDE	Moyenne PRE (et écart-type)	Moyenne POST (et écart-type)	Variation de la Moyenne
Max Flexion	11,38 (5,43)	11,72 (5,48)	3,0%
Min Extension	- 9,32 (7,26)	- 8,17 (7,06)	12,3%
Amplitude	20,70 (9,14)	19,89 (7,73)	-3,9%
Angle at contact	3,39 (4,45)	3,15 (4,44)	-6,9%

Tableau 13: Paramètres cinématiques en degrés des genoux côté cheville pathologique en marche rapide

MARCHE RAPIDE	Moyenne PRE (et écart-type)	Moyenne POST (et écart-type)	Variation de la Moyenne
Max Flexion	57,60 (5,63)	60,81 (4,48)	5,6%
Min Extension	1,02 (4,55)	1,10 (4,65)	7,0%
Amplitude	56,58 (6,97)	59,71 (4,11)	5,5%
Angle at contact	3,29 (5,27)	4,06 (4,96)	23,7%

3.3.2 Paramètres spatiotemporels

3.3.2.1 Marche simple

On ne note pas de grandes variations après le port des orthèses plantaires. Le double contact parait diminué avec le port des orthèses à l'inverse de la vitesse de marche. Le calcul des p-values au seuil de 5% ne montre aucune différence significative.

Tableau 14 : Paramètres spatiotemporels en marche simple

Paramètres	MOYENNE (et Ecart-type) PRE	MOYENNE (et Ecart-type) POST	VARIATION PRE POST des MOYENNES	**P-VALUE**
Simple Contact (%)	40,53% (3,50%)	41,02% (2,66%)	1,2%	**0,241**
Double Contact (%)	18,01% (6,43%)	16,92% (5,00%)	-6,1%	**0,169**
Oscillation (%)	41,57% (2,95%)	42,10% (2,54%)	1,3%	**0,169**
Longueur de foulée (m)	1,18 (0,20)	1,21 (0,14)	3,3%	**0,193**
Longueur du pas (m)	0,54 (0,09)	0,55 (0,06)	2,6%	**0,284**
Cadence de foulée (foulée/min)	49,73 (5,21)	50,48 (5,85)	1,5%	**0,241**
Walking Ratio	6,11 (0,94)	6,27 (1,05)	2,7%	**0,169**
Vitesse (m/s)	0,88 (0,20)	0,92 (0,17)	5,0%	**0,333**
Cadence du pas (pas/min)	109,96 (13,24)	107,89 (14,34)	-1,9%	**0,444**

3.3.2.2 Marche rapide

Comme pour la marche simple, on constate de faibles variations en marche rapide pour les paramètres spatiotemporels de nos 10 patients.

Tableau 12 : Paramètres spatiotemporels en marche rapide

Paramètres	Moyenne (et Ecart-type) PRE	Moyenne (et Ecart-type) POST	VARIATION PRE POST des MOYENNES
Simple Contact (%)	42,99% (2,60%)	43,10% (2,15%)	0,3%
Double Contact (%)	13,55% (5,23%)	13,05% (4,46%)	-3,7%
Oscillation (%)	43,08% (2,77%)	43,61% (2,47%)	1,2%
Longueur de foulée (m)	1,39 (0,24)	1,41 (0,18)	1,9%
Longueur du pas (m)	0,61 (0,09)	0,62 (0,07)	2,0%
Cadence de foulée (foulée/min)	58,68 (6,52)	59,50 (7,27)	1,4%
Walking Ratio	5,82 (0,66)	5,93 (0,75)	1,9%
Vitesse (m/s)	1,09 (0,41)	1,16 (0,23)	5,9%
Cadence du pas (pas/min)	130,71 (16,21)	130,00 (16,93)	-0,5%

3.3.3 Tests de Wilcoxon

Pour approfondir l'analyse des points précédents, les valeurs avant et après orthèses des variables spatiotemporelles et cinématiques mesurées avec Xsens ont toutes ont été comparées à l'aide d'un test statistique de Wilcoxon-Mann-Whitney, utilisable pour des échantillons appariés de 10. Pour tous les tests le risque alpha accepté est de 0.05. Les échantillons étaient appariés.

Sur toutes les 34 variables spatiotemporelles et cinématiques mesurées avec X- sens, avant et après orthèses, l'hypothèse nulle (absence de différence) n'était pas rejetée.

Il n'y avait donc pas de différence significative entre l'absence et la présence d'orthèses sur notre échantillon de patients.

Illustration 15 : Exemples de tests de Wilcoxon réalisé avec Xlstat®

Test de Wilcoxon des rangs signés / Test bilatéral :

V	14
Espérance	27,500
Variance (V)	96,250
p-value (bilatérale)	0,193
alpha	0,050

La p-value est calculée suivant une méthode exacte. Temps passé : 0s.

Interprétation du test :

H0 : Les deux échantillons suivent la même loi de distribution.

Ha : Les distributions des deux échantillons sont différentes.

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil alpha=0,05, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H0.

Test de Wilcoxon des rangs signés / Test bilatéral :

V	25
Espérance	22,500
Variance (V)	71,250
p-value (bila	0,820
alpha	0,050

La p-value est calculée suivant une méthode exacte. Temps passé : 0s.

Interprétation du test :

H0 : Les deux échantillons suivent la même loi de distribution.

Ha : Les distributions des deux échantillons sont différentes.

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil alpha=0,05, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H0.

3.4 Données obtenues avec le dispositif de baropodométrie Runtime®

On note sur le tableau ci-dessous une diminution des pressions maximales et moyennes. Sur ces deux valeurs on retrouve une p-value inférieure à 0,05, la différence est significative.

Tableau 16 : Comparaison des données statiques

		Moyenne PRE	Moyenne POST	Variation de la moyenne, en %	p value	Écart-type PRE	Écart-type POST
Avant-pied	**Surface cm²**	64,6	84,4	30,6%	0,01	10,5	8,9
	% de charge	23,5	25,0	6,4%	0,20	4,7	6,0
	Ratio A/P %	48,9	50,6	3,6%	0,29	7,4	10,0
Arrière-pied	**Surface cm²**	47,9	68,0	42,0%	0,03	17,7	15,1
	% de charge	24,5	24,0	-2,0%	0,67	3,3	5,9
	Ratio A/P %	51,1	49,4	-3,4%	0,29	7,4	10,0
Total	**Surface cm²**	121,3	152,6	25,9%	0,02	17,5	22,8
	% de charge	48,0	49,0	2,1%	0,40	3,5	5,8
	Charge kg	37,1	33,3	-10,4%	0,53	5,5	13,6
	P. Max gr/cm²	569,3	465,6	-18,2%	0,02	60,2	36,4
	P.Moy (gr/cm²)	302,1	243,0	-19,6%	0,04	38,9	17,6
Valeurs	**Angle podalique°**	6,0	5,5	-8,3%	0,89	4,3	3,7
	Axe podalique °	16,9	7,9	-53,3%	0,04	9,4	3,1
	Longueur mm	21,6	19,0	-11,5%	0,008	1,9	1,5
	Largeur mm	10	10,7	7,4%	0,35 :	2,5	1,7

Tableau 17 : Comparaison des données dynamiques

Paramètres	Moyenne PRE	Moyenne POST	Variation en %
Pas par minute	76,1	82,5	8%
Longueur du demi-pas (cm)	53,1	56,0	6%
Temps d'appui (ms)	1 162,2	955,6	-18%
Durée double appuis/suspension (ms)	233,1	220,4	-5%
Temps d'oscillation	748,0	564,6	-25%
Phase talligrade (ms)	200,4	98,8	-51%
Phase plantigrade (ms)	- 1 683,1	- 837,9	-50%
Phase digitigrade (ms)	1 722,0	242,7	-86%
Surface cm2	236,1	254,1	8%
P. max gr/cm2	855,6	759,8	-11%
P. moyenne gr/m2	785,2	678,2	-14%
Charge à l'avant-pied %	75,0	76,4	2%
Charge à l'arrière-pied %	25,0	23,6	-6%
Charge médiale %	48,4	53,2	10%
Charge latérale %	51,6	46,8	-9%
Axe podalique °	3,8	7,2	93%
P.Max gr/cm2	834,5	708,5	-15%
P.Med gr/cm2	763,5	634,0	-17%
Temps ms	910,6	853,0	-6%

3.5 Recherche de corrélations entre questionnaire AOS et données obtenues avec Xsens

3.5.1 Résultats du questionnaire

On note, sur le tableau ci-dessous, que les scores « douleur » et « degré de difficulté » des 10 patients ont des moyennes très similaires, avec une légère différence de dispersion.

Tableau 18 : Résultats des moyennes et écart-types pour chaque score

Ankle Osteoarthritis Scale	Score moyen et écart-type
Douleur (%)	38,9 ± 22,9
Incapacité (%)	37,8 ± 28,9

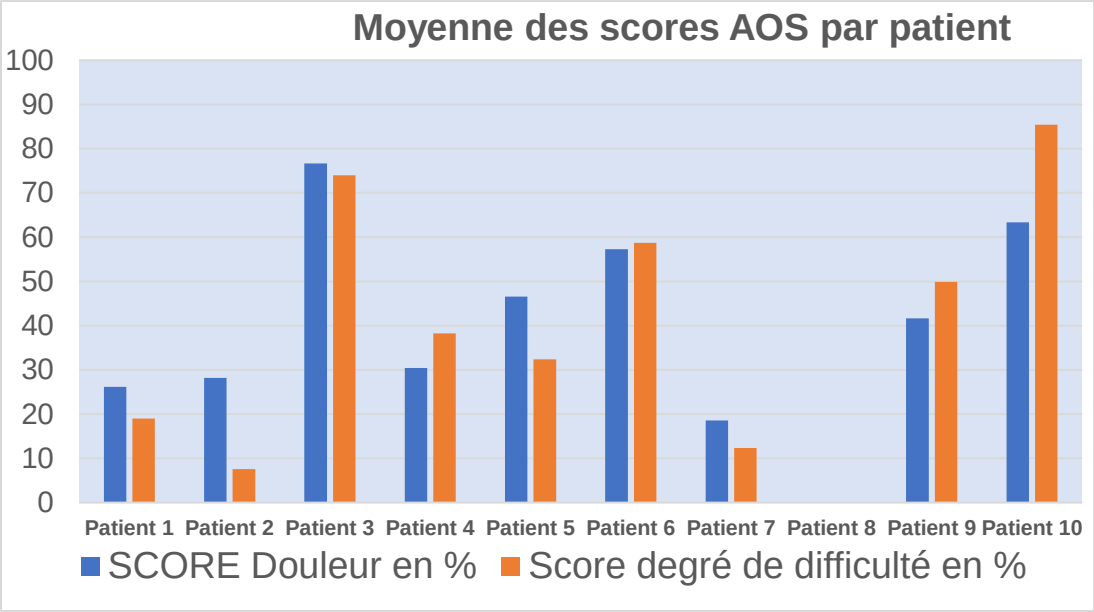

Figure 2 : Moyenne des scores AOS par patient

On constate sur le graphique ci-dessous que le score Intensité de douleur est particulièrement important au pire moment, en marchant avec des chaussures et à la fin de la journée.

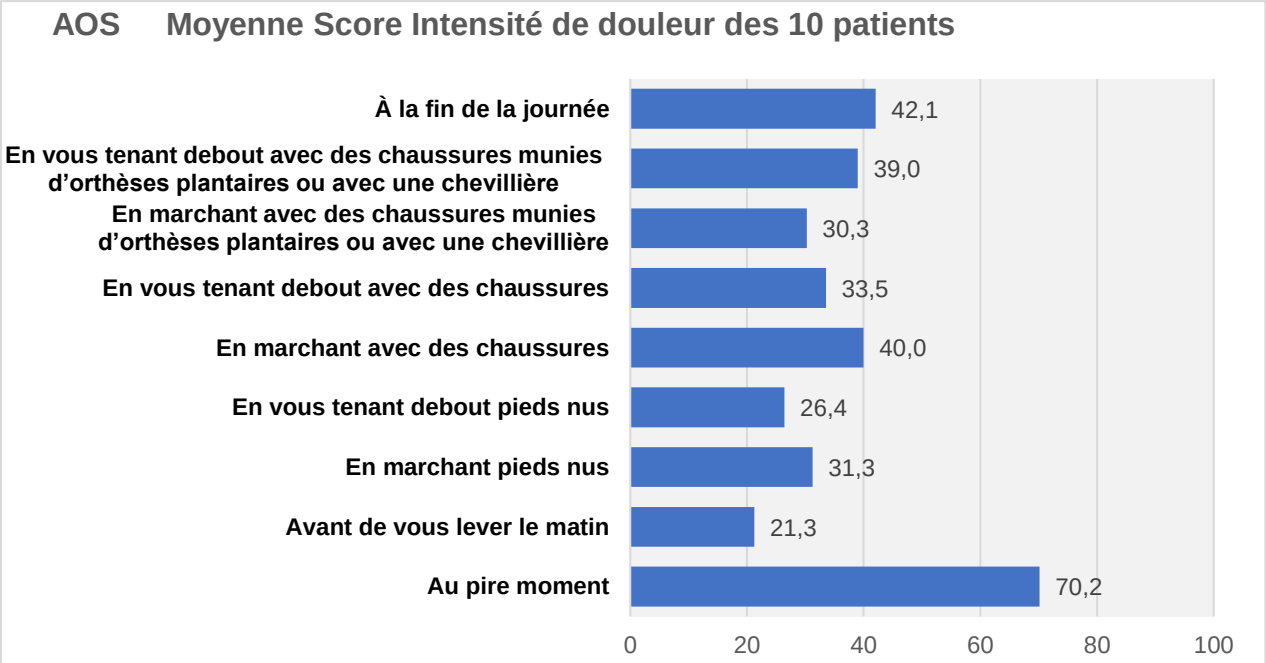

Figure 3 : Moyenne Score Intensité de douleur des 10 patients

On constate sur le graphique ci-dessous que le Score Intensité de Difficulté est augmenté pour les catégories « En Marchant vite ou en courant », « En marchant dehors sur un terrain inégal » et « En descendant les escaliers ».

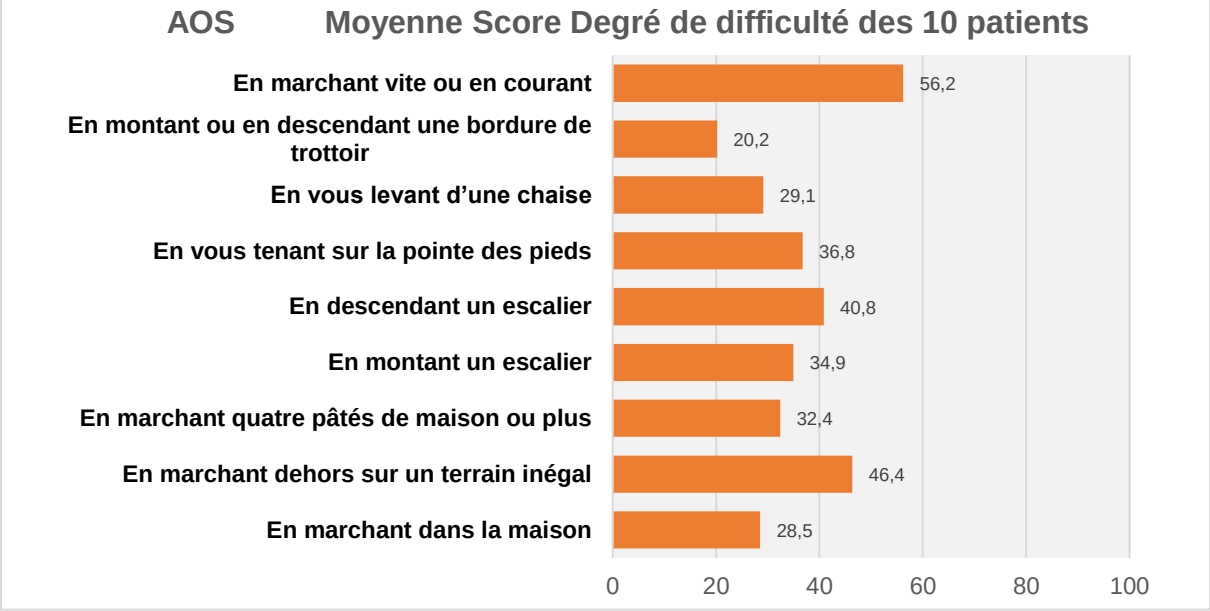

Figure 4 : Moyenne Score Degré de difficulté des 10 patients

3.5.2 Corrélations entre scores AOS et paramètres spatiotemporels

La table de Pearson donne pour n=10 et un seuil de 0,05 une valeur critique de 0,632.

On note sur le tableau ci-après des corrélations supérieures à 0,632 ou inférieures à -0,632 pour le score Douleur et, d'autre part, pour le score Degré de difficulté avec les paramètres Simple Contact, Double Contact, Oscillation, Stride Cadence et Step Cadence.

Le calcul des p-values confirme la significativité de la corrélation entre ces variables.

Tableau 15 : Corrélations entre scores AOS et paramètres spatiotemporels

Variables	r score Douleur	r score Degré de difficulté	p-values score Douleur	p-values score Degré de difficulté
Simple Contact	**-0,714**	**-0,785**	**0,02**	**0,01**
Double Contact	**0,646**	**0,733**	**0,04**	**0,02**
Oscillation	**-0,636**	**-0,729**	**0,05**	**0,02**
Stride Length	-0,572	-0,593	0,08	0,07
Step Length	-0,460	-0,437	0,18	0,21
Stride Cadence	**-0,685**	**-0,714**	**0,03**	**0,02**
Walking Ratio	0,043	0,126	0,91	0,73
Speed	-0,609	-0,626	0,06	0,05
Step Cadence	-0,566	**-0,670**	0,09	**0,03**

Les nuages de points ci-après permettent aussi l'interprétation des résultats.

Ils semblent indiquer que, chez les patients douloureux et avec des incapacités plus importantes, le temps de simple contact, le pourcentage d'oscillation, la cadence du pas et la cadence de foulée sont plus faibles.

A l'inverse le temps de double contact est plus important avec l'augmentation des scores Douleur et Incapacité.

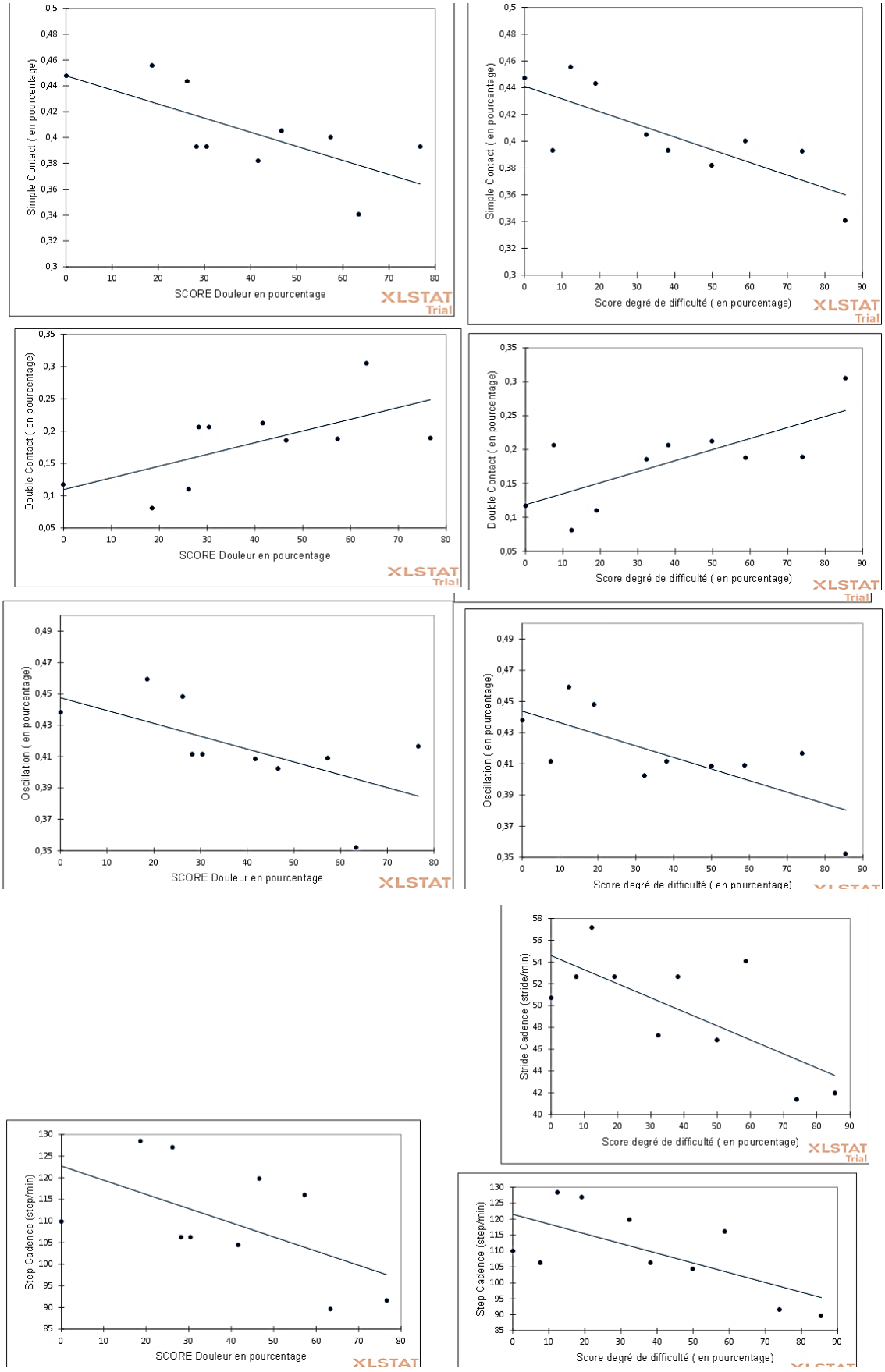

Figure 5: Nuage de points et droite de régression

3.5.3 Corrélations entre scores AOS et paramètres cinématiques

Comme le montre le tableau ci-après, pour ce qui est des paramètres cinématiques, on ne trouve aucune corrélation.

Variables	r score Douleur	r score Degré de difficulté	p-values score Douleur	p-values score Degré de difficulté
Ankle Max Flexion	-0,332	-0,108	0,35	0,77
Ankle Min Extension	0,401	0,282	0,25	0,43
Ankle Amplitude	-0,496	-0,282	0,14	0,43
Ankle Angle at contact	-0,059	-0,085	0,87	0,82
Knee Max Flexion	-0,497	-0,243	0,14	0,50
Knee Min Extension	0,055	0,120	0,88	0,74
Knee Amplitude	-0,445	-0,256	0,20	0,48
Angle at contact	-0,343	-0,264	0,33	0,46

3.6 Recherche de corrélations entre paramètres cliniques et données obtenues avec Xsens

3.6.1 Corrélations entre paramètres cliniques et paramètres spatiotemporels

Dans le tableau ci-dessous, on note des corrélations supérieures à 0,632 ou inférieures à -0,632 avec les variables spatiotemporelles, pour les variables cliniques suivantes : test de marche, périmètre de marche et EVA à l'effort.

Le calcul de la p-value apparait entre parenthèses pour les seules corrélations élevées.

Tableau 16 : Corrélation entre paramètres cliniques et paramètres spatiotemporels

Variables	Simple Contact	Double Contact	Oscillation	Longueur de foulée	Longueur du pas	Cadence de foulée	Walking Ratio	Vitesse
Test marche 6 minutes	**0,66 (p=0,038)**	-0,60	0,61	0,57	0,53	**0,70 (p=0,025)**	-0,002	0,60
EVA au repos	-0,54	0,48	-0,46	-0,34	-0,20	-0,62	0,18	-0,40
EVA à l'effort	**-0,69 (p=0,03)**	**0,67 (p=0,03)**	-0,61	-0,61	-0,57	-0,32	-0,48	-0,39
Flexion plantaire cheville symptomatique	-0,10	0,11	-0,19	-0,23	-0,29	-0,01	-0,05	-0,28
Flexion dorsale cheville symptomatique	0,38	-0,31	0,22	0,22	0,16	0,13	0,03	0,21
Périmètre de marche sans douleur	**0,80 (p=0,009)**	**-0,75 (p=0.02)**	0,64 (p=0.06)	**0,81 (p=0,008)**	**0,84 (p=0,004)**	0,34	0,56	0,65 (p=0,059)
Périmètre de marche avec ou sans douleur	0,44	-0,37	0,34	0,65 (p=0,06)	0,63	0,25	0,25	**0,84 (p=0,005)**

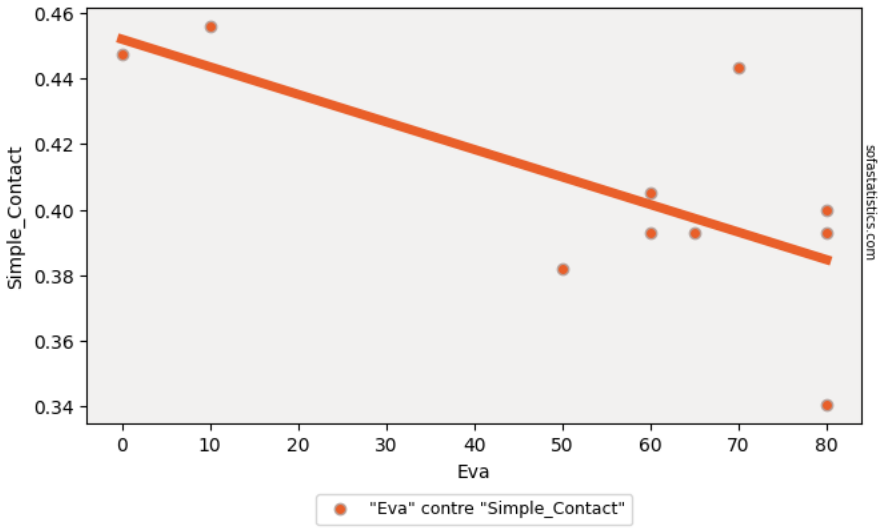

Figure 6 : Nuage de points sur la corrélation entre EVA à l'effort et simple contact

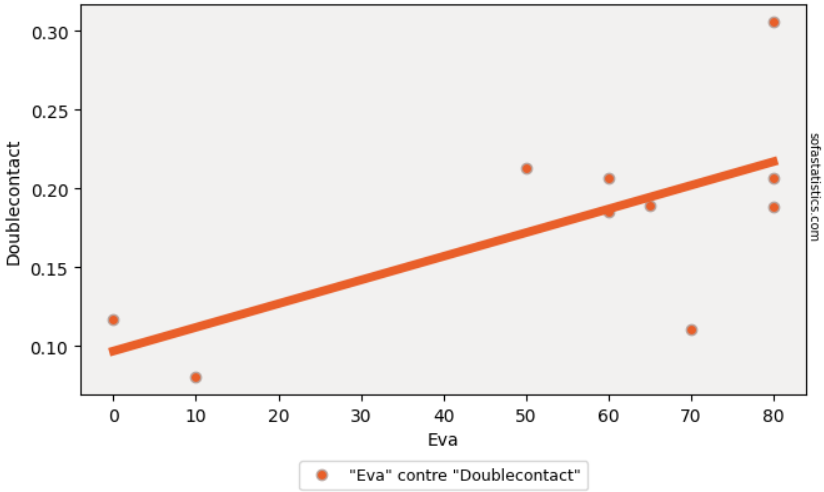

Figure 7: Nuage de points sur la corrélation entre EVA à l'effort et double contact

3.6.2 Corrélations entre paramètres cliniques et paramètres cinématiques

On ne retrouve pas de corrélation entre des paramètres cliniques avec les paramètres cinématiques du Xsens.

Tableau 17 : Corrélations entre paramètres cliniques et paramètres cinématiques

Variables	Ankle Max Flexion	Ankle Min Extension	Ankle Amplitude	Angle at contact	Knee Max Flexion	Knee Min Extension	Knee Amplitude	Knee Angle at contact
Test marche 6 minutes distance	0,52	-0,35	0,55	-0,13	0,54	0,01	0,46	0,44
EVA au repos	-0,26	0,52	-0,56	0,02	-0,39	0,08	-0,36	-0,19
EVA à l'effort	-0,22	0,42	-0,45	-0,13	-0,18	-0,11	-0,10	-0,42
Flexion plantaire cheville symptomatique	-0,06	-0,60	0,44	-0,18	0,13	-0,13	0,17	-0,25
Flexion dorsale cheville symptomatique	-0,01	-0,18	0,14	0,29	0,27	-0,01	0,24	0,19
Périmètre de marche sans douleur	0,49	-0,23	0,43	0,15	0,48	0,15	0,34	0,62
Périmètre de marche avec ou sans douleur	0,57	0,10	0,22	0,23	0,39	0,11	0,30	0,37

4 DISCUSSION

L'arthrose de cheville est une pathologie ostéo-articulaire chronique et évolutive pouvant être très invalidante, avec des répercussions cliniques et fonctionnelles importantes telles qu'une douleur, une rigidité articulaire et une limitation du périmètre de marche. Ce type d'arthrose peut être supporté longtemps, si l'axe de l'arrière pied est dans le bon alignement. L'arthrose de cheville a majoritairement une étiologie traumatique ou post-traumatique : sur les dix patients inclus dans notre étude, tous avaient un passé de traumatisme local et quatre d'entre eux avaient de l'être opérés.

Ce travail avait essentiellement pour ambition de décrire les paramètres de marche et d'étudier le mouvement dans l'arthrose de cheville avec l'apport des capteurs inertiels Xsens. Les capteurs inertiels sont, en effet, faciles d'utilisation et utiles pour comparer les mouvements articulaires et les données spatiotemporelles. Nous avons aussi cherché à savoir si la correction du trouble statique de l'arrière-pied par les orthèses plantaires pourrait améliorer la symptomatologie.

<u>Principaux résultats</u>

La comparaison de sujets sains avec notre échantillon de patients a mis en évidence les variables spatiotemporelles cadence et foulée et vitesse et les variables extension minimale de cheville, amplitude de cheville et angle au contact de la cheville pour lesquelles les différences sont significatives.

Les orthèses plantaires ne semblent pas corriger les paramètres évalués avec les capteurs inertiels. Sur toutes les trente-quatre variables spatiotemporelles et cinématiques mesurées avec X- sens chez un même individu pour mesurer l'impact des orthèses plantaires, il n'y avait pas de différence significative retrouvée dans notre échantillon de patients.

Concernant les données de baropodométrie mesurées avec le Runtime®, il a été mis en évidence une diminution significative des pressions d'appui plantaire avec le port des orthèses plantaires.

Etude des corrélations

- Avec le questionnaire AOS

Des corrélations significatives de la douleur et du degré de difficulté à effectuer certaines tâches (mesurées avec l'aide du score d'auto-évaluation AOS) avec les paramètres spatiotemporels « Simple Contact », « Double Contact », « Oscillation », « Cadence de foulée » et « Cadence du pas » ont été mises en évidence dans notre échantillon de patients. Cependant aucune corrélation n'a été retrouvée avec les paramètres cinématiques du Xsens.

- Avec les mesures cliniques

En ce qui concerne l'évaluation des corrélations entre les paramètres Xsens et les mesures cliniques, on retrouve des corrélations élevées entre les variables spatiotemporelles et le test de marche, le périmètre de marche avec et sans douleur et EVA à l'effort. Aucune corrélation n'a été retrouvée entre les paramètres cinématiques et les mesures cliniques.

Forces et faiblesses

Ce type d'étude est innovante, nous avons tenté de décrire et quantifier les paramètres de marche dans l'arthrose de cheville, ce qui n'a encore jamais été fait, à notre connaissance.

Cette étude permet donc de mieux comprendre le mécanisme pathologique de l'arthrose de la cheville, d'un point de vue biomécanique.

Concernant les limites de notre étude, la première est liée au design de type observationnel et au recueil rétrospectif à l'origine d'une certaine hétérogénéité des données patients, parfois incomplètes. Concernant les capteurs, ceux-ci pouvaient recueillir beaucoup de paramètres qui ne pouvaient pas tous être inclus dans les analyses, et il a fallu choisir les paramètres les plus pertinents et les plus complets. D'autre part, même si la position des capteurs est standardisée, avec des localisations précises et mesurées, une variabilité des résultats ne peut jamais être totalement exclue. Enfin, certaines difficultés techniques avec le logiciel d'analyse de marche ont empêché de récupérer des résultats pour la montée et descente des escaliers. Concernant le périmètre de marche estimé, il y avait présence d'un biais de déclaration. Les patients pouvaient avoir des difficultés à estimer la distance qu'ils étaient capables de parcourir en mètres, de façon objective.

Résultats similaires retrouvées dans la littérature

Il existe peu d'études retrouvées dans la littérature traitant de l'analyse de la marche chez les patients avec arthrose de cheville.

L'étude de Nüesch et al. était centrée sur deux paramètres seulement, l'angle de dorsiflexion de l'arrière-pied et la force de réaction verticale au sol (25). Deleu avait, en 2019, réalisé une revue systématique de la littérature montrant un manque de caractérisation de l'arthrose de cheville dans les études d'analyse de la marche (38).

Perspectives

Au final, nos recherches permettent de mettre en évidence plusieurs tendances mais non des conclusions définitives. Le fait que nous ne retrouvons pas de différence significative dans les différentes analyses statistiques ne signifie pas nécessairement qu'il n'y a pas de différence. L'échantillon des patients inclus était, en effet, trop faible ce qui rendait la puissance insuffisante pour conclure d'un point de vue statistique.

Par conséquent, afin de confirmer et de valider les tendances des résultats des paramètres observés dans notre étude, il semble nécessaire de mener une étude de type longitudinale randomisée et interventionnelle impliquant plus de patients.

.

5 CONCLUSION

Les capteurs inertiels de la marque Xsens comportant des accéléromètres, gyroscopes et magnétomètres donnent des informations fiables et précises pour décrire les paramètres cinématiques angulaires aux membres inférieurs et les variables spatiotemporelles dans l'arthrose de cheville.

Cette étude ouvre des perspectives de recherches intéressantes en aidant à la compréhension des propriétés biomécaniques altérés dans l'arthrose et en apportant des informations sur le « comportement » de la cheville modifié avec les orthèses plantaires.

De futures études, réalisées avec un plus grand nombre de patients, pourraient permettre d'affiner l'étude.

6 BIBLIOGRAPHIE

1. Barg A, Pagenstert GI, Hügle T, Gloyer M, Wiewiorski M, Henninger HB, et al. Ankle osteoarthritis: etiology, diagnostics, and classification. Foot Ankle Clin. sept 2013;18(3):411-26.

2. Delco ML, Kennedy JG, Bonassar LJ, Fortier LA. Post-Traumatic Osteoarthritis of the Ankle: A Distinct Clinical Entity Requiring New Research Approaches. J Orthop Res Off Publ Orthop Res Soc. mars 2017;35(3):440-53.

3. Valderrabano V, Horisberger M, Russell I, Dougall H, Hintermann B. Etiology of Ankle Osteoarthritis. Clin Orthop. juill 2009;467(7):1800-6.

4. Punzi L, Galozzi P, Luisetto R, Favero M, Ramonda R, Oliviero F, et al. Post-traumatic arthritis: overview on pathogenic mechanisms and role of inflammation. RMD Open [Internet]. 6 sept 2016 [cité 23 sept 2020];2(2).

5. Hubbard TJ, Hicks-Little C, Cordova M. Mechanical and Sensorimotor Implications With Ankle Osteoarthritis. Arch Phys Med Rehabil. juill 2009;90(7):1136-41.

6. Valderrabano V, Tscharner V von, Nigg BM, Hintermann B, Goepfert B, Fung TS, et al. Lower leg muscle atrophy in ankle osteoarthritis. J Orthop Res. 2006;24(12):2159-69.

7. Holzer N, Salvo D, Marijnissen ACA, Vincken KL, Ahmad AC, Serra E, et al. Radiographic evaluation of posttraumatic osteoarthritis of the ankle: the Kellgren–Lawrence scale is reliable and correlates with clinical symptoms. Osteoarthritis Cartilage. 1 mars 2015;23(3):363-9.

8. Adukia V, Mangwani J, Issac R, Hussain S, Parker L. Current concepts in the management of ankle arthritis. J Clin Orthop Trauma. 1 mai 2020;11(3):388-98.

9. Krause FG, Di Silvestro M, Penner MJ, Wing KJ, Glazebrook MA, Daniels TR, et al. Inter- and intraobserver reliability of the COFAS end-stage ankle arthritis classification system. Foot Ankle Int. févr 2010;31(2):103-8.

10. Aboukrat P, Daum B. Aide à la prescription d'orthèses plantaires. Médecine Chir Pied. 1 déc 2017;33(4):82-9.

11. Hart HF, Crossley KM, Bonacci J, Ackland DC, Pandy MG, Collins NJ. Immediate effects of foot orthoses on gait biomechanics in individuals with persistent patellofemoral pain. Gait Posture. mars 2020;77:20-8.

12. Huang Y-C, Harbst K, Kotajarvi B, Hansen D, Koff MF, Kitaoka HB, et al. Effects of Ankle-Foot Orthoses on Ankle and Foot Kinematics in Patient With Ankle Osteoarthritis. Arch Phys Med Rehabil. mai 2006;87(5):710-6.

13. Paterson KL, Gates L. Clinical Assessment and Management of Foot and Ankle Osteoarthritis: A Review of Current Evidence and Focus on Pharmacological Treatment. Drugs Aging. mars 2019;36(3):203-11.

14. Sarkin TL. Indications for intra-articular steroid in osteoarthritis of the ankle and big toe joints. South Afr Med J Suid-Afr Tydskr Vir Geneeskd. 12 oct 1974;48(49):2067-8.

15. Witteveen AG, Hofstad CJ, Kerkhoffs GM. Hyaluronic acid and other conservative treatment options for osteoarthritis of the ankle. Cochrane Database Syst Rev [Internet]. 2015 [cité 19 juill 2020];(10).

16. Mei-Dan O, Carmont MR, Laver L, Mann G, Maffulli N, Nyska M. Platelet-Rich Plasma or Hyaluronate in the Management of Osteochondral Lesions of the Talus. Am J Sports Med. mars 2012;40(3):534-41.

17. Fukawa T, Yamaguchi S, Akatsu Y, Yamamoto Y, Akagi R, Sasho T. Safety and Efficacy of Intra-articular Injection of Platelet-Rich Plasma in Patients With Ankle Osteoarthritis. Foot Ankle Int. juin 2017;38(6):596-604.

18. Winson IG, Robinson DE, Allen PE. Arthroscopic ankle arthrodesis. J Bone Joint Surg Br. mars 2005;87(3):343-7.

19. Kitaoka HB, Patzer GL, Ilstrup DM, Wallrichs SL. Survivorship analysis of the Mayo total ankle arthroplasty. J Bone Joint Surg Am. juill 1994;76(7):974-9.

20. Besse J-L, Colombier J-A, Asencio J, Bonnin M, Gaudot F, Jarde O, et al. Total ankle arthroplasty in France. Orthop Traumatol Surg Res. mai 2010;96(3):291-303.

21. Al-Mahrouqi MM, Vicenzino B, MacDonald DA, Smith MD. Disability, Physical Impairments, and Poor Quality of Life, Rather Than Radiographic Changes, Are Related to Symptoms in Individuals With Ankle Osteoarthritis: A Cross-sectional Laboratory Study. J Orthop Sports Phys Ther. déc 2020;50(12):711-22.

22. Willems P, Schepens B, Detrembleur C. Marche normale. EMC - Kinésithérapie - Médecine Phys - Réadapt. 1 janv 2012;8:1-30.

23. Al-Mahrouqi MM, MacDonald DA, Vicenzino B, Smith MD. Physical Impairments in Adults With Ankle Osteoarthritis: A Systematic Review and Meta-analysis. J Orthop Sports Phys Ther. juin 2018;48(6):449-59.

24. Nüesch C, Barg A, Pagenstert GI, Valderrabano V. Biomechanics of Asymmetric Ankle Osteoarthritis and Its Joint-Preserving Surgery. Foot Ankle Clin. sept 2013;18(3):427-36.

25. Nüesch C, Valderrabano V, Huber C, von Tscharner V, Pagenstert G. Gait patterns of asymmetric ankle osteoarthritis patients. Clin Biomech. juill 2012;27(6):613-8.

26. Hughes-Oliver CN, Srinivasan D, Schmitt D, Queen RM. Gender and limb differences in temporal gait parameters and gait variability in ankle osteoarthritis. Gait Posture. 2018;65:228-33.

27. Queen RM, Carter JE, Adams SB, Easley ME, DeOrio JK, Nunley JA. Coronal plane ankle alignment, gait, and end-stage ankle osteoarthritis. Osteoarthritis Cartilage. nov 2011;19(11):1338-42.

28. Deleu P-A, Besse J-L, Naaim A, Leemrijse T, Birch I, Devos Bevernage B, et al. Change in gait biomechanics after total ankle replacement and ankle arthrodesis: a systematic review and meta-analysis. Clin Biomech. mars 2020;73:213-25.

29. Roetenberg D, Luinge H, Slycke P. Xsens MVN: Full 6DOF Human Motion Tracking Using Miniature Inertial Sensors. 2013;10.

30. van der Straaten R, Bruijnes AKBD, Vanwanseele B, Jonkers I, De Baets L, Timmermans A. Reliability and Agreement of 3D Trunk and Lower Extremity Movement Analysis by Means of Inertial Sensor Technology for Unipodal and Bipodal Tasks. Sensors [Internet]. 3 janv 2019 [cité 27 sept 2020];19(1).

31. van der Straaten R, Timmermans A, Bruijnes AKBD, Vanwanseele B, Jonkers I, De Baets L. Reliability of 3D Lower Extremity Movement Analysis by Means of Inertial Sensor Technology during Transitional Tasks. Sensors [Internet]. 11 août 2018 [cité 27 sept 2020];18(8).

32. Rouhani H, Crevoisier X, Favre J, Aminian K. Outcome evaluation of ankle osteoarthritis treatments: Plantar pressure analysis during relatively long-distance walking. Clin Biomech. 1 mai 2011;26(4):397-404.

33. Rouhani H, Favre J, Crevoisier X, Aminian K. Ambulatory measurement of ankle kinetics for clinical applications. J Biomech. 13 oct 2011;44(15):2712-8.

34. Nüesch C, Overberg J-A, Schwameder H, Pagenstert G, Mündermann A. Repeatability of spatiotemporal, plantar pressure and force parameters during treadmill walking and running. Gait Posture. mai 2018;62:117-23.

35. Correale L, Pellino VC, Marin L, Febbi M, Vandoni M. Comparison of an Inertial Measurement Unit System and Baropodometric Platform for Measuring Spatiotemporal Parameters and Walking Speed in Healthy Adults. Motor Control. 18 nov 2020;25(1):89-99.

36. Angers M, Svotelis A, Balg F, Allard J-P. Cross-cultural adaptation and validation of the Ankle Osteoarthritis Scale for use in French-speaking populations. Can J Surg. 1 avr 2016;59(2):123-7.

37. Domsic RT, Saltzman CL. Ankle Osteoarthritis Scale. Foot Ankle Int. juill 1998;19(7):466-71.

38. Deleu P-A. Ankle osteoarthritis and its treatments: impact on foot and ankle biomechanics. :181.

7 TABLE DES FIGURES ET ILLUSTRATIONS

Figure 1 Evolution PRE POST des paramètres cinématiques de la cheville et du genou : moyenne et écart type 42

Figure 2 : Moyenne des scores AOS par patient 49

Figure 3 : Moyenne Score Intensité de douleur des 10 patients 49

Figure 4 : Moyenne Score Degré de difficulté des 10 patients 50

Figure 5: Nuage de points et droite de régression 52

Figure 6 : Nuage de points sur la corrélation entre EVA à l'effort et simple contact 54

Figure 7: Nuage de points sur la corrélation entre EVA à l'effort et double contact 55

Illustration 1 : Anatomie ligamentaire de la cheville : vue latérale 13

Illustration 2 : Amplitudes de la talo-crurale : Flexion dorsale (A) et flexion plantaire (B) 13

Illustration 3 : Vues antérieures et latérales de muscles de la jambe 14

Illustration 4 : stade 1 : ostéophyte au niveau de la malléole médiale 17

Illustration 5 : stade 4 : ostéophytes des malléoles médiales et latérales associées à une diminution importante de l'interligne articulaire et une ostéosclérose tibio-talaire sous chondrale 17

Illustration 6 : Incidence de Meary 18

Illustration 7 : Orthèses faites par thermomoulage du pied 19

Illustration 8 : Représentation du cycle de la marche selon Viel (2000) 23

Illustration 9 Photo des capteurs de mouvement. 25

Illustration 10 Photo de gauche : capteurs positionnés au niveau des genoux et des pieds 25

Illustration 11 Photo de droite : capteurs positionnés au niveau des cuisses 25

Illustration 12 : Incidence de Meary montrant un valgus de l'arrière-pied gauche de 25° .. 29

Illustration 13 Tapis de marche Runtime® 30

Illustration 14 Représentation baropodométrique en analyse statique 31

Illustration 15 : Exemples de tests de Wilcoxon réalisé avec Xlstat®..... 46

8 LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Muscles moteurs de la cheville 14

Tableau 2 : Paramètres recueillis avec le Run Time..... 31

Tableau 3 : Paramètres recueillis avec Xsens..... 33

Tableau 4 : Caractéristiques de la population étudiée 34

Tableau 5 : Caractéristiques des sujets sains 35

Tableau 6 : Paramètres spatiotemporels chez sujets sains et patients de l'échantillon 35

Tableau 7 : Tests de Mann-Whitney pour la comparaison de variables spatiotemporelles entre sujets sains et patients de l'échantillon 36

Tableau 8 : Comparatifs de la cinématique en degrés entre sujets sains et patients de l'échantillon pour la cheville et le genou 38

Tableau 9 : Tests de Mann-Whitney pour la comparaison de variables cinématiques..... 38

Tableau 10 : Paramètres cinématiques en degré des chevilles pathologiques en marche simple 41

Tableau 11 : Paramètres cinématiques en degrés des genoux côté cheville pathologique en marche simple 41

Tableau 12 : Paramètres cinématiques en degrés des chevilles pathologiques en marche rapide 43

Tableau 13: Paramètres cinématiques en degrés des genoux côté cheville pathologique en marche rapide 43

Tableau 14 : Paramètres spatiotemporels en marche simple 44

Tableau 17 : Corrélations entre scores AOS et paramètres spatiotemporels 50

Tableau 18 : Corrélation entre paramètres cliniques et paramètres spatiotemporels 54

Tableau 19 : Corrélations entre paramètres cliniques et paramètres cinématiques 55

9 LISTE DES ABREVIATIONS

AOS	Ankle Osteoarthritis Scale
CHU	Centre Hospitalier Universitaire
EVA	Échelle visuelle analogique
IMC	Indice de masse corporelle
K&L	Kellgren and Lawrence
P	Pression
PRE	Avant semelles
POST	Après semelles
PRP	Platelet Rich Plasma

10 SERMENT

SERMENT

- *En présence des Maîtres de cette école, de mes chers condisciples et devant l'effigie d'Hippocrate, je promets et je jure, au nom de l'Etre suprême, d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la médecine.*

- *Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail.*

- *Admis (e) dans l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe, ma langue taira les secrets qui me seront confiés, et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs, ni à favoriser le crime.*

- *Respectueux (se) et reconnaissant (e) envers mes Maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.*

- *Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses. Que je sois couvert (e) d'opprobre et méprisé (e) de mes confrères si j'y manque.*

11 DOS DE COUVERTURE : RESUME ET MOTS CLEFS

RESUME

Contexte : L'arthrose de cheville est principalement post-traumatique. Elle entraine des douleurs, des restrictions des mobilités articulaires à l'origine d'incapacités fonctionnelles. L'utilisation des capteurs de mouvement Xsens permet de modéliser les mobilités articulaires de sujets avec arthrose de cheville, et de les comparer à celles des sujets sains. L'utilisation des orthèses plantaires fait partie des outils de premier recours dans la prise en charge de l'arthrose de cheville. L'évaluation de la baropodométrie avec le tapis Runtime® apporte des informations sur la statique et la dynamique du pied, lors de la marche.

Objectif : L'objectif principal est de décrire les paramètres cinématiques et spatio-temporels apportés par les capteurs de mouvement Xsens chez les patients atteints d'arthrose de cheville. Les objectifs secondaires sont d'étudier les modifications induites avec les orthèses plantaires par les capteurs Xsens et le dispositif de baropodométrie Runtime® , d'étudier les corrélations entre des paramètres cliniques, le questionnaire AOS et les paramètres du Xsens, d'étudier les paramètres avec le Runtime® .

Méthode : Dix patients avec arthrose de cheville évoluée ont été évalués par des mesures cliniques et réalisations de bilans fonctionnels selon un recrutement prospectif, entre décembre 2020 et juin 2021. Toutes les mesures des mouvements et analyses ont été réalisées dans la même journée pour chaque patient, avant et après utilisation d'orthèses plantaires.

Résultats : L'âge moyen des patients était de 59,2 ans**.** La comparaison de sujets sains avec notre échantillon de patients a mis en évidence les variables spatiotemporelles pour lesquelles les différences sont significatives. Les orthèses plantaires ne semblent pas corriger de manière significative les paramètres évalués avec les capteurs inertiels. dans notre échantillon de patients. On retrouve certaines corrélations entre les paramètres spatiotemporels, la clinique et le questionnaire AOS.

Conclusion : Notre étude dresse un bilan de l'analyse du mouvement dans l'arthrose de cheville grâce à de nombreux paramètres. Des études futures sont nécessaires pour approfondir le sujet.

MOTS CLEFS

Français : arthrose de cheville, mouvement, capteurs inertiels, analyse de la marche, orthèses plantaires, baropodométrie

English: ankle osteoarthritis, movement, inertial sensors, gait analysis, inertial sensors, foot orthoses, baropodometry