

Université de Montréal

L'effet de la suppression de la douleur sur la biomécanique tridimensionnelle du genou et de la cheville chez des patients gonarthrosiques

Par Maria Celia BAZAN BARDALES

Département de médecine, Faculté de médecine

Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de maîtrise en Sciences biomédicales option musculo-squelettique

Avril 2018



Maria Celia Bazan Bardales, 2018

PRÉSENTATION DU JURY
CE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ
PAR UN JURY COMPOSÉ DE :

Pierre A. Mathieu (Président-rapporteur)

Institut de génie biomédical, Faculté de médecine, Département de Pharmacologie et physiologie, Université de Montréal.

Nicola Hagemester (Directrice de recherche)

Département de chirurgie, Faculté de médecine, Université de Montréal.

Rachid Aissaoui (Co-directeur)

Département de génie production automatisée, École de technologie supérieure.

Katia Turcot (Membre du jury)

Centre interdisciplinaire de recherche en réadaptation et intégration sociale (CIRRIIS)

RÉSUMÉ

Objectifs

Vérifier si la suppression de la douleur chez les gonarthrosiques a un effet immédiat sur la biomécanique tridimensionnelle de leur genou et de leur cheville lors de la marche sur un tapis roulant instrumenté.

Méthodes

Neuf participants souffrant d'arthrose fémoro-patellaire douloureuse, avec ou sans atteinte d'arthrose fémoro-tibiale, ont été inclus. L'intensité de la douleur, avant le test, devait être ≥ 3 sur une échelle de 10. L'expérimentation se déroulait avant et 15 min après injection intra-articulaire au genou de 5 cc de Xylocaïne à 1%. La cinématique du genou et de la cheville, ainsi que l'intensité de la douleur ont été mesurées.

Résultats

Suite à l'injection de Xylocaïne, les neufs participants ont ressenti une réduction de la douleur. Ils ont été classés selon l'importance de la réduction de leur douleur : faible (N=1), modérée (N=4), et substantielle (N=4). Tous les sujets ont eu des changements dans leur biomécanique du genou ou de la cheville, mais de manière différente d'un sujet à l'autre. Le participant de réduction faible a démontré des changements dans le plan sagittal et frontal au genou et dans les trois plans à la cheville. Dans le groupe de réduction modérée au genou, un sujet a démontré des changements dans les trois plans, un autre sujet dans deux plans (frontal et transversal) et deux sujets seulement dans le plan frontal. À la cheville, tous les sujets avaient des changements dans au moins deux plans (frontal et transversal). Un sujet du groupe de réduction substantielle a démontré des changements dans deux plans au genou (frontal et transversal) et les autres sujets avaient des changements dans un seul plan (sagittal, frontal ou transversal). Dans ce groupe, tous les sujets avaient des changements dans au moins deux plans à la cheville.

Conclusion

La réduction de la douleur a un impact 15 min après injection sur la cinématique 3D du genou et de la cheville lors de la marche. Tous les participants ont démontré des changements cinématiques au moins dans un plan anatomique pour les deux articulations.

Mots-clés : Douleur, arthrose, genou, KneeKGTM, cheville, cinématique.

ABSTRACT

Objectives

To verify whether or not pain suppression in patients who have knee osteoarthritis have an immediate effect on three-dimensional biomechanics of the knee and the ankle while walking on an instrumented treadmill.

Methods

Nine patients with painful patellofemoral osteoarthritis, with or without femoro-tibial osteoarthritis, who reported pain intensity $\geq 3/10$ on a Numeric Rating Scale (NRS) before the test, were included in this study. Biomechanical assessment of the knee/ankle along with a regularly NRS evaluation were conducted before and 15 min after pain relief induced by an intra-articular injection of 5 mL lidocaine (1%). All participants were assessed with the KneeKGTM system.

Results

All participants exhibited reduction in pain after lidocaine injection. They were grouped according to the magnitude of pain reduction: minimal (N = 1), much improved (N = 4), and substantial reduction (N = 4). Biomechanics changes in the knee or in the ankle were found in all subjects, but in a different plane from one subject to another. The participant who had minimal reduction in pain post injection demonstrated changes in sagittal and frontal planes at the knee, and three-dimensional changes at the ankle. In the much improved group at the knee, one subject demonstrated three-dimensional changes, another subject had changes in two planes (frontal and transverse) and only two subjects had changes in the frontal plane. At the ankle, all subjects had changes in at least two planes (frontal and transverse). One subject in the substantial reduction group demonstrated changes in two planes at the knee (frontal and transverse) and the other subjects had changes in only one plane (sagittal, frontal or transverse). In this group, all subjects had changes in at least two plans at the ankle.

Conclusion

Reduction in pain has an effect 15 min after injection on three-dimensional kinematics of the knee and ankle during walking. All participants demonstrated kinematic changes at least in one anatomical plane at both joints.

Keywords : Pain, knee osteoarthritis, KneeKGTM, ankle, kinematic.

TABLE DE MATIÈRES

| | |
|--|-----------|
| Résumé | iii |
| Abstract | iv |
| Table des matières | v |
| Liste des tableaux | viii |
| Liste des figures | x |
| Liste des sigles | xiii |
| Liste des abréviations | xiv |
| Dédicace | xv |
| Remerciements | xvi |
| Introduction | 1 |
| Chapitre 1. Recension des écrits | 3 |
| 1.1 Anatomie | 3 |
| 1.1.1. Le genou | 3 |
| 1.1.2. La cheville | 10 |
| 1.2. Biomécanique du genou et de la cheville | 15 |
| 1.2.1. Biomécanique du genou | 15 |
| 1.2.2. Biomécanique de la cheville | 18 |
| 1.3. Cinématique tridimensionnelle du genou et de la cheville lors de la marche | 21 |
| 1.3.1. Cycle de marche | 21 |
| 1.3.2. Cinématique tridimensionnelle du genou lors de la marche | 23 |
| 1.3.3. Cinématique tridimensionnelle de la cheville lors de la marche | 28 |
| 1.4. Gonarthrose | 29 |
| 1.4.1. Définition générale | 29 |
| 1.4.2. Critères de diagnostic | 29 |
| 1.4.3. Classification des types d'arthrose | 30 |
| 1.5. Les outils cliniques pour le diagnostic de la gonarthrose | 31 |
| 1.5.1. Évaluation clinique du genou | 31 |
| 1.5.2. Stades radiologiques d'arthrose selon Kellgren et Lawrence..... | 32 |

| | |
|---|-----------|
| 1.6. Douleur arthrosique | 33 |
| 1.6.1. Physiopathologie de la douleur arthrosique | 33 |
| 1.6.2. L'échelle de la douleur | 34 |
| 1.7. Biomécanique à la marche et douleur | 35 |
| Chapitre 2. Problématique et objectifs | 38 |
| 2.1. Problématique | 38 |
| 2.2. Objectifs | 40 |
| 2.2.1. Objectif principal | 40 |
| 2.2.2. Objectifs spécifiques | 40 |
| 2.3. Hypothèses | 40 |
| Chapitre 3. Méthodologie | 42 |
| 3.1. Protocole d'acquisition | 42 |
| 3.1.1. Participants..... | 42 |
| 3.1.1.1. Recrutement | 42 |
| 3.1.1.2. Critères d'inclusion et d'exclusion | 43 |
| 3.1.2. Instrumentation..... | 44 |
| 3.1.2.1. Système KneeKG TM | 44 |
| 3.1.2.2. Tapis roulant instrumenté | 45 |
| 3.1.2.3. Marqueurs au genou et au pied..... | 45 |
| 3.1.3. Système d'axes..... | 46 |
| 3.1.3.1. Système d'axes du genou..... | 46 |
| 3.1.3.2. Système d'axes de la cheville | 48 |
| 3.1.4. Déroulement général de l'expérimentation | 50 |
| 3.1.4.1. Déroulement de l'expérimentation | 50 |
| 3.1.4.2. Aspects cliniques et radiologiques | 51 |
| 3.1.4.3. Analyse musculo-squelettique | 51 |
| 3.1.4.4. Évaluation subjective de la douleur | 52 |
| 3.1.4.5. Aspects radiologiques | 52 |
| 3.1.5. Aspects biomécaniques | 52 |
| 3.1.5.1. Évaluation de la cinématique tridimensionnelle du genou et de la cheville..... | 53 |
| Chapitre 4. Exposé et analyse des résultats | 55 |

| | |
|--|--------------|
| 4.1. Résultats sur les participants..... | 55 |
| 4.1.1. Caractéristiques sociodémographiques des participants | 55 |
| 4.1.2. Caractéristiques radiologiques des participants | 56 |
| 4.1.3. Caractéristiques cliniques des participants | 56 |
| 4.1.4. Catégorisation de la douleur chez les participants | 57 |
| 4.1.5. Analyses de données cinématiques | 57 |
| 4.1.6. Effets de la suppression de la douleur sur la biomécanique tridimensionnelle chez des patients gonarthrosiques | 62 |
| 4.1.6.1. Au genou | 62 |
| 4.1.6.2. À la cheville | 71 |
| Chapitre 5. Discussion et conclusion | 81 |
| Limitations | 86 |
| Recommandations | 87 |
| Bibliographie | 88 |
| Annexe 1 : Questionnaire téléphonique | i |
| Annexe 2 : Questionnaire sociodémographique et clinique | iv |
| Annexe 3 : Fiche d'évaluation clinique du genou..... | v |
| Annexe 4 : L'échelle numérique..... | vii |
| Annexe 5 : Données complémentaires sur des observations cliniques..... | viii |
| Annexe 6 : Données complémentaires sur des graphiques cinématiques tridimensionnelles au genou | xvi |
| Annexe 7 : Données complémentaires sur des graphiques cinématiques tridimensionnelles à la cheville | xxv |
| Annexe 8 : Données complémentaires sur l'analyse statistique du genou | xxxiv |
| Annexe 9 : Données complémentaires sur l'analyse statistique de la cheville..... | xxxix |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|--|----|
| Tableau I. Classification des types de gonarthrose selon le stade clinique : (A) douleur, (B) fonction et force, et (C) amplitude articulaire | 30 |
| Tableau II. Classification de Kellgren et Lawrence de l'arthrose du genou. (A) Stades radiologiques. (B) Description des grades radiographiques | 33 |
| Tableau III. Schéma du déroulement de la session | 51 |
| Tableau IV. Caractéristiques sociodémographiques des participants | 55 |
| Tableau V. Caractéristiques radiologiques et vitesse de marche (m/s) des participants..... | 56 |
| Tableau VI. Principaux points d'observation clinique* pour un participant (S01)..... | 58 |
| Tableau VII. Changement dans le mouvement du genou dans le plan sagittal (A), frontal (B) et transversal (C) par sous-phase après injection | 63 |
| Tableau VIII. Changements du genou post-injection par nombre des plans anatomiques sur chaque sous-phase du CM | 64 |
| Tableau IX. Participants avec leur douleur initiale et finale, leur catégorie et leur changement par plans anatomiques lors de la phase d'appui et d'envol dans le genou..... | 65 |
| Tableau X. Pour les 9 sujets, moyennes (\pm écart-types) et erreur moyenne standard de douleur avant (douleur initiale) et après l'injection (douleur finale)..... | 65 |
| Tableau XI. Moyenne et écart-type (douleur initiale – finale), intervalle de confiance et signification statistique..... | 66 |
| Tableau XII. Changement en degrés dans le mouvement du genou dans le plan sagittal (A), frontal (B) et transversal (C) par sous-phase après injection selon leur intensité | 67 |
| Tableau XIII. Moyenne des changements de la douleur post injection et écart-types, classés par groupe de réduction et par plan anatomique lors de la phase d'appui (A) et phase d'envol (B) dans le genou..... | 68 |
| Tableau XIV. Pour chaque sous-phase du CM pré- et post-injection, moyenne de l'angle de flexion (\pm écart-type) et erreur moyenne standard dans le plan sagittal au genou..... | 69 |
| Tableau XV. Pour chaque sous-phase du CM, moyenne de la différence de moyennes de l'angle de flexion pré- et post- injection, (\pm écart-type), erreur moyenne standard, intervalle de | |

| | |
|--|----|
| confiance, test T, degré de liberté (ddl) et signification statistique dans le plan sagittal au genou..... | 70 |
| Tableau XVI. Changement dans le mouvement de la cheville dans le plan sagittal (A), frontal (B) et transversal (C) par sous-phase après injection..... | 72 |
| Tableau XVII. Changements de la cheville post injection par nombre des plans anatomiques sur chaque sous-phase du CM..... | 73 |
| Tableau XVIII. Participants avec leur douleur initiale et finale, leur catégorie et leur changement par plans anatomiques lors de la phase d'appui et d'envol dans la cheville..... | 74 |
| Tableau XIX. Changement en degrés dans le mouvement de la cheville dans le plan sagittal (A), frontal (B) et transversal (C) par sous-phase après injection selon leur intensité..... | 75 |
| Tableau XX. Moyenne des changements de la douleur post injection et écart-types, classée par groupe de réduction et par plan anatomique lors de la phase d'appui (A) et phase d'envol (B) dans la cheville..... | 76 |
| Tableau XXI. Pour chaque sous-phase du CM pré- et post- injection, moyenne (\pm écart-type) et erreur moyenne standard dans le plan sagittal à la cheville..... | 77 |
| Tableau XXII. Pour chaque sous-phase du CM, moyenne de la différence de moyennes pré- et post-injection, (\pm écart-type), erreur moyenne standard, intervalle de confiance, test T, degré de liberté (ddl) et signification statistique dans le plan sagittal à la cheville..... | 78 |
| Tableau XXIII. Changements au genou et à la cheville dans les plans sagittal, Frontal et transversal, suite à l'injection de la même quantité d'anesthésique..... | 80 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|--|----|
| Figure 1. Structure osseuse du genou droit vue antérieure (a) postérieure (b) | 4 |
| Figure 2. Ligaments croisés et collatéraux du genou droit | 5 |
| Figure 3. Deux systèmes articulaires du genou : Fémoro-tibiale et Fémoro-patellaire | 6 |
| Figure 4. A. Les plans anatomiques du corps humain. B. Les mouvements en 3D du genou | 7 |
| Figure 5. Principaux muscles du genou vue médiale | 9 |
| Figure 6. Principaux muscles du genou vue latérale | 9 |
| Figure 7. Principaux muscles du genou vue antérieure | 10 |
| Figure 8. Structure osseuse du pied droit : Vue dorsale et plantaire | 12 |
| Figure 9. Structure osseuse du pied droit : Vue latérale et médiale | 12 |
| Figure 10. Structure ligamenteuse de la cheville : Vue latérale et médiale | 12 |
| Figure 11. Principaux muscles de la cheville vue antérieur et médiale | 14 |
| Figure 12. Principaux muscles de la cheville vue postérieure | 14 |
| Figure 13. Plans de mouvements de la cheville et du pied en 3D : plan sagittal, plan transversal et plan frontal | 19 |
| Figure 14. Mouvements de la cheville et du pied par plans. (A) Abduction/Adduction, (B) Dorsiflexion/Flexion plantaire, (C) Inversion/Éversion de l'avant-pied, (D) Inversion/Éversion de l'arrière-pied | 19 |
| Figure 15. Mouvement articulaire combiné en trois dimensions du pied et la de cheville : supination et pronation | 19 |
| Figure 16. Division du Cycle de marche (d'après A. de Vinck) | 21 |
| Figure 17. Mouvements de flexion-extension de l'articulation du genou lors de la marche dans le plan sagittal | 23 |
| Figure 18. Mouvements de l'articulation du genou lors de la marche dans le plan frontal. Tirée de Lafortune (A) et de Bytyqi (B) | 25 |
| Figure 19. Mouvement de l'articulation dans le plan frontal divisé dans 4 groupes différents (N=202) qui montrent la variabilité entre les groupes..... | 26 |

Figure 20. Mouvements de l'articulation du genou lors de la marche dans le plan transversal. **27**

Figure 21. Mouvements de l'articulation de la cheville lors de la marche. A : dorsiflexion et flexion plantaire. B : Inversion et éversion. **28**

Figure 22. Le KneeKGTM **45**

Figure 23. Calibration A. Localisation des repères anatomiques. Détermination du centre B: de la hanche, C: du genou. D: Alignement fonctionnel du plan sagittal **47**

Figure 24. Systèmes de coordonnées, Z: axe longitudinal, Y: axe antéro-postérieur, X: axe médio-latéral **48**

Figure 25. Système de coordonnées du Tibia/fibula et le Calcanéus à droite et les mouvements selon les trois plans **49**

Figure 26. Pour le participant S01, A : Partie supérieure: Cinématique du genou flexion/extension pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM du genou dans le plan sagittal. B : Partie supérieure : Cinématique du genou abduction/adduction pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM du genou dans le plan frontal. C : Partie supérieure : Cinématique du genou rotation interne/externe pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM du genou dans le plan transversal..... **60**

Figure 27. Pour le participant S01, A : Partie supérieure: Cinématique de la cheville dorsiflexion/flexion plantaire pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM de la cheville dans le plan sagittal. B : Partie supérieure : Cinématique de la cheville éversion/inversion pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM de la cheville dans le plan frontal. C : Partie supérieure : Cinématique de la cheville adduction/abduction pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM de la cheville dans le plan transversal..... **61**

Figure 28. Moyennes des différences de degré de flexion du genou par sous-phase pré- et post-injection..... **71**

Figure 29. Moyennes des différences de degré de dorsiflexion/flexion plantaire par sous-phase pré- et post-injection..... **79**

LISTE DES SIGLES

| | |
|---------------|--|
| AQMS | Association québécoise de médecins du sport |
| CÉR | Comité d'éthique de la recherche |
| CHUM | Centre hospitalier de l'Université de Montréal |
| CRCHUM | Centre de recherche du Centre hospitalier de l'Université de Montréal |
| EMG | Électromyographie |
| ÉTS | École de technologie supérieure |
| EULAR | <i>European League Against Rheumatism</i> (Ligue européenne contre le rhumatisme) |
| EVA | Échelle visuelle analogique |
| EVS | Échelle verbale simple |
| IMC | Indice de masse corporelle |
| IMPACT | <i>Initiatives on Methods, Measurement, and Pain Assessment in Clinical Trials</i> |
| LIO | Laboratoire de recherche en imagerie et orthopédie |
| MOKKA | <i>Motion Kinematics and Kinetics Analyzer</i> |
| OMS | Organisation mondiale de la santé |

LISTE DES ABRÉVIATIONS

| | |
|--------------|--|
| 3D | Tridimensionnel(le)s; trois dimensions |
| ABD | Abduction |
| ADD | Adduction |
| al. | Collaborateurs |
| Bil | Bilatéral |
| c.à.d | C'est à dire |
| CI | Contact initial |
| CM | Cycle de marche |
| coll. | Collaborateurs |
| D | Droit |
| Dx | Diagnostic |
| Di | Douleur initiale |
| Df | Douleur finale |
| Dr | Doctor |
| EN | Échelle numérique |
| F | Frontal |
| G | Gauche |
| i.e. | Par exemple |
| KL | Kellgren et Lawrence |
| LCA | Ligament croisé antérieur |
| LCP | Ligament croisé postérieur |
| min | Minutes |
| pp. | Page |
| RX | Rayons X, radiographie |
| S | Sagittal |
| T | Transversal |

*À toute ma famille, malgré la distance qui nous sépare, ils ont toujours été très proches de moi
dans mon cœur.*

REMERCIEMENTS

Tout au long de mon programme de maîtrise, j'ai rencontré de merveilleuses personnes qui m'ont donné leur soutien pour mener à bien ce projet pilote.

J'aimerais remercier Nicola Hagemeister, ma directrice de recherche, qui a toujours été à l'écoute de mes doutes, mes questionnements et mes inquiétudes liés au projet; car son professionnalisme, son encouragement, sa compréhension et sa dextérité à saisir les besoins ont rendu possible le fait que je puisse mener à terme ce projet.

De même, je suis reconnaissante envers Rachid Aissaoui, mon co-directeur de recherche, qui a toujours été disponible pour répondre à mes questions et m'encourager tout au long de mon projet; son dévouement à l'enseignement et son expérience en recherche m'ont permis de combler mes lacunes dans ce projet.

Je tiens également à remercier Gerald Parent, gestionnaire et responsable technique du projet. C'est grâce à son soutien technique, son expérience, sa patience et son sens de l'organisation que le projet a pu se développer de manière optimale conformément aux standards de qualité.

De plus, j'aimerais remercier Dr Robert Pontbriand, Dr Peter Panopalis, Dr André Roy et Dre Marlène Beaulieu de nous avoir référé et qui ont été responsables des patients de l'étude. Leur participation lors de l'injection a rendu possible le déroulement de ce projet pilote.

Que soient également remerciés ici mes collègues Sophie Jeandel, Yolène Rosello et Clémence Fontaine pour leur précieuse et inestimable participation dans ce projet.

En outre, j'adresse mes plus sincères remerciements à Alexandre Fuentes qui grâce à son expérience et ses connaissances m'ont aidé à formuler les conclusions de ce projet.

Enfin, je veux exprimer ma reconnaissance à tous mes collègues et amis du LIO qui m'ont encouragée tout au long du projet, mais aussi aux membres du jury qui ont accepté de juger mon travail.

INTRODUCTION

L'arthrose du genou ou gonarthrose est une pathologie dégénérative qui affecte le cartilage, l'os et la biomécanique du genou (Maly, Costigan, and Olney 2008), et qui conduit au développement de symptômes tels que de la douleur, de la raideur et l'incapacité fonctionnelle (Rutherford 2011).

La douleur joue un rôle primordial chez les personnes atteintes d'arthrose du genou (Henriksen, Aaboe, and Bliddal 2012). La prise en charge de l'arthrose dans ses premiers stades consiste donc à essayer de réduire cette douleur, voire de la supprimer. Or, sa réduction est susceptible d'influencer les mécanismes de protection/d'adaptation, ce qui pourrait avoir un effet sur la biomécanique articulaire chez des patients gonarthrosiques (Henriksen, Simonsen, Alkjaer, et al. 2006; Henriksen, Simonsen, Graven-Nielsen, et al. 2006). Cet effet pourrait être protecteur ou délétère, selon la pharmacologie administrée au patient (Boyer, Andiracchi, and Andriacchi 2013). Actuellement, les moyens à notre disposition pour mesurer l'impact des traitements antidouleur demeurent essentiellement subjectifs (Dworkin et al. 2005; Dworkin et al. 2008). C'est dans ce contexte qu'a été orientée cette étude pilote, dont l'objectif général est de vérifier l'effet immédiat de la suppression ou réduction de la douleur, de façon quantitative et qualitative, sur la biomécanique tridimensionnelle du genou et de la cheville chez des patients gonarthrosiques durant la marche sur un tapis roulant instrumenté à double courroie.

À cette fin, neuf participants adultes souffrant d'arthrose fémoro-patellaire douloureuse, avec ou sans atteinte d'arthrose fémoro-tibiale, ont participé à ce projet. Tous les sujets devaient avoir une intensité de la douleur au genou supérieure ou égale à 3/10 sur une échelle numérique subjective de douleur avant le test. L'expérimentation se déroulait en deux étapes : pré- et 15 minutes post-injection intra-articulaire au genou pathologique d'un anesthésique local. Chaque étape consistait en une acquisition de la marche sur le tapis roulant. La cinématique du genou et de la cheville, du côté le plus atteint, a été mesurée par un système optoélectronique. L'intensité

de la douleur a été évaluée tout au long de l'expérimentation à l'aide d'une échelle numérique (EN). L'analyse des résultats s'est donc faite avant et 15 min après injection de l'anesthésique.

Ce mémoire est divisé en cinq chapitres. Le premier chapitre correspond à la recension des écrits permettant une meilleure compréhension de l'anatomie et de la biomécanique du genou et de la cheville, de la cinématique tridimensionnelle et de l'activité musculaire du genou et de la cheville lors de la marche, de la gonarthrose, des outils cliniques pour le diagnostic de la gonarthrose, de la douleur arthrosique ainsi que la biomécanique de la marche et douleur. Le deuxième chapitre présente un résumé de la problématique, les objectifs détaillés et les hypothèses énoncées dans cette étude. Le troisième chapitre correspond à la méthodologie du protocole d'acquisition. Le quatrième chapitre présente les résultats et leurs analyses. Finalement, le cinquième chapitre amène une discussion, une conclusion, ainsi que des limitations de l'étude et des recommandations.

Chapitre 1 : Recension des écrits

1.1. Anatomie

1.1.1. Le genou

Le genou permet la jonction entre la cuisse et la jambe. C'est l'articulation la plus complexe et sollicitée du corps humain (Gerin 2016) car elle participe dans de multiples tâches telles que marcher, courir, monter/descendre les escaliers, s'asseoir et sauter. De plus, elle permet d'absorber une force verticale égale à près de sept fois le poids du corps (Marieb and R. 2005), i.e. lors les sauts (Duthon and Fritschy 2011). La figure 1 illustre l'anatomie osseuse du genou qui est composé de deux os longs : le fémur et le tibia; et d'un os sésamoïde : la rotule. La stabilité de cette articulation dépend de l'anatomie des surfaces articulaires, de la disposition des ligaments et du tonus musculaire.

Le fémur est l'os le plus long et le plus fort du corps humain. Dans sa partie proximale, il s'articule avec l'os coxal, alors que dans sa partie distale il s'articule avec le tibia pour former l'articulation du genou. La surface articulaire présente deux condyles de structures convexes : le condyle médial et le condyle latéral. En vue antérieure, entre ces deux condyles, se trouve la trochlée fémorale ou la surface patellaire qui sert d'articulation avec la rotule. En vue postérieure, la fosse intercondyloire sépare les deux condyles (Marieb and R. 2005).

La rotule, ou patella, est l'os sésamoïde le plus grand du corps humain. Elle est de forme triangulaire située en dessous du tendon du muscle quadriceps fémoral. Son rôle est de protéger l'articulation du genou ainsi que de produire un effet de levier afin de transmettre les forces exercées par les muscles de la cuisse à cette articulation (Marieb and R. 2005).

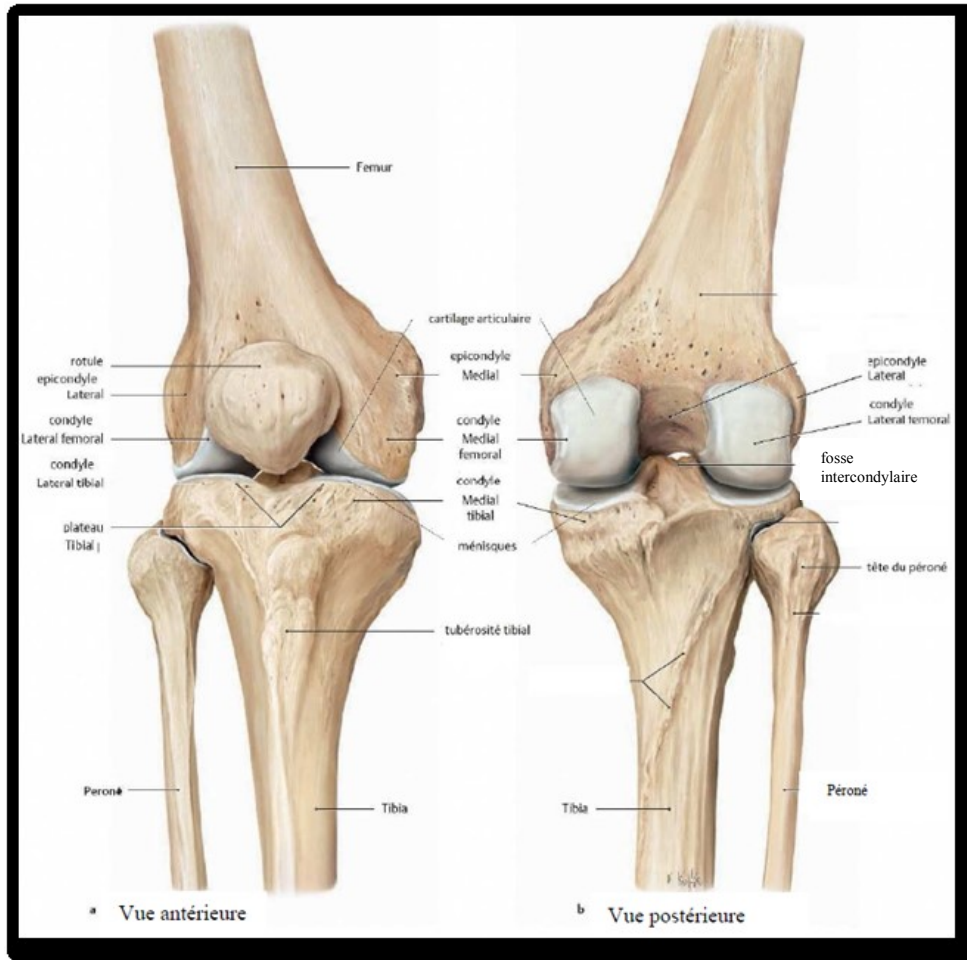


Figure 1. Structure osseuse du genou droit vue antérieure (a) postérieure (b)
Adapté de Thieme Atlas of Anatomy (2007)

Le tibia s'articule avec le fémur à son extrémité supérieure et avec le talus (astragale) à son extrémité inférieure. Il transmet le poids du corps du fémur au pied et amortit les forces de réaction du sol (Panesso, Trillos, and Guzmán 2009). À sa partie proximale il présente deux structures concaves : le condyle latéral et le condyle médial du tibia. Entre ces deux condyles se trouve l'éminence intercondyalaire qui sert de point de pivot pour le fémur et qui permet d'en prévenir l'extension excessive (Panesso, Trillos, and Guzmán 2009). La fibula ou péroné ne joue qu'un rôle de stabilisateur de l'articulation de la cheville (Marieb and R. 2005).

Entre les condyles fémoraux convexes et les surfaces concaves des condyles du tibia il y a un haut degré d'incongruité. La figure 2 illustre des structures complémentaires du genou, telles que les ligaments croisés ou internes, les ménisques et les ligaments collatéraux ou externes du genou qui sont indispensables au bon maintien de la stabilité de l'articulation du genou tout en garantissant une mobilité optimale (Panesso, Trillos, and Guzmán 2009).

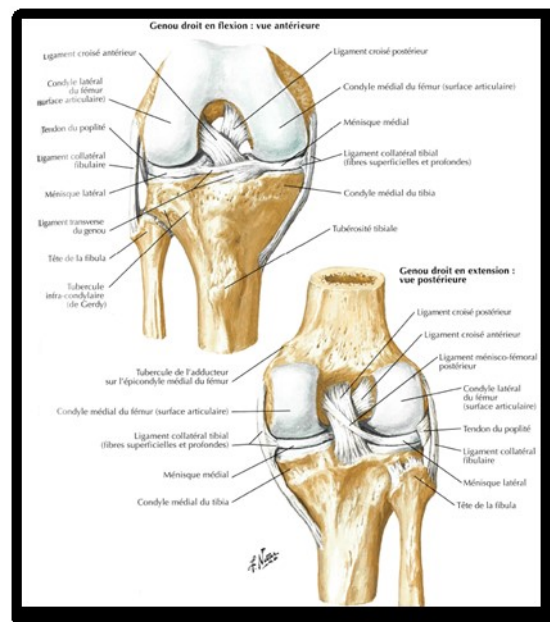


Figure 2. Ligaments croisés et collatéraux du genou droit.
Reproduite et adaptée de l'Atlas d'anatomie humaine de Netter (Netter 2011)

Le genou possède deux systèmes articulaires : la bi-condylienne fémoro-tibiale et la fémoro-patellaire, dans lesquels sont amortis et transmis des contraintes mécaniques importantes (Largey 2017). Les deux articulations mentionnées et illustrées dans la figure 3 sont de type synovial car elles possèdent une capsule articulaire fibreuse, une membrane synoviale, des ligaments capsulaires, et des ligaments internes/externes.

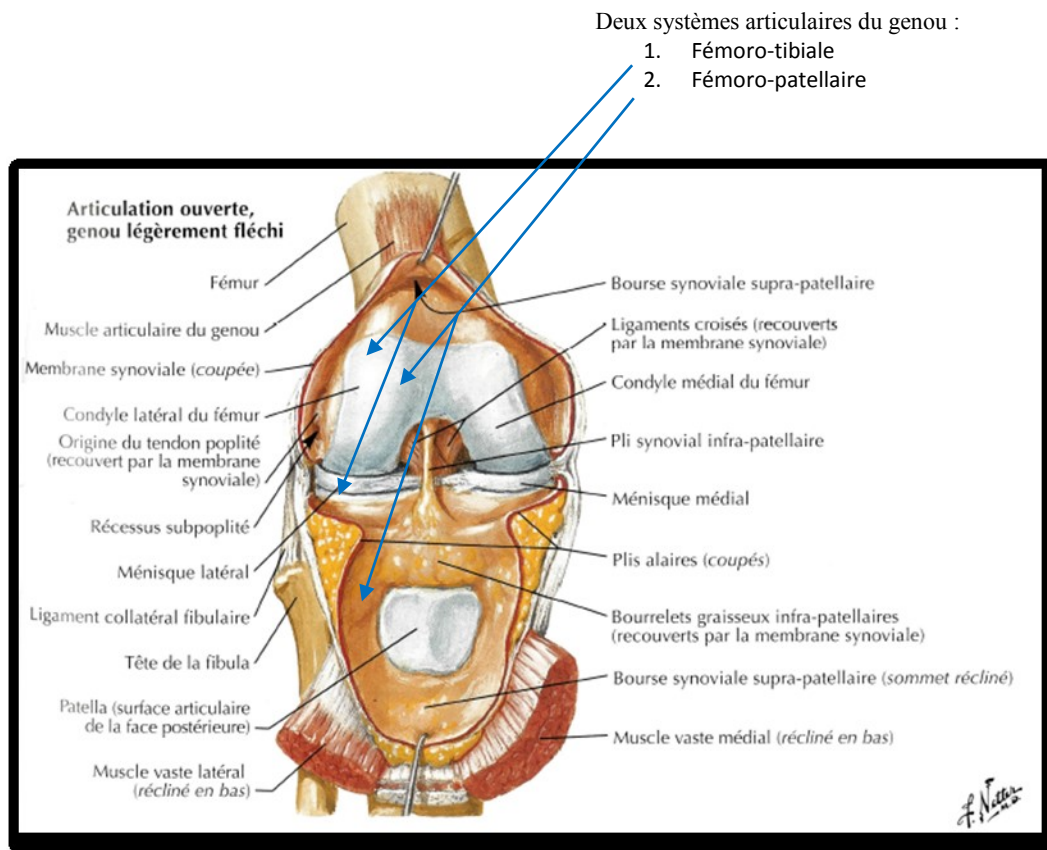


Figure 3. Deux systèmes articulaires du genou : Fémoro-tibiale et Fémoro-patellaire
Reproduite et adaptée de l'Atlas d'anatomie humaine de Netter (2011).

L'articulation fémoro-tibiale est divisée en deux compartiments : le compartiment fémoro-tibial interne et le compartiment fémoro-tibial externe. L'intérieur de la capsule articulaire présente des cartilages articulaires du fémur et du tibia, des ligaments internes et capsulaires, deux ménisques fibrocartilagineux interne et externe. À l'extérieur de cette capsule, il existe des ligaments externes et des muscles (Largey 2017). Les ménisques préviennent le frottement du fémur sur le tibia et absorbent les chocs transmis aux deux compartiments (Marieb and R. 2005).

La structure anatomique de l'articulation fémoro-tibiale permet une grande stabilité du genou en extension, ainsi qu'une mobilité dans les 3 plans anatomiques lorsque le genou est en flexion: plan sagittal (flexion / extension), plan frontal (abduction / adduction), plan transversal (rotation interne / rotation externe) (Lustig et al. 2012). La figure 4 montre les trois degrés de liberté du genou en rotation qui caractérisent généralement une articulation de type sphéroïde ou

énarthrose (Manolova and Debraux 2011); ces mouvements sont existants lors de la marche (Versier 2017). Combinés aux translations, ces degrés de liberté permettent des glissements, des roulements, des translations antéro-postérieures (Panesso, Trillos, and Guzmán 2009) et axiales du tibia par rapport au fémur (Lustig et al. 2012).

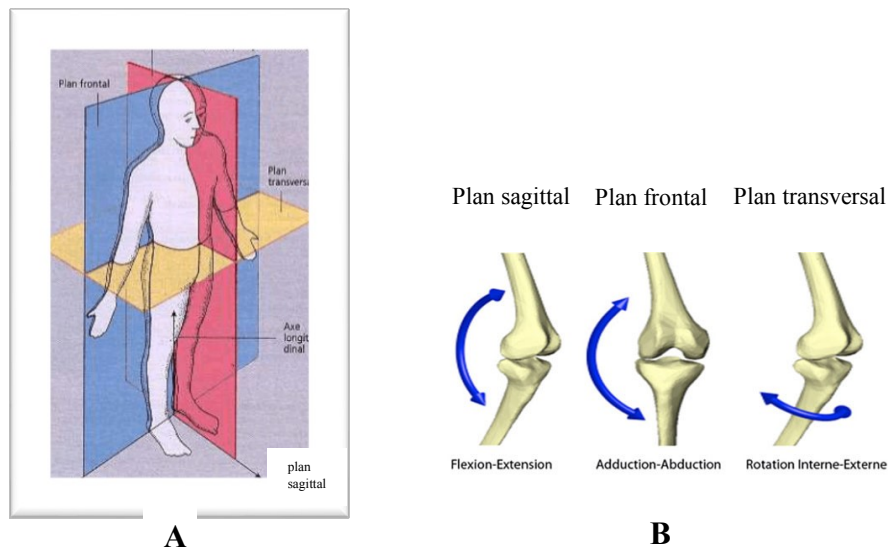


Figure 4. **A.** Les plans anatomiques du corps humain. Source de l'image tiré de: <https://www.cours-medecine.info/schemas.php?page=demarrer-anatomie-humaine&schema=2&print> **B.** Les mouvements en 3D du genou. Reproduite et adaptée de Mezghani (2017)

Dans l'articulation fémoro-patellaire, la rotule glisse sur l'extrémité distale du fémur au cours de mouvement de flexion/extension du genou (Manolova and Debraux 2011) en faisant des mouvements de rotation, translation et d'inclinaison médio-latérale (Panesso, Trillos, and Guzmán 2009). Cette articulation est la moins congruente du corps humain, elle transmet la force d'extension du muscle quadriceps et régule la force de flexion du genou (Monnier 2017).

En ce qui a trait à la stabilité du genou, l'articulation n'est que partiellement recouverte par une capsule articulaire qui est d'ailleurs absente sur la face antérieure. Toutefois, l'articulation est protégée antérieurement par le ligament patellaire et les rétinaculum patellaires médial et latéral. Ces trois ligaments stabilisent et renforcent la capsule articulaire. En plus, les ligaments internes et externes limitent l'hyperextension et sont tendus lorsque le genou est en extension

(Marieb and R. 2005). À cet effet, ils comprennent deux ligaments collatéraux tibial (interne ou médial) et fibulaire (externe ou latéral), qui sont fondamentaux pour prévenir les mouvements de rotation latérale ou médiale lorsque le genou est étendu (Marieb and R. 2005). Ils limitent aussi les mouvements de valgus (vers l'intérieur) et de varus (vers l'extérieur) du genou (Largey 2017). De même, les ligaments externes tels que poplité et poplité arqué renforcent l'arrière de la capsule articulaire. Enfin, l'articulation possède deux ligaments internes ou ligaments croisés : le ligament croisé antérieur (LCA) et le ligament croisé postérieur (LCP) situés dans la fosse intercondyloïde du fémur. Ils limitent les mouvements antérieur et postérieur du tibia par rapport au fémur et confèrent aussi au genou sa stabilité en rotation.

La mobilisation et la stabilisation du genou sont possibles grâce à l'activation des muscles bi-articulaires qui impliquent des mouvements de la hanche et de la jambe, tels que le muscle droit fémoral du muscle quadriceps fémoral, le tenseur du fascia lata, les ischio-jambiers (semi membraneux, semi tendineux, biceps fémoral), le sartorius, le gracile, ainsi que les muscles gastrocnémiens médial/latéral qui génèrent les mouvements du genou et de la cheville. De même, les muscles mono-articulaires, concentrés sur le genou, sont le muscle vaste intermédiaire, vaste latéral, vaste médial, le muscle poplité et le muscle plantaire (Massimo 2017) (*Voir Figures 5, 6 et 7*). En somme, les muscles sont les principaux facteurs de stabilité; plus leur force et leur tonus sont élevés, moins les risques de lésions sont importants (Marieb and R. 2005).

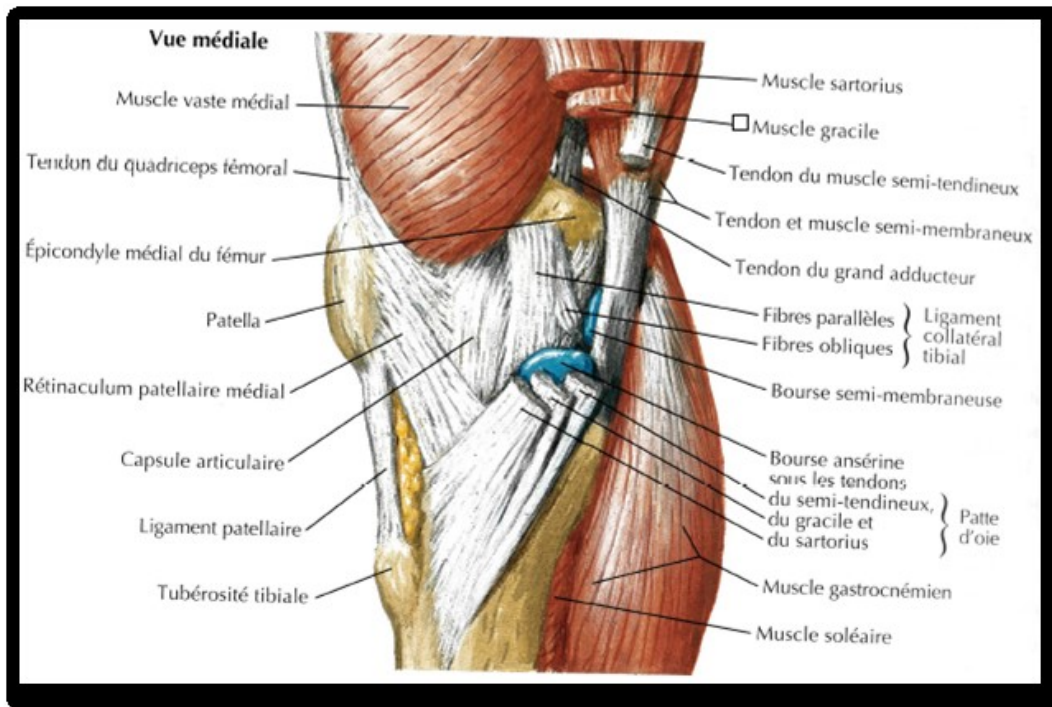


Figure 5. Principaux muscles du genou vue médiale
Reproduite et adaptée de l'Atlas d'anatomie humaine de Netter (2011)

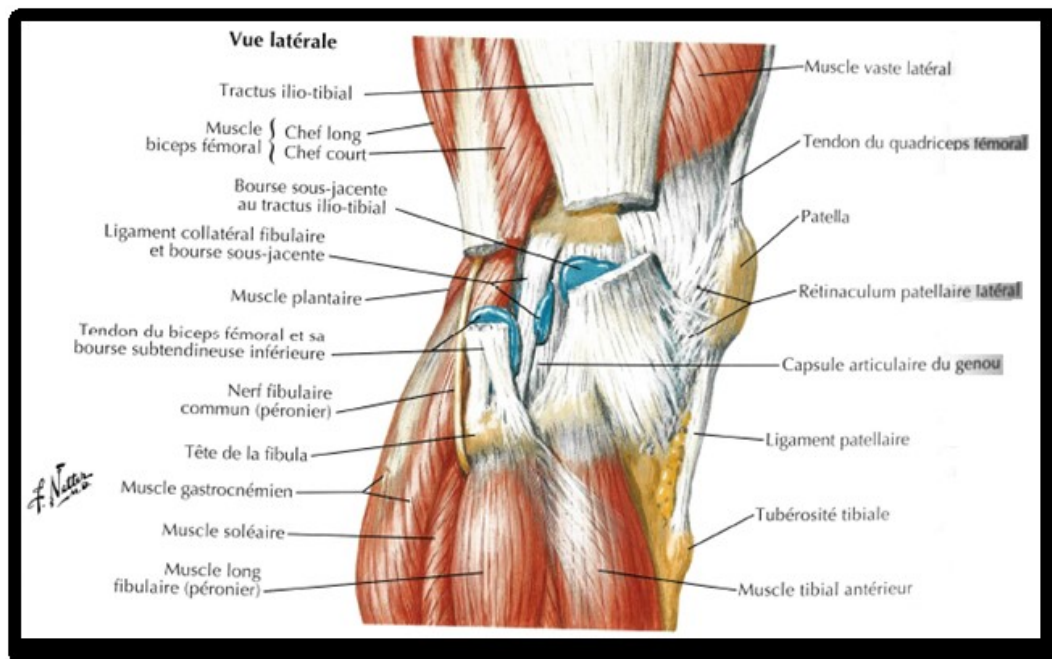


Figure 6. Principaux muscles du genou vue latérale.
Reproduite et adaptée de l'Atlas d'anatomie humaine de Netter (2011)

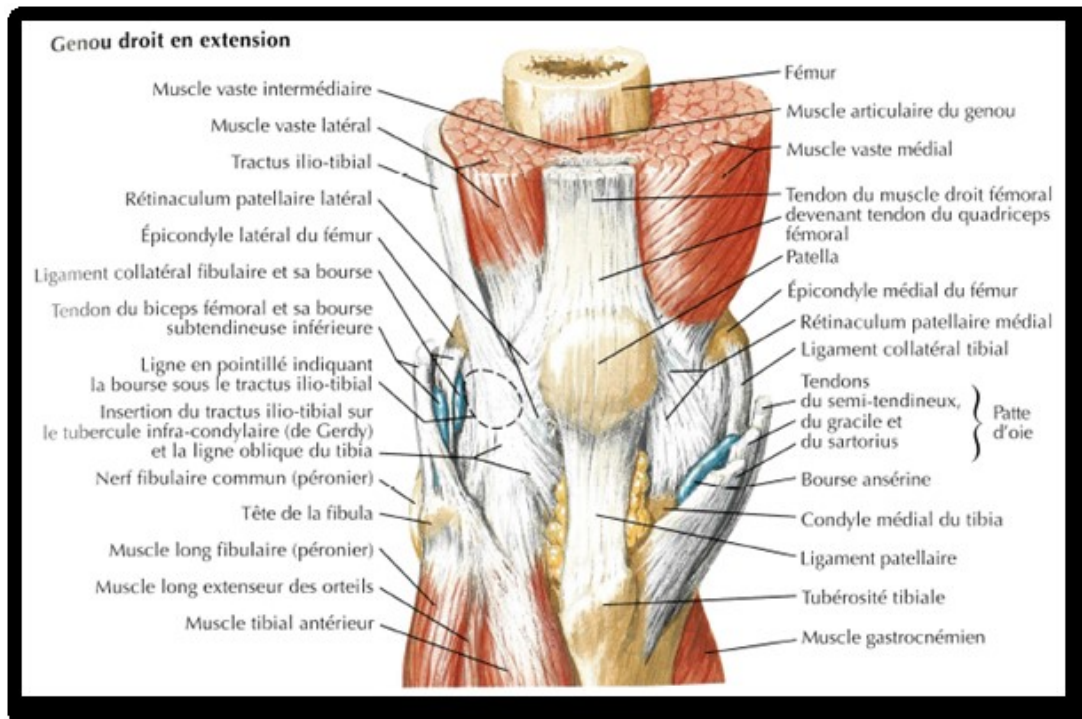


Figure 7. Principaux muscles du genou vue antérieure.
Reproduite et adaptée de l'Atlas d'anatomie humaine de Netter (2011)

1.1.2. La cheville

La cheville est un complexe articulaire qui permet la jonction fonctionnelle de la jambe et du pied. Sa complexité est liée à la nécessité de contrôler les mouvements d'inclinaison du corps vers l'avant et vers l'arrière ainsi que de l'intérieur vers l'extérieur (Rabischong 2012).

Le pied et la cheville possèdent 26 structures osseuses et 33 articulations. Le talus ou astragale s'articule avec les deux os de la jambe (tibia et péroné) pour former la cheville. Cette dernière est composée de 3 articulations : tibio-tarsienne (qui comprend l'articulation tibiofibulaire inférieure), sous-talienne et transverse du tarse (Brockett and Chapman 2016). Les figures 8 et 9 illustrent l'anatomie osseuse de la cheville et du pied. La partie distale du tibia (malléole interne et plafond), la partie distale du péroné (malléole externe) et le talus forment une mortaise (Rabischong 2012).

L'articulation tibio-tarsienne est une articulation synoviale de type ginglyme, tandis que l'articulation sous-talienne ressemble à une double trochoïde inversée, c'est-à-dire à deux surfaces articulaires arrondies de courbure inversée concave et convexe par rapport au talus et au calcaneus respectivement (Rabischong 2012). Le calcaneus supporte la partie inférieure du talus et est soumis à des sollicitations mécaniques transversales (Rabischong 2012). En outre, l'articulation tibiofibulaire inférieure n'est pas une articulation synoviale, c'est une articulation syndesmose dans laquelle une membrane interosseuse de tissus fibreux unit les deux parties distales de la fibula et du tibia. Elle joue donc un rôle de stabilisateur plutôt que de donner du mouvement supplémentaire au pied et la cheville. Par ailleurs, l'articulation transverse du tarse est de type synoviale et est une unité fonctionnelle composée par les articulations calcaneo-cuboïdienne et talo-calcaneo-naviculaire (Brockett and Chapman 2016).

Le pied est composé de trois parties, d'arrière en avant : le tarse, le métatarse et les phalanges. Les os du tarse, ou os tarsiens, sont au nombre de sept, répartis en deux groupes : en arrière, le talus et le calcaneus; en avant, l'os cuboïde, l'os naviculaire et les trois os cunéiforme (latéral, intermédiaire et médial) (Wikipédia 2015). Les cinq métatarsiens forment le métatarse. Chaque orteil possède trois phalanges, sauf le gros orteil qui en a deux (une proximale et une distale) (Marieb 1998).

La stabilisation de la cheville est possible grâce à la participation des ligaments et muscles (*Voir* Figures 10, 11 et 12). Les ligaments de l'articulation tibiofibulaire inférieure sont les tibio-fibulaires antérieur/postérieur et le tibiofibulaire interosseux. Ils restreignent le mouvement entre le tibia et la fibule pendant les activités de la vie quotidienne. La face médiale est stabilisée par le ligament médial (deltoïdien) de l'articulation tibio-tarsienne, ce qui limite le mouvement d'éversion et le stress en valgus de la cheville. La face latérale de l'articulation tibio-tarsienne est fixée par le ligament collatéral qui réduit l'inversion, la rotation et le stress en varus de la cheville. Enfin, le ligament bifurqué du tarse unit l'articulation transverse du tarse, ce qui limite les mouvements de torsion du pied (Brockett and Chapman 2016).

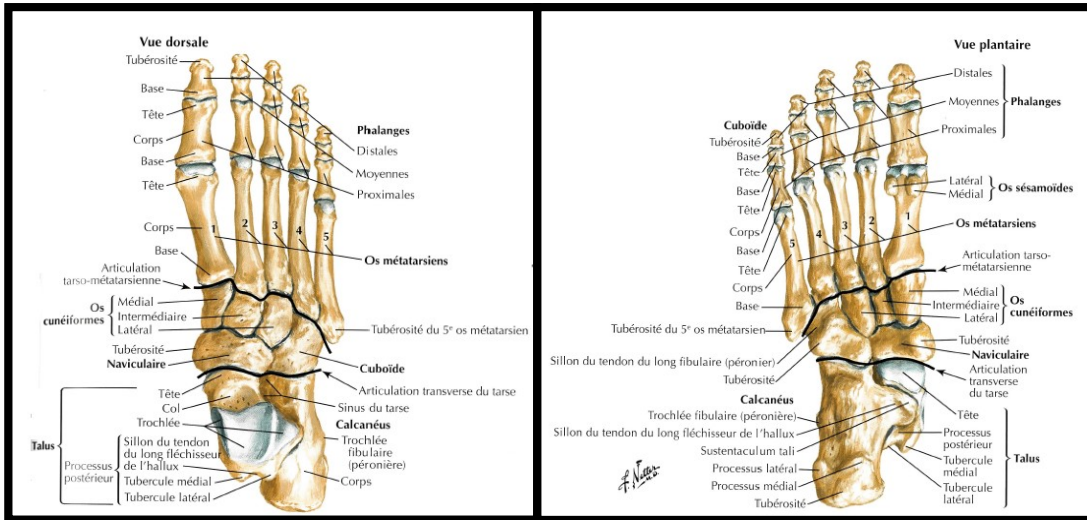


Figure 8. Structure osseuse du pied droit : Vue dorsale et plantaire.
Reproduite et adaptée de l'Atlas d'anatomie humaine de Netter (2011)

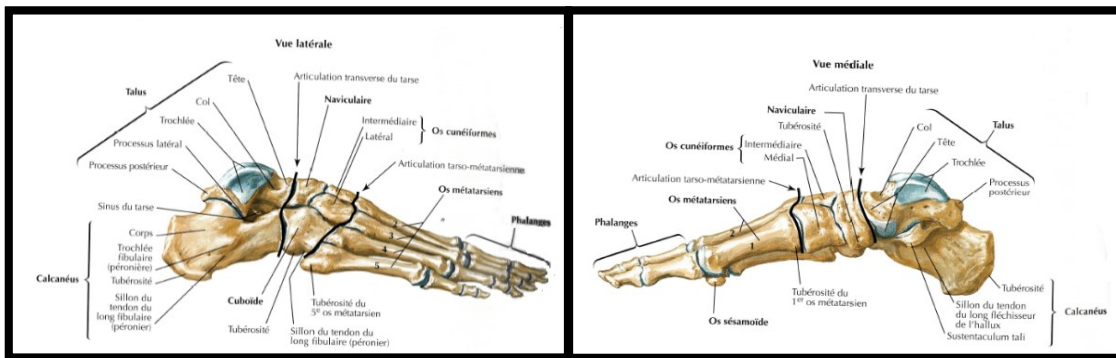


Figure 9. Structure osseuse du pied droit : Vue latérale et médiale.
Reproduite et adaptée de l'Atlas d'anatomie humaine de Netter (2011)

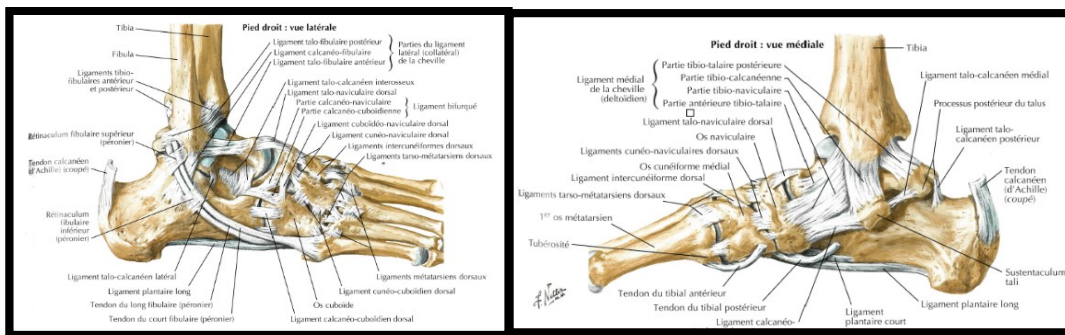


Figure 10. Structure ligamenteuse de la cheville : Vue latérale et médiale.
Reproduite et adaptée de l'Atlas d'anatomie humaine de Netter (2011)

Le mouvement du pied et de la cheville est effectué par 12 muscles qui proviennent de la jambe et s'insèrent dans le pied. Sur le côté antérieur: le tibial antérieur, le long extenseur des orteils et de l'hallux, le péronier antérieur (troisième fibulaire); sur le côté postérieur: le triceps sural (gastrocnémiens médial/latéral et soléaire), le tibial postérieur, les longs fléchisseurs des orteils et l'hallux. Sur le côté latéral on retrouve les long et court fibulaires (Rabischong 2012). (*Voir Figures 11 et 12*)

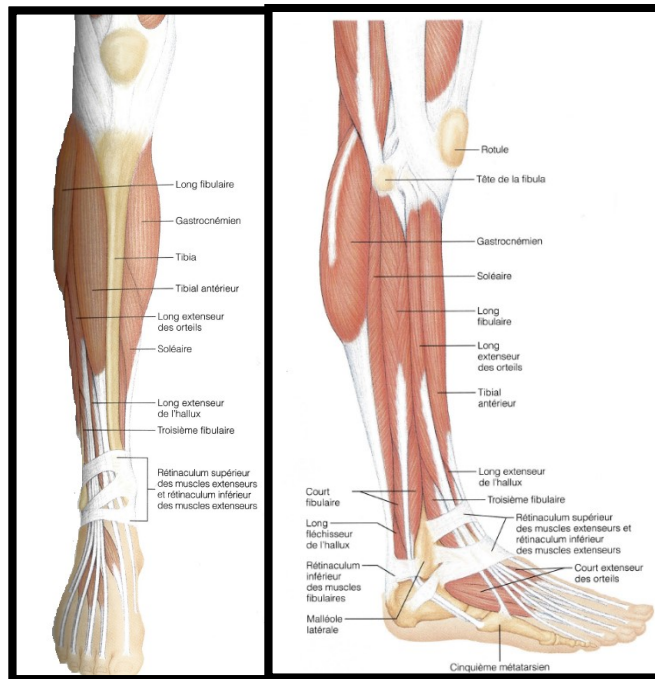


Figure 11. Principaux muscles de la cheville vue antérieur et médiale
Reproduite et adaptée de Marieb (1998)

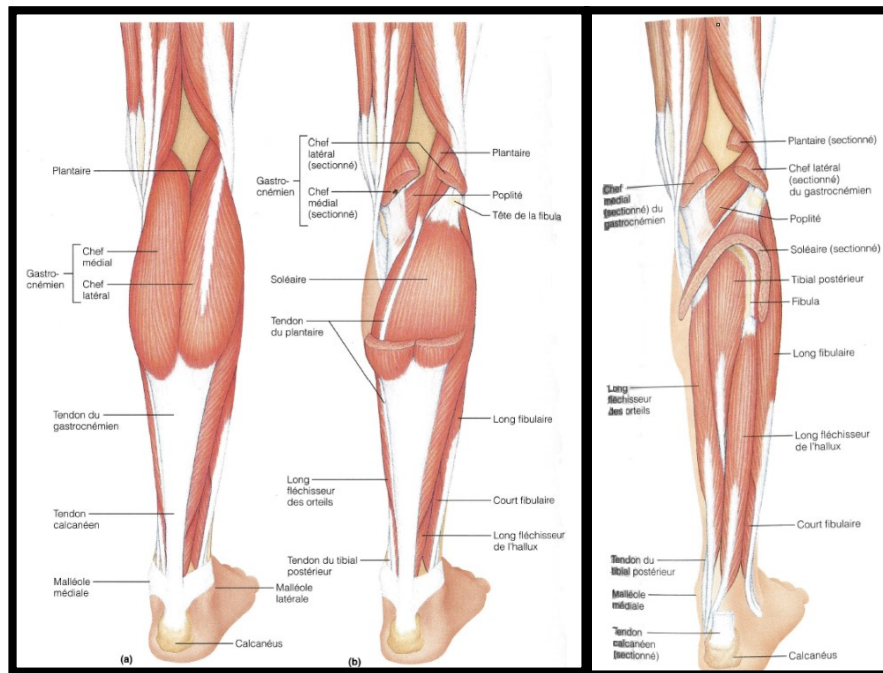


Figure 12. Principaux muscles de la cheville vue postérieure
Reproduite et adaptée de Marieb (1998)

1.2. Biomécanique du genou et de la cheville

1.2.1. Biomécanique du genou

L'articulation du genou possède essentiellement trois mouvements angulaires: la flexion/extension, l'abduction/adduction et la rotation interne/externe (*Voir Figure 4B*) (Góngora Garcia et al. 2003). En plus, elle comporte trois mouvements de translation: antéropostérieure, médiolatérale, et proximodistale de faible amplitude, environ 10.5mm et 13.7mm (Kanhonou 2017). Le déplacement antéropostérieur est le plus important dans un mécanisme de roulement et glissement qui a lieu entre les condyles fémoraux et le tibia au cours des premiers degrés de flexion. De plus, au cours du mouvement de flexion, le déplacement antéropostérieur fémoro-tibial augmente la puissance de l'appareil extenseur jusqu'à 30%. (Góngora Garcia et al. 2003).

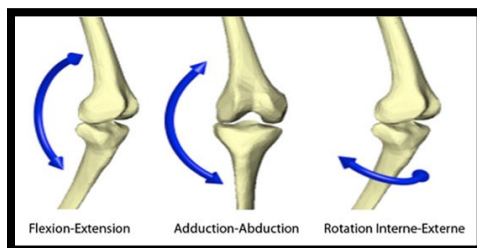


Figure 4B. Les mouvements en 3D du genou.
Reproduite et adaptée de Mezghani (2017)

Le mouvement de flexion/extension se fait dans le plan sagittal avec un axe médio-latéral qui passe à travers les condyles du fémur; tandis que le mouvement d'abduction/adduction se réalise dans le plan frontal par rapport à un axe antéro-postérieur. L'axe médio-latéral du mouvement de flexion/extension a une obliquité médiale en raison de la forme asymétrique des extrémités osseuses du tibia et du fémur. Ainsi, lors de l'extension du genou, le tibia se déplace latéralement (ABD) en faisant une rotation externe et lors de la flexion du genou le tibia se déplace médialement (ADD) en faisant une rotation interne (Chauzi 2007; Góngora Garcia et al. 2003). Les mouvements de rotation axiale du tibia par rapport au fémur se réalisent dans un plan transversal autour d'un axe longitudinal qui passe au travers du tubercule intercondyloire du

tibia. Ils s'effectuent grâce à l'incongruité articulaire et l'hyperlaxité ligamentaire dans l'articulation fémoro-tibiale (Panesso, Trillos, and Guzmán 2009).

En extension complète, il n'est pas possible d'effectuer des mouvements de rotation car les surfaces articulaires sont à leur maximum de congruité, les ligaments collatéraux et croisés sont tendus, le tubercule tibial est dans la fosse intercondylienne et le ménisque est coincé entre les deux surfaces articulaires. À 90° de flexion du genou, la capsule et les ligaments sont plus souples et permettent une rotation externe du tibia de 40° et une rotation interne de 30°. À 30° de flexion, la rotation externe du tibia est de 30° environ. De la même manière, les mouvements de rotation sont limités en flexion maximale du genou (Panesso, Trillos, and Guzmán 2009). Cette grande capacité de rotation du genou octroie ainsi une grande adaptabilité et sécurité lors de la marche, et ce, même sur un sol irrégulier (Góngora Garcia et al. 2003).

L'articulation fémoro-patellaire, pour sa part, contribue aux mouvements de flexion/extension du genou de l'articulation fémoro-tibiale. Dans ce but, la rotule fait des mouvements d'inclination, de rotation et de translation médiale/latérale/verticale pour s'ajuster aux irrégularités de la fosse intercondylienne. Ainsi, l'inclination médiale de la rotule se produit entre 0-30° de flexion du genou tandis que l'inclination latérale s'effectue entre 30-100° de flexion. La translation médiale se produit lors de l'extension complète du genou tandis que la translation latérale s'effectue lors de la flexion complète du genou (Panesso, Trillos, and Guzmán 2009).

La capsule articulaire, les ligaments et les ménisques jouent un rôle de stabilisateurs passifs du genou. La capsule et les ligaments sont essentiellement associés à la restriction des mouvements extrêmes de l'articulation. La capsule contient par ailleurs des mécanorécepteurs et des nocicepteurs qui contribuent à la réponse musculaire (Panesso, Trillos, and Guzmán 2009). Le ménisque médial supporterait entre 50-70% des charges de compression, ce qui correspond à deux ou trois fois le poids corporel pendant la marche et la montée d'escaliers. Pendant la course, ce chiffre s'élève à trois ou quatre fois le poids corporel (Panesso, Trillos, and Guzmán 2009).

Les différents groupes musculaires qui croisent l'articulation du genou assurent sa stabilité active ou dynamique. À cette fin, il y a des muscles bi-articulaires et des muscles mono-articulaires qui croisent le genou et permettent une amplitude articulaire d'environ 130° à 140° de flexion. Cependant, quand la hanche est en extension, la flexion du genou est réduite à 120° à cause de la tension au niveau du muscle droit fémoral sur le genou. Lorsque la hanche est en flexion maximale, la flexion du genou augmente jusqu'à atteindre 160° (Panesso, Trillos, and Guzmán 2009).

L'amplitude articulaire maximale nécessaire varie selon les activités fonctionnelles. Lors de la marche, on observe une flexion du genou de 60°. Lors de la montée d'escaliers, la flexion est de 80°. En position assise, la flexion est de 90° et en position debout, l'extension du genou se situe entre 5-10° (Panesso, Trillos, and Guzmán 2009).

Le droit fémoral est le plus gros muscle qui passe par le genou. Il est composé de 4 chefs (le droit fémoral, le vaste latéral, le vaste médial et le vaste intermédiaire) et c'est l'appareil extenseur du genou. Les autres muscles de l'extension du genou sont les fibres de surface du grand glutéal et le tenseur du fascia lata. Les principaux agonistes de la flexion du genou sont les ischio-jambiers (le muscle semi membraneux, le muscle semi tendineux et le biceps fémoral) et les muscles accessoires sont le muscle gracile, le muscle sartorius, les muscles gastrocnémiens médial/latérale et le muscle plantaire. Le mouvement actif de rotation interne s'effectue grâce au muscle gracile, le semi tendineux, le semi membraneux, et le muscle poplité. En outre, la rotation externe active se produit grâce au muscle biceps fémoral court. Les deux mouvements de rotation se produisent quand le genou est en flexion. L'abduction active du tibia par rapport au fémur s'effectue grâce au tenseur du fascia lata, tandis que l'adduction active se produit grâce au muscle gracile situé au niveau de la face interne de la cuisse.

En somme, l'articulation du genou confère une grande liberté de mouvement et garantit une forte stabilité.

1.2.2. Biomécanique de la cheville

Les mouvements du pied et de la cheville concernent les articulations tibio-tarsienne, sous-talienne, transverse du tarse, ainsi que l'arche interne du pied (entre le talon et le 1^{er} métatarsien) (Servant-Laval 2007). La figure 13 représente les plans de mouvements en 3D de la cheville et du pied dans le plan sagittal : dorsiflexion et flexion plantaire (*Voir* Figure 14B); dans le plan transversal : abduction et adduction (*Voir* Figure 14A); et dans le plan frontal : inversion et éversion (*Voir* Figure 14C et D) (Brockett and Chapman 2016).

Le mouvement de la cheville se produit principalement dans le plan sagittal au niveau de l'articulation tibio-tarsienne qui possède un axe oblique et produit principalement un mouvement de dorsiflexion et de flexion plantaire. L'articulation sous-talienne pour sa part permet un mouvement transversal à l'axe oblique ce qui résulte en deux mouvements : un mouvement antéropostérieur de flexion dorsale et plantaire du pied et un mouvement latéral d'inversion et d'éversion (rotation externe ou *latérale* et rotation interne ou *médiale* respectivement). De même, l'articulation transverse du tarse est considérée comme faisant partie de la même unité fonctionnelle sous-talienne puisqu'elle partage le même axe de mouvement, donc cette articulation contribue aux mouvements d'inversion et éversion du pied (Brockett and Chapman 2016).

Les mouvements d'abduction et d'adduction de la cheville et du pied concernent les articulations tibio-tarsienne, sous-talienne, transverse du tarse et tarse-métatarsienne (Doya et al. 2010).

La combinaison de mouvements de l'articulation tibio-tarsienne et de l'articulation sous-talienne produit des mouvements en trois dimensions tels que la supination : flexion plantaire, adduction et inversion; et la pronation : dorsiflexion, abduction et éversion (*Voir* Figure 15) (Servant-Laval 2007; Brockett and Chapman 2016).

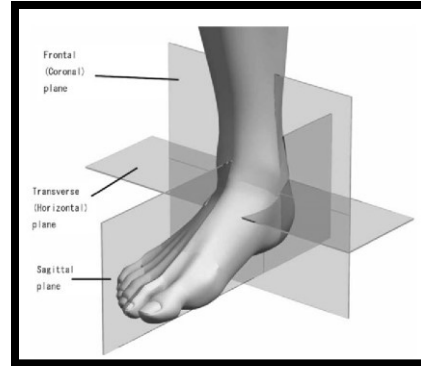


Figure 13. Plans de mouvements de la cheville et du pied en 3D : plan sagittal, plan transversal et plan frontal. Tirée de Doya (2010)

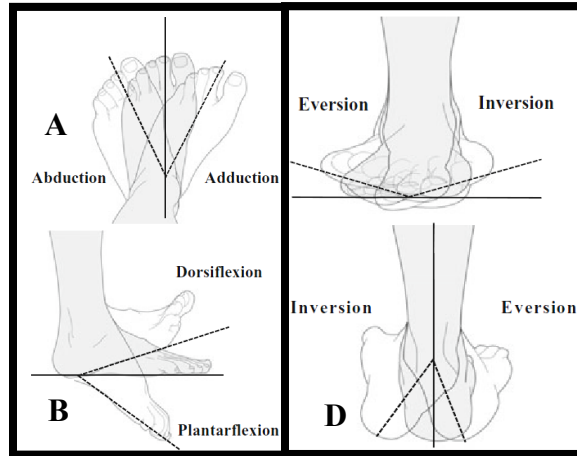


Figure 14. Mouvements de la cheville et du pied par plans. (A) Abduction/Adduction, (B) Dorsiflexion/Flexion plantaire, (C) Inversion/Éversion de l'avant-pied, (D) Inversion/Éversion de l'arrière-pied. Tirée de Doya (2010)

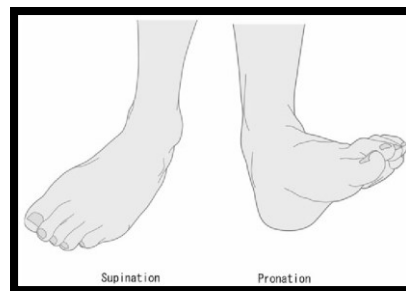


Figure 15. Mouvement articulaire combiné en trois dimensions du pied et la de cheville : supination et pronation. Tirée de Doya (2010)

L'amplitude articulaire de la cheville dans le plan sagittal est d'environ 60 à 80° et va de 10 à 20° de dorsiflexion jusqu'à 40-60° de flexion plantaire. Dans le plan frontal, l'amplitude de mouvement est d'environ 40° pour l'avant-pied (20° d'inversion et 20° d'éversion) et d'environ 60° pour l'arrière-pied (30° d'inversion et 30° d'éversion) (Figure 14 C et D). Dans le plan transversal, l'amplitude articulaire est d'environ 30° (10° d'abduction et 20° d'adduction). Enfin, l'amplitude articulaire dans le plan sagittal, ce dont on a besoin pour les activités de la vie quotidienne, est d'environ 30° pour la démarche, de 37° et 56° pour la montée et la descente d'escaliers, respectivement (Doya et al. 2010).

Sur le plan musculaire, la dorsiflexion est effectuée par le tibial antérieur et l'inversion est effectuée par le long extenseur de l'hallux; la dorsiflexion et l'éversion par le péronier antérieur; la dorsiflexion par les longs extenseurs des orteils. De même, la flexion plantaire et l'éversion sont effectués par les long et court fibulaires; la flexion plantaire par le triceps sural; la flexion plantaire et l'inversion par le tibial postérieur, les longs fléchisseurs des orteils et l'hallux du pied (Brockett and Chapman 2016). Ces fléchisseurs plantaires permettent l'équilibre antérieur du corps en position debout et une stabilisation active de la cheville (Servant-Laval 2007) .

1.3. Cinématique tridimensionnelle du genou et de la cheville lors de la marche

1.3.1. Cycle de marche

La marche implique la coordination de mouvements des différents segments corporels du corps afin de le garder en équilibre et le déplacer vers l'avant (Perry 1992). Tout au long du déplacement, le poids du corps est transféré alternativement sur chaque membre inférieur. Le cycle de marche (CM) débute par le contact du talon et se termine lors du nouveau contact de ce talon au sol. Le CM est composé d'une phase d'appui (environ 60% du CM) et d'une phase oscillante (environ 40% du CM) (Gasq, Molinier, and Lafosse 2013). Le CM peut également être subdivisé en sept sous phases tel que l'on peut le voir sur la figure 16 (Willems, Schepens, and Detrembleur 2012).

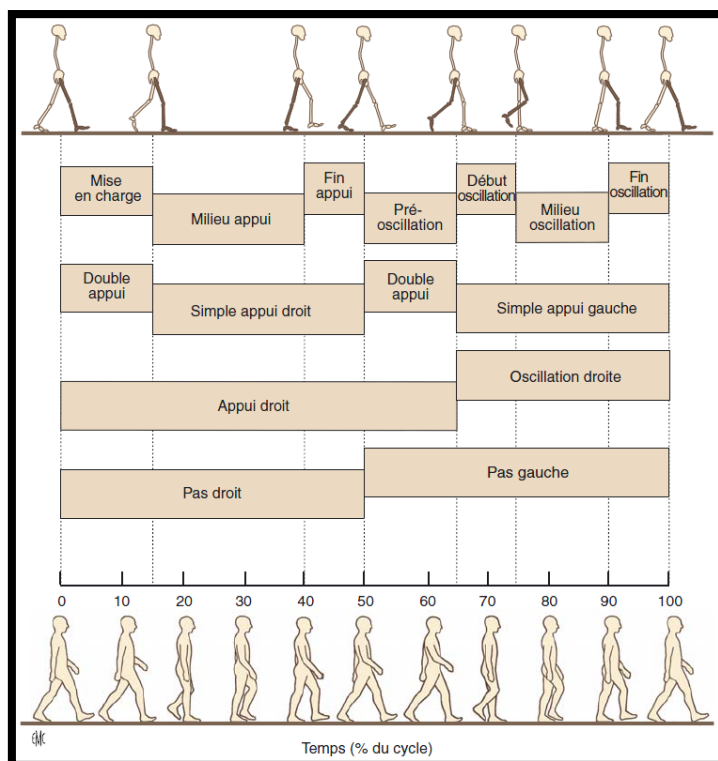


Figure 16. Division du cycle de marche (d'après A. de Vinck)
Reproduite et adaptée de Willems (2012)

La phase de double appui de réception (0 à 15%) débute avec le contact du talon au sol et se poursuit par la mise en charge du membre inférieur homolatéral. Elle permet d'absorber le choc lors du contact du talon et de garder la vitesse de marche (Hayot 2010; Gasq, Molinier, and Lafosse 2013; Willems, Schepens, and Detrembleur 2012).

La phase de début de simple appui (15 à 40%) correspond à la première partie de la phase de simple appui, ce qui permet au corps de se déplacer vers l'avant (Hayot 2010; Gasq, Molinier, and Lafosse 2013; Willems, Schepens, and Detrembleur 2012).

La phase de fin de simple appui (40 à 50%) correspond à la deuxième partie de la phase de simple appui et se poursuit jusqu'au contact du talon controlatéral au sol (Hayot 2010; Gasq, Molinier, and Lafosse 2013; Willems, Schepens, and Detrembleur 2012).

La phase de double appui de propulsion ou pré-oscillation (50 à 65%) débute avec le contact du talon controlatéral au sol, alors que le pied homolatéral est en train de décoller. Elle permet la propulsion du corps vers l'avant en transférant le centre de masse du corps sur le membre inférieur controlatéral (Hayot 2010; Gasq, Molinier, and Lafosse 2013; Willems, Schepens, and Detrembleur 2012).

La phase du début de l'oscillation (65 à 75%) débute avec la perte de contact du pied homolatéral avec le sol, le tronc se déplace sur le membre inférieur controlatéral. La phase se termine lorsque le poids du corps est sur le pied controlatéral (Willems, Schepens, and Detrembleur 2012).

Pendant **la phase du milieu de l'oscillation** (75 à 90%), le poids du corps se déplace sur le pied controlatéral. Cette phase se termine lorsque le membre inférieur homolatéral est vertical (Willems, Schepens, and Detrembleur 2012).

Lors de la **phase de fin de l'oscillation** (90 à 100%), le pied se positionne pour l'attaque du talon suivante. Cette phase se termine lorsque le talon du pied homolatéral touche le sol (Gasq, Molinier, and Lafosse 2013; Willems, Schepens, and Detrembleur 2012).

En résumé, la marche est caractérisée par une succession de doubles appuis et simples appuis, le corps est en permanence en contact avec le sol par au moins un simple appui (Gasq, Molinier, and Lafosse 2013).

1.3.2. Cinématique tridimensionnelle du genou lors de la marche

L'analyse de la marche consiste à enregistrer les mouvements des segments corporels par apposition de marqueurs réfléchissants dont la position est enregistrée par un système de caméras (optoélectroniques par exemple). Elle permet une description des mouvements dans l'espace suite à un calibrage qui met en lien les marqueurs avec les os du squelette. Elle apporte ainsi une information plus complète que l'analyse de la marche décrite plus haut en permettant de suivre les rotations des différents segments d'une articulation selon le système de coordonnées qu'on lui attribue (*Voir* Chapitre 3.1.2. Système d'axes, pp.46).

Mouvements de l'articulation du genou lors de la marche dans le plan sagittal

Dans le plan sagittal, la courbe classique ressemble à la Figure 17.

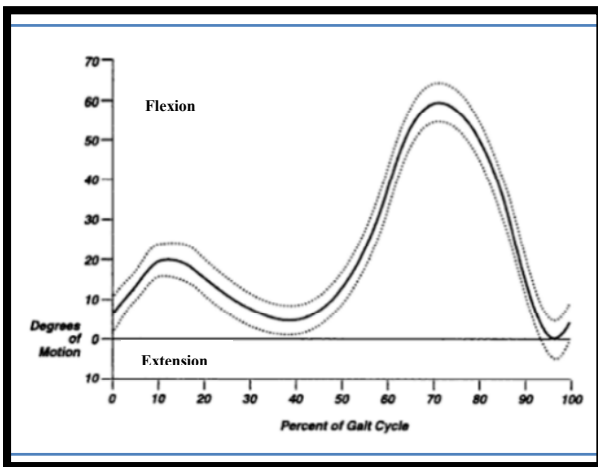


Figure 17. Mouvements de flexion-extension de l'articulation du genou lors de la marche dans le plan sagittal. Tirée de Perry (1992).

Selon Perry (1992) lors du contact initial, l'articulation du genou est en flexion d'environ 5°. Ensuite, l'articulation continue à fléchir jusqu'à un angle de 15° à 20°, entre 10 % à 15 % du cycle de marche (CM). Après le début de la phase simple appui, le genou commence à s'étendre pour arriver à un angle de flexion entre 1° à 5°, à 40 % du CM. Puis, l'articulation commence à fléchir de nouveau entre 50 % et 60 % du CM. Cette action est réalisée par la poussée des orteils contre le sol pour initier la phase d'oscillation.

Au début de la phase d'oscillation, le genou fléchit d'environ 40°. La flexion du genou se poursuit jusqu'à arriver à l'amplitude maximale d'environ 60° qui se produit à 70% du CM. Enfin, l'articulation commence à s'étendre rapidement pour atteindre une extension maximale de 0° à 97 % du CM (Villalobos 2011; Perry 1992).

Mouvements de l'articulation du genou lors de la marche dans le plan frontal

Lafortune et coll. (1992) ont déterminé des variables cinématiques en 3D du genou en utilisant des tiges intra-corticales implantées dans le tibia et le fémur de cinq personnes saines à une vitesse de 1.2m/s. Les auteurs décrivent le patron d'adduction/abduction de la manière suivante : lors du contact initial, l'angle d'abduction est d'environ 1,2° qui reste sans variation angulaire durant les phases de mise en charge et de simple appui. Une récente étude de Bytyqi (Bytyqi et al. 2014) retrouve des résultats assez similaires sur 30 sujets sains avec l'alignement en varus qui ont été enregistrés avec le système de marqueurs au genou qui s'appelle KneeKG™. Ce système permet d'enregistrer les mouvements du genou avec une meilleure précision que si les marqueurs sont placés sur la peau. Il est décrit plus en détail dans la méthodologie. Ils montrent qu'au contact initial et tout au long du cycle de marche les sujets sont restés dans une position relativement neutre du tibia ($-0.4^\circ \pm 2,8$, $p < 0,05$) (Voir Figure 18B). Cependant, dans l'étude de Lafortune et coll. (1992), la phase de poussée (phase de double appui de propulsion ou pré-oscillation) a comme caractéristique un mouvement d'abduction, qui augmente durant la phase oscillante jusqu'à un maximum qui se situe autour de 6° (Lafortune et al. 1992) (Voir Figure 18A).

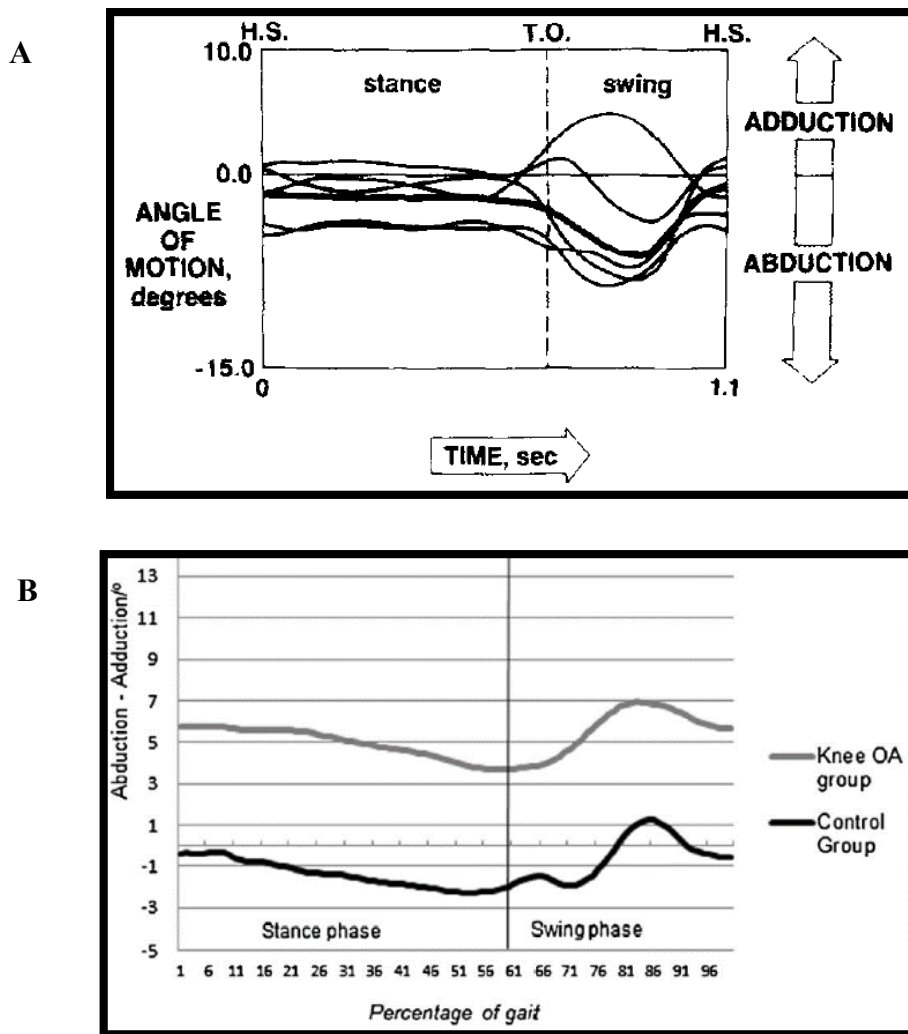


Figure 18. Mouvements de l'articulation du genou lors de la marche dans le plan frontal. Tirée de Lafortune (A) (1992) et de Bytyqi (B) (2014)

Une autre étude récente de Mezghani et coll. (2017) a présenté la cinématique du genou en 3D chez 100 sujets arthrosiques et 40 sujets asymptomatiques. Les auteurs ont remarqué que chez 31 sujets arthrosiques KL 1 (début d'arthrose, Voir stades radiologiques de l'arthrose pp.32), la moyenne d'abduction/adduction du genou au cours de la phase d'appui était de $1.83 \pm 1.43^\circ$. (Mezghani, Ouakrim, et al. 2017).

De plus, il est à noter que la cinématique dans le plan frontal est très variable d'un individu à l'autre, comme on peut le voir sur la figure 19 tirée de Mezghani et coll. (Mezghani et al. 2013) sur 202 sujets asymptotiques.

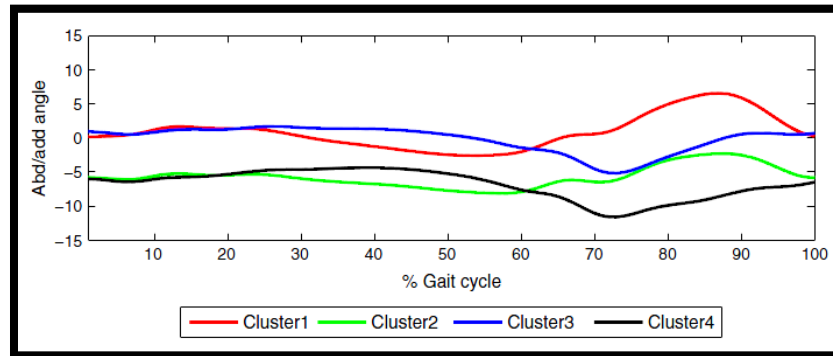


Figure 19. Mouvement de l'articulation dans le plan frontal divisé dans 4 groupes différents (N=202) qui montrent la variabilité entre les groupes. Tirée de Mezghani (2013)

Mouvements de l'articulation du genou lors de la marche dans le plan transversal

Toujours dans l'étude avec vis intracorticales de Lafortune et coll. (1992), le mouvement dans le plan transversal a été décrit comme suit : lors du contact initial et de la phase de poussée (phase de double appui de propulsion) le genou adopte une légère rotation tibiale interne d'une amplitude maximale de 5°. Durant la phase de simple appui, la rotation tibiale demeure en position neutre ou autour de 0°. La phase oscillante se caractérise par un mouvement de rotation externe du tibia d'un maximum de 9.4°. Ensuite, le genou bouge de nouveau en rotation interne et se prépare pour le prochain contact du pied avec le sol (Lafortune et al. 1992) (*Voir* Figure 20A). De la même manière, l'étude de Bytyqi (Bytyqi et al. 2014) conclut que pendant la phase d'appui, les sujets sains montrent une rotation interne de $-2 \pm 0,7^\circ$, puis la phase oscillante présente une rotation externe avec un pic à 86% du CM de 2.1° (*Voir* Figure 20B).

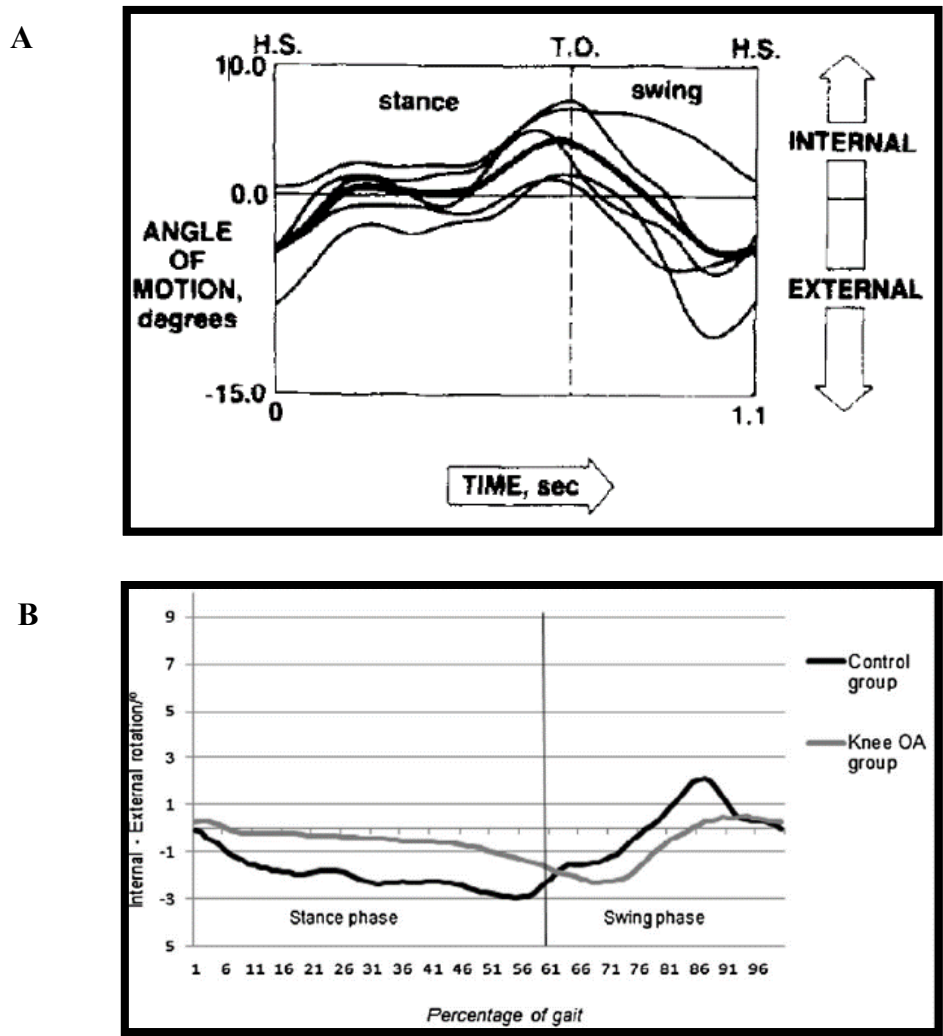


Figure 20. Mouvements de l'articulation du genou lors de la marche dans le plan transversal.
Tirée de Lafortune (A) (1992) et Bytyqi (B) (2014)

Les différences observées entre les études concernant la description de la cinématique du genou dans le plan frontal et transversal peuvent s'expliquer par les différentes méthodologies d'acquisition et de calibrage utilisées dans les études. Il faut également mentionner que ces mouvements de petites amplitudes sont difficiles à mesurer, à cause du mouvement relatif entre la peau et les os.

C'est la raison pour laquelle de plus en plus d'études utilisent des systèmes de fixation (comme le système KneeKG™ détaillé dans le chapitre 3: Méthodologie), des approches de compensations mathématiques (Bonci et al. 2015) ou encore des approches par imagerie

(Clément et al.). Selon le protocole, il en ressort des patrons de mouvements dans ces deux plans qui peuvent différer.

1.3.3. Cinématique tridimensionnelle de la cheville lors de la marche

L'analyse de la marche, au niveau de la cheville et du pied, ne peut pas séparer l'articulation tibio-tarsienne, sous-talienne et transverse du tarse comme des articulations indépendants du à la limitation à utiliser des marqueurs fixés sur la peau pour avoir une mesure précise du mouvement du talus (Brockett and Chapman 2016).

La figure 21 décrit la cinématique de la cheville dans les trois plans pendant la marche. Pendant la phase d'appui, le mouvement sagittal à la cheville est divisé en trois sous-phases : attaque au talon, pied à plat et décollage des orteils. L'attaque au talon commence au contact initial (talon au sol) où la cheville est en légère flexion plantaire pivotant autour du calcanéus jusqu'au pied à plat. Durant cette sous-phase, les muscles dorsiflexeurs se contractent excentriquement pour abaisser le pied vers le sol. La cheville se déplace donc de la flexion plantaire à la dorsiflexion pendant laquelle le tibia et la fibula tournent vers l'avant autour de la cheville, permettant une progression vers l'avant du corps. Durant la sous-phase de décollage des orteils, le calcanéus se soulève du sol, commence la flexion plantaire et continue jusqu'à la flexion plantaire maximale pour arriver à la phase oscillante (Brockett and Chapman 2016). Les fléchisseurs plantaires sont plus nombreux que les dorsiflexeurs, par la nécessité d'amener la propulsion du corps vers l'avant pendant la phase oscillante (Servant-Laval 2007) (*Voir* Figure 12).

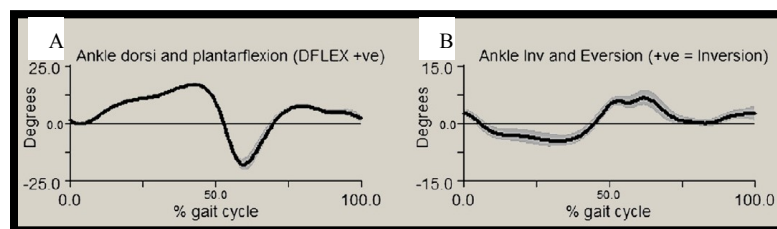


Figure 21. Mouvements de l'articulation de la cheville lors de la marche. A : dorsiflexion et flexion plantaire. B : Inversion et éversion. Tirée de Brockett (2016)

Pendant la phase oscillante, les muscles dorsiflexeurs permettent au pied de quitter le sol (pour éviter que la pointe du pied ne touche le sol et provoque une chute), avant de retourner à une légère flexion plantaire à la pose du talon au sol. Ce mouvement de flexion plantaire est complété simultanément par un mouvement d'éversion/inversion d'environ 15°. Pour la plupart des personnes, l'inversion se produit au contact initial et progresse vers l'éversion pendant la phase de simple appui, permettant au talon de se lever et de se propulser vers la phase oscillante (Brockett and Chapman 2016).

1.4. Gonarthrose

1.4.1. Définition générale

La gonarthrose est définie comme une atteinte dans les composantes de l'articulation du genou, plus spécifiquement caractérisée par une dégradation du cartilage articulaire, avec une hypertrophie de l'os (ostéophytes et sclérose osseuse sous-chondrale) et un épaississement de la capsule articulaire (Pereira et al. 2011). La douleur est le principal symptôme de cette affection (Henriksen, Aaboe, and Bliddal 2012) ce qui mène à une limitation fonctionnelle importante chez les patients gonarthrosiques (Rutherford 2011).

1.4.2. Critères de diagnostic

En juin 2017, l'Alliance de l'arthrite du Canada, le *Centre for Effective Practice* et le Collège des médecins de famille du Canada ont élaboré un outil qui aide les cliniciens à identifier les symptômes de l'arthrose du genou (Alleyne 2017). Aussi, cet outil a été créé en raison de la hausse du taux d'arthrose, de l'augmentation des blessures au genou et de l'allongement de l'espérance de vie (Alleyne 2017).







La question de départ à poser est de confirmer la présence de douleur au genou, ensuite de décrire le type de douleur et si celle-ci limite les activités de la vie quotidienne. Suit alors un examen physique qui inclue une palpation de l'interligne articulaire à la recherche de sensibilité ou de gonflement, ainsi que la vérification de la présence de limitations fonctionnelles, l'estimation de la force et de l'amplitude articulaire au genou (Alleyne 2017). Même si

l'évaluation clinique permet de faire le diagnostic d'arthrose, le diagnostic fait par radiographie est plus fiable (Pereira et al. 2011).

1.4.3. Classification des types d'arthrose

L'outil canadien d'arthrose, mentionné ci-dessus, classe l'évaluation du stade clinique dans trois catégories : précoce, modéré et avancé (Alleyne 2017). (Voir Tableau I)

Tableau I. Classification des types de gonarthrose selon le stade clinique : (A) douleur, (B) fonction et force, et (C) amplitude articulaire. Reproduit et adapté avec la permission d'Alleyne (2017)

| | | |
|---|---|---|
| A Précoce | Caractérisée par une douleur prévisible occasionnelle aiguë ou autre, habituellement causée par un déclencheur (activité, répétition, sport) qui limite éventuellement l'activité excessive ou à grand impact, mais qui se répercute relativement peu sur les activités quotidiennes. | |
| Modéré | Douleur prévisible de plus en plus associée au verrouillage ou à la flexion (genoux) imprévisible ou à d'autres symptômes articulaires. La douleur est de plus en plus constante, et commence à se répercuter sur les activités quotidiennes, comme la marche et les escaliers. | |
| Avancé | Douleur sourde constante ponctuée de brefs épisodes de douleur intense imprévisible. Ce cycle de douleur intermittente, intense et souvent imprévisible au genou ou à la hanche pousse le patient à éviter les activités, y compris les activités sociales et récréatives. | |
| Fonction et force: Test du lever de chaise ⁷ | | |
| B  |  |  |
| <input type="checkbox"/> Précoce: Capable de faire plus de 15 répétitions en 30 secondes | <input type="checkbox"/> Modéré: Capable de faire une à trois répétitions en 30 secondes | <input type="checkbox"/> Avancé: Incapable de faire une répétition avec fonction neurologique et cardiaque normale |
| Flexion du genou La flexion du genou peut s'évaluer en position assise, debout ou couchée. La douleur à la rotule est le mieux évaluée par quart de flexion en position debout | | |
| C  |  |  |
| <input type="checkbox"/> Précoce: > 115 degrés | <input type="checkbox"/> Modéré: > 90-115 degrés | <input type="checkbox"/> Avancé: < 90 degrés |

1.5. Les outils cliniques pour le diagnostic de la gonarthrose

La gonarthrose est diagnostiquée par différents professionnels de santé tels que les omnipraticiens, les médecins sportifs, les rhumatologues, les chirurgiens orthopédistes, les physiatres, ainsi que par les physiothérapeutes qui donnent un diagnostic fonctionnel et qui font la réadaptation chez les gonarthrosiques.

Cette section présente en détail l'évaluation clinique faite par les professionnels de la santé et les stades radiologiques utilisés comme référence pour classifier la sévérité de l'arthrose du genou.

1.5.1. Évaluation clinique du genou

L'Association québécoise de médecins du sport (AQMS) présente une fiche d'évaluation clinique du genou ce qui comprend deux parties complémentaires: une anamnèse et un examen physique. La première partie est axée sur les symptômes douloureux du genou, leurs caractéristiques (nature, durée, évolution, localisation, intensité) et la répercussion sur l'activité physique (AQMS 1997).

Puis, la deuxième partie est un examen physique concentré sur le genou qui est divisé en 5 étapes (AQMS 1997) :

1. À l'inspection : vérifier la présence de difformités en valgus ou varus, hyperflexion ou hyperextension du genou, d'atrophie du quadriceps, de rougeur, de gonflement.
2. À la palpation : examiner la présence de chaleur, de sensibilité dans l'interligne articulaire médial/latéral, d'épanchement articulaire.
3. Amplitude articulaire : mesurer l'amplitude de mouvement de flexion/extension du genou et déterminer la présence de limitation articulaire.

4. Force musculaire : déterminer le degré de force musculaire des deux membres inférieurs (de façon comparative) sur une échelle de 0 à 5 où 0 = aucune contraction et 5= force musculaire normale.
5. Tests spécifiques : évaluer la présence de crépitements rotulien (Rabot), d'instabilité articulaire (stress valgus/varus pour les ligaments collatéraux et Tiroir antérieur/postérieur pour les LCA/LCP).

S'il est possible, demander au patient de marcher afin de vérifier la présence de boiterie ou de compensation.

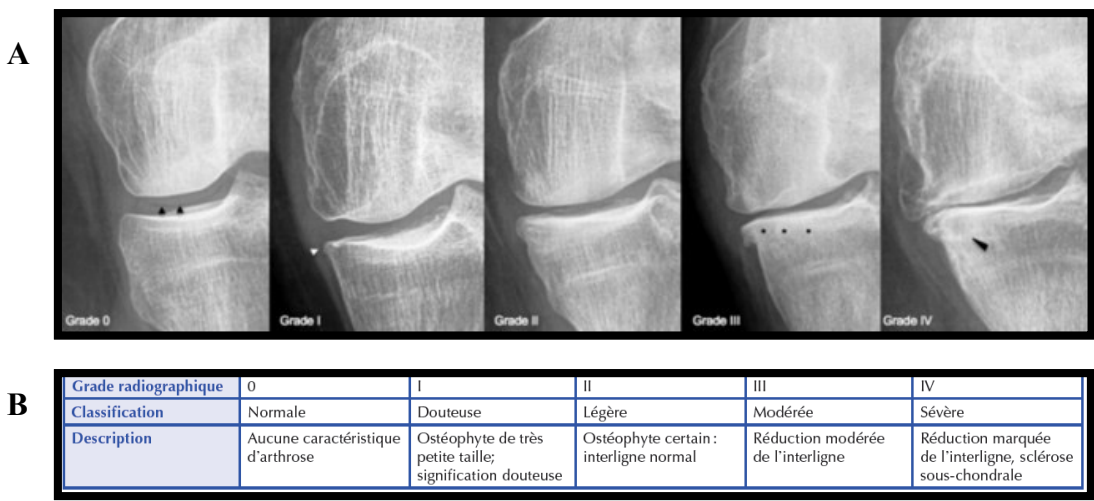
Cette évaluation clinique aide à déterminer le stade clinique de la gonarthrose et à orienter la prise en charge (Alleyne 2017).

1.5.2. Stades radiologiques d'arthrose selon Kellgren et Lawrence (KL)

Le présent travail vise l'étude de sujets atteints d'arthrose fémoro-patellaire. Néanmoins, ces sujets présentent tous une arthrose fémoro-tibiale. Afin de classer les sujets en niveau de gravité de leur pathologie, il est nécessaire de considérer le système de gradation proposé par Kellgren-Lawrence en 1957 (H. and Lawrence 1957). À notre connaissance, il n'existe pas de système de gradation de l'atteinte fémoro-patellaire selon des critères radiologiques.

Les stades radiologiques d'arthrose fémoro-tibiale sont illustrés dans le Tableau II Le diagnostic radiographique d'arthrose du genou permet d'établir des grades de sévérité allant de 2 à 4, le grade 0 étant l'absence de signes arthrosiques et le grade 1 correspondant à des signes douteux (Pereira et al. 2011).

Tableau II. Classification de Kellgren et Lawrence de l'arthrose du genou. (A) Stades radiologiques, cette illustration est tirée de <https://clemedicine.com/1-arthrose/> (B) Description des grades radiographiques, reproduit et adapté avec la permission d'Alleyn (2017)



1.6. Douleur arthrosique

La douleur arthrosique représente 20% des douleurs chroniques et son augmentation est directement liée à l'âge et à l'obésité (Perrot 2016). Cette section aborde une description de la physiopathologie de la douleur arthrosique ainsi que l'échelle de la douleur comme outil de mesure.

1.6.1. Physiopathologie de la douleur arthrosique

La douleur est le principal symptôme de l'arthrose et sa physiopathologie implique des mécanismes périphériques et centraux. Le signal de douleur ou nociception commence au niveau des terminaisons libres axonales situées dans la synovie, le périoste, et les tendons. Il faut remarquer qu'il n'y a pas de terminaisons libres au niveau du cartilage, c.à.d. l'endommagement cartilagineux ne donne pas de douleur. Le message nociceptif est véhiculé par des neuromédiateurs, des facteurs de régulation NGF (facteur de croissance des nerfs), et des modificateurs centraux des voies de la douleur (Perrot 2016).

La douleur arthrosique peut être constante ou intermittente. Sa perception est influencée par des facteurs psychologiques, environnementaux, ou constitutionnels (Perrot 2016).

1.6.2. Les échelles de la douleur

L'intensité de la douleur peut se mesurer avec des échelles d'auto-évaluation verbale, visuelle analogique ou numérique. Les trois échelles sont faciles à administrer, sensibles, fiables et validées dans les situations de douleur aiguë et chronique (Korff, Jensen, and Karoly 2000).

L'échelle verbale simple (EVS) est une échelle catégorielle qui se présente sous forme écrite ou orale. L'EVS comprend des adjectifs qui reflètent les gradations d'intensité de la douleur qui peuvent être ressenties par le patient. Dans sa forme orale, le patient choisit parmi une liste d'adjectifs lequel qualifie le mieux l'intensité de sa douleur. Dans sa forme écrite, le patient est invité à lire la liste des adjectifs et à sélectionner le mot ou l'expression qui décrit le mieux le niveau de sa douleur sur l'échelle. L'EVS est moins sensible et moins précise que l'échelle visuelle analogique. De plus, il n'y a pas de consensus sur le nombre d'adjectifs à proposer (4 ou 5) pour décrire l'intensité de la douleur, ce qui rend plus difficile les comparaisons entre études (Korff, Jensen, and Karoly 2000).

L'échelle visuelle analogique (EVA) a la forme d'une règle de 10 cm graduée en mm, où son extrémité à gauche représente « absence de douleur » tandis que son extrémité à droite « douleur maximale imaginable ». Le patient est invité à indiquer quel point le long de la ligne représente le mieux l'intensité de sa douleur. Cette échelle est considérée comme ayant 101 niveaux de réponse. Ce nombre élevé de réponses rend l'EVA potentiellement plus sensible aux changements de l'intensité de la douleur que les mesures avec un nombre limité de catégories de réponses tel que l'EVS. Le désavantage d'EVA est le temps supplémentaire dans la notation de la version papier-crayon (Korff, Jensen, and Karoly 2000).

L'échelle numérique (EN) a l'avantage sur l'EVA de pouvoir s'utiliser sous deux formes : écrite ou orale. Dans sa forme orale, la douleur se quantifie sur une échelle virtuelle allant de 0 « aucune douleur » et 10 « pire douleur possible », où le patient est invité à indiquer le numéro

qui représente le mieux l'intensité de sa douleur. Dans sa forme écrite, l'EN comprend 11 chiffres, où 0 correspond à « aucune douleur », et 10 est la « pire douleur possible » et le patient doit entourer le numéro qui représente le mieux l'intensité de sa douleur. Cette échelle a de nombreux avantages comme sa facilité, sa simplicité et sa rapidité (Dworkin et al. 2008; Korff, Jensen, and Karoly 2000)

Il est important de noter que le dommage articulaire ou la progression de la pathologie n'est pas corrélé à l'intensité de la douleur arthrosique (Perrot 2016).

1.7. Biomécanique à la marche et douleur

Selon notre connaissance, seulement quatre études ont cherché à vérifier l'effet de la suppression de la douleur sur la biomécanique articulaire (Henriksen, Simonsen, Graven-Nielsen, et al. 2006; Shrader et al. 2004; Skwara et al. 2009; Boyer, Andiracchi, and Andriacchi 2013).

La première étude de Henriksen et coll. (2006) montre l'effet biomécanique après l'injection d'un anesthésique local de 10 cc de Xylocaïne 1% dans la bourse suprapatellaire du genou chez 9 patients arthrosiques avec une atteinte unilatérale dans le compartiment fémoro-tibial interne. Les auteurs ont observé des changements dans la cinématique de la hanche, du genou et de la cheville à l'instant du contact du talon au sol et ce, uniquement dans le plan sagittal. Ces changements sont représentés par une augmentation significative de l'extension du genou de $8,4 \pm 4,3^\circ$ à $4,0 \pm 5,0^\circ$ ($p < 0.01$) après l'injection. Tous les sujets ont marché avec une vitesse de 4 km/h (~ 1.1 m/s) sur deux plateformes de forces, avec 15 marqueurs réfléchissant collés sur la peau et leurs pieds nus. Ces mêmes auteurs ont également démontré une diminution significative de la douleur après l'injection en utilisant l'échelle visuelle analogique ($p = 0.005$) (Henriksen, Simonsen, Graven-Nielsen, et al. 2006).

La seconde étude de Shrader et coll. (2004) montre l'effet biomécanique après l'injection d'une combinaison d'un anesthésique additionné de deux anti-inflammatoires de courte et longue durée d'action (3 cc de procaïne 1%, 20 mg de triamcinolone, 1 mg de dexaméthasone) dans le

genou chez 19 patients arthrosiques atteints au compartiment fémoro-tibial interne. Les auteurs n'ont observé aucun changement significatif pendant la marche dans les trois plans anatomiques pour les angles de flexion/extension, abduction/adduction, et rotation interne/externe de la hanche, du genou et de la cheville. Tous les sujets ont marché sur un couloir de 9.5m à leur vitesse naturelle en portant 6 diodes électroluminescentes à lumière infrarouge. Néanmoins le niveau de douleur après l'injection intra-articulaire n'a malheureusement pas été mesuré dans cette étude (Shrader et al. 2004).

La troisième étude randomisée en double aveugle prospective de Skwara et coll. (2009) portait sur 35 patients gonarthrosiques de grade KL II et III, atteints au compartiment fémoro-tibial interne. Deux groupes ont été identifiés par les auteurs. Le premier groupe était formé de 15 patients qui ont reçu un traitement de 5 injections intra-articulaires composés d'un anti inflammatoire de longue durée d'action (10 mg de triamcinolone) une fois par semaine. Le deuxième groupe était formé de 20 patients qui ont reçu de la même façon un traitement de 5 injections intra-articulaire de hyaluronan (hyaluronate de sodium 1% 20mg/2ml) une fois par semaine. Le suivi a été fait sur une période de 16 à 18 semaines avec chaque patient. La première évaluation a été faite avant la première injection et la dernière 12 semaines après la dernière injection. Les auteurs ont montré qu'après l'injection, il n'y avait pas de différence significative dans les deux groupes dans les amplitudes articulaires du genou dans le plan sagittal lors de la marche. Tous les patients ont marché sur deux plateformes de forces en portant des marqueurs réfléchissant collés sur la peau. Ces mêmes auteurs ont également démontré une diminution significative de la douleur après l'injection en utilisant l'EVA ($p=0.001$) (Skwara et al. 2009).

La quatrième étude croisée et double aveugle de Boyer et coll. (2013) portait sur l'évaluation de l'effet sur la cinématique tridimensionnelle du genou de deux médicaments pouvant influencer le niveau de la douleur, soit un anti-inflammatoire (Celecoxib) et un analgésique opioïde (Oxycodone HCL) en comparaison à un placebo chez 6 participants gonarthrosiques atteints du compartiment fémoro-tibial interne de grade KL 2 et 3 (Boyer, Andiracchi, and Andriacchi 2013). Cette étude a montré qu'après 15 jours de traitement oral, l'anti-inflammatoire a eu comme conséquence d'augmenter la rotation interne du genou dans le plan transversal lors de l'utilisation de Celecoxib, alors que ce n'était pas le cas pour l'opioïde

($p=0.04$). Cette rotation interne augmentée a été associée dans le passé à la progression accélérée de l'arthrose (Andriacchi et al. 2006; Andriacchi, Koo, and Scanlan 2009). Par ailleurs d'autres études ont démontré aussi que certaines interventions pharmacologiques augmentaient la mise en charge au genou (Schnitzer et coll., 1993 (N=18); Clausen et coll., 2014 (N=100); Henriksen et coll., 2006 (N=9)) et pouvaient avoir des conséquences potentiellement néfastes sur la progression de la maladie.

Chapitre 2. Problématique et Objectifs

2.1. Problématique

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) estime qu'environ 10% à 15% de la population adulte de plus de 60 ans souffre d'un certain degré d'arthrose, avec une prévalence plus élevée chez les femmes que chez les hommes (Woolf and B. 2003). La prévalence de l'arthrose chez les canadiens de 20 ans et plus était de 13 % en 2011 (Public Health Agency of Canada 2017) donc environ 3 714 000 personnes . L'arthrose du genou compte pour 29,4% des cas d'arthrose, cependant celle-ci varie selon le groupe d'âge. Chez les 20 à 49 ans 13% des personnes sont touchées, comparativement à 48,7 % chez les 65 ans et plus (Statistique Canada 2014). Les perspectives démographiques nous indiquent que ces chiffres ne feront qu'augmenter avec les années et le fardeau qui s'en suit au plan humain et économique ne fera que s'alourdir. À cet effet, une étude récente de Sharif et coll. (2017), montre que le coût lié à la perte de productivité dû à l'arthrose d'ici 2031 pour l'économie canadienne sera d'environ 17,5 milliards de dollars par année (Sharif et al. 2017).

Compte tenu de l'ampleur du problème et du fait que les options thérapeutiques efficaces restent très limitées pour l'arthrose, la Ligue européenne contre le rhumatisme (EULAR) a créé un comité ad hoc composé de chercheurs, de cliniciens et de patients afin d'identifier les priorités de recherche dans les domaines de l'épidémiologie, de la pathogenèse, de l'imagerie, des biomarqueurs et des traitements (Conaghan et al. 2014). Le comité a identifié des besoins spécifiques de recherche dans ces domaines et a statué qu'il était urgent de développer de nouvelles stratégies de traitement, incluant une meilleure prise en charge de la douleur. Cependant, les moyens à notre disposition pour mesurer la douleur et l'impact des traitements demeurent essentiellement subjectifs. Un groupe d'experts mondiaux dans le domaine de l'évaluation de la douleur—le Groupe IMMPACT (*Initiatives on Methods, Measurement, and Pain Assessment in Clinical Trials*) conclut que la meilleure méthode pour mesurer la douleur est actuellement l'auto-évaluation (Dworkin et al. 2005, 2008). Des années de recherche dans

ce domaine ont permis de développer des mesures de la douleur qui sont reconnues comme étant scientifiquement valables, fiables et reproductibles. Parmi ces mesures, se retrouvent l'échelle numérique (EN) d'intensité de douleur. Toutefois, maintenir que l'auto-évaluation est la « meilleure » procédure pour mesurer la douleur ne veut pas dire qu'elle est « parfaite », les mesures utilisées demeurant subjectives et sujettes à certains biais incontrôlables susceptibles d'accroître l'erreur de mesure.

Dans le but de la prise en charge de la douleur du genou arthrosique, certains médicaments réducteurs de celle-ci, tel que l'hyaluronate de sodium (16 à 18 semaines après le traitement) pourrait permettre une amélioration de la fonction du genou (Skwara et al. 2009). D'autres médicaments réduisant la douleur pourraient, au contraire, avoir un effet délétère—c.à.d. aggraver les causes biomécaniques de la maladie et donc favoriser une progression accélérée de l'arthrose chez ces patients, tels que le suggèrent différentes études de Shrader et coll. (2004), Henriksen et coll. (2006), Boyer et coll. (2013), Andriacchi et coll. (2006,2009), Schnitzer et coll. (1993), et Clausen et coll. (2014) mentionnées ci-dessus dans le chapitre 2 :2.7 (Boyer, Andriacchi, and Andriacchi 2013; Andriacchi et al. 2006; Andriacchi, Koo, and Scanlan 2009; Schnitzer et al. 1993; Clausen et al. 2014; Henriksen, Simonsen, Graven-Nielsen, et al. 2006; Henriksen, Simonsen, Alkjaer, et al. 2006; Shrader et al. 2004).

Ces travaux suggèrent que la suppression de la douleur peut avoir un impact sur la biomécanique articulaire et que cet impact pourrait dépendre du type d'agents pharmacologiques. Par contre, aucune ne permet de répondre à la question à savoir si la suppression de la douleur a un impact immédiat sur la biomécanique 3D du genou et de la cheville. Clausen et coll. (2014), Skwara et coll. (2009), et Henriksen et coll. (2006) ont utilisés des capteurs de mouvements collés sur la peau et ceux-ci sont très affectés par les mouvements artéfacts de la peau par rapport aux os, ce qui limite les conclusions sur les changements dans les plans frontal et transversal (Clausen et al. 2014; Skwara et al. 2009; Henriksen, Simonsen, Graven-Nielsen, et al. 2006). Henriksen et coll. (2006) ont analysé la biomécanique du genou seulement dans un seul plan (sagittal). Shrader et coll. (2004) ont analysé la cinématique du genou et de la cheville dans les trois plans mais la douleur n'a pas été mesurée dans cette étude.

2.2. Objectifs

2.2.1. Objectif principal

L'objectif principal de ce projet est de vérifier si la suppression de la douleur a un effet immédiat sur la biomécanique tridimensionnelle (3D) du genou et de la cheville lors de la marche.

2.2.2. Objectifs spécifiques

De cet objectif principal découlent deux objectifs secondaires.

- 1) Identifier en 3D les changements de la cinématique angulaire du genou pathologique arthrosique, de façon quantitative et qualitative, suite à une réduction de la douleur induite par une injection intra-articulaire d'anesthésique local, lors de la marche sur tapis roulant.
- 2) Identifier en 3D les changements de la cinématique angulaire de la cheville du membre inférieur étudié, de façon quantitative et qualitative, après une réduction de la douleur au genou, lors de la marche sur tapis roulant.

Les résultats de cette étude pilote permettront de vérifier si la méthode proposée permet de donner une mesure objective des changements biomécaniques après la suppression de la douleur.

2.3. Hypothèses

L'hypothèse principale de ce projet est que la réduction de la douleur, telle que ressentie par le patient, aurait un effet quantifiable immédiat sur la biomécanique articulaire. Cette suppression de la douleur produirait des modifications dans la biomécanique 3D du genou et de la cheville lors de la marche sur le tapis roulant.

Plus spécifiquement, on s'attend à ce que la réduction de la douleur produise une marche plus naturelle avec une réduction du flexum, une diminution de l'adduction et diminution de la rotation interne au genou.

À la cheville, on s'attend à moins de dorsiflexion et un mouvement plus en éversion et en abduction après réduction de la douleur.

On peut par ailleurs s'attendre à ce que les changements cinématiques (quantitatives et qualitatifs) ne seront pas identiques chez tous les sujets.

Chapitre 3. Méthodologie

3.1. Protocole d'acquisition

Le protocole d'acquisition a été élaboré auparavant et dûment approuvé par deux comités d'éthique : par l'École de technologie supérieure (ÉTS) No. Projet au CÉR-ÉTS : H20151101, et par le Centre hospitalier de l'Université de Montréal (CHUM) No. Projet au CÉR-CHUM 16.001.

Avant les séances d'expérimentation avec des participants pathologiques, le protocole a été testé avec de 7 sujets sains (sans gonarthrose) au laboratoire afin de s'assurer de la faisabilité et de la durée de la séance. Il est à noter que le protocole prévoyait également la mesure des activités électromyographiques. Mais l'analyse de ces données ne fait pas l'objet de ce mémoire.

3.1.1. Participants

Au total, 9 participants adultes souffrant d'arthrose fémoro-patellaire, avec ou sans atteinte d'arthrose fémoro-tibiale ont participé à l'étude. Les participants devaient avoir une douleur supérieure à 3/10 sur une échelle numérique. Les participants intéressés à faire partie de l'étude et ayant les critères d'inclusion ont signé un formulaire de consentement de façon libre et éclairé.

3.1.1.1. Recrutement

Les participants ont été recrutés selon différents moyens.

- Recrutement au Centre du genou de Laval-EMOVI et à la clinique de médecine sportive de Laval : dans un premier temps, le médecin responsable a identifié des participants potentiellement éligibles à l'étude et a communiqué avec eux (oralement ou par écrit) afin de leur faire part des grandes lignes de l'étude et pour recueillir leur consentement à ce que la responsable du projet entre en contact avec eux.
- Recrutement via le projet Mon Arthrose

- Recrutement par affiches placées au CHUM et diffusées sur l'intranet du CHUM-CRCHUM.

Dans les 3 voies de recrutement, un questionnaire d'appel téléphonique (*Voir Annexe 1 pp.i*) a été utilisé pour vérifier les critères d'inclusion et d'exclusion.

3.1.1.2. Critères d'inclusion et d'exclusion

Critères d'inclusion

- Être âgé ≥ 18 ans.
- Souffrir d'arthrose fémoro-patellaire douloureuse avec ou sans atteinte d'arthrose fémoro-tibiale uni ou bilatérale.
- Avoir une intensité de douleur arthrosique lors de tâche(s) de la vie quotidienne (accroupissement, descente d'escaliers et/ou marche en pente descendante) supérieure ou égale à 3/10 sur une échelle numérique (EN) et ce, depuis au moins 3 mois pour un ou deux genoux.
- Déclarer être capable de marcher sur un tapis roulant sans canne ou autre aide technique à la marche, et pouvoir descendre des marches d'escalier.
- Accepter de ne prendre aucun médicament analgésique dans les 24 heures précédant le rendez-vous au LIO.
- Être capable de comprendre, lire et compléter des questionnaires en français ou en anglais.

Critères d'exclusion

- Souffrir de synovite ou avoir le genou sévèrement enflé.
- Douleur chronique aux membres inférieurs tels que radiculopathie, neuropathie, ou myopathie
- Présenter un trouble cognitif ou psychiatrique empêchant de fournir un consentement éclairé à l'étude.
- Avoir reçu une injection de cortisone intra-articulaire, de glucocorticostéroïdes systémiques ou d'acide hyaluronique dans les trois mois précédant l'expérimentation.

- Réactions de type allergique aux anesthésiques locaux.
- Être atteint d'une maladie de la peau ou d'une infection active dans la zone du site de l'injection.
- Avoir un état inflammatoire systémique actif ou par infection.
- Les femmes enceintes, allaitant ou en âge de procréer et qui ne pratiquent pas une contraception adéquate.

3.1.2. Instrumentation

3.1.2.1. Système KneeKG™

Lors de la marche, une analyse biomécanique quantitative du genou a été réalisée grâce à un système d'attache au genou : le KneeKG™ illustré dans la Figure 22. Ce dernier permet de minimiser les mouvements des tissus mous (Lustig et al. 2012; Gaudreault et al. 2011; Hagemeister et al. 2005; Sudhoff et al. 2007). Ce système non invasif présente une partie fémorale fixée au-dessus des condyles fémoraux et une partie tibiale pour laquelle une plaque est placée sur le bord médial du tibia (Gaudreault et al. 2011). Chacune de ces parties est munie d'un corps rigide qui est conçu pour recevoir des marqueurs optoélectroniques.

La fiabilité de mesure du système du KneeKG™ a été évaluée par Labbe et coll. (2008). Ces auteurs ont trouvé une reproductibilité moyenne inter- et intra observateurs avec des coefficients de corrélation intraclass entre 0.94, 0.88 et 0.92 pour l'abduction/adduction du tibia, la rotation tibiale interne/externe, et la flexion/extension du genou. De plus, jusqu'à 65° de flexion du genou, le système possède une précision moyenne de 0.4° en abduction/adduction, 2.3° en rotation axiale, 2.4 mm en translation anteropostérieure et 1.1mm en translation axiale (Lustig et al. 2012). Une autre étude (Hagemeister et al. 2005) a montré que la reproductibilité moyenne du calibrage variait entre 0,4° et 0,8° pour les angles de rotation et entre 0.8 et 2.2 mm pour la translation.



Figure 22. Le KneeKG™
Tirée de Lustig (2012)

3.1.2.2 Tapis roulant instrumenté

Un tapis roulant instrumenté de deux plateformes de forces AMTI (*Advanced Mechanical Technology, Inc.*, Watertown, MA, USA) fonctionnant à 2 kHz a été utilisé pour l'expérimentation. Les données provenant des plateformes de force ont été utilisées dans le cadre de ce mémoire uniquement pour permettre de découper les cycles de marche. Un seuil de 2% du poids du corps a été utilisé pour détecter l'instant de l'attaque du talon.

3.1.2.3. Marqueurs au genou et au pied

Les marqueurs au genou sont ceux apposés sur le harnais du KneeKG™. Ils sont au nombre de trois marqueurs fixés sur un corps rigide au niveau du tibia et au niveau du fémur pour un total de six marqueurs.

Six autres marqueurs ont été apposés à la surface de chaque pied. Ils ont été collés sur la peau au-dessus de repères anatomiques osseux (calcaneus, naviculaire, tête du deuxième et du

cinquième métatarse, malléoles médial et latéral). La position 3D de chacun de ces marqueurs est captée par le système VICON de 12 caméras à une fréquence d'échantillonnage de 200 Hz. Pour pouvoir faire une analyse de la biomécanique du genou et de la cheville, il est nécessaire de définir des systèmes d'axes sur chacun des segments considérés, tel que décrit dans la section suivante.

3.1.3. Système d'axes

3.1.3.1 Système d'axes du Genou

Dans le but d'obtenir les rotations du genou dans les trois plans (flexion/extension; ab/adduction et rotation tibiale interne/externe), nous avons utilisé la méthode "fonctionnelle et posturale" développée par Hagemester et coll. (2005). Cette méthode de calibration permet de combiner les centres articulaires de la hanche, du genou et de la cheville et de construire un système d'axes autour desquels s'effectuent les rotations de la manière suivante :

1. À l'aide d'un pointeur, les repères anatomiques suivants ont été respectivement identifiés : l'épicondyle médial/latéral du fémur ainsi que la malléole médiale/latérale du tibia Le centre de la cheville est déterminé par le point milieu entre les deux malléoles. (*Voir Figure 23A*)
2. Un mouvement de circumduction a été effectué au niveau de la hanche ipsilatérale pendant une durée de cinq secondes, ce qui permet d'estimer le centre de la tête fémorale. (*Voir Figure 23B*)
3. Un mouvement de flexion-extension du genou (de 0° à 60°) a été effectué afin de déterminer un axe de rotation moyen du genou. La projection des deux épicondyles identifiés en 2 (ci-dessus) sur cet axe nous permet de déterminer un point milieu qui définit le centre fonctionnel du genou. (*Voir Figure 23C*)
4. Un mouvement de flexion-extension du genou (autour de la valeur de 0°) a été effectué afin de déterminer l'alignement fonctionnel dans le plan sagittal. Pendant cet enregistrement, les pieds sont placés dans un gabarit qui permet de standardiser leur alignement (*Voir Figure 23D*). Lorsque l'angle de flexion est le plus proche de 0°, on détermine l'axe longitudinal du fémur qui relie le centre de la hanche avec le centre du

genou. De même, on détermine l'axe du tibia par une ligne qui relie le centre du genou avec le centre de la cheville. Par double produit vectoriel, on fixe alors l'axe antéro-postérieur. Ainsi, la rotation tibiale est fixée à 0° en extension complète. (Voir Figure 24)

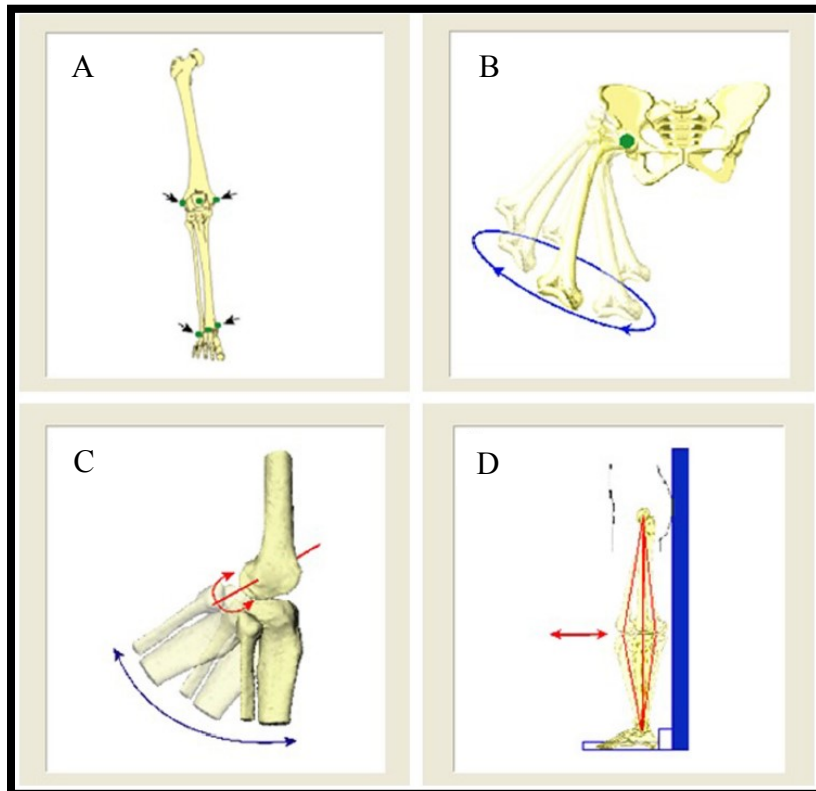


Figure 23. Calibration A. Localisation des repères anatomiques. Détermination du centre B: de la hanche, C: du genou. D: Alignement fonctionnel du plan sagittal. Reproduite et adaptée de Bytqi (2014)

5. L'axe de flexion/extension du genou coïncide avec l'axe médio-latéral (X) du fémur. Il détermine les mouvements de flexion/extension du genou. Cet axe est positif vers la gauche du sujet (sens latéral pour le genou à gauche et sens médial pour le genou à droite). Le plan de mouvement est le plan sagittal (Voir Figure 24)
6. L'axe de rotation tibiale interne/externe coïncide avec l'axe proximo-distal (Z) du tibia, et pointe vers le bas. Le plan de mouvement est le plan transversal.

7. L'axe d'abduction/adduction est un axe flottant, défini par le produit vectoriel des axes de flexion/extension et de rotation tibiale interne/externe. Cet axe est positif dans le sens antérieur. Le plan de mouvement est le plan frontal. (Voir Figure 24)

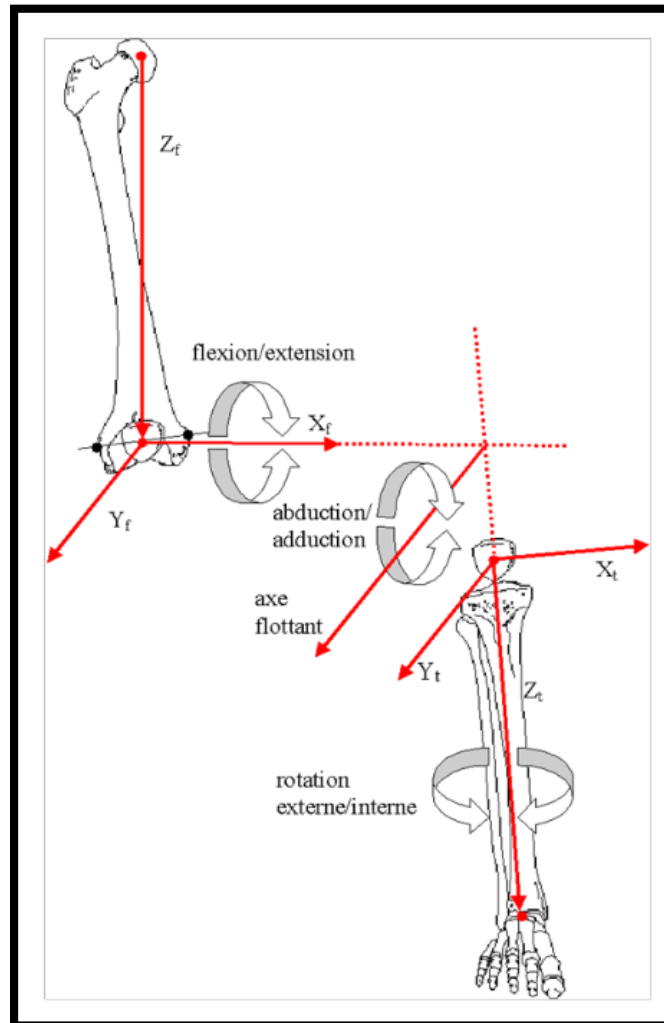


Figure 24. Systèmes de coordonnées, Z: axe longitudinal, Y: axe antéro-postérieur, X: axe médio-latéral. Tirée de Boivin (2010, p.133)

3.1.3.2 Système d'axes de la cheville

Pour la cheville, on utilise le système de coordonnées proposé par l'ISB (*International Society of Biomechanics*) (Wu et al. 2002). Il est important de remarquer que la convention au LIO pour les axes XYZ ne sont pas exactement la même que celle de l'ISB.

La Figure 25 présente deux systèmes de coordonnées pour le Tibia/fibula et le Calcaneus :

- L'axe de dorsiflexion/flexion plantaire est le vecteur qui relie les points malléole médiale et malléole latérale et pointe vers la gauche. Le plan de mouvement est le plan sagittal.
- L'axe de rotation interne/externe (adduction/abduction pour notre projet) est le vecteur qui coïncide avec l'axe du tibia (Z) et pointe vers le bas. Le plan de mouvement est le plan transversal.
- L'axe d'éversion/inversion est un axe flottant, perpendiculaire à l'axe de dorsiflexion/flexion plantaire et à l'axe de rotation interne/externe et pointe vers l'avant du pied. Le plan de mouvement est le plan frontal.

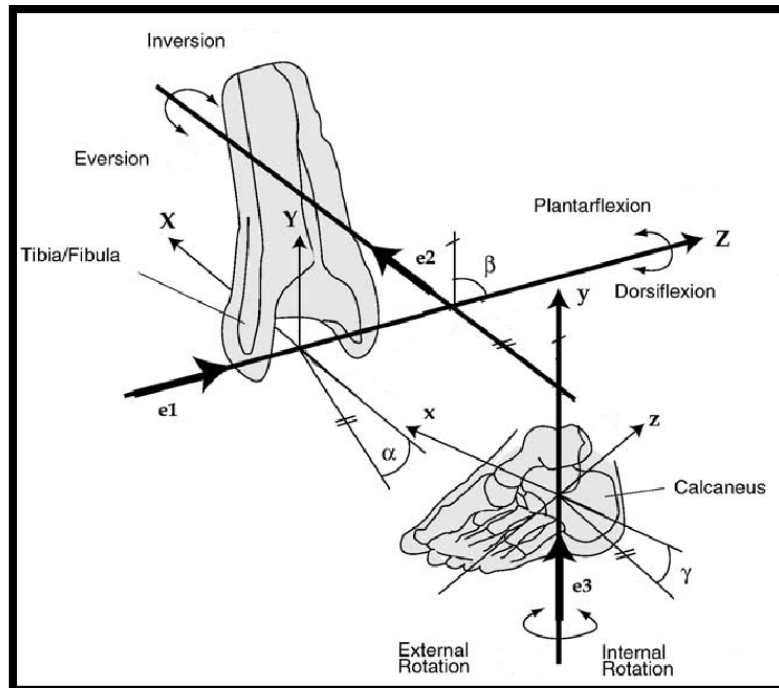


Figure 25. Système de coordonnées du Tibia/fibula et le Calcaneus à droite et les mouvements selon les trois plans. Reproduite et adaptée de Wu (2002)

La Figure 25 montre aussi les mouvements au pied dans les trois plans de l'*International Society of Biomechanics* (ISB). Pour plus de clarté, nous décrivons plus bas la correspondance entre les axes tibia (XYZ) et du calcaneus (xyz) de la Figure 25 avec les axes e1, e2 et e3 de la convention de l'ISB :

e_1 : l'axe fixé au tibia qui passe entre les deux malléoles et qui coïncide avec l'axe Z (axe médio-latéral). Les mouvements de dorsiflexion et flexion plantaire sont produits autour de cet axe.

e_3 : l'axe fixé au calcaneus et qui coïncide avec l'axe y (axe longitudinal Y en position neutre du tibia). Les mouvements de rotation interne et externe au niveau de la cheville ou d'abduction et d'adduction au niveau du pied sont définis autour cet axe (Doya et al. 2010). Dans le présent projet, nous considérons les mouvements d'abduction et d'adduction du pied au lieu de rotation interne et externe de la cheville.

e_2 : c'est un axe flottant (axe antéro-postérieur X) qui est perpendiculaire à e_1 et e_3 . C'est autour de cet axe que sont produits les mouvements d'inversion et d'éversion du pied. Dans notre projet, on calcule l'amplitude articulaire des mouvements d'inversion et d'éversion en regardant le pied comme un seul segment (l'avant-pied et l'arrière-pied).

3.1.4. Déroulement général de l'expérimentation

3.1.4.1. Déroulement de l'expérimentation

L'ensemble des manipulations se sont déroulées au laboratoire de biomécanique du Laboratoire de recherche en Imagerie et Orthopédie (LIO) situé au Centre de recherche du CHUM à Montréal (*Voir* Tableau III).

Tableau III. Schéma du déroulement de la session.

| | | |
|-----|--|----------------|
| 1. | Arrivée du (de la) participant(e) | 5 min |
| 2. | Consentement écrit + questionnaire | 25 min |
| 3. | Examen clinique du genou | 15 min |
| 4. | Fixation des marqueurs réfléchissants | 5 min |
| 5. | Période d'entraînement sur tapis roulant | 10 min |
| 6. | Fixation du KneeKG™ | 5 min |
| 7. | Première phase de test | 10 min |
| 8. | Injection intra-articulaire d'anesthésique local | 10 min |
| 9. | Pause | 15 min |
| 10. | Deuxième phase de test | 10 min |
| 11. | Retrait des instruments | 2 min |
| | Total | 112 min |

3.1.4.2. Aspects cliniques et radiologiques

Les données sociodémographiques tels que le sexe, l'âge, la taille, le poids, le temps du diagnostic, le degré de scolarité, le statut d'activité, les médicaments pris pour soulager l'arthrose et la longueur de la jambe ont été recueillies en utilisant un questionnaire sociodémographique et clinique (*Voir Annexe 2 pp.iv*).

3.1.4.3. Analyse musculo-squelettique

Un médecin a été responsable de l'évaluation clinique du genou en utilisant la fiche de l'Association québécoise des médecins du sport. Cette évaluation nous a permis d'évaluer la présence ou absence de signes d'inflammation locale (chaleur, rougeur et gonflement : test flot/glaçon positif) au genou arthrosique du participant (*Voir Annexe 3 pp.v*). La présence d'inflammation locale dans le genou pourrait en effet affecter des processus structurels, mécaniques et biologiques du cartilage et ce, finalement la progression vers l'arthrose (Edd, Giori, and Andriacchi 2015).

3.1.4.4. Évaluation subjective de la douleur

Afin d'évaluer la douleur au genou telle que ressentie par le patient, nous avons utilisé une échelle numérique (EN) (détaillée dans le chapitre 1.6.2 Recension des écrits) (*Voir Annexe 4 pp.vii*). Le participant a dû coter à l'aide de cette échelle l'intensité de sa douleur ressentie en moyenne et à son plus fort au cours de l'expérimentation. Les différents niveaux de suppression de la douleur ont été documentés et catégorisés chez les sujets post injection intra-articulaire d'anesthésique local.

Le niveau de douleur a été demandé au participant 5 fois au cours de l'expérimentation en utilisant l'EN d'intensité de la douleur, de la manière suivante :

Étape pré-injection :

1^{ère} : Avant de commencer la période d'échauffement

2^e : Avant de commencer la marche sur le tapis roulant

3^e : Après avoir fini la marche sur le tapis roulant

Étape post injection :

4^e : 15 min après avoir reçu l'injection intra-articulaire de l'anesthésique local au genou arthrosique et avant de reprendre la marche sur le tapis roulant

5^e : Après avoir fini la marche sur le tapis roulant post injection.

La suppression de la douleur a été provoquée par une injection intra-articulaire au genou de 5cc de Xylocaïne 1% sans épinéphrine faite par un médecin (Henriksen, Simonsen, Alkjaer, et al. 2006).

3.1.4.5. Aspects radiologiques

Les symptômes cliniques de douleur arthrosique au genou ont été confirmés par imagerie par rayons X (RX) en charge et avec incidence tangentielle à 30° de la rotule.

3.1.5. Aspects biomécaniques

Les mesures biomécaniques obtenues avant et après l'injection de l'anesthésique local au genou arthrosique lors de la marche sur tapis roulant ont été analysées et comparées.

Un enregistrement vidéo, fait avec un consentement préalable du participant, s'est fait simultanément tout au long du déroulement de la séance d'expérimentation pour obtenir une description qualitative de la démarche avant et après suppression de la douleur.

En vue d'habituer le participant à la marche sur le tapis roulant, il a été consacré 10 min de marche sur celui-ci avant de commencer l'expérimentation (Lustig et al. 2012; Van de Putte et al. 2006), ce qui a permis d'avoir une période d'échauffement et d'obtenir la vitesse confortable déterminée par chaque participant.

Le KneeKGTM a été installé au moins deux fois sur chaque participant, avant et après l'injection. Pour chaque installation, un calibrage a été effectué, permettant de définir la position et l'orientation d'axes cinématiques par rapport au fémur et au tibia. La reproductibilité du calibrage pour les angles de rotation du genou (flexion/extension, abduction/adduction et rotation interne/externe) a été dûment étudiée par Hagemeister et coll. (Hagemeister et al. 2005). Dans le but de vérifier la reproductibilité des différents calibrages pour le même participant, nous avons utilisé le mouvement de flexion-extension du genou autour de 0° (*Voir* section 3.1.2 Système d'axes du genou dans le point N° 5 pp.47), ce qui nous a permis de nous assurer que l'alignement fonctionnel du fémur et du tibia dans le plan sagittal était identique entre les calibrages et donc, de fixer la rotation tibiale à 0° en extension complète.

Les données cinématiques ont été traitées en utilisant un algorithme développé au laboratoire du LIO avec MatLabTM (version 2017b; The MathWorks Inc., Natick, MA, USA). Cet algorithme permet le calcul des angles articulaires en trois dimensions au niveau du genou et de la cheville. De plus, les données cinématiques une fois analysées ont été vérifiées de manière visuelle avec le logiciel Mokka (Barre and Armand 2014).

3.1.5.1 Évaluation de la cinématique tridimensionnelle du genou et de la cheville

Lors de chaque essai, un enregistrement de 60 secondes a été effectué pour chaque sujet. Les cycles de marche ont été ensuite normalisés (0-100%) entre le contact au sol du talon ipsilatéral ce qui correspond à l'instant lorsque l'amplitude de la force verticale de réaction au sol dépasse

le seuil de 2% du poids corporel du participant. Par la suite, les cycles ont été moyennés en gardant tous les cycles (45 à 60 cycles dépendamment de la vitesse de marche du participant). Le cycle de marche a été par la suite découpé en sept sous phases tel que décrit à la Figure 16 (pp.21) (Willems, Schepens, and Detrembleur 2012). Pour chaque sous-cycle de marche, nous avons ensuite identifié les changements observés dans la cinématique angulaire du genou et de la cheville de chaque participant après la réduction de la douleur induite par l'injection intra-articulaire d'anesthésique local.

Dans le but de comparer le degré de changement avant et après l'injection, nous avons défini un seuil d'erreur de $\pm 2^\circ$ tout au long du cycle de marche. Ce seuil correspond à un coefficient de sécurité de mesure inhérente du KneeKGTM et permet de tenir compte du fait que le KneeKGTM a été retiré au cours de l'expérimentation pour pouvoir procéder à l'injection (Labbe et al. 2008; Hagemester et al. 2005). Ce seuil a également été défini en tenant compte du fait que les changements observés devaient être suffisamment importants pour que l'on puisse considérer que le patient a effectivement changé sa biomécanique après suppression de la douleur.

Chapitre 4. Exposé et analyse des résultats

4.1. Résultats sur les participants

4.1.1. Caractéristiques sociodémographiques des participants

Neufs participants ont été inclus dans ce projet pilote, sept femmes et deux hommes. Un participant avait de la douleur dans les deux genoux, nous avons donc étudié le genou le plus douloureux et l'injection a été faite aux deux genoux. Deux participants avaient un IMC normal, quatre étaient en surpoids, et trois étaient obèses. Le Tableau IV présente les données sociodémographiques moyennes des participants.

Tableau IV. Caractéristiques sociodémographiques des participants.

| Caractéristiques démographiques | Participants gonarthrosiques |
|---|------------------------------|
| Taille de l'échantillon (n) | 9 |
| Âge moyen (année) | 59 ± 8 |
| Taille (m) | 1,59 ± 0,07 |
| Poids corporel moyen (Kg) | 74,5 ± 13,5 |
| Indice de masse corporelle [IMC] (Kg/m ²) | 29,3 ± 5,8 |
| Vitesse de marche (m/s) | 1.1 ± 0,3 |
| Degré de scolarité | |
| Secondaire | 11.1% (1) |
| CEGEP | 55.6% (5) |
| Universitaire | 33.3% (3) |
| Statut d'activité | |
| En emploi | 66.7% (6) |
| Sans emploi | 11.1% (1) |
| À la retraite | 22.2% (2) |
| Activité sportive présente | 66.7% (6) |

Note : Les valeurs moyennes sont présentées avec l'écart-type.

4.1.2. Caractéristiques radiologiques des participants

Le Tableau V indique l'information recueillie sur la radiographie du genou étudié de chaque participant ainsi que leur vitesse de marche confortable.

Tableau V. Caractéristiques radiologiques et vitesse de marche (m/s) des participants.

| Signes radiologique d'arthrose | PARTICIPANTS | | | | | | | | |
|--|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Genou arthrosique étudié | G | G | D | G | D | D | G | D | G |
| Grade 2 (selon KL fémoro-tibial interne) | X | | | | | | | | X |
| Grade 3 (selon KL fémoro-tibial interne) | | X | X | X | X | X | X | X | |
| Tricompartimental | | X | | | X | X | X | X | X |
| Fémoro-tibial externe | | X | | | X | X | X | X | X |
| Fémoro-patellaire | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Bilatéraux | X | | X | X | X | X | X | | X |
| Vitesse de marche (m/s) | 1,3 | 1,2 | 0,8 | 1,2 | 1,2 | 1,5 | 0,5 | 1,3 | 0,7 |

4.1.3. Caractéristiques cliniques des participants

La plupart des participants 88.9% (8/9) prenaient des médicaments pour soulager leur douleur arthrosique, 66.7% (6/9) avaient des signes d'inflammation locale (chaleur, rougeur, gonflement). La date du diagnostic était très variable: moins d'un an : 11.1% (1/9), entre 1 et 5 ans : 44.5% (4/9), entre 5 et 10 ans : 22.2% (2/9), et plus de 10 ans : 22.2% (2/9).

En outre, la localisation de la douleur dans le genou arthrosique variait d'un patient à l'autre: douleur médiale 33.3% (3/9), douleur latérale 11.1% (1/9), douleur antéro-médiale 22.3% (2/9) et antéro-médiale-latérale 33.3% (3/9).

Ainsi, cette étude présente des données cliniques, radiologiques et sociodémographiques (sexe, âge, IMC, degré de scolarité, statut d'activité) très variables. La suite des résultats sera présentée selon la réduction de la douleur après l'injection de l'anesthésique.

4.1.4. Catégorisation de la douleur chez les participants

Dans le but d'analyser les données cinématiques avant et après l'injection avec la réduction de la douleur, nous avons catégorisé notre échantillon selon l'importance de changement de la douleur (Dworkin et al. 2008):

1. Si le score de douleur change d'une valeur sur l'échelle numérique (EN), cela représente une réduction faible de la douleur (N=1).
2. Si le score de douleur change de 2 à 3,5 valeurs sur l'EN, cela représente une réduction modérée de la douleur (N=4).
3. Si le score de douleur change de plus de 4 valeurs sur l'EN, cela représente une réduction substantielle de la douleur (N=4).

4.1.5 Analyses de données cinématiques

Données qualitatives :

Dans le but de mieux comprendre et expliquer la direction du changement cinématique du genou et de la cheville après l'injection, une analyse clinique observationnelle avant et après la suppression de la douleur a été effectuée. Cette analyse comprenait une analyse visuelle de la marche enregistrée sur vidéo (*Voir* Tableau VI), l'évaluation clinique du genou (la présence ou absence de signes inflammatoires, le niveau de douleur de départ, la localisation de la douleur, le compartiment atteint, le degré de sévérité de l'arthrose), l'IMC, le temps du diagnostic, ainsi que la visualisation des courbes pré- et post-injection. L'analyse des courbes a été corroborée avec l'analyse visuelle de la marche par vidéo.

L'analyse visuelle de la marche a été faite en considérant des principaux points d'observation mentionnés par Malanga et coll. (1998) qui sont les suivants : la cadence (symétrique/rythme), la douleur (localisation/temps), la foulée (égale/inégale), les épaules (élevées/déprimées), le tronc (raide/embardé), le bassin (inclinaison antérieure/postérieure), le genou (flexion/extension), la cheville (dorsiflexion/éversion/inversion), les pieds (l'attaque du talon/la poussée), la base (large/étroite). Le Tableau VI montre les principaux points d'observation clinique pour un participant de l'étude. Dans la partie Annexe 5 (pp.viii) se trouve l'observation

clinique faite pour tous les autres participants. Il est à noter que, les données du premier participant (S01) étaient limitées à cause du fait qu'une seule camera de face enregistrait le participant avec une vue restreinte du bassin jusqu'au sol.

Tableau VI. Principaux points d'observation cliniques* pour un participant (S01).

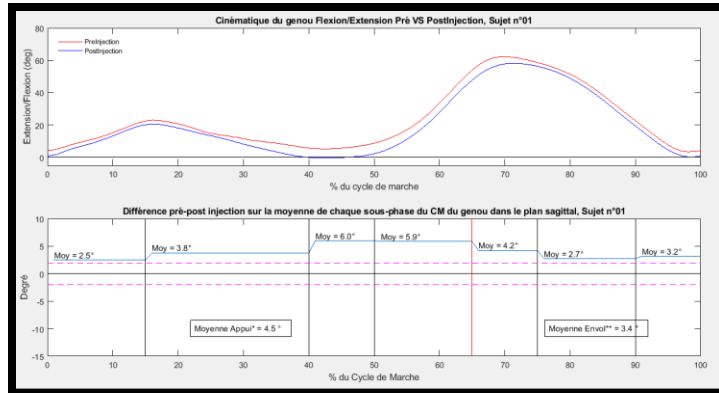
| | S01 | | | |
|-----------------------------|--------------------------------------|--|--|-----------------------|
| | Arrivée | Échauffement | Pré-injection | Post-injection |
| Cadence | Symétrique/Rythmique | | | |
| Douleur | 3,5/10 G | | 0/10 G | |
| Localisation | Antéro-médial | | N/A | |
| Temps Dx | 1-5 ans | | | |
| Foulée | Égale | | | |
| Épaules | N/A | | | |
| Tronc | N/A | | | |
| Bassin | Pas d'obliquité | | | |
| Genou | Rot int bil plus à G. | Diminution de la Rot int bil plus à G. | | |
| Cheville | Normal | Légère inversion au contact au sol. Adduction phase d'appui | Diminution de l'inversion au contact au sol. Diminution adduction phase d'appui | |
| Pieds | Attaque du talon et poussée normales | Diminution de l'attaque du talon et de la poussée G | Augmentation de l'attaque du talon et la poussée | |
| Base de sustentation | Normal | Légère augmentation | Légère augmentation | |

*(Malanga and De Lisa 1998)

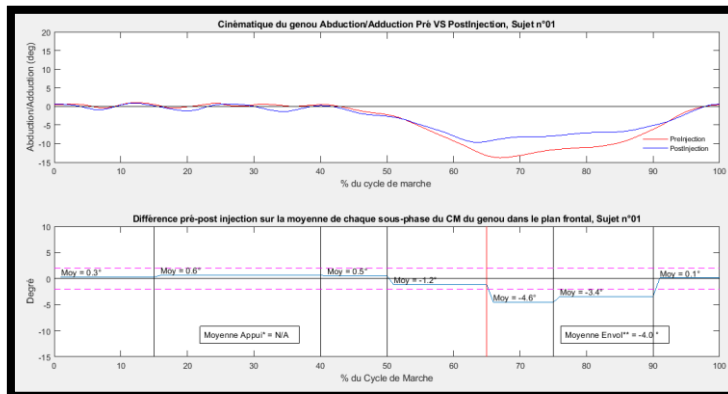
Données quantitatives :

Les courbes pré- et post-injection ont été comparées dans chaque plan anatomique autant pour le genou que pour la cheville. Pour chaque sous-phase du cycle de marche (CM), nous avons calculé les moyennes du changement. Les Figures 26 à 27 montrent des exemples de visualisation pour un participant pour le genou (flexion/extension, abduction/adduction et rotation interne/externe) et la cheville (dorsiflexion/flexion plantaire, éversion/inversion, adduction/abduction). Chaque figure montre dans sa partie supérieure les courbes superposées (en rouge avant l'injection et en bleu après l'injection). Dans la partie inférieure est représenté le changement moyen observé par sous-phase. Les pointillés rouges indiquent les limites en dessous desquelles on considère que le changement observé est trop petit pour être cliniquement significatif (seuil de $\pm 2^\circ$). L'écart a été déterminé à partir de la répétabilité de la mesure. Pour alléger le texte, les autres courbes pré- et post-injection pour tous les autres participants pour le genou et la cheville sont présentés en Annexe 6 et 7 (pp.xvi-xxxiii)

A



B



C

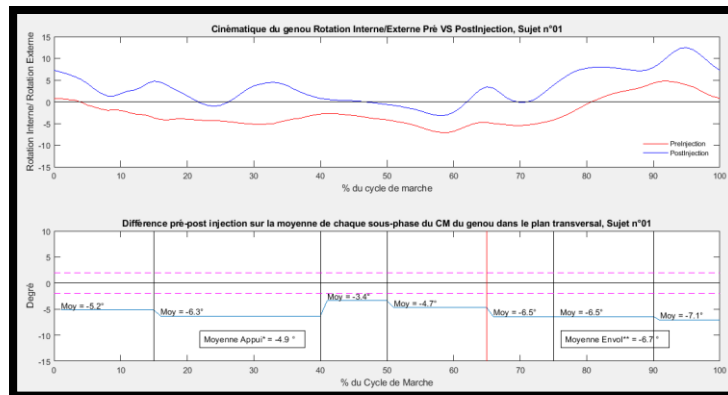
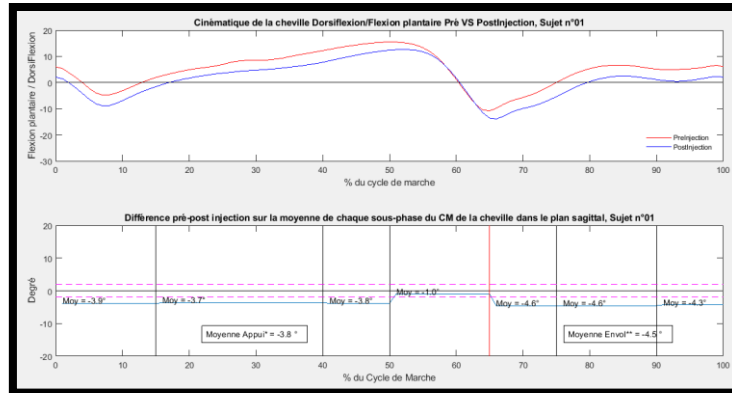


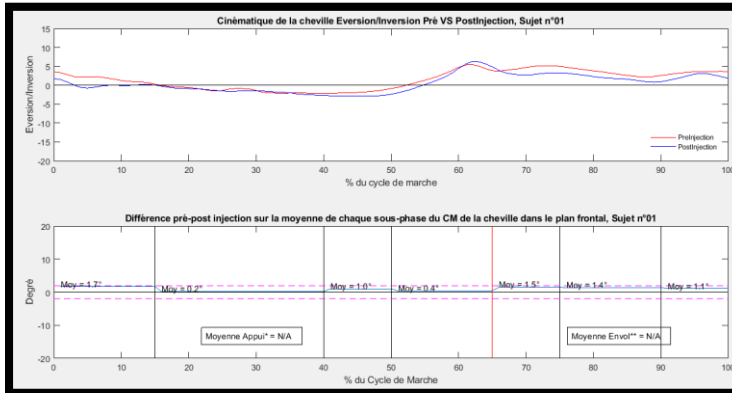
Figure 26. Pour le participant S01, A : Partie supérieure: Cinématique du genou flexion/extension pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM du genou dans le plan sagittal. B : Partie supérieure : Cinématique du genou abduction/adduction pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM du genou dans le plan frontal. C : Partie supérieure : Cinématique du genou rotation interne/externe pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM du genou dans le plan transversal.

*Moyenne appui : calculée en prenant au moins 3 changements vers la même direction sur les 4 sous-phases qui correspondent à la phase d'appui. **Moyenne envol : calculée en prenant au moins 2 changements vers la même direction sur les 3 sous-phases qui correspondent à la phase d'envol.

A



B



C

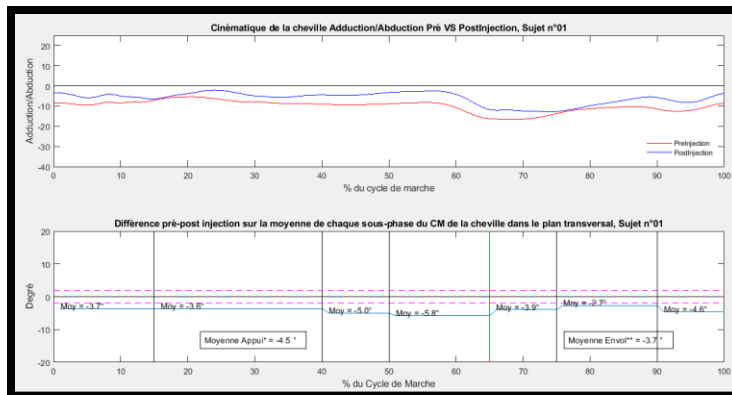


Figure 27. Pour le participant S01, A : Partie supérieure: Cinématique de la cheville dorsiflexion/flexion plantaire pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM de la cheville dans le plan sagittal. B : Partie supérieure : Cinématique de la cheville éversion/inversion pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM de la cheville dans le plan frontal. C : Partie supérieure : Cinématique de la cheville adduction/abduction pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM de la cheville dans le plan transversal.

*Moyenne appui : calculée en prenant au moins 3 changements vers la même direction sur les 4 sous-phases qui correspondent à la phase d'appui. **Moyenne envol : calculée en prenant au moins 2 changements vers la même direction sur les 3 sous-phases qui correspondent à la phase d'envol.

À partir de ces graphiques, nous avons construit une analyse qualitative des effets de la suppression de la douleur sur la biomécanique articulaire du genou et de la cheville, présentée dans la section suivante.

Une analyse statistique a été faite pour déterminer des différences statistiques avant et après l'injection en utilisant le test T pour échantillons appariés, à deux queues, avec un intervalle de confiance de 95%.

4.1.6. Effets de la suppression de la douleur sur la biomécanique tridimensionnelle chez des patients gonarthrosiques

4.1.6.1. Au genou

Données qualitatives :

Les Tableaux VII.A, VII.B, VII.C montrent le sens du changement du mouvement du genou dans les trois plans anatomiques après la suppression de la douleur chez nos participants.

Tableau VII. Changement dans le mouvement du genou dans le plan sagittal (A), frontal (B) et transversal (C) par sous-phase après injection.

| A | Phase (%) | 0-15 | 15-40 | 40-50 | 50-65 | 65-75 | 75-90 | 90-100 |
|---------------|-----------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Code du sujet | | | | | | | | |
| S01 | | Ext | Ext | Ext | Ext | Ext | Ext | Ext |
| S02 | | Ext | Ext | Ext | Ext | Ext | ∅ | Ext |
| S03 | | Flex | Flex | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ |
| S04 | | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ | Ext | ∅ |
| S05 | | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ | Flex |
| S06 | | ∅ | Flex | ∅ | ∅ | ∅ | Ext | ∅ |
| S07 | | ∅ | ∅ | ∅ | Flex | Flex | Flex | Flex |
| S08 | | ∅ | Ext | Ext | Flex | Flex | Ext | Ext |
| S09 | | ∅ | Ext | ∅ | Flex | ∅ | Ext | ∅ |

(Ext : extension, Flex : Flexion, ∅ : aucun changement)

| B | Phase (%) | 0-15 | 15-40 | 40-50 | 50-65 | 65-75 | 75-90 | 90-100 |
|---------------|-----------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Code du sujet | | | | | | | | |
| S01 | | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ | add | add | ∅ |
| S02 | | abd | abd | abd | abd | ∅ | abd | abd |
| S03 | | ∅ | add | add | add | add | add | ∅ |
| S04 | | ∅ | ∅ | ∅ | abd | abd | abd | ∅ |
| S05 | | abd | abd | abd | abd | abd | abd | abd |
| S06 | | abd | abd | abd | abd | abd | abd | abd |
| S07 | | ∅ | ∅ | ∅ | add | add | ∅ | ∅ |
| S08 | | abd | abd | abd | abd | abd | abd | abd |
| S09 | | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ |

(abd : abduction, add : adduction, ∅ : aucun changement)

| C | Phase (%) | 0-15 | 15-40 | 40-50 | 50-65 | 65-75 | 75-90 | 90-100 |
|---------------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Code du sujet | | | | | | | | |
| S01 | | rot ext | rot ext | rot ext | rot ext | rot ext | rot ext | rot ext |
| S02 | | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ |
| S03 | | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ | rot int | ∅ |
| S04 | | ∅ | ∅ | rot int | rot int | rot int | ∅ | ∅ |
| S05 | | rot ext | rot ext | ∅ | ∅ | rot ext | ∅ | ∅ |
| S06 | | rot ext | ∅ | ∅ | rot ext | rot ext | rot ext | ∅ |
| S07 | | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ | rot ext | ∅ | ∅ |
| S08 | | rot ext | rot ext | rot ext | rot ext | rot ext | rot ext | rot ext |
| S09 | | rot ext | rot ext | ∅ | ∅ | ∅ | rot ext | rot ext |

(rot ext : rotation externe, rot int: rotation interne, ∅ : aucun changement)

Dans le plan sagittal, on peut observer une tendance vers une augmentation de l'extension chez les participants après la suppression de la douleur. Dans le plan frontal, le changement du mouvement était généralement plus important dans l'abduction. Enfin, dans le plan transversal, un changement vers la rotation externe était visible pour la plupart des participants et la plupart des sous-phases du cycle de marche.

Le Tableau VIII présente les mêmes changements, mais en termes de pourcentages du nombre de patients ayant vu un changement dans leur biomécanique après suppression de la douleur. Il montre que la plupart des participants présentaient des changements dans un et deux plans anatomiques tout au long du CM, avec les plans le plus présents qui étaient le plan sagittal et transversal.

Tableau VIII. Changements du genou post-injection par nombre des plans anatomiques sur chaque sous-phase du CM.

| Nombre des plans anatomiques avec un changement d'au moins $\pm 2^\circ$ | 0-15% | 15-40% | 40-50% | 50-65% | 65-75% | 75-90% | 90-100% | Total # fois |
|--|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------------|
| | N | N | N | N | N | N | N | |
| 0 | 2 | 2 | 2 | Ø | 1 | Ø | 2 | 10 |
| 1 | 2 | Ø | 4 | 3 | 2 | 3 | 3 | 20 |
| 2 | 5 | 6 | 2 | 5 | 3 | 4 | 3 | 31 |
| 3 | Ø | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 1 | 11 |
| TOTAL | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 72* |

*Le numéro 72 est le résultat de la multiplication de 8 sous-phases par les neuf participants donc chaque participant tombe dans l'une des catégories de nombre des plans anatomiques.

N = participants; Ø = aucun changement

Le tableau IX montre en détail le(s) plan(s) anatomique(s) qui a(ont) changé dans chaque participant dans la phase d'appui et d'envol.

Tableau IX. Participants avec leur douleur initiale et finale, leur catégorie et leur changement par plans anatomiques lors de la phase d'appui et d'envol dans le genou.

| Code du Sujet | Douleur initial* (Di) | Douleur à la fin (Df) | Différence (Di- Df) | Catégorisation | Phase d'appui† | Phase d'envol‡ |
|---------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| S02 | 3,5 | 2 | 1,5 | Faible | S, F | S, F |
| S01 | 3,5 | 0 | 3,5 | Modérée | S, T | S, F, T |
| S04 | 3,5 | 1 | 2,5 | Modérée | Ø | F |
| S05 | 4 | 1,5 | 2,5 | Modérée | F | F |
| S06 | 3 | 0 | 3 | Modérée | F | F, T |
| S03 | 5 | 0 | 5 | Substantielle | F | F |
| S07 | 9,5 | 0,5 | 9 | Substantielle | Ø | S |
| S08 | 4 | 0 | 4 | Substantielle | F, T | F, T |
| S09 | 7,5 | 0 | 7,5 | Substantielle | Ø | T |

S= sagittal; F = frontal; T = transversal

*Douleur post échauffement

†Le changement a été considéré en prenant au moins 3 changements vers la même direction sur les 4 sous-phases qui correspondent à la phase d'appui.

‡ Le changement a été considéré en prenant au moins 2 changements vers la même direction sur les 3 sous-phases qui correspondent à la phase d'envol.

Ø= aucun changement

Tel que montré aux Tableaux X et XI il y a eu une réduction statistiquement significative de la douleur après l'injection qui a été réduite de $4,8 \pm 2,3$ à $0,6 \pm 0,8$ ($p=001$) selon l'échelle EN.

Tableau X. Pour les 9 sujets, moyennes (\pm écart-types) et erreur moyenne standard de douleur avant (douleur initiale) et après l'injection (douleur finale).

| Statistiques des échantillons appariés | | | |
|--|----------|------------|-------------------------|
| | Moyenne* | Écart-type | Erreur moyenne standard |
| douleur initiale† | 4,8 | 2,3 | 0,8 |
| douleur finale | 0,6 | 0,8 | 0,3 |

*Moyenne des résultats des 9 sujets.

†Douleur post échauffement

Tableau XI. Moyenne et écart-type (douleur initiale – finale), intervalle de confiance et signification statistique.

| Test des échantillons appariés pour les 9 sujets | | | | | | | | |
|---|-----------------------|------------|-------------------------|--------------------------------|-----------|-------|-----|---------------------|
| | Différences appariées | | | | | T | ddl | Sig. (bilatéral) |
| | Moyenne | Écart-type | Erreur moyenne standard | Intervalle de confiance à 95 % | | | | |
| | | | | Inférieur | Supérieur | | | |
| douleur initiale† - douleur finale | 4,2 | 2,6 | 0,8 | 2,3 | 6,2 | 4,942 | 8 | 0,001 |

† Douleur post échauffement

Données quantitatives :

Les Tableaux XII.A, XII.B et XII.C montrent les changements du mouvement du genou en degrés après injection selon leur intensité.

Tableau XII. Changement en degrés dans le mouvement du genou dans le plan sagittal (A), frontal (B) et transversal (C) par sous-phase après injection selon leur intensité.

A

| Phase (%) | 0-15 | 15-40 | 40-50 | 50-65 | 65-75 | 75-90 | 90-100 |
|---------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Code du sujet | | | | | | | |
| S01 | + | ++ | +++ | +++ | +++ | + | ++ |
| S02 | + | + | + | ++ | + | = | ++ |
| S03 | + | + | = | = | = | = | = |
| S04 | = | = | = | = | = | ++ | = |
| S05 | = | = | = | = | = | = | + |
| S06 | = | ++ | = | = | = | ++ | = |
| S07 | = | = | = | +++ | +++ | +++ | +++ |
| S08 | = | +++ | +++ | +++ | +++ | +++ | +++ |
| S09 | = | + | = | ++ | = | +++ | = |

= : Aucun changement; + : 2-3°; ++ : 3-4°; +++ : >4°

B

| Phase (%) | 0-15 | 15-40 | 40-50 | 50-65 | 65-75 | 75-90 | 90-100 |
|---------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Code du sujet | | | | | | | |
| S01 | = | = | = | = | +++ | ++ | = |
| S02 | + | + | + | + | = | ++ | ++ |
| S03 | = | + | + | ++ | ++ | + | = |
| S04 | = | = | = | + | ++ | + | = |
| S05 | +++ | +++ | +++ | +++ | +++ | +++ | +++ |
| S06 | ++ | ++ | + | ++ | +++ | + | ++ |
| S07 | = | = | = | + | ++ | = | = |
| S08 | + | + | ++ | ++ | +++ | ++ | ++ |
| S09 | = | = | = | = | = | = | = |

= : Aucun changement; + : 2-3°; ++ : 3-4°; +++ : >4°

C

| Phase (%) | 0-15 | 15-40 | 40-50 | 50-65 | 65-75 | 75-90 | 90-100 |
|---------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Code du sujet | | | | | | | |
| S01 | +++ | +++ | ++ | +++ | +++ | +++ | +++ |
| S02 | = | = | = | = | = | = | = |
| S03 | = | = | = | = | = | + | = |
| S04 | = | = | = | = | = | = | = |
| S05 | + | + | = | = | + | = | = |
| S06 | + | = | = | ++ | +++ | +++ | = |
| S07 | = | = | = | = | + | = | = |
| S08 | = | + | = | + | +++ | +++ | + |
| S09 | + | + | = | = | = | + | + |

= : Aucun changement; + : 2-3°; ++ : 3-4°; +++ : >4°

Tableaux XIII.A et XIII.B montrent les moyennes des changements dans les trois différents groupes de réduction de la douleur : faible, modérée et substantielle. Les trois groupes ont eu des changements dans au moins deux plans anatomiques au genou pendant la phase d'appui et d'envol. Les changements les plus évidents ont été observés dans le plan frontal lors de la phase d'appui et d'envol.

Tableau XIII. Moyenne des changements de la douleur post injection et écart-types, classés par groupe de réduction et par plan anatomique lors de la phase d'appui (A) et phase d'envol (B) dans le genou.

A

| Genou | Phase d'appui | | | | | |
|-------------------------|---------------|-----|--------------|-----|------------------|-----|
| | Plan sagittal | | Plan frontal | | Plan transversal | |
| Réduction de la douleur | Moyenne | SD | Moyenne | SD | Moyenne | SD |
| Faible N=1 | 2.8 | 0.4 | 2.6 | 0.2 | | |
| Modérée N=4 | 4.6 | 1.7 | 4.8 | 2.3 | 4.9 | 1.2 |
| Substantielle N=4 | | | 4.1 | 1.7 | 2.8 | 0.6 |

B

| Genou | Phase d'envol | | | | | |
|-------------------------|---------------|-----|--------------|-----|------------------|-----|
| | Plan sagittal | | Plan frontal | | Plan transversal | |
| Réduction de la douleur | Moyenne | SD | Moyenne | SD | Moyenne | SD |
| Faible N=1 | 3 | 0.4 | 3.3 | 0.3 | | |
| Modérée N=4 | 3.4 | 0.8 | 4.0 | 0.9 | 6.3 | 0.6 |
| Substantielle N=4 | 9.3 | 2.6 | 4.5 | 2.3 | 2.3 | 3.1 |

N : nombre de participants

L'écart-type a été calculé sur les nombre de participants dans chaque groupe de réduction de la douleur.

SD : écart-type

L'analyse statistique a été faite en considérant chaque sous-phase du cycle de marche chez tous les participants. (Voir Tableau XIV et XV)

Tableau XIV. Pour chaque sous-phase du CM pré- et post-injection, moyenne de l'angle de flexion (\pm écart-type) et erreur moyenne standard dans le plan sagittal au genou.

| Statistiques des échantillons appariés pour les 9 sujets | | | | |
|---|----------------|----------|------------|-------------------------|
| Plan sagittal du genou | | Moyenne* | Écart-type | Erreur moyenne standard |
| Sous-phase 0-15% | Pré-injection | 15,1 | 5,6 | 1,9 |
| | Post-injection | 14,8 | 6,1 | 2,0 |
| Sous-phase 15-40% | Pré-injection | 13,7 | 5,7 | 1,9 |
| | Post-injection | 12,7 | 6,5 | 2,3 |
| Sous-phase 40-50% | Pré-injection | 6,3 | 5,7 | 1,9 |
| | Post-injection | 4,9 | 6,8 | 2,3 |
| Sous-phase 50-65% | Pré-injection | 22,8 | 7,8 | 2,6 |
| | Post-injection | 22,9 | 7,2 | 2,4 |
| Sous-phase 65-75% | Pré-injection | 56,5 | 9,7 | 3,2 |
| | Post-injection | 57,0 | 6,1 | 2,0 |
| Sous-phase 75-90% | Pré-injection | 50,4 | 7,9 | 2,6 |
| | Post-injection | 49,6 | 7,8 | 2,6 |
| Sous-phase 90-100% | Pré-injection | 14,9 | 7,2 | 2,4 |
| | Post-injection | 13,9 | 9,3 | 3,1 |

*Moyenne des résultats des 9 sujets

Tableau XV. Pour chaque sous-phase du CM, moyenne de la différence de moyennes de l'angle de flexion pré- et post- injection, (\pm écart-type), erreur moyenne standard, intervalle de confiance, test T, degré de liberté (ddl) et signification statistique dans le plan sagittal au genou.

| Test des échantillons appariés pour les 9 sujets | | | | | | | | | |
|---|---------------------------|---------|------------|-------------------------|--------------------------------|-----------|--------|-----|------------------|
| Plan sagittal du genou | | Moyenne | Écart-type | Erreur moyenne standard | Intervalle de confiance à 95 % | | t | Ddl | Sig. (bilatéral) |
| | | | | | Inférieur | Supérieur | | | |
| Sous-phase 0-15% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | 0.3 | 1.8 | 0.6 | -1.0 | 1.7 | 0,580 | 8 | 0,578 |
| Sous-phase 15-40% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | 1.0 | 2.4 | 0.8 | -0.8 | 2.8 | 1,279 | 8 | 0,237 |
| Sous-phase 40-50% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | 1.4 | 2.6 | 0.9 | -0.6 | 3.3 | 1,567 | 8 | 0,156 |
| Sous-phase 50-65% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | -0.2 | 3.5 | 1.2 | -2.8 | 2.5 | -,145 | 8 | 0,889 |
| Sous-phase 65-75% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | -0.5 | 4.8 | 1.6 | -4.2 | 3.1 | -0,324 | 8 | 0,754 |
| Sous-phase 75-90% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | 0.9 | 5.0 | 1.7 | -3.0 | 4.7 | 0,517 | 8 | 0,619 |
| Sous-phase 90-100% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | 1.0 | 3.8 | 1.3 | -1.8 | 3.9 | 0,838 | 8 | 0,426 |

On remarque dans le tableau XV que l'écart-type des différences des moyennes pour les 9 sujets est grand.

La figure 28 montre la moyenne de différences pré- et post-injection par sous-phases chez les 9 participants.

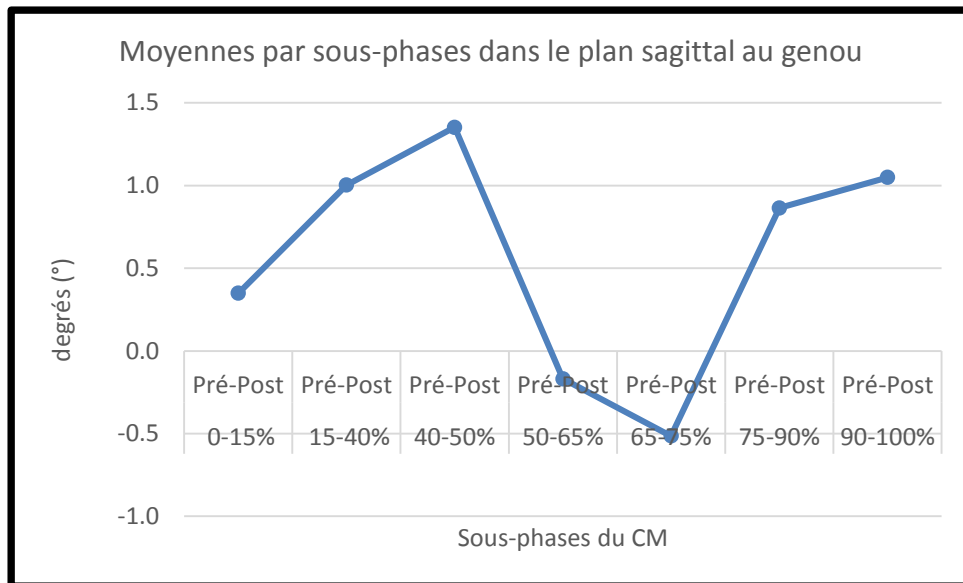


Figure 28. Moyennes des différences de degré de flexion du genou par sous-phase pré- et post-injection.

De plus, il n'y a pas de différence statistiquement significative avant et après l'injection dans les trois plans anatomiques du genou pour chaque sous phase du CM si on considère tous les sujets. Pour alléger le texte, les résultats dans le plan frontal et transversal sont présentés en Annexe 8 (pp.xxxiv). De la même manière, les différences pré- et post-injection ne sont pas significatives sur l'ensemble des sujets dans ces deux plans.

4.1.6.2. À la cheville

Données qualitatives :

Les Tableaux XVI.A, XVI.B et XVI.C montrent le sens du changement du mouvement de la cheville dans les trois plans anatomiques après la suppression de la douleur chez nos participants.

Tableau XVI. Changement dans le mouvement de la cheville dans le plan sagittal (A), frontal (B) et transversal (C) par sous-phase après injection.

| A | | | | | | | |
|---------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Phase (%) | 0-15 | 15-40 | 40-50 | 50-65 | 65-75 | 75-90 | 90-100 |
| Code du sujet | | | | | | | |
| S01 | FP | FP | FP | ∅ | FP | FP | FP |
| S02 | DF | DF | DF | DF | DF | ∅ | ∅ |
| S03 | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ | DF |
| S04 | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ |
| S05 | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ |
| S06 | ∅ | ∅ | DF | DF | DF | DF | ∅ |
| S07 | ∅ | ∅ | FP | FP | FP | FP | ∅ |
| S08 | ∅ | ∅ | DF | ∅ | ∅ | DF | DF |
| S09 | FP | FP | FP | FP | ∅ | FP | FP |

(DF : dorsiflexion, FP : flexion plantaire, ∅ : aucun changement)

| B | | | | | | | |
|---------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Phase (%) | 0-15 | 15-40 | 40-50 | 50-65 | 65-75 | 75-90 | 90-100 |
| Code du sujet | | | | | | | |
| S01 | abd | abd | abd | abd | abd | abd | abd |
| S02 | add | add | add | add | add | add | add |
| S03 | abd | abd | abd | abd | abd | abd | abd |
| S04 | abd | abd | abd | abd | abd | abd | abd |
| S05 | abd | abd | abd | abd | abd | abd | abd |
| S06 | abd | abd | abd | abd | abd | abd | abd |
| S07 | ∅ | add | add | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ |
| S08 | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ |
| S09 | abd | abd | abd | abd | abd | abd | abd |

(Ever : Éversion, Inv : Inversion, ∅ : aucun changement)

| C | | | | | | | |
|---------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Phase (%) | 0-15 | 15-40 | 40-50 | 50-65 | 65-75 | 75-90 | 90-100 |
| Code du sujet | | | | | | | |
| S01 | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ |
| S02 | Ever | Ever | Ever | Ever | Ever | Ever | Ever |
| S03 | Ever | Ever | Ever | Ever | Ever | Ever | Ever |
| S04 | Ever | Ever | Ever | Ever | Ever | Ever | Ever |
| S05 | Ever | Ever | Ever | Ever | ∅ | ∅ | Ever |
| S06 | Ever | Ever | Ever | Ever | Ever | Ever | Ever |
| S07 | Inv | Inv | Inv | Inv | Inv | Inv | Inv |
| S08 | Ever | Ever | Ever | Ever | Ever | Ever | Ever |
| S09 | Inv | Inv | ∅ | ∅ | Inv | Inv | Inv |

(abd : abduction, add : adduction, ∅ : aucun changement)

Dans le plan sagittal, on peut observer une tendance d'un changement vers la flexion plantaire dans la plupart des sous-phases pour les participants. Dans le plan frontal, la plupart des changements allaient vers l'éversion dans toutes les sous-phases. Enfin, dans le plan transversal, on observe une tendance d'un changement vers l'abduction dans toutes les sous-phases.

Le Tableau XVII montre que la plupart des participants présentaient des changements dans les deux plans anatomiques tout au long du CM, avec les plans le plus présents qui étaient le plan frontal et transversal. De plus, il convient de noter que tous les participants présentaient un changement du mouvement de la cheville dans au moins un plan anatomique.

Tableau XVII. Changements de la cheville post injection par nombre des plans anatomiques sur chaque sous-phase du CM.

| Nombre des plans anatomiques avec un changement d'au moins $\pm 2^\circ$ | 0-15% | 15-40% | 40-50% | 50-65% | 65-75% | 75-90% | 90-100% | Total # fois |
|--|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------------|
| | N | N | N | N | N | N | N | |
| 0 | Ø | Ø | Ø | Ø | Ø | Ø | Ø | 0 |
| 1 | 2 | 1 | Ø | 2 | 2 | 1 | 1 | 10 |
| 2 | 2 | 6 | 6 | 5 | 5 | 6 | 6 | 41 |
| 3 | 5 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 21 |
| TOTAL | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 72* |

*Le numéro 72 est le résultat de la multiplication de 8 sous-phases par les neufs participants donc chaque participant tombe dans l'une des catégories de nombre des plans anatomiques.

N = participants; Ø = aucun changement

Le tableau XVIII montre en détail le(s) plan(s) anatomique(s) qui a (ont) changé dans chaque participant dans la phase d'appui et d'envol dans la cheville.

Tableau XVIII. Participants avec leur douleur initiale et finale, leur catégorie et leur changement par plans anatomiques lors de la phase d'appui et d'envol dans la cheville.

| Code du Sujet | Douleur initial* (Di) | Douleur à la fin (Df) | Différence (Di- Df) | Catégorisation | Phase d'appui† | Phase d'envol‡ |
|---------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| S02 | 3,5 | 2 | 1,5 | Faible | S, F, T | F, T |
| S01 | 3,5 | 0 | 3,5 | Modérée | S, T | S, T |
| S04 | 3,5 | 1 | 2,5 | Modérée | F, T | F, T |
| S05 | 4 | 1,5 | 2,5 | Modérée | F, T | T |
| S06 | 3 | 0 | 3 | Modérée | F, T | S, F, T |
| S03 | 5 | 0 | 5 | Substantielle | F, T | F, T |
| S07 | 9,5 | 0,5 | 9 | Substantielle | F | S, F |
| S08 | 4 | 0 | 4 | Substantielle | F | S, F |
| S09 | 7,5 | 0 | 7,5 | Substantielle | S, T | S, F, T |

S= sagittal; F = frontal; T = transversal

*Douleur post échauffement

†Le changement a été considéré en prenant au moins 3 changements vers la même direction sur les 4 sous-phases qui correspondent à la phase d'appui.

‡Le changement a été considéré en prenant au moins 2 changements vers la même direction sur les 3 sous-phases qui correspondent à la phase d'envol.

Ø= aucun changement

Données quantitatives :

Les Tableaux XIX.A, XIX.B et XIX.C montrent les changements des mouvements dans le plan sagittal en degrés après injection selon leur intensité.

Tableau XIX. Changement en degrés dans le mouvement de la cheville dans le plan sagittal (A), frontal (B) et transversal (C) par sous-phase après injection selon leur intensité.

A

| Phase | 0-15 | 15-40 | 40-50 | 50-65 | 65-75 | 75-90 | 90-100 |
|---------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Code du sujet | | | | | | | |
| S01 | ++ | ++ | ++ | = | ++ | ++ | ++ |
| S02 | + | + | + | ++ | + | = | = |
| S03 | = | = | = | = | = | = | + |
| S04 | = | = | = | = | = | = | = |
| S05 | = | = | = | = | = | = | = |
| S06 | = | = | + | ++ | + | + | = |
| S07 | = | = | + | + | ++ | ++ | = |
| S08 | = | = | + | = | = | ++ | + |
| S09 | ++ | ++ | ++ | ++ | = | ++ | ++ |

= : Aucun changement; + : 2-3°; ++ : 3-6°; +++ : 6-9°; ++++ : >10°

B

| Phase | 0-15 | 15-40 | 40-50 | 50-65 | 65-75 | 75-90 | 90-100 |
|---------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Code du sujet | | | | | | | |
| S01 | = | = | = | = | = | = | = |
| S02 | ++++ | ++++ | +++ | ++++ | ++++ | ++++ | ++++ |
| S03 | +++ | +++ | +++ | +++ | +++ | +++ | +++ |
| S04 | + | + | + | + | + | + | + |
| S05 | + | + | + | + | = | = | + |
| S06 | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ |
| S07 | ++ | ++ | ++ | ++ | +++ | +++ | +++ |
| S08 | ++ | ++ | ++ | ++ | + | ++ | ++ |
| S09 | + | + | = | = | + | + | + |

= : Aucun changement; + : 2-3°; ++ : 3-6°; +++ : 6-9°; ++++ : >10°

C

| Phase | 0-15 | 15-40 | 40-50 | 50-65 | 65-75 | 75-90 | 90-100 |
|---------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Code du sujet | | | | | | | |
| S01 | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | + | ++ |
| S02 | +++ | +++ | ++++ | +++ | ++ | +++ | ++++ |
| S03 | ++++ | ++++ | ++++ | ++++ | ++++ | ++++ | ++++ |
| S04 | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ |
| S05 | ++++ | ++++ | ++++ | ++++ | ++++ | ++++ | ++++ |
| S06 | ++ | ++ | + | ++ | = | ++ | + |
| S07 | = | + | + | = | = | = | = |
| S08 | = | = | = | = | = | = | = |
| S09 | + | + | + | + | ++ | ++ | + |

= : Aucun changement; + : 2-3°; ++ : 3-6°; +++ : 6-9°; ++++ : >10°

Données quantitatives :

Les Tableaux XX.A et XX.B montrent les moyennes des changements dans les trois différents groupes de réduction de la douleur : faible, modérée et substantielle. Les trois groupes ont eu des changements au moins dans deux plans anatomiques à la cheville dans la phase d'appui et d'envol. Les changements les plus remarquables ont été observés dans le plan frontal et le plan transversal lors de la phase d'appui et d'envol. Le plan transversal montre un changement plus important de l'ordre de 4.5 et 6.95°.

Tableau XX. Moyenne des changements de la douleur post injection et écart-types, classée par groupe de réduction et par plan anatomique lors de la phase d'appui (A) et phase d'envol (B) dans la cheville.

A

| Cheville | Phase d'appui | | | | | |
|-------------------------|---------------|-----|--------------|-----|------------------|-----|
| | Plan sagittal | | Plan frontal | | Plan transversal | |
| Réduction de la douleur | Moyenne | SD | Moyenne | SD | Moyenne | SD |
| Faible N=1 | 2.8 | 0.7 | 11.3 | 1.3 | 4.5 | 1.1 |
| Modérée N=4 | 3.8 | 0.1 | 2.9 | 0.6 | 6.1 | 3.9 |
| Substantielle N=4 | 4.9 | 0.8 | 5.6 | 2.7 | 7.0 | 6.0 |

B

| Cheville | Phase d'envol | | | | | |
|-------------------------|---------------|-----|--------------|-----|------------------|-----|
| | Plan sagittal | | Plan frontal | | Plan transversal | |
| Réduction de la douleur | Moyenne | SD | Moyenne | SD | Moyenne | SD |
| Faible N=1 | | | 13 | 1.9 | 8.5 | 2.5 |
| Modérée N=4 | 3.6 | 1.3 | 2.9 | 0.7 | 5.7 | 4.0 |
| Substantielle N=4 | 3.6 | 0.3 | 5.0 | 2.7 | 7.5 | 6.1 |

N : nombre de participants

L'écart-type a été calculé sur les nombre de participants dans chaque groupe de réduction de la douleur.

SD : écart-type

L'analyse statistique a été faite en considérant chaque sous phase du cycle de marche dans tous les participants. (Voir Tableau XXI et XXII)

Tableau XXI. Pour chaque sous-phase du CM pré- et post- injection, moyenne (\pm écart-type) et erreur moyenne standard dans le plan sagittal à la cheville.

| Statistiques des échantillons appariés pour les 9 sujets | | | | |
|---|----------------|----------|------------|-------------------------|
| Plan sagittal à la cheville | | Moyenne* | Écart-type | Erreur moyenne standard |
| Sous-phase 0-15% | Pré-injection | 3,2 | 2,9 | 1,0 |
| | Post-injection | 3,6 | 2,3 | 0,8 |
| Sous-phase 15-40% | Pré-injection | -5,6 | 3,5 | 1,2 |
| | Post-injection | -4,9 | 3,0 | 1,0 |
| Sous-phase 40-50% | Pré-injection | -9,6 | 3,1 | 1,0 |
| | Post-injection | -9,2 | 2,4 | 0,8 |
| Sous-phase 50-65% | Pré-injection | -2,5 | 7,5 | 2,5 |
| | Post-injection | -2,6 | 6,6 | 2,2 |
| Sous-phase 65-75% | Pré-injection | 9,2 | 7,5 | 2,5 |
| | Post-injection | 9,7 | 6,0 | 2,0 |
| Sous-phase 75-90% | Pré-injection | 0,4 | 4,2 | 1,4 |
| | Post-injection | 1,0 | 2,9 | 1,0 |
| Sous-phase 90-100% | Pré-injection | -0,5 | 2,9 | 1,0 |
| | Post-injection | -0,3 | 3,4 | 1,1 |

*Moyenne des résultats des 9 sujets.

Tableau XXII. Pour chaque sous-phase du CM, moyenne de la différence de moyennes pré- et post-injection, (\pm écart-type), erreur moyenne standard, intervalle de confiance, test T, degré de liberté (ddl) et signification statistique dans le plan sagittal à la cheville.

| Test des échantillons appariés pour les 9 sujets | | | | | | | | | |
|---|---------------------------|-----------------------|------------|-------------------------|--------------------------------|-----------|--------|-----|---------------------|
| Plan sagittal à la cheville | | Différences appariées | | | | | T | ddl | Sig. (bilatéral) |
| | | Moyenne | Écart-type | Erreur moyenne standard | Intervalle de confiance à 95 % | | | | |
| | | | | | Inférieur | Supérieur | | | |
| Sous-phase 0-15% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | -0.3 | 2.1 | 0.7 | -2.0 | 1.3 | -0,454 | 8 | 0,662 |
| Sous-phase 15-40% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | -0.7 | 2.6 | 0.9 | -2.7 | 1.3 | -0,796 | 8 | 0,449 |
| Sous-phase 40-50% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | -0.3 | 3.0 | 1.0 | -2.7 | 2.0 | -0,328 | 8 | 0,751 |
| Sous-phase 50-65% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | 0.2 | 2.8 | 0.9 | -2.0 | 2.3 | 0,178 | 8 | 0,863 |
| Sous-phase 65-75% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | -0.5 | 2.5 | 0.8 | -2.4 | 1.4 | -0,623 | 8 | 0,550 |
| Sous-phase 75-90% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | -0.6 | 3.0 | 1.0 | -2.9 | 1.7 | -0,632 | 8 | 0,545 |
| Sous-phase 90-100% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | -0.2 | 2.5 | 0.8 | -2.1 | 1.8 | -0,217 | 8 | 0,833 |

La figure 29 montre la moyenne de différences pré- et post-injection par sous-phases chez les 9 participants.

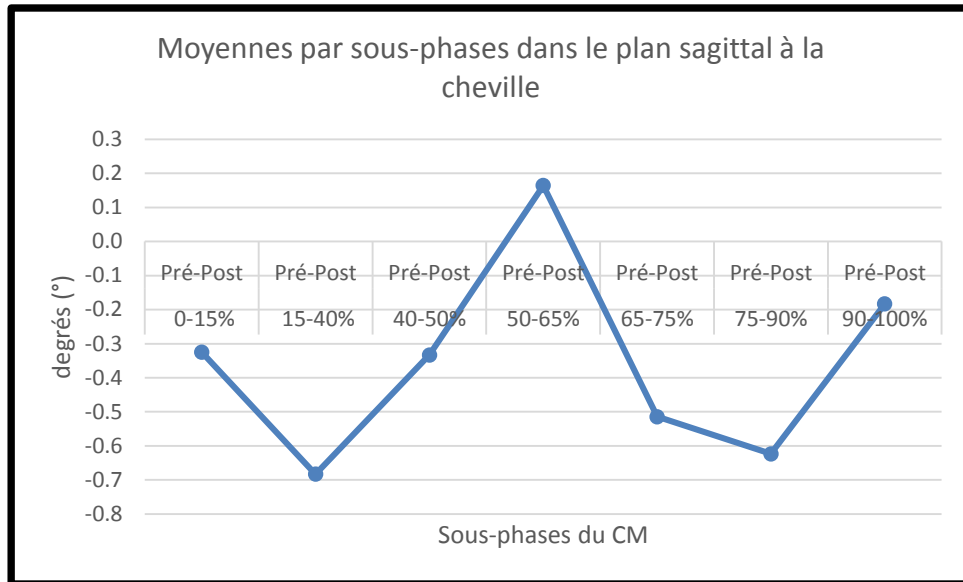


Figure 29. Moyennes des différences de degré de dorsiflexion/flexion plantaire par sous-phase pré- et post-injection.

De plus, il n'y a pas de différence statistiquement significative avant et après l'injection dans les trois plans anatomiques de la cheville pour chaque sous phase du CM si on considère tous les sujets. Pour alléger le texte, les résultats dans le plan frontal et transversal sont présentés en Annexe 9(pp.xxxix). De la même manière, les différences pré- et post-injection ne sont pas significatives sur l'ensemble des sujets dans ces deux plans.

Enfin, pour résumer, le Tableau XXIII décrit les changements dans les plans sagittal (S), Frontal (F) et transversal (T), suite à l'injection de l'anesthésique pour les deux articulations.

Tableau XXIII Changements au genou et à la cheville dans les plans sagittal, Frontal et transversal, suite à l'injection de la même quantité d'anesthésique.

| Effet de l'anesthésie | Nombre de participants (Code du sujet) | Genou | | Cheville | |
|-----------------------|--|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | Phase d'appui | Phase d'envol | Phase d'appui | Phase d'envol |
| Faible | 1(S02) | S, F | S, F | S, F, T | F, T |
| | | | | | |
| Modéré | 1(S01) | S, T | S, F, T | S, T | S, T |
| | 2(S04) | ∅ | F | F, T | F, T |
| | 3(S05) | F | F | F, T | T |
| | 4(S06) | F | F, T | F, T | S, F, T |
| | | | | | |
| Substantiel | 1(S03) | F | F | F, T | F, T |
| | 2(S07) | ∅ | S | F | S, F |
| | 3(S08) | F, T | F, T | F | S, F |
| | 4(S09) | ∅ | T | S, T | S, F, T |

∅ : Aucun changement

S : plan sagittal; F : plan frontal; T : plan transversal

Chapitre 5. Discussion et conclusion

L'objectif principal de ce projet était de vérifier si la suppression de la douleur a un effet immédiat sur la biomécanique tridimensionnelle du genou et de la cheville lors de la marche sur tapis roulant.

Chez les 9 participants ayant été évalués pré- et post-injection, nous avons trouvé des effets quantifiables immédiats sur la biomécanique articulaire 3D au genou ainsi qu'à la cheville lors de la marche sur tapis roulant. Lorsque la douleur a été réduite, les trois groupes de participants arthrosiques (réduction de la douleur faible, modérée et substantielle) présentaient des changements au moins dans deux plans à la cheville (frontal et transversal), tandis que la plupart des participants présentaient des changements au genou dans le plan frontal lors de la marche (*Voir* Tableau XXIII. Changements tridimensionnelle au genou et à la cheville) qui dépassaient la variabilité de la mesure. Néanmoins, ces changements n'étaient pas tous dans le même sens d'un participant à un autre, ce qui explique qu'aucun résultat statistique n'est significatif. De plus, ce résultat se reflète dans les écart-types sur la moyenne des changements observés sur les 9 sujets qui montrent bien que l'effet de la réduction de la douleur, même s'il était quantifiable quand chaque sujet était son propre contrôle, était très variable d'un sujet à l'autre.

À notre connaissance, aucune étude n'a étudié à ce jour l'effet immédiat de la suppression de la douleur sur la biomécanique articulaire dans les trois plans du mouvement du genou et de la cheville. Parmi les trois études s'étant intéressées au sujet, Henriksen et coll. (2006) n'a fait des analyses que dans le plan sagittal, Shrader et coll. (2004) n'ont pas mesuré la diminution de la douleur et Skwara et coll. (2009) ont étudié l'effet d'injections sur du plus long terme (plus de 16 semaines).

Au genou, dans le plan sagittal, ces auteurs ont des conclusions divergentes. En effet, Henriksen et coll. (2006) ont montré des changements de la cinématique au genou seulement à l'attaque du talon dans le plan sagittal avec une augmentation de l'extension. Par contre, ni l'étude de

Skwara et coll. (2009) ni l'étude de Boyer et coll. (2013) n'ont observé de différences statistiquement significatives dans le même plan sagittal au niveau des amplitudes articulaires et les angles dans certaines positions du cycle de marche.

Dans notre étude, trois participants (3/9) présentaient une augmentation de l'extension tel que mentionné par Henriksen et coll. (2006). Par contre, trois autres participants présentaient plutôt une augmentation de la flexion du genou à l'attaque du talon. Cela peut s'expliquer notamment par le fait que nos participants ont marché à une vitesse confortable déterminée par chacun. Dans certains cas – notamment chez des patients ayant des comorbidités cardiovasculaires et/ou non musculo-squelettiques (S03, S07, S09), la vitesse de marche était très faible, ce qui affecte nécessairement la biomécanique du genou et de la cheville. Il est possible que dans ces conditions, la réduction de la douleur n'ait que peu d'impact observable. En effet, il est souvent reconnu dans les études biomécaniques que les changements s'observent mieux lors de tâches plus exigeantes, comme la course à pied (Culvenor et al. 2014). Cette observation est confirmée par l'analyse des sujets S07 et S09 qui ont marché respectivement 0.5m/s et 0.7m/s et pour qui on n'observe aucun changement dans le plan frontal et transversal pour le genou.

De plus, certains patients avaient un diagnostic d'arthrose qui datait d'il y a plus longtemps (plus de 10 ans pour deux d'entre eux). Ainsi, leur genou serait devenu plus raide au fil des ans, ce qui est clairement visible sur leurs courbes cinématiques tout au long de la phase d'appui (*Voir S03 Annexe 6, pp.xviii*). Nos résultats dans le plan sagittal au genou sont donc plutôt en accord avec l'étude de Skwara et coll. (2009).

Au genou, dans le plan frontal, notre étude indique que la plupart des participants pour qui un changement a été observé (5/9) présentaient une diminution de l'adduction tout au long du cycle de marche (CM). Par comparaison, Boyer et coll. (2013) n'ont pas observé de changement significatif dans l'adduction du tibia lors de la marche après 15 jours de traitement avec un anti-inflammatoire (Celecoxib) et avec un analgésique opioïde (Oxycodone HCL) pris oralement.

Cela corrobore nos analyses statistiques qui n'ont pas non plus montré de différences. Néanmoins il nous paraît important de souligner que les changements observés varient d'un

participant à l'autre, ce qui peut expliquer cet effet nul de groupe. Une des explications pourrait provenir du fait que 4/9 de ces participants présentaient une atteinte dans les trois compartiments (fémoro-tibial interne/externe et fémoro-patellaire) du genou. Un seul participant (1/9) présentait une augmentation de l'adduction. Ce sujet avait une atteinte dans deux compartiments : fémoro-tibial interne et fémoro-patellaire.

Au genou dans le plan transversal, notre étude montre que la plupart des participants qui présentaient un changement montrait un changement vers la rotation externe du genou (5/9) tout au long du CM. Le même phénomène a été observé par Boyer et coll. (2013) qui ont trouvé une augmentation de la rotation interne du tibia chez 6 participants, en concluant que ce changement de cinématique mettait à risque de développer d'avantage la maladie (Andriacchi et al. 2006; Andriacchi, Koo, and Scanlan 2009). Il est à noter que dans notre étude, aucun changement ne s'est présenté dans trois participants, et un seul participant a présenté un changement vers la rotation interne entre le 40-75% du CM, ce qui pourrait être dû à la difformité en varus du genou (adduction plus rotation interne du tibia) chez ce participant.

À la cheville dans le plan sagittal, notre étude montre que lors du contact au sol, deux participants (2/9) présentaient des changements vers la flexion plantaire tel que mentionné par Henriksen et coll. (2006) mais les résultats étaient non statistiquement significatifs. Trois de nos participants (3/9) présentaient au contraire des changements vers la dorsiflexion. Cela peut s'expliquer par le degré de sévérité de l'arthrose chez ces participants (KL 3), tandis que les autres participants qui sont allés vers la flexion plantaire avaient un degré de sévérité de KL 2.

À la cheville dans le plan frontal, notre étude montre que six participants présentaient des changements vers l'éversion. Ils avaient tous un degré de sévérité d'arthrose de 3 selon KL et leur niveau de douleur initiale était entre 3.5 et 5 sur l'échelle numérique. À contrario, deux participants (2/9) présentaient des changements vers l'inversion après l'injection. Ceux-ci avaient un grade d'arthrose de 2 et 3 selon KL et une douleur initiale entre 7.5 et 9,5. Il serait intéressant de savoir si le niveau de douleur a un effet sur la direction du mouvement.

À la cheville dans le plan transversal notre étude montre que six participants présentaient des changements vers l'abduction. Ils avaient tous de l'arthrose bilatérale avec un degré de sévérité de 2 et 3 selon KL. Deux participants (2/9) présentaient des changements vers l'adduction après l'injection. L'un d'entre eux avait de l'arthrose dans les deux genoux et le degré de sévérité était de 3 selon KL.

À notre connaissance, il n'y a pas de littérature qui montre l'effet immédiat de la suppression de la douleur dans le plan frontal et transversal à la cheville. Par contre, nos résultats montrent que les changements biomécaniques au membre inférieur semblent affecter non seulement le genou mais aussi la cheville. Le lien entre la biomécanique des articulations du membre inférieur a été démontré par Mezghani et coll. (2017). En effet, dans cette étude, on démontre que lorsqu'il y a arthrose du genou, la cinématique du genou est modifiée par rapport à une population asymptomatique, mais aussi celle de la cheville et de la hanche (Mezghani, Billard, et al. 2017). Cela suppose qu'il existe un lien ostéo-neuro-myo-articulaire qui coordonne ces trois articulations et qui fait en sorte que la douleur ressentie au niveau du genou va générer des adaptations aux autres niveaux articulaires. Pour le moment, nos données ne permettent pas d'expliquer plus en détail ces liens.

Par ailleurs, tous les participants ont eu une diminution statistiquement significative de leur douleur après injection, avec une diminution moyenne qui va de $4,8 \pm 2,3$ à $0,6 \pm 0,8$ ($p=0.001$) sur l'échelle numérique, ce qui correspond aux ordres de grandeur mentionnés dans les études de Schnitzer et coll. (1993), Henriksen et coll. (2006), et Skwara et coll. (2009).

Les observations qualitatives des vidéos nous ont permis d'observer que six participants marchaient en avant du tapis post injection, c.à.d. qu'ils semblaient avoir la volonté d'aller plus vite qu'avant leur injection. De même, nous avons remarqué que cinq participants semblaient présenter une augmentation de l'attaque du talon et de la poussée post injection. L'analyse des forces de réaction au sol permettrait de conclure sur ce point. Cette constatation nous amène à penser qu'il aurait peut-être été plus judicieux de modifier la vitesse du tapis roulant après réduction de la douleur. Néanmoins, nous voulions tester les participants dans les mêmes

conditions. Une prise de mesure supplémentaire aurait donc été nécessaire, ce qui aurait allongé le protocole déjà lourd.

La présente étude est de type transversal expérimental avec un faible nombre de sujets qui mesure des effets immédiats après l'injection d'un anesthésique local. Nous ne pouvons donc pas conclure sur l'effet de la suppression de la douleur sur la progression de l'arthrose à plus long terme comme dans les études de Schnitzer et coll. (1993) (N=18) et celles de Clausen et coll. (2014) (N=100). Ces auteurs ont étudié l'effet d'un anti-inflammatoire analgésique sur l'augmentation de la charge au compartiment médial chez des participants arthrosiques. Ils rapportent que les médicaments réduisant la douleur augmentent la charge au compartiment médial, ce qui pourraient aggraver les causes biomécaniques de l'arthrose et donc favoriser une accélération de la détérioration du cartilage chez ces patients (Clausen et al. 2014).

Cependant, il nous est possible d'affirmer que la biomécanique articulaire semble changer chez les participants ayant de la douleur arthrosique et ce, immédiatement après réduction plus ou moins importante de la douleur et que ces changements sont différents d'une personne à l'autre. Cela corrobore jusqu'à un certain point les divergences dans les études de la littérature et montre l'importance de continuer d'étudier ce phénomène afin de cibler les bonnes pratiques analgésiques chez cette population. Cela confirme également l'hypothèse principale de l'étude qui était que la réduction de la douleur, telle que ressentie par le patient, aurait un effet quantifiable immédiat sur la biomécanique articulaire 3D du genou et de la cheville.

Limitations

Premièrement, la taille de l'échantillon est petite, limitée à 9 participants. Ceci est dû notamment à la difficulté de recrutement des participants et aux critères d'inclusions aux caractères d'inclusion relativement sévères surtout en ce qui a trait à la douleur ressentie par le patient. Les résultats obtenus sur les sujets montrent néanmoins l'intérêt de poursuivre le recrutement pour pouvoir mieux analyser les tendances dans un groupe de plus grande taille.

Deuxièmement, nous n'avons pas enregistré la cinématique de la hanche. Avoir cette information nous aurait permis éventuellement d'avoir un tableau plus complet de l'effet de la réduction de la douleur sur la biomécanique du membre inférieur. L'inclusion de cette mesure est à considérer pour les futurs participants.

Finalement, la vitesse de marche des participants était faible et a été gardée constante tout au long de l'expérimentation. Il serait intéressant de faire une séance supplémentaire pour mesurer la nouvelle vitesse confortable après réduction de la douleur. Pour ne pas rallonger la séance totale, on pourrait envisager d'enregistrer chaque séance de marche pendant moins de temps (20-30 secondes). Afin de recruter des patients qui pourraient marcher plus rapidement, il faudrait considérer recruter des sujets avec moins de comorbidités.

Recommandations

Premièrement, il serait important de recruter des patients qui présentent des tableaux cliniques plus homogènes (en termes de : IMC, âge, temps depuis le diagnostic, compartiment atteint, sévérité) afin de limiter les variables confondantes pour les analyses futures.

Deuxièmement, nous suggérons d'inclure des patients avec des niveaux de douleur plus importants lors de leurs activités de la vie quotidienne. Il nous semble que cela permettrait de mieux faire ressortir l'effet de la suppression de la douleur.

Troisièmement, il nous semble pertinent d'analyser les forces de réaction au sol afin de mieux comprendre les phénomènes observés. Une analyse du mouvement de la hanche serait également un plus.

Finalement, il est à noter que l'étude a également comporté une mesure des activités électromyographiques qui a fait l'objet d'un autre mémoire de maîtrise en cours. Ces mesures devront être mises en relation avec les mesures cinématiques afin de mieux comprendre les phénomènes observés.

Bibliographie

- Alleyne, J. 2017. "Outil sur l'arthrose: Canada." In, edited by L'Alliance de l'arthrite du Canada, Centre for Effective Practice and Collège des médecins de famille du Canada, 1-8. Toronto, Canada.
- Andriacchi, T. P., P. L. Briant, S. L. Bevill, and S. Koo. 2006. 'Rotational changes at the knee after ACL injury cause cartilage thinning', *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 442: 6.
- Andriacchi, T. P., S. Koo, and S. F. Scanlan. 2009. 'Gait Mechanics Influence Healthy Cartilage Morphology and Osteoarthritis of the Knee', *The journal of bone and joint surgery, incorporated*, 91 7.
- AQMS, Association quebecoise des médecins du sport. 1997. 'FICHE D'ÉVALUATION CLINIQUE DU GENOU', Accessed 17 février 2018. <http://aqmse.org/wp-content/uploads/2014/09/fiche-genou-final.pdf>.
- Barre, A., and S. Armand. 2014. 'Biomechanical ToolKit: Open-source framework to visualize and process biomechanical data.', *Comput Methods Programs Biomed*, 4: 80-7.
- Bonci, T., V. Camomilla, R. Dumas, L. Chèze, and A. Cappozzo. 2015. 'Rigid and non-rigid geometrical transformations of a marker-cluster and their impact on bone-pose estimation.', *J Biomech.*, 48: 4166-72.
- Boyer, K. A., K. Andriacchi, and T. P. Andriacchi. 2013. 'Interactions of joint kinematics and pharmacologic for knee osteoarthritis pain. Abstracts ', *Abstracts / Osteoarthritis and Cartilage*, 21: S63-S312.
- Brockett, C. L., and G. J. Chapman. 2016. 'Biomechanics of the ankle', *Orthopaedics and trauma*, 30: 232-38.
- Bytyqi, D., B. Shabani, S. Lustig, L. Cheze, N. K. Gjurgjeala, and P. Neyret. 2014. 'Gait knee kinematic alterations in medial osteoarthritis: three dimensional assessment', *International Orthopaedics (SICOT)*, 38: 1191-98.
- Clausen, B., A. Holsgaard-Larsen, . Sondergaard, R. Christensen, T. P. Andriacchi, and E. M. Roos. 2014. 'The effect on knee-joint load of instruction in analgesic use compared with neuromuscular exercise in patients with knee osteoarthritis: study protocol for a randomized, single-blind, controlled trial (the EXERPHARMA trial)', *Trials*, 15.
- Clément, J., J. A. De Guise, A. Fuentes, and N. Hagemeister. 'Comparison of soft tissue artifact and its effects on knee kinematics between non-obese and obese subjects performing a squatting activity recorded using an exoskeleton.', *Gait Posture*, 61: 197-203.
- Conaghan, P. G., M. Kloppenburg, G. Schett, and J. W. J. Bijlsma. 2014. 'Osteoarthritis research priorities: a report from a EULAR ad hoc expert committee', *Ann Rheum Dis*, 73: 1442-45.
- Culvenor, A. G., A. G. Schache, B. Vicenzino, M. G. Pandy, N. J. Collins, J. L. Cook, and K. M. Crossley. 2014. 'Are knee biomechanics different in those with and without patellofemoral osteoarthritis after anterior cruciate ligament reconstruction?', *Arthritis Care Res (Hoboken)*, 66: 1566-70.
- Chauzi, B. 2007. 'Mouvement du genou', Accessed 18 février 2018. <http://entrainement-sportif.fr/genou.htm>.
- Doya, H., N. Haraguchi, H. Niki, M. Takao, and H. Yamamoto. 2010. 'Proposed novel unified nomenclature for range of joint motion: method for measuring and recording for the ankles, feet, and toes', *Journal of Orthopaedic Science*, 15: 9.
- Duthon, V. B., and D. Fritschy. 2011. 'Ruptures de l'appareil extenseur du genou', *Rev Med Suisse*, 7: 1544-48.

- Dworkin, R. H., D. C. Turk, J. T. Farrar, J. A. Haythornthwaite, M. P. Jense, N. P. Katz, and J. Witter. 2005. 'Core outcome measures for chronic pain clinical trials: IMMPACT recommendations', *Pain*, 113 9-19.
- Dworkin, R. H., D. C. Turk, K. W. Wyrwich, D. Beaton, C. S. Cleeland, J. T. Farrar, and S. Zavisic. 2008. 'Interpreting the clinical importance of treatment outcomes in chronic pain clinical trials: IMMPACT Recommendations ', *The Journal of Pain*, 9: 105-21.
- Edd, S. N., N. J. Giori, and T. P. Andriacchi. 2015. 'The role of inflammation in the initiation of osteoarthritis after meniscal damage', *Journal of Biomechanics*, 48: 1420–26.
- Gasq, D., F. Molinier, and J. M. Lafosse. 2013. "Physiologie, methodes d'explorations et troubles de la marche " In, 26. Toulouse, France: Technical report, Université Paul Sabatier.
- Gaudreault, N., J. A. De Guise, N. Hagemester, and S. Poitras. 2011. "Analyse cinématique du genou lors de la marche de travailleurs exposés à une surcharge Une étude pilote." In.: l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST).
- Gerin, C. 2016. 'Le genou, une articulation sous pression', Accessed 15 juillet 2017. <http://www.allodocteurs.fr/j-ai-mal/aux-articulations/genou/le-genou-une-articulation-sous-pression-71.html>.
- Góngora García, L. H., C. M. Rosales García, I. Gonzáles Fuentes, and N. Pujals Victoria. 2003. 'Articulación de la rodilla y su mecánica articular', *Laboratorios de Anticuerpos y Biomodelos Experimentales*, 7: 100-09.
- H., Kellgren, J., and J. S.. Lawrence. 1957. 'Radiological assessment of rheumatoid arthritis.', *Ann Rheum Dis.*, 16: 485-93.
- Hagemester, N., G. Parent, M. Van de Puttea, N. St-Ongea, N. Duvala, and J. A. De Guise. 2005. 'A reproducible method for studying three-dimensional knee kinematics', *Journal of Biomechanics*, 38: 1926–31.
- Hayot, C. 2010. 'Analyse biomécanique 3D de la marche humaine: Comparaison des modèles mécaniques', Université de Poitiers.
- Henriksen, M., J. Aaboe, and H. Bliddal. 2012. 'The relationship between pain and dynamic knee joint in knee osteoarthritis varies with radiographic disease severity. A cross sectional study.', *The Knee*, 19: 392-98.
- Henriksen, M., E. B. Simonsen, T. Alkjaer, H. Lund, T. Graven-Nielsen, B. Danneskiold-Samsoe, and H. Bliddal. 2006. 'Increased joint loads during walking – A consequence of pain relief in knee osteoarthritis. ', *The Knee*, 13: 445-50.
- Henriksen, M., E. B. Simonsen, T. Graven-Nielsen, H. Lund, B. Danneskiold-Samsoe, and H. Bliddal. 2006. 'Impulse-forces during walking are not increased in patients with knee osteoarthritis', *Acta Orthop*, 77: 650-6.
- Kanhonou, M. 2017. 'Méthode d'évaluation fonctionnelle de la gonarthrose par étude de la pseudo-cinématique d'accroupissement ', École de Technologie Supérieure.
- Korff, M. V. , M. P. Jensen, and P. Karoly. 2000. 'Assessing Global Pain Severity by Self-Report in Clinical and Health Services Research', *SPINE*, 25: 3140–51.
- Labbe, D. R. , N. Hagemester, M. Tremblay, and J. A. de Guise. 2008. 'Reliability of a method for analyzing three-dimensional knee kinematics during gait', *Gait Posture*, 28: 170–74.
- Lafortune, M. A., P. R. Cavanagh, H. J. Sommer, and A. Kalenak. 1992. 'Three-Dimensional kinematics of the human knee during walking', *J. Biomechanics*, 25: 347-57.

- Largey, A. . 2017. 'Anatomie du genou [en ligne] (page consultée le 28/06/2017) '. https://www.docvadis.fr/files/all/SOjLuqN32tXROWcpJFDjFQ/anatomie_du_genou2_01_anatomie_du_genou.pdf.
- Lustig, S., R. A. Magnussen, L. Cheze, and P. Neyret. 2012. 'The KneeKg system: a review of the literature ', *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 20: 633-38.
- Malanga, G., and J. A. De Lisa. 1998. 'Clinical Observation.' in J. A. De Lisa (ed.), *Gait Analysis in the Science of Rehabilitation* (Baltimore, U.S).
- Maly, M. R., P. A. Costigan, and S. J. Olney. 2008. 'Mechanical factors relate to pain in knee osteoarthritis', *Clinical Biomechanics*, 23: 796-805.
- Manolova, A., and P. Debraux. 2011. 'Description anatomique du mouvement', Accessed 11 novembre 2017. <https://www.sci-sport.com/theorie/001-02.php>.
- Marieb, E. N. 1998. *Anatomie et physiologie humaines*.
- Marieb, E. N., and Lachaîne. R. 2005. *Anatomie et physiologie humaines* (Canada).
- Massimo, D. 2017. 'Physiotherapie pour tous: Anatomie du genou', Accessed 1 décembre 2017. <http://www.physiotherapiepourtous.com/anatomie/anatomie-du-genou/>.
- Mezghani, N., D. Billard, Y. Ouakrim, A. Fuentes, N. Hagemeister, and J. A. De Guise. 2017. 'Biomechanical analysis to characterize the impact of knee osteoarthritis on hip, knee, and ankle kinematics. ', *Journal of Biomedical Engineering and Informatics*, 3: 36-42.
- Mezghani, N., A. Fuentes, R. Aissaoui, N. Hagemeister, J. De Guise, N. Gaudreault, and A. Mitiche. 2013. 'Identification of knee frontal plane kinematic patterns in normal gait by principal component analysis', *Journal of Mechanics in Medicine and Biology*, 13: 13.
- Mezghani, N., Y. Ouakrim, A. Fuentes, A. Mitiche, N. Hagemeister, P. Vendittoli, and J. A. de Guise. 2017. 'Mechanical biomarkers of medial compartment knee osteoarthritis diagnosis and severity grading: Discovery phase', *Journal of Biomechanics*, 52: 106-12.
- Monnier, P. 2017. 'Le syndrome rotulien ou fémoro-patellaire', Accessed 15 décembre 2017. http://www.monnier-ortho.com/Syndrome_Rotulien.html.
- Netter, F. H. 2011. *Atlas of human anatomy* (Saunders/Elsevier: Philadelphia, PA).
- Panesso, M. C., M. C. Trillos, and I. T. Guzmán. 2009. "Biomecánica clínica de la rodilla." In *Documento de Investigación*, edited by Universidad del Rosario and Facultad de Rehabilitación y Desarrollo Humano. Colombia.
- Pereira, D., B. Peleteiro, J. Araújo, J. Branco, Santos, R. A. , and E. Ramos. 2011. 'The effect of osteoarthritis definition on prevalence and incidence estimates: a systematic review', *Osteoarthritis and Cartilage*, 19: 1270-85.
- Perrot, S. 2016. "Douleur arthrosique: Physiopathologie, diagnostic, et prise en charge." In.: Association internationale pour l' étude de la douleur.
- Perry, J. 1992. *Gait Analysis Normal and Pathological Functions* (Thorofare, NJ).
- Public Health Agency of Canada. 2017. "Public Health Agency of Canada: National surveillance of arthritis in Canada: Results from the Canadian Chronic Disease Surveillance System " In *Arthritis Alliance of Canada*. Vancouver.
- Rabischong, P. 2012. 'Anatomie compréhensive de la cheville', *Médecine et chirurgie du pied*: 6.
- Rutherford, D. J. . 2011. 'Factors affecting knee joint muscle activation patterns during gait in individuals with knee osteoarthritis ', Dalhousie Univesity.
- Schnitzer, T. J., J. M. Popovich, G. B. Andersson, and T. P. Andriacchi. 1993. 'Effect of piroxicam on gait in patients with osteoarthritis of the knee', *ARTHRITIS & RHEUMATISM*, 36: 7.
- Servant-Laval, A. 2007. "Anatomie fonctionnelle." In, edited by Faculté de médecine Pierre&Marie Curie, 81 Paris, France.

- Sharif, B., R. Garner, D. Hennessy, C. Sanmartin, W. M. Flanagan, and D. A. Marshall. 2017. 'Productivity costs of work loss associated with osteoarthritis in Canada from 2010 to 2031', *Osteoarthritis Cartilage*, 25: 249-58.
- Shrader, M. W., L. F. Draganich, L. A. Pottenger, and G. A. Piotrowski. 2004. 'Effects of Knee Pain Relief in Osteoarthritis on Gait and Stair-Stepping', *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 421: 188–93.
- Skwara, A., C. D. Peterlein, C. O. Tibesku, D. Rosenbaum, and S. Fuchs-Winkelmann. 2009. 'Changes of gait patterns and muscle activity after intraarticular treatment of patients with osteoarthritis of the knee A prospective, randomised, doubleblind study', *The Knee*, 16: 466–72.
- Statistique Canada. 2014. "Apparition des symptômes, diagnostic et gestion de l'arthrose " In, 11 à 19. Statistique Canada: Statistique Canada.
- Sudhoff, I., S. Van Driessche, S. Laporte, J. A. De Guise, and W. Skalli. 2007. 'Comparing three attachment systems used to determine knee kinematics during gait', *Gait & Posture*, 25: 533–43.
- Van de Putte, M., N. Hagemester, N. St-Onge, G. Parent, and J. A. De Guise. 2006. 'Habituation to treadmill walking.', *Biomed Mater Eng.*, 16: 43-52.
- Versier, G. . 2017. 'Biomécanique du genou [en ligne] (page consultée le 28/06/2017)'. http://www.clubortho.fr/cariboost_files/cours_20biomecanique_20genou_20GV.pdf.
- Villalobos, E. 2011. 'Analyse cinématique de la marche de travailleurs exposés à une surcharge mécanique sur l'articulation fémoro-tibiale', Université de Montréal.
- Wikipédia. 2015. 'Cheville (anatomie)', Accessed 1 décembre 2017. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Cheville_\(anatomie\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Cheville_(anatomie)).
- Willems, P. A., B. Schepens, and C. Detrembleur. 2012. 'Marche normale', *Kinésithérapie-Médecine physique-Réadaptation*, 26-007-B-75: 30.
- Woolf, A., and Pflieger. B. 2003. "Des millions de personnes souffrent de pathologies de l'appareil locomoteur." In. Organisation mondiale de la Santé.
- Wu, G., S. Siegler, P. Allard, C. Kirtley, A. Leardini, D. Rosenbaum, M. Whittle, D. D. D'Lima, L. Cristofolini, H. Witte, O. Schmid, and I. Stokes. 2002. 'ISB recommendation on definitions of joint coordinate system of various joints for the reporting of human joint motion—part I: ankle, hip, and spine', *Journal of Biomechanics*, 35: 543-48.

ANNEXES

Annexe 1. Questionnaire Téléphonique

Bonjour est-ce que je pourrais parler à M/Mme _____ svp. Mon nom est Maria Celia Bazan, je suis en charge du projet de recherche sur le Développement de biomarqueurs mécaniques de la douleur – Étude pilote chez des patients arthrosiques. Vous devez avoir reçu par courrier des documents vous expliquant les grandes lignes du projet, avez-vous eu le temps d'en prendre connaissance ?

- **Si oui :**

Pensez-vous être intéressé à participer à notre projet ?

- Si oui :**

Avez-vous quelques minutes à me consacrer pour que je vérifie avec vous si vous remplissez les critères d'inclusion ?

- **Si oui :**

Passer aux **QUESTION 1**

- **Si non :**

Pourrions-nous vous recontacter prochainement ?

Date : _____ Heure : _____

- Si non :**

Remercier le participant – FIN.

- **Si non :**

Pourrions-nous vous recontacter prochainement ?

Date : _____ Heure : _____

QUESTION 1 :

Avez-vous quelques minutes à me consacrer pour que je vous explique le projet ?

- Si oui :**

Cette étude a pour but principal de développer des biomarqueurs mécaniques de la douleur qui pourraient être utilisés dans des projets ultérieurs pour l'évaluation de l'effet de médicaments réduisant la douleur arthrosique.

Si consentement OK, passer aux QUESTIONS 2.

- Si non :**

Pourrions-nous vous recontacter prochainement ?

Date : _____ Heure : _____

QUESTION 2 (Critères d'inclusion/exclusion)

1) L'ÉCHELLE NUMÉRIQUE (EN)

Pourriez-vous quantifier sa douleur sur une échelle virtuelle allant de 0 (douleur absente), à 10 (douleur maximale imaginable) ?

EN 0 = absence de douleur ; EN entre 1 et 4= douleur faible ; En entre 5 et 6=douleur modérée ;

EN entre 7 et 10=douleur intense.

- Si >4/10 :

Si oui :

Passe critère suivant

Si non :

Suivi la flèche (page 2). Remercier le participant – FIN

2) LA DOULEUR EST DANS UN SEUL GENOU?

Si oui :

Passe critère suivant

Si non :

Suivi la flèche. Remercier le participant – FIN

3) VOTRE GENOU EST TRÈS ENFLÉ?

Si non :

Passe critère suivant

Si oui :

Suivi la flèche. Remercier le participant – FIN

4) MARCHEZ-VOUS AVEC AIDE, BOITERIE MARQUÉE, MANQUE D'ÉQUILIBRE?

Si non :

Passe critère suivant

Si oui :

Suivi la flèche. Remercier le participant – FIN

5) AVEZ-VOUS DE L'HYPERSENSIBILITÉ AU TOUCHÉ (FIBROMYALGIE, SENSIBILITÉ CUTANÉE EXACERBÉE) ?

Si non :

Passe critère suivant

Si oui :

Suivi la flèche. Remercier le participant – FIN

6) AVEZ-VOUS EU DE BLESSURE RÉCENTE SUITE À UN TRAUMATISME (MOINS DE 1 MOIS)

Si non :

Passe critère suivant

Si oui :

Suivi la flèche. Remercier le participant – FIN

7) AVEZ-VOUS EU DE BLESSURE OU DOULEUR AILLEURS AU GENOU QUI CHANGE VOTRE MANIÈRE DE MARCHER (ENTORSE CHEVILLE, NERF SCIATIQUE DOULOUREUX...)

Si non :

Passe critère suivant

Si oui :

Suivi la flèche. Remercier le participant – FIN

8) AVEZ-VOUS EU D'UNE INJECTION RÉCENTE (CORTISONE INTRA-ARTICULAIRE, GLUCOCORTICOSTÉROÏDES SYSTÉMIQUES OU D'ACIDE HYALURONIQUE DANS LES TROIS MOIS PRÉCÉDANT ?

Si non :

Passe critère suivant

Si oui :

Suivi la flèche. Remercier le participant – FIN

9) AVEZ-VOUS DES RÉACTIONS DE TYPE ALLERGIQUE AUX ANESTHÉSISQUES LOCAUX ?

Si non :

Passe critère suivant

Si oui :

Suivi la flèche. Remercier le participant – FIN

10) AVEZ-VOUS DE PROBLÈME CARDIAQUE ?

Si non :

Passe critère suivant

Si oui :

Suivi la flèche. Remercier le participant – FIN

11) ÊTES-VOUS CAPABLE DE MARCHER SUR UN TAPIS ROULANT SANS SE TENIR?

Si oui :

Passe critère suivant

Si non :

Suivi la flèche. Remercier le participant – FIN

12) ÊTES-VOUS CAPABLE D'ACCEPTER DE NE PRENDRE AUCUN MÉDICAMENT ANALGÉSIQUE DANS LE 24 HEURES PRÉCÉDANT LE RENDEZ-VOUS ?

Si oui :

Passe critère suivant

Si non :

Suivi la flèche. Remercier le participant – FIN

13) ÊTES-VOUS CAPABLE DE COMPRENDRE, LIRE ET COMPLÉTER DES QUESTIONNAIRES EN FRANÇAIS OU EN ANGLAIS ?

Si oui :

Passe critère suivant

Si non :

Suivi la flèche. Remercier le participant – FIN

Je confirme que vous êtes éligible pour participer à notre projet.

14) *ACCEPTEZ-VOUS DE PARTICIPER ?*

Si non :

Merci pour votre temps. Je tiens à vous rappeler que si vous avez quelque problème que ce soit avec votre genou, n'hésitez pas à contacter votre médecin.

Si oui :

La participation à notre projet implique une rencontre d'environ deux heures et demie au CRCHUM pendant laquelle plusieurs tests vont être réalisés. Expliquer les différents tests et Donnez un rendez-vous

DONNEZ UN RENDEZ-VOUS : DATE/HEURE

- Instructions lors RDV :
 - Quel genou ?
 - Short, t-shirt, bas blanc, chaussures sport
 - Local CRCHUM
 - Temps environ 2h

Annexe 2. Questionnaire sociodémographique et clinique

Sexe:

Homme

Femme

Quel est votre âge? _____

Quel est votre degré de scolarité?

Primaire

Secondaire

CEGEP

Universitaire

Quel est votre statut d'activité?

En emploi

Aux études

À la retraite

Sans emploi

Rente d'invalidité

Depuis combien de temps vous avez été diagnostiqué avec l'Arthrose du genou

Moins de 1 an

Entre 1 et 5 ans

Entre 5 et 10 ans

Plus de 10 ans

Liste de médicaments que vous prenez ou avez pris pour traiter votre arthrose :

Avez-vous une autre maladie chronique (plus de 6 mois) qui affecte les muscles et / ou les nerfs?

Oui

Non

Taille : in/cm Poids : lbs/kg IMC :

Longueur de jambe:

Grand trochanter au sol : cm Grand trochanter à la malléole externe : cm

Annexe 3. Fiche d'évaluation clinique du genou

FICHE D'ÉVALUATION CLINIQUE DU GENOU



Nom _____ Prénom _____

Numéro assurance-maladie _____ Expiration _____

RAMQ CSST SAAQ Autre : _____

Date : _____
 Examen : ____/____/____ Événement : ____/____/____ Début d'absence : ____/____/____

ANAMNÈSE

| | | |
|---|--|---|
| Élément déclencheur <ul style="list-style-type: none"> Traumatique <ul style="list-style-type: none"> Pivot Hyperextension Impact Autres Progressif | | Occupation Âge _____ Dominance _____ Activités sportives Drapeaux rouges <ul style="list-style-type: none"> Âge >= 50 ans Fièvre, frisson Perte de poids inexplicable Douleur nocturne Antécédents de néoplasie, tumeur, infection Immunosuppression Usage de drogues i.v. Ø amélioration avec Rx conservateur > 3 mois |
| Symptômes douloureux <ul style="list-style-type: none"> Localisation <ul style="list-style-type: none"> Médiale Antérieure Latérale Postérieure Gonflement <ul style="list-style-type: none"> Rapide Tardif Intermittent Arrêt de l'activité Horaire <ul style="list-style-type: none"> AM PM Nocturne Intensité : _____ /10 Sensation de ... <ul style="list-style-type: none"> Pop Clic Dérobement Blocage Instabilité | | Antécédents <ul style="list-style-type: none"> Médical Traumatique Chirurgical Familial |
| Accompagnés de... <ul style="list-style-type: none"> Raideur matinale Crépitement Paresthésie Lombalgie Coxalgie Douleur au mollet Autres | | Investigations <ul style="list-style-type: none"> R-X simple Tomodensitométrie Résonance magnétique Autres |
| Augmentés par... <ul style="list-style-type: none"> Marche, course, sauts Escaliers Position assise prolongée Position accroupie Pivot Autres | Soulagés par... <ul style="list-style-type: none"> Repos Médication Autres | Traitements : <ul style="list-style-type: none"> Glace / Chaleur Médication Physiothérapie, Massothérapie, Acupuncture Infiltration Autres |

Souligner : négatif Encercler : positif

D000041459

EXAMEN

Debout

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|--|--|---|---|-------------|--|---|---|--|---------------|---|---|--------------------------|--|--|
| | | | D | G | | | D | G | | | D | G | | | |
| Obésité | | | | | Boiterie | | | | | Récurvatum | | | Inégalité du bassin >< | | |
| | | | | | Gonflement | | | | | Atrophie quad | | | Inégalité de longueur >< | | |
| | | | | | Flexum | | | | | Rougeur | | | Position accroupie | | |
| | | | | | Genu valgum | | | | | Pieds plats | | | Épreuve de la marche | | |
| | | | | | Genu varum | | | | | Pieds creux | | | | | |

Assis

| | | | | | | | |
|--|--|----|----|---------|--|---|---|
| | | D | G | | | D | G |
| Mouvements contrariés résistés en flexion (ischio) | | /5 | /5 | Douleur | | | |
| Mouvements contrariés résistés en extension (quad) | | /5 | /5 | Douleur | | | |

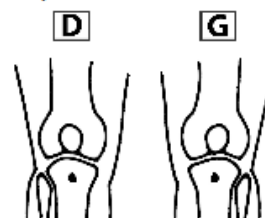
Décubitus dorsal

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------|--|---|---|-----------|---|---|---|---------------|--|---|-------------------|--|
| | | D | G | | | D | G | | | D | G | |
| Flot | | | | Flexion | ° | | | Stress valgus | | | Tiroir antérieur | |
| Glaçon | | | | Extension | ° | | | Stress varus | | | Tiroir postérieur | |
| Appréhension | | | | | | | | Noble | | | McMurray | |
| Rabot | | | | | | | | Lachman | | | Thessaly | |

Palpation

| | | | | | | | |
|--------------------------------|--|---|---|-------------------------|--|---|---|
| | | D | G | | | D | G |
| Chaleur | | | | Tendon quadricipital | | | |
| Rotule | | | | Tendon rotulien | | | |
| Interligne articulaire médial | | | | Bandelette ilio-tibiale | | | |
| Interligne articulaire latéral | | | | Patte d'oie | | | |
| Ligament collatéral médial | | | | Creux poplité | | | |
| Ligament collatéral latéral | | | | | | | |

Emplacement de la douleur



Impression diagnostique

Conduite

Signature

Cocher si positif

Cet outil a été rendu possible grâce à une contribution à visée éducative de Pfizer Canada Inc.

Annexe 4. L'échelle numérique

L'échelle numérique (EN)

Sur une échelle de 0-10 où « 0 » indique « aucune douleur » et « 10 » indique « la pire douleur possible », veuillez choisir sur l'échelle suivante le chiffre qui décrit le mieux :

La douleur que vous ressentez MAINTENANT

| | | | | | | | | | | |
|-------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-----------------------------|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Aucune douleur | | | | | | | | | | La pire douleur possible |

Annexe 5. Données complémentaires sur des observations cliniques

Les différents tableaux de données que l'on retrouve dans cette annexe sont présentés ci-dessous.

Tableau V.1. Principaux points d'observation clinique* pour le sujet 02.

| | S02 | | | |
|-----------------------------|--------------------------------------|--|---|----------------|
| | Arrivée | Échauffement | Pré-injection | Post-injection |
| Cadence | Symétrique/Rythmique | | Marche en avant du tapis, volonté d'aller plus vite par la fin du tapis | |
| Douleur | 3,5/10 G | 3/10 G | | 2/10 G |
| Localisation | Latéral | | N/A | |
| Temps Dx | < 1 an | | | |
| Foulée | Égale | | | |
| Épaules | Rétraction | | | |
| Tronc | Rigidité | | | |
| Bassin | Inclinaison antérieur | | | |
| Genou | Add Tibia G | | Diminution Add tibia G | |
| Cheville | Éversion G et adduction G | | Augmentation de l'éversion G et de l'adduction G | |
| Pieds | attaque du talon et poussée normales | Diminution de l'attaque du talon et de poussée G | | |
| Base de sustentation | Normal | Légère augmentation | Légère augmentation | |

*(Malanga and De Lisa 1998)

Tableau V.2. Principaux points d'observation clinique* pour le sujet 03.

| | S03 | | | |
|-----------------------------|--|---------------------|--|---|
| | Arrivée | Échauffement | Pré-injection | Post-injection |
| Cadence | Manque de coordination, pas peu petit avec le harnais | | | |
| Douleur | 0/10 D | 5/10 D | | 0/10 D |
| Localisation | Médial | | | N/A |
| Temps Dx | > 10 ans | | | |
| Foulée | Égale | | | |
| Épaules | Scapula ailée | | | |
| Tronc | Rigidité en flexion / Déviation à chaque côté dans chaque pas | | | |
| Bassin | Inclinaison postérieur | | | |
| Genou | Rot int bil, Adduction | | Rot int bil, Adduction et hyperflexion D | Augmentation de la Rot int bil et de l'adduction, hyperflexion D |
| Cheville | Éversion phase d'appui. Adduction. | | | Augmentation de l'éversion phase d'appui D. Diminution de l'adduction D |
| Pieds | Pauvre attaque du talon et légère poussée bilatéral, plus côté D | | | |
| Base de sustentation | Large aprox 20 cm | | Large aprox 25 cm | |

*(Malanga and De Lisa 1998)

Tableau V.3. Principaux points d'observation clinique* pour le sujet 04.

| | S04 | | | |
|-----------------------------|--|--------------|---|----------------|
| | Arrivée | Échauffement | Pré-injection | Post-injection |
| Cadence | Symétrique/Rythmique | | Marche en avant du tapis, volonté d'aller plus vite par la fin du tapis | |
| Douleur | 1,5/10 G | 3,5/10 G | | 1/10 G |
| Localisation | Médial | | N/A | |
| Temps Dx | 5- 10 ans | | | |
| Foulée | Égale | | | |
| Épaules | Déprimée | | | |
| Tronc | Rigidité | | | |
| Bassin | Inclinaison antérieur | | | |
| Genou | Rot int bilatéral et add tibia bilatéral phase d'appui | | | |
| Cheville | Éversion et adduction | | Plus d'éversion G Diminution de l'adduction G | |
| Pieds | l'attaque du talon et poussée sont pareilles | | | |
| Base de sustentation | Normal | | Large (entre 10-15 cm) | |

*(Malanga and De Lisa 1998)

Tableau V.4. Principaux points d'observation clinique* pour le sujet 05.

| | S05 | | | |
|-----------------------------|--|--------------|--|--|
| | Arrivée | Échauffement | Pré-injection | Post-injection |
| Cadence | Symétrique/Rythmique/marche saccadée | | | La marche légèrement plus rapide |
| Douleur | 0/10 D | 4/10 D | | 1,5/10 D |
| Localisation | Antéro-médial | | | N/A |
| Temps Dx | 5- 10 ans | | | |
| Foulée | Égale | | | |
| Épaules | Déprimée | | | |
| Tronc | Rigidité, vers l'avant | | | |
| Bassin | Pas d'obliquité, antéversion pelvis, pas de rotation | | | Plus de rotation |
| Genou | Add tibia D Genou D plus raide en extension phase d'appui | | | Diminution d'adduction D et augmentation de rot ext Genou D plus raide en extension phase d'appui |
| Cheville | Éversion et adduction | | Augmentation de l'éversion, Diminution de l'adduction | |
| Pieds | l'attaque du talon et poussée sont pareilles | | | |
| Base de sustentation | Légère augmentation | | | |

*(Malanga and De Lisa 1998)

Tableau V.5. Principaux points d'observation clinique* pour le sujet 06.

| | S06 | | | |
|-----------------------------|--|---------------------|--|--|
| | Arrivée | Échauffement | Pré-injection | Post-injection |
| Cadence | Symétrique/Rythmique/grand pas | | | De plus grand pas. Marche en avant du tapis, volonté d'aller plus vite par la fin du tapis |
| Douleur | 0 /10 D | 3 /10 D | | 0/10 D |
| Localisation | Médial | | | N/A |
| Temps Dx | > 10 ans | | | |
| Foulée | Égale, grande | | | |
| Épaules | Rétraction bilatérale | | | |
| Tronc | Bonne dissociation | | Le poids du corps est plus appuyé sur la jambe G | La répartition du poids semble symétrique |
| Bassin | Rigidité | | | |
| Genou | Adduction tibia bilatéral | | | Diminution de l'adduction D |
| Cheville | Éversion et abduction des pieds bilatéraux | | | Augmentation de l'éversion et de l'abduction D |
| Pieds | l'attaque du talon et poussée normales | | | Légère diminution de la poussée |
| Base de sustentation | Normal | | | Légère augmentation |

*(Malanga and De Lisa 1998)

Tableau V.6. Principaux points d'observation clinique* pour le sujet 07.

| | S07 | | | |
|-----------------------------|--|---------------------------------------|----------------------|---|
| | Arrivée | Échauffement | Pré-injection | Post-injection |
| Cadence | Marche saccadée, claudicante et en «canard» boiterie marquée | | | Marche en avant du tapis, volonté d'aller plus vite par la fin du tapis |
| Douleur | 8,5/10 G | 9,5/10 G | | 0,5/10 G |
| Localisation | Antéro-médial-latéral | | | N/A |
| Temps Dx | 1-5 ans | | | |
| Foulée | Courte supportée par le tapis | | | Courte mais moins aidée par le tapis, plus d'impulsion |
| Épaules | Déprimée et vers l'avant | | | |
| Tronc | Au début de la marche dans les trois étapes: transférance du poids du côté sain, par la suite : transférance excessive du poids des deux côtés, rigidité, mauvaise dissociation tout du long | | | |
| Bassin | Rigidité | | | |
| Genou | Adduction des tibias bilatéraux | | | |
| Cheville | Inversion et adduction | Autour position neutre phase d'appui | | Plus d'inversion phase d'appui |
| Pieds | l'attaque du talon et poussée très faibles | Plus de diminution de de la poussée G | | Légère augmentation de la poussée |
| Base de sustentation | Très large (plus de 20 cm) | | | |

*(Malanga and De Lisa 1998)

Tableau V.7. Principaux points d'observation clinique* pour le sujet 08.

| | S08 | | | |
|-----------------------------|--|---|-----------------------------------|---|
| | Arrivée | Échauffement | Pré-injection | Post-injection |
| Cadence | Symétrique Rythmique | | | La marche légèrement plus rapide |
| Douleur | 3/10 G | 4/10 G | | 0/10 G |
| Localisation | Antéro-médial-latéral | | | N/A |
| Temps Dx | 1-5 ans | | | |
| Foulée | Égale | | Courte à D | Longue et égale |
| Épaules | Normal | | | |
| Tronc | Normal | | | |
| Bassin | Pas d'obliquité | | | |
| Genou | Adduction bilatéral | Légère hyperextension phase simple d'appui bil, adduction G | | Augmentation hyperextension phase simple d'appui bilatéral. Diminution adduction G. |
| Cheville | Normal | | Éversion. Abduction phase d'appui | Augmentation de l'éversion et abduction phase d'appui |
| Pieds | l'attaque du talon et poussée normales | | Diminution de la poussée D | Augmentation de la poussée D |
| Base de sustentation | Étroite | | Normal | |

*(Malanga and De Lisa 1998)

Tableau V.8. Principaux points d'observation clinique* pour le sujet 09.

| | S09 | | | |
|-----------------------------|---|-------------------------------------|--|---|
| | Arrivée | Échauffement | Pré-injection | Post-injection |
| Cadence | Symétrique/Rythmique/ petit pas d'insécurité | | | Marche en avant du tapis, volonté d'aller plus vite par la fin du tapis |
| Douleur | 6/10 G et 5/10D (Genou gauche instrumenté) | 7,5/10 G (Genou gauche instrumenté) | | 0/10 bilatéral |
| Localisation | Antéro-médial-latéral bilatéral | | | N/A |
| Temps Dx | 1-5 ans | | | |
| Foulée | Asymétrique plus longue à gauche. Hypothèse: plus d'appui sur la droite | | | |
| Épaules | Déprimées et rigidité | | | |
| Tronc | Rigidité | | | |
| Bassin | Rigidité, pas de rotation | | | |
| Genou | Adduction bil. Rot int bil plus à G. Augmentation flexion genou bil | | Adduction bil. Rotation neutre G. Flexion genou bil | |
| Cheville | Adduction phase d'appui | | Inversion au contact au sol et phase d'appui. Diminution adduction phase d'appui | |
| Pieds | Pauvre attaque du talon et légère poussée bilatéral (Attaque avec l'avant pied) | | Augmentation de l'attaque au talon et de la poussée G | |
| Base de sustentation | Large (entre 10-15 cm) | | | |

* (Malanga and De Lisa 1998)

Annexe 6. Données complémentaires sur des graphiques cinématiques tridimensionnelle au genou

Les différentes Figures montrent le découpage en sous phases du cycle de marche pour déterminer les changements potentiels de la cinématique angulaire en trois dimensions autour du genou arthrosique suite à la réduction de la douleur induite par une injection intra-articulaire d'anesthésique local, lors de la marche sur le tapis roulant. Les Figures de données cinématiques que l'on retrouve dans cette annexe sont présentés ci-dessous.

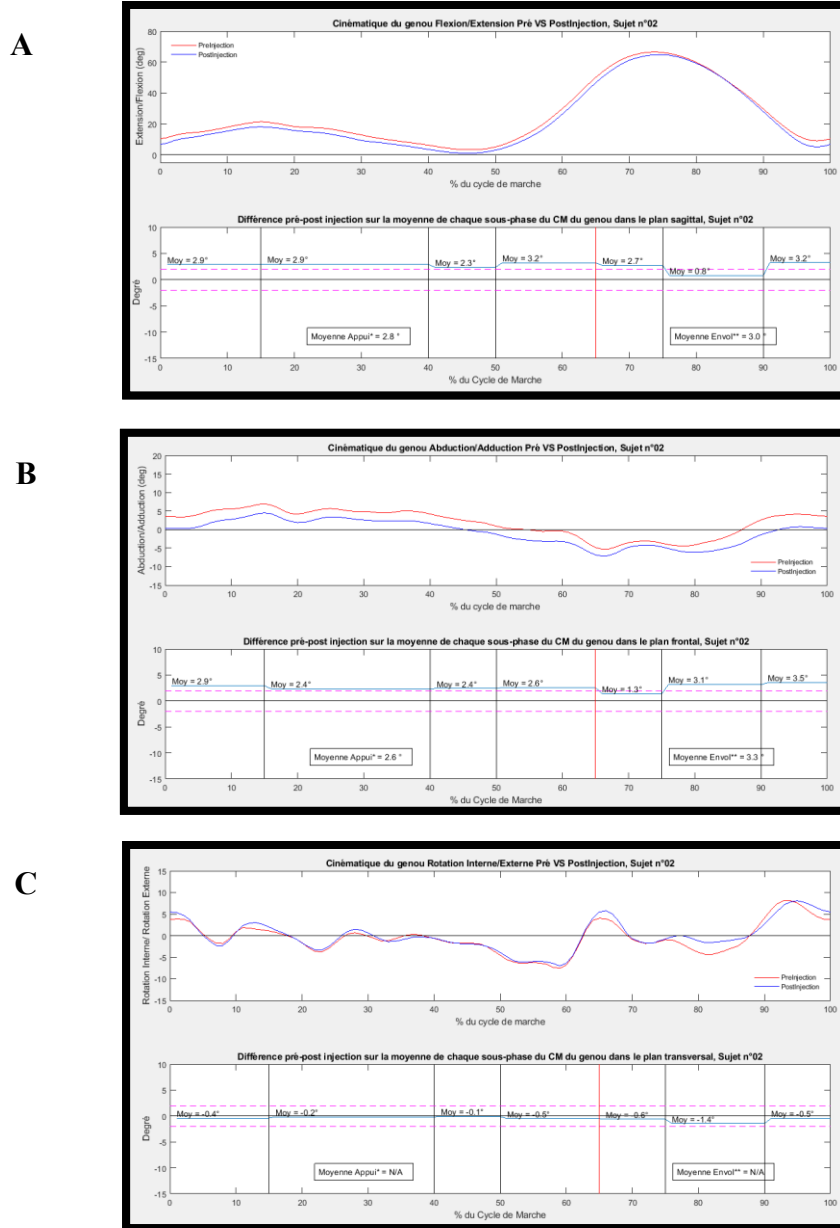


Figure VI.1. Pour le participant S02, A : Partie supérieure: Cinématique du genou flexion/extension pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM du genou dans le plan sagittal. B : Partie supérieure : Cinématique du genou abduction/adduction pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM du genou dans le plan frontal. C : Partie supérieure : Cinématique du genou rotation interne/externe pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM du genou dans le plan transversal.

*Moyenne appui : calculée en prenant au moins 3 changements vers la même direction sur les 4 sous-phases qui correspondent à la phase d'appui. **Moyenne envol : calculée en prenant au moins 2 changements vers la même direction sur les 3 sous-phases qui correspondent à la phase d'envol.

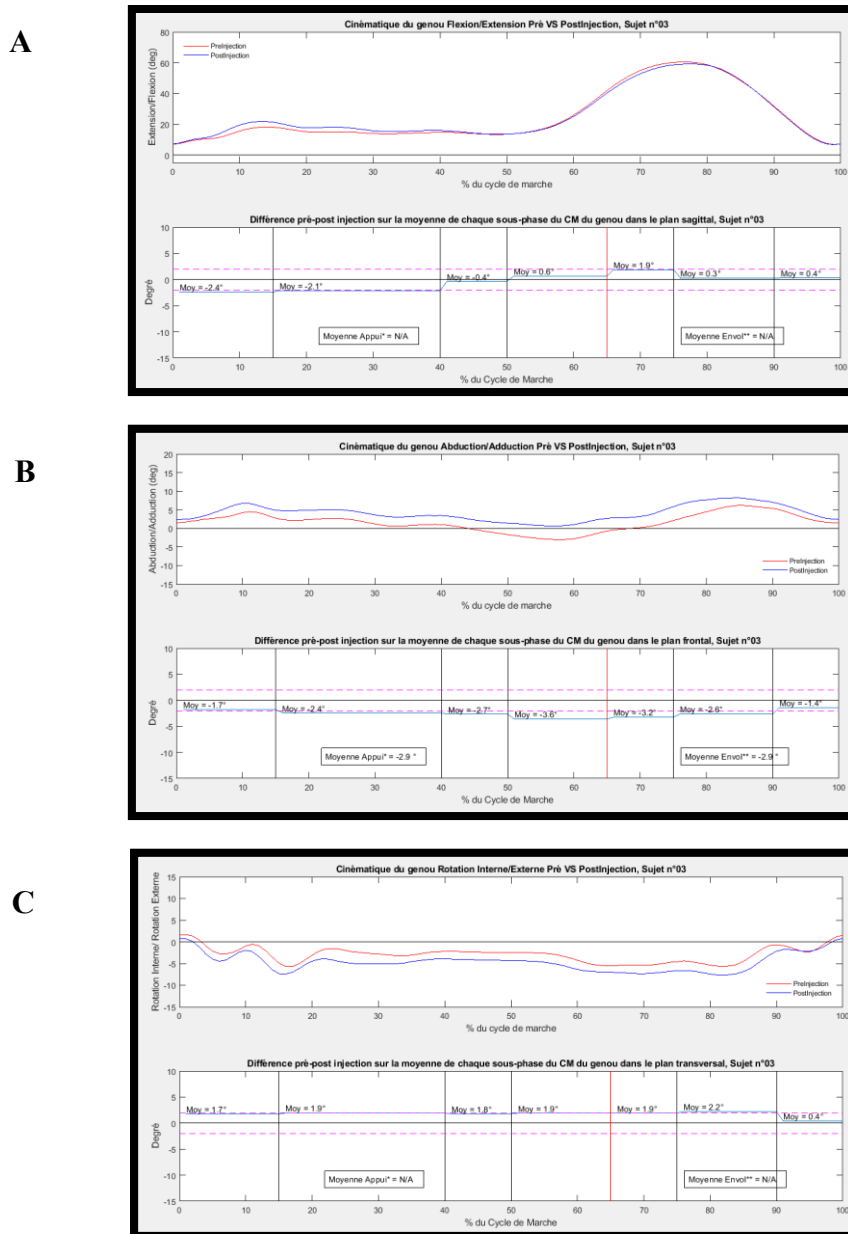
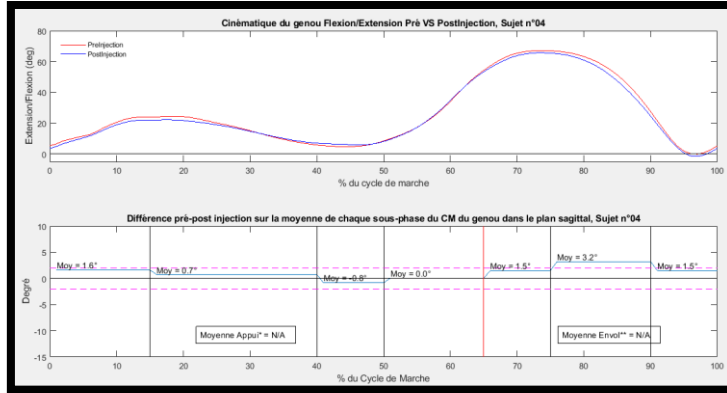


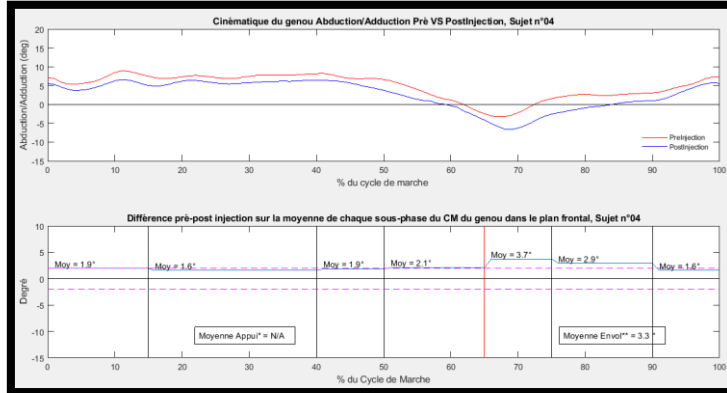
Figure VI.2. Pour le participant S03, A : Partie supérieure: Cinématique du genou flexion/extension pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM du genou dans le plan sagittal. B : Partie supérieure : Cinématique du genou abduction/adduction pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM du genou dans le plan frontal. C : Partie supérieure : Cinématique du genou rotation interne/externe pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM du genou dans le plan transversal.

*Moyenne appui : calculée en prenant au moins 3 changements vers la même direction sur les 4 sous-phases qui correspondent à la phase d'appui. **Moyenne envol : calculée en prenant au moins 2 changements vers la même direction sur les 3 sous-phases qui correspondent à la phase d'envol.

A



B



C

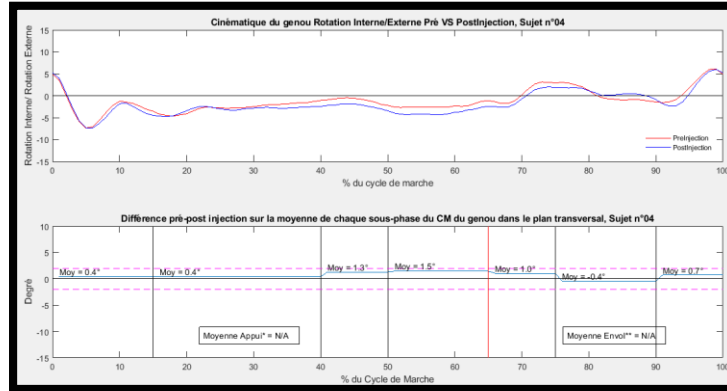
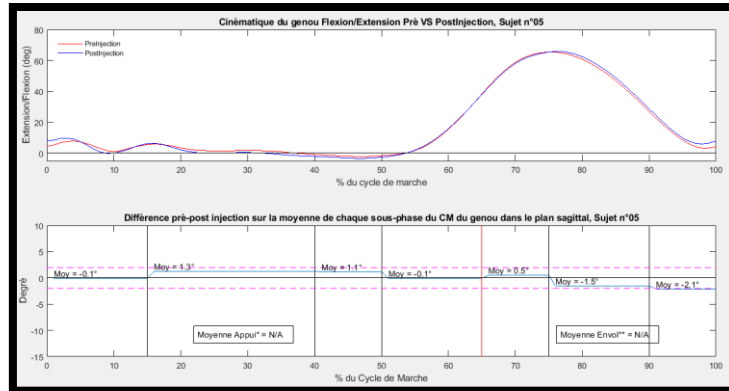


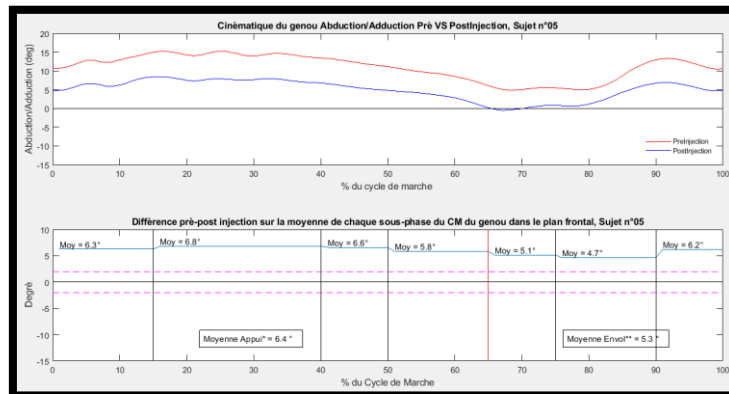
Figure VI.3. Pour le participant S04, A : Partie supérieure: Cinématique du genou flexion/extension pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM du genou dans le plan sagittal. B : Partie supérieure : Cinématique du genou abduction/adduction pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM du genou dans le plan frontal. C : Partie supérieure : Cinématique du genou rotation interne/externe pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM du genou dans le plan transversal.

*Moyenne appui : calculée en prenant au moins 3 changements vers la même direction sur les 4 sous-phases qui correspondent à la phase d'appui. **Moyenne envol : calculée en prenant au moins 2 changements vers la même direction sur les 3 sous-phases qui correspondent à la phase d'envol.

A



B



C

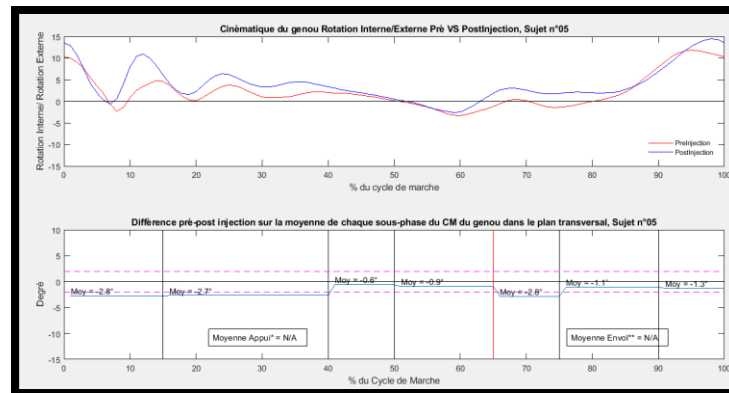
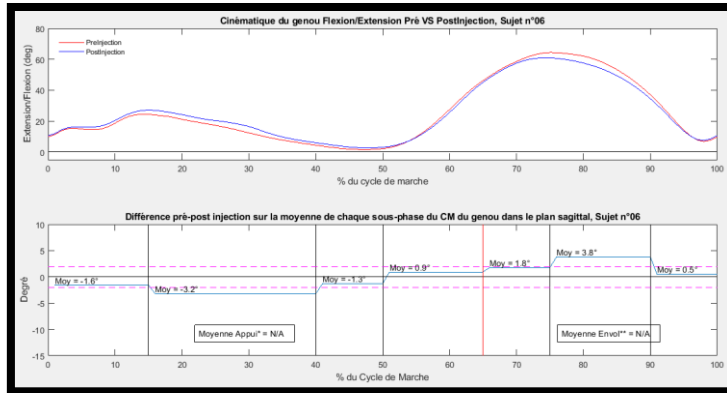
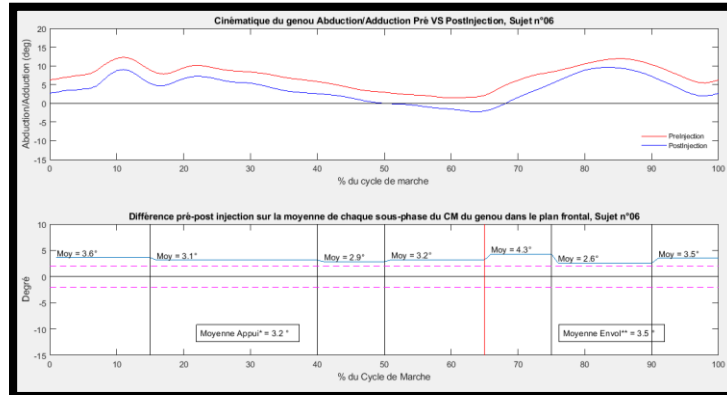


Figure VI.4. Pour le participant S05, A : Partie supérieure: Cinématique du genou flexion/extension pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM du genou dans le plan sagittal. B : Partie supérieure : Cinématique du genou abduction/adduction pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM du genou dans le plan frontal. C : Partie supérieure : Cinématique du genou rotation interne/externe pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM du genou dans le plan transversal.
 *Moyenne appui : calculée en prenant au moins 3 changements vers la même direction sur les 4 sous-phases qui correspondent à la phase d'appui. **Moyenne envol : calculée en prenant au moins 2 changements vers la même direction sur les 3 sous-phases qui correspondent à la phase d'envol.

A



B



C

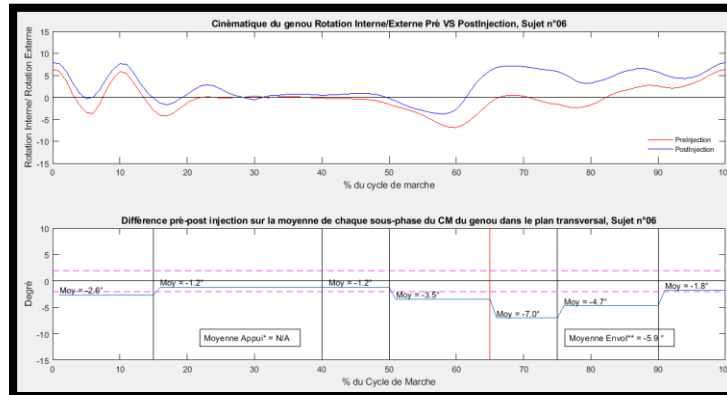
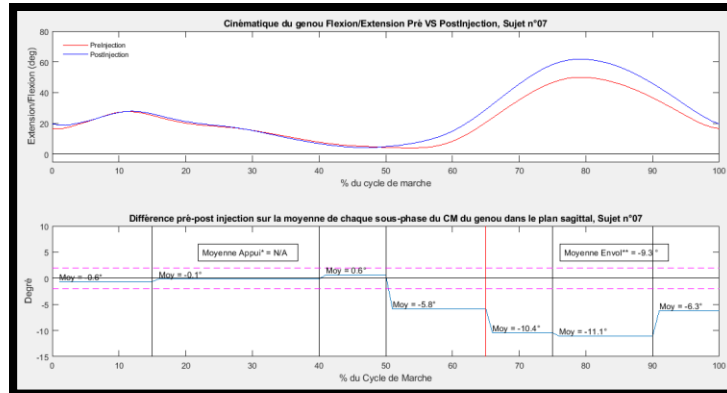


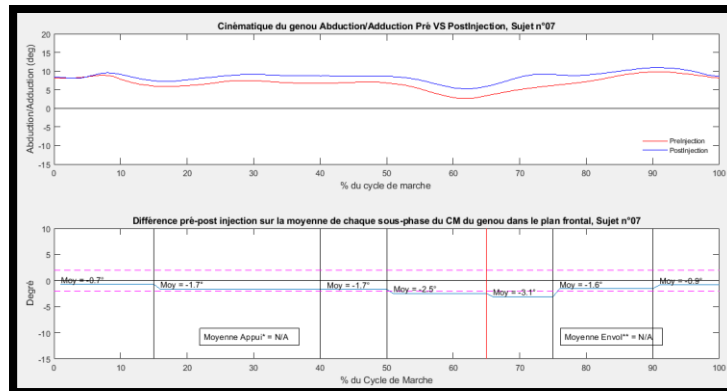
Figure VI.5. Pour le participant S06, A : Partie supérieure: Cinématique du genou flexion/extension pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM du genou dans le plan sagittal. B : Partie supérieure : Cinématique du genou abduction/adduction pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM du genou dans le plan frontal. C : Partie supérieure : Cinématique du genou rotation interne/externe pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM du genou dans le plan transversal.

*Moyenne appui : calculée en prenant au moins 3 changements vers la même direction sur les 4 sous-phases qui correspondent à la phase d'appui. **Moyenne envol : calculée en prenant au moins 2 changements vers la même direction sur les 3 sous-phases qui correspondent à la phase d'envol.

A



B



C

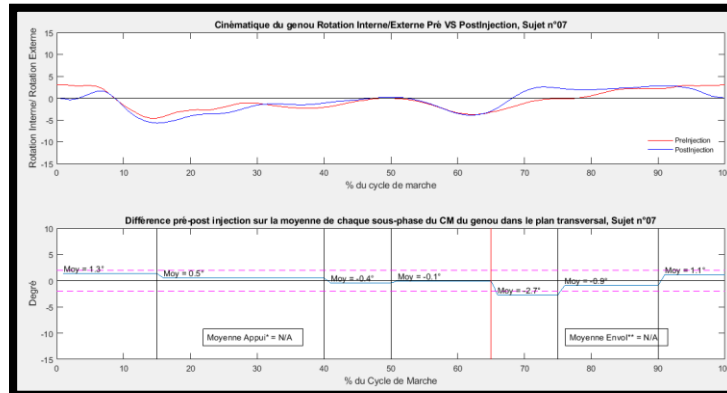
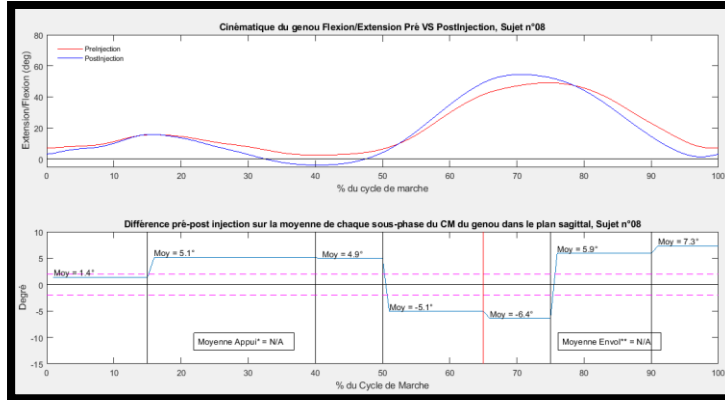


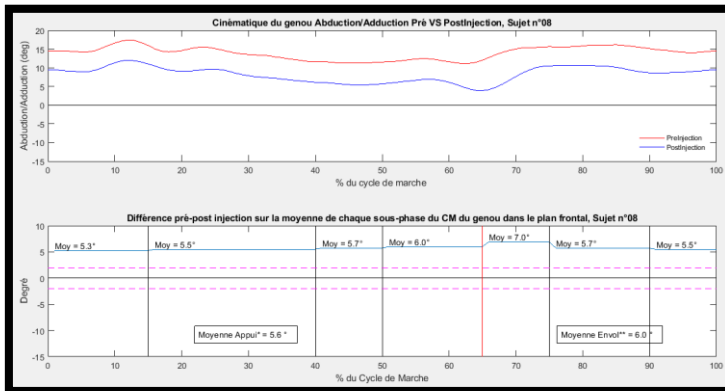
Figure VI.6. Pour le participant S07, A : Partie supérieure: Cinématique du genou flexion/extension pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM du genou dans le plan sagittal. B : Partie supérieure : Cinématique du genou abduction/adduction pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM du genou dans le plan frontal. C : Partie supérieure : Cinématique du genou rotation interne/externe pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM du genou dans le plan transversal.

*Moyenne appui : calculée en prenant au moins 3 changements vers la même direction sur les 4 sous-phases qui correspondent à la phase d'appui. **Moyenne envol : calculée en prenant au moins 2 changements vers la même direction sur les 3 sous-phases qui correspondent à la phase d'envol.

A



B



C

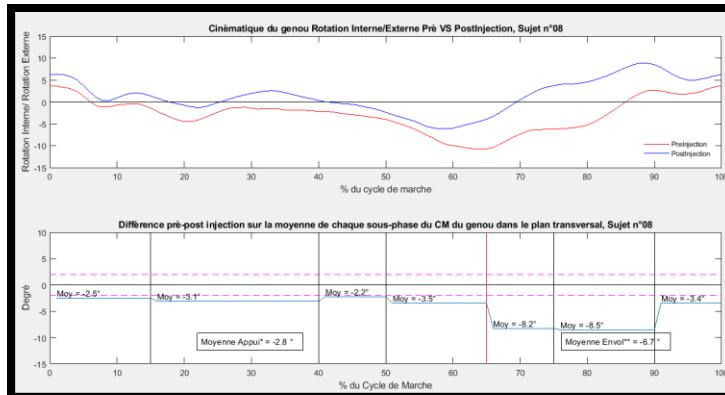
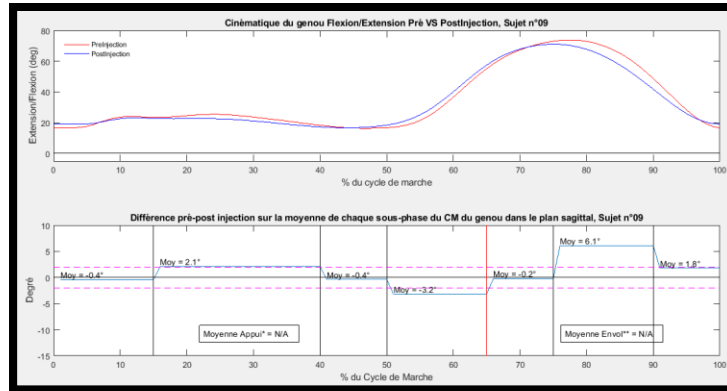
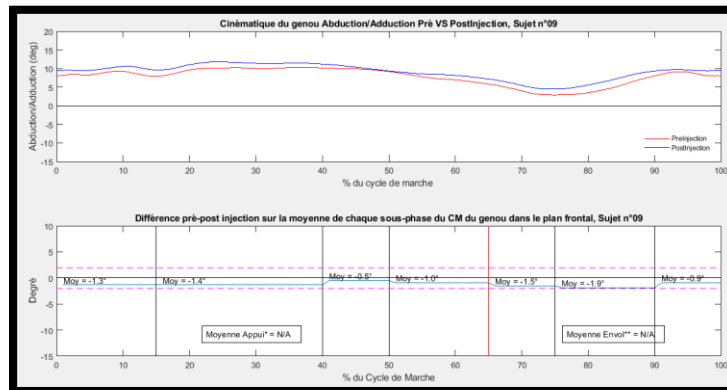


Figure VI.7. Pour le participant S08, A : Partie supérieure: Cinématique du genou flexion/extension pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM du genou dans le plan sagittal. B : Partie supérieure : Cinématique du genou abduction/adduction pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM du genou dans le plan frontal. C : Partie supérieure : Cinématique du genou rotation interne/externe pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM du genou dans le plan transversal. *Moyenne appui : calculée en prenant au moins 3 changements vers la même direction sur les 4 sous-phases qui correspondent à la phase d'appui. **Moyenne envol : calculée en prenant au moins 2 changements vers la même direction sur les 3 sous-phases qui correspondent à la phase d'envol.

A



B



C

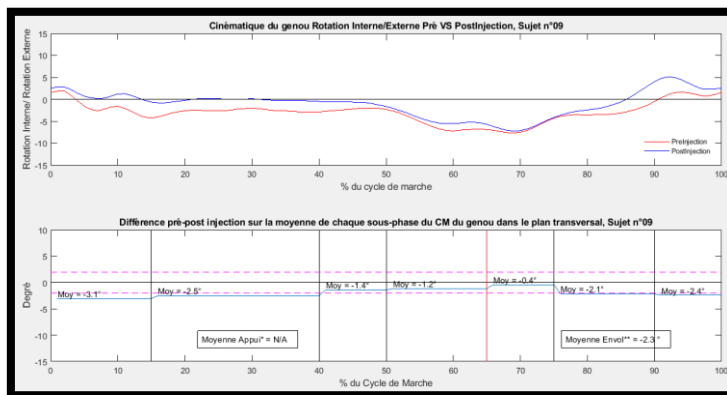


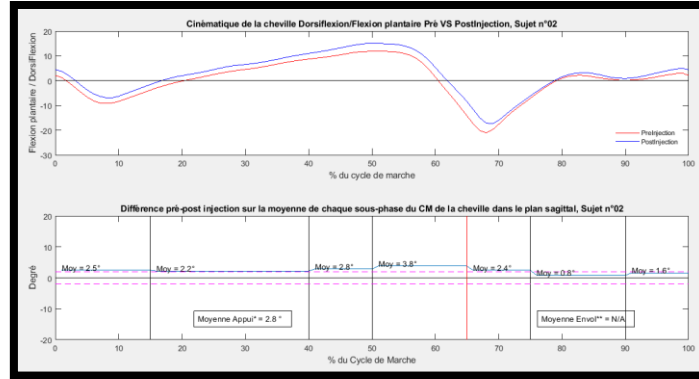
Figure VI.8. Pour le participant S09, A : Partie supérieure: Cinématique du genou flexion/extension pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM du genou dans le plan sagittal. B : Partie supérieure : Cinématique du genou abduction/adduction pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM du genou dans le plan frontal. C : Partie supérieure : Cinématique du genou rotation interne/externe pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM du genou dans le plan transversal.

*Moyenne appui : calculée en prenant au moins 3 changements vers la même direction sur les 4 sous-phases qui correspondent à la phase d'appui. **Moyenne envol : calculée en prenant au moins 2 changements vers la même direction sur les 3 sous-phases qui correspondent à la phase d'envol.

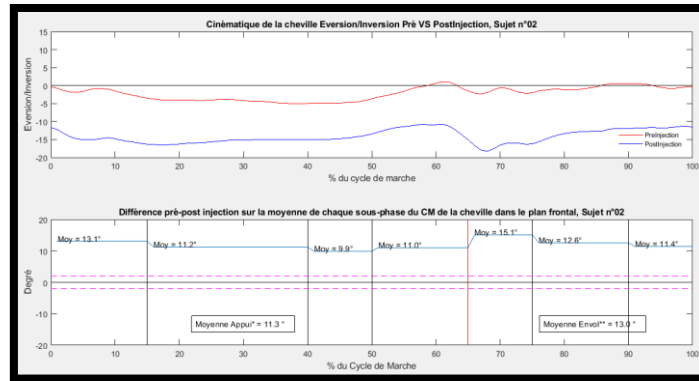
Annexe 7. Données complémentaires sur des graphiques cinématiques tridimensionnelle à la cheville

Les différentes Figures montrent le découpage en sous phases du cycle de marche pour déterminer les changements potentiels de la cinématique angulaire en trois dimensions autour de la cheville du membre inférieur étudié, après une réduction de la douleur au genou, lors de la marche sur le tapis roulant. Les Figures de données cinématiques que l'on retrouve dans cette annexe sont présentés ci-dessous.

A



B



C

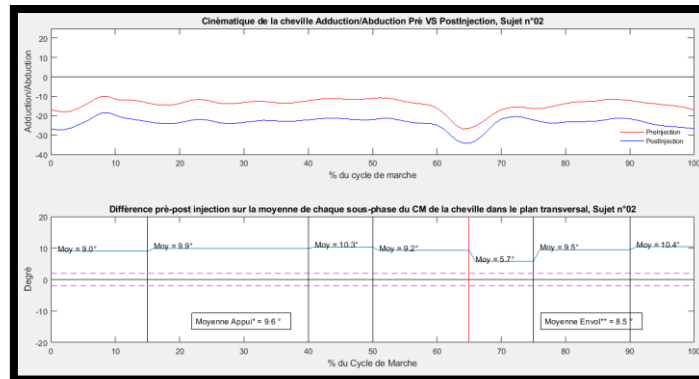
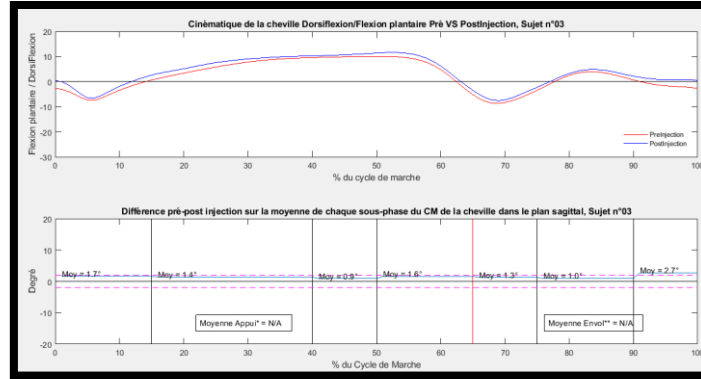


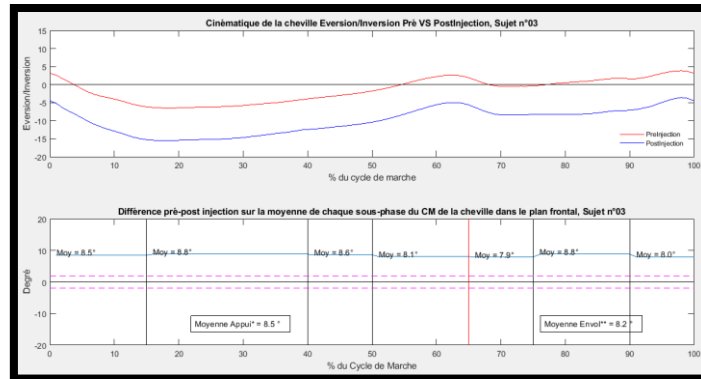
Figure VII.1. Pour le participant S02, A : Partie supérieure: Cinématique de la cheville dorsiflexion/flexion plantaire pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM de la cheville dans le plan sagittal. B : Partie supérieure : Cinématique de la cheville éversion/inversion pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM de la cheville dans le plan frontal. C : Partie supérieure : Cinématique de la cheville adduction/abduction pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM de la cheville dans le plan transversal.

*Moyenne appui : calculée en prenant au moins 3 changements vers la même direction sur les 4 sous-phases qui correspondent à la phase d'appui. **Moyenne envol : calculée en prenant au moins 2 changements vers la même direction sur les 3 sous-phases qui correspondent à la phase d'envol.

A



B



C

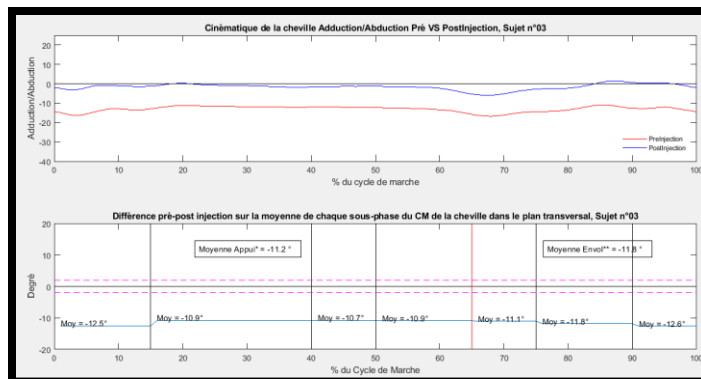
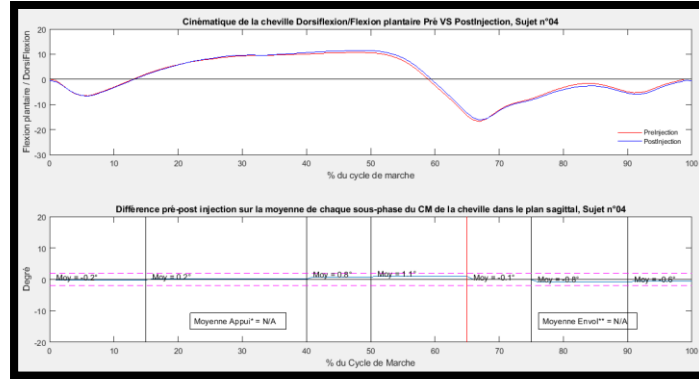


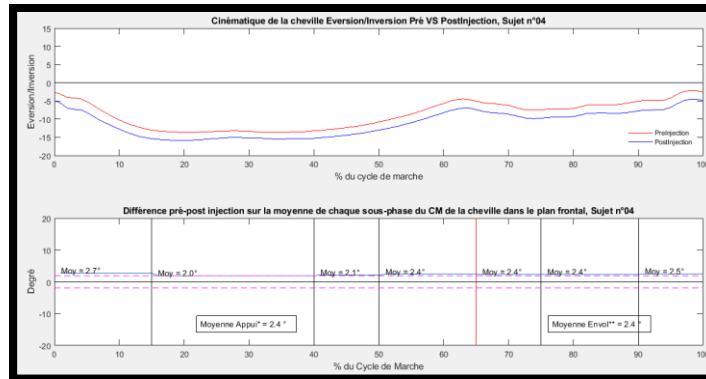
Figure VII.2. Pour le participant S03, A : Partie supérieure: Cinématique de la cheville dorsiflexion/flexion plantaire pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM de la cheville dans le plan sagittal. B : Partie supérieure : Cinématique de la cheville éversion/inversion pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM de la cheville dans le plan frontal. C : Partie supérieure : Cinématique de la cheville adduction/abduction pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM de la cheville dans le plan transversal.

*Moyenne appui : calculée en prenant au moins 3 changements vers la même direction sur les 4 sous-phases qui correspondent à la phase d'appui. **Moyenne envol : calculée en prenant au moins 2 changements vers la même direction sur les 3 sous-phases qui correspondent à la phase d'envol.

A



B



C

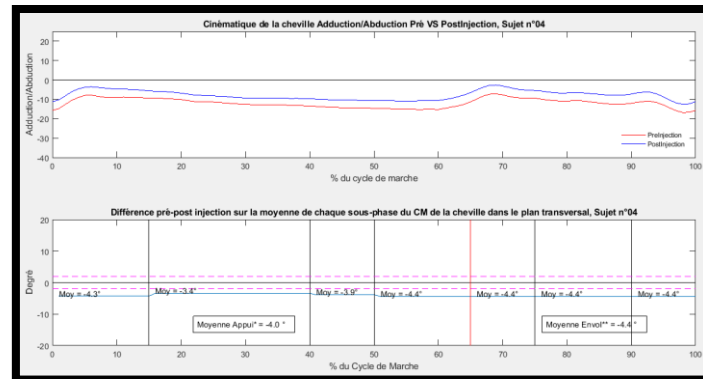


Figure VII.3. Pour le participant S04, A : Partie supérieure: Cinématique de la cheville dorsiflexion/flexion plantaire pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM de la cheville dans le plan sagittal. B : Partie supérieure : Cinématique de la cheville éversion/inversion pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM de la cheville dans le plan frontal. C : Partie supérieure : Cinématique de la cheville adduction/abduction pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM de la cheville dans le plan transversal.

*Moyenne appui : calculée en prenant au moins 3 changements vers la même direction sur les 4 sous-phases qui correspondent à la phase d'appui. **Moyenne envol : calculée en prenant au moins 2 changements vers la même direction sur les 3 sous-phases qui correspondent à la phase d'envol.

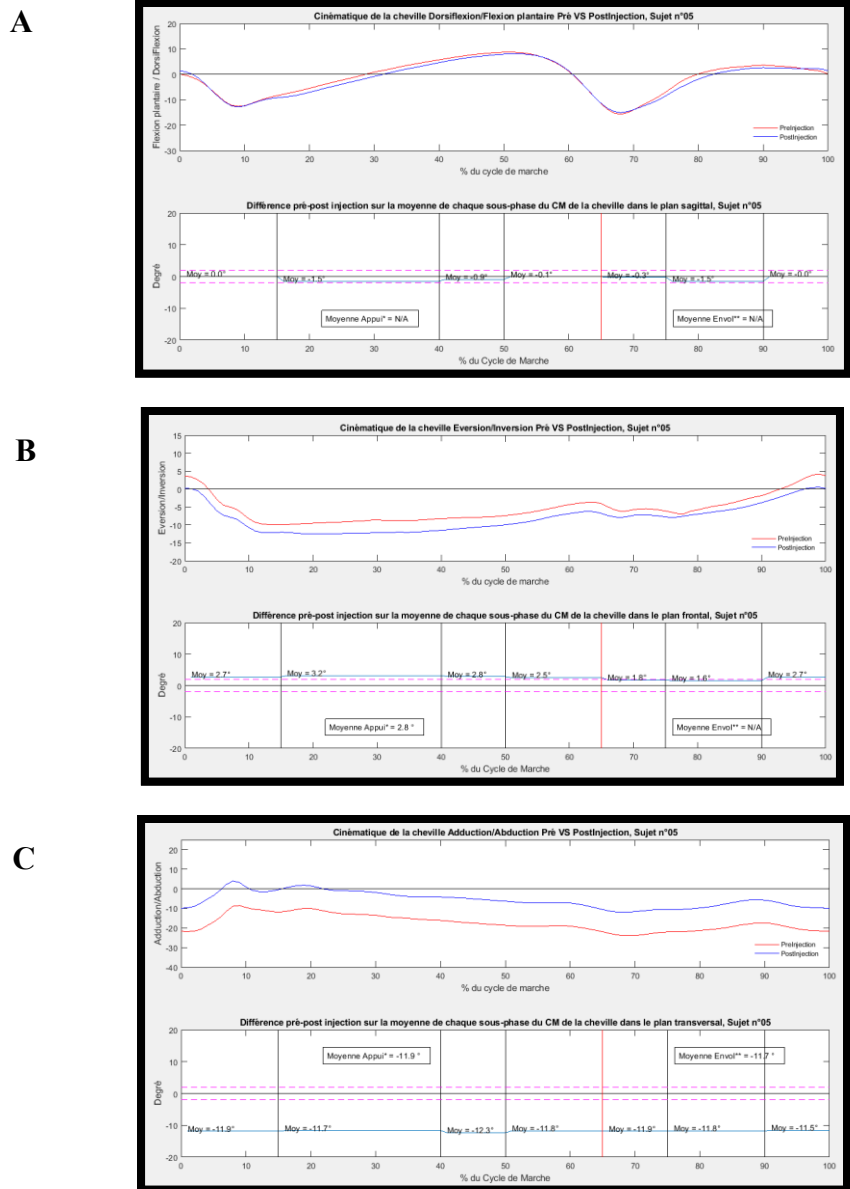
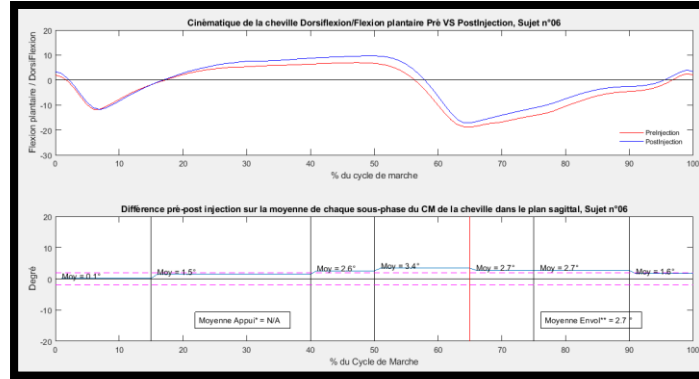


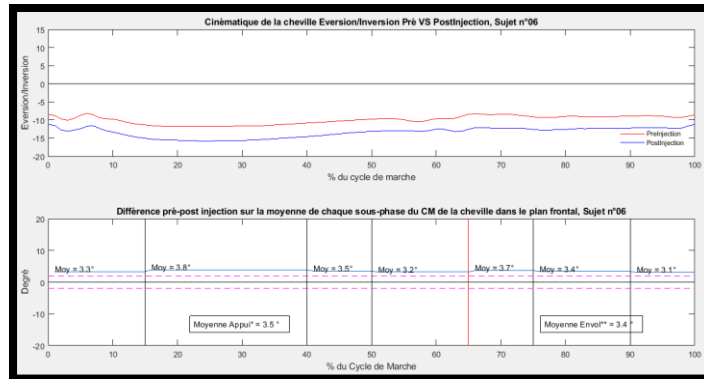
Figure VII.4. Pour le participant S05, A : Partie supérieure: Cinématique de la cheville dorsiflexion/flexion plantaire pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM de la cheville dans le plan sagittal. B : Partie supérieure : Cinématique de la cheville éversion/inversion pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM de la cheville dans le plan frontal. C : Partie supérieure : Cinématique de la cheville adduction/abduction pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM de la cheville dans le plan transversal.

*Moyenne appui : calculée en prenant au moins 3 changements vers la même direction sur les 4 sous-phases qui correspondent à la phase d'appui. **Moyenne envol : calculée en prenant au moins 2 changements vers la même direction sur les 3 sous-phases qui correspondent à la phase d'envol.

A



B



C

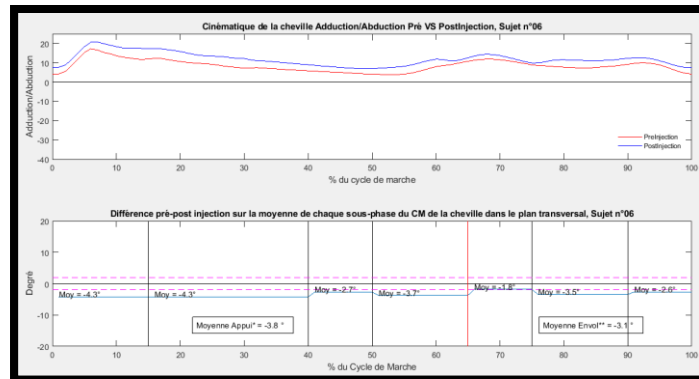


Figure VII.5. Pour le participant S06, A : Partie supérieure: Cinématique de la cheville dorsiflexion/flexion plantaire pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM de la cheville dans le plan sagittal. B : Partie supérieure : Cinématique de la cheville éversion/inversion pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM de la cheville dans le plan frontal. C : Partie supérieure : Cinématique de la cheville adduction/abduction pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM de la cheville dans le plan transversal.

*Moyenne appui : calculée en prenant au moins 3 changements vers la même direction sur les 4 sous-phases qui correspondent à la phase d'appui. **Moyenne envol : calculée en prenant au moins 2 changements vers la même direction sur les 3 sous-phases qui correspondent à la phase d'envol.

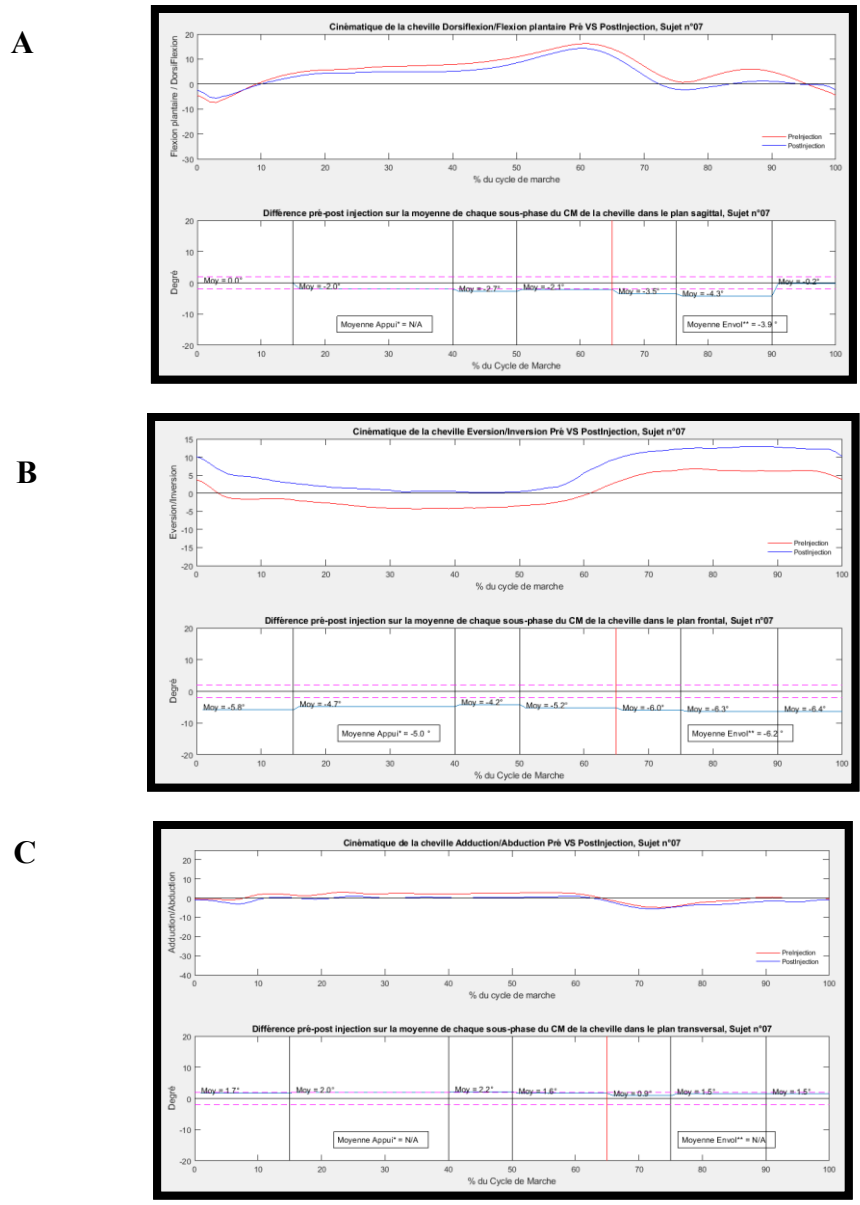
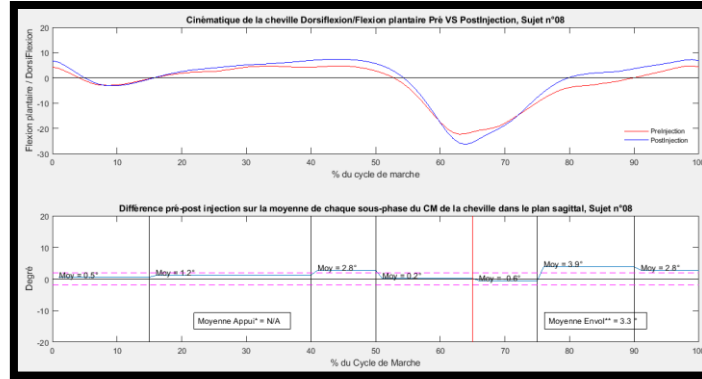


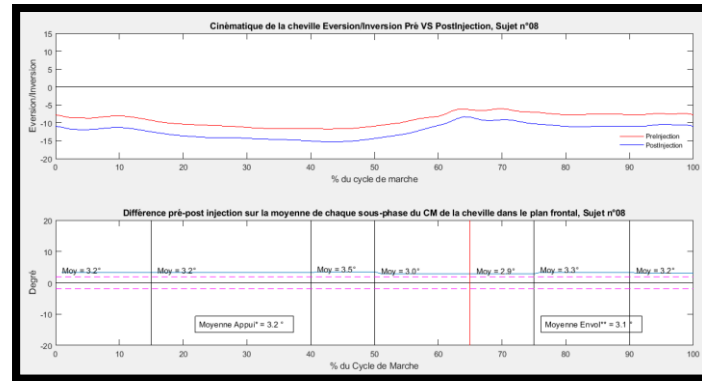
Figure VII.6. Pour le participant S07, A : Partie supérieure: Cinématique de la cheville dorsiflexion/flexion plantaire pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM de la cheville dans le plan sagittal. B : Partie supérieure : Cinématique de la cheville éversion/inversion pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM de la cheville dans le plan frontal. C : Partie supérieure : Cinématique de la cheville adduction/abduction pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM de la cheville dans le plan transversal.

*Moyenne appui : calculée en prenant au moins 3 changements vers la même direction sur les 4 sous-phases qui correspondent à la phase d'appui. **Moyenne envol : calculée en prenant au moins 2 changements vers la même direction sur les 3 sous-phases qui correspondent à la phase d'envol.

A



B



C

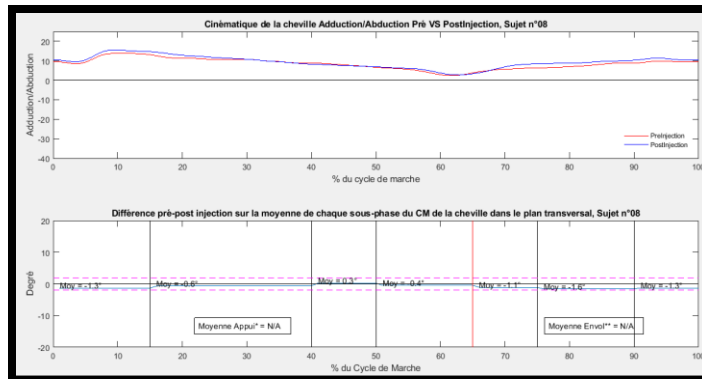
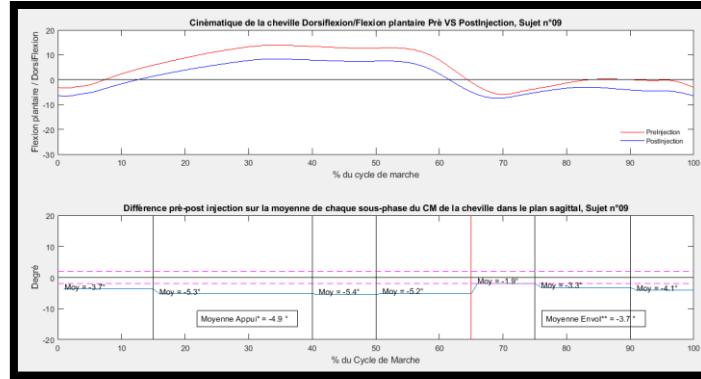


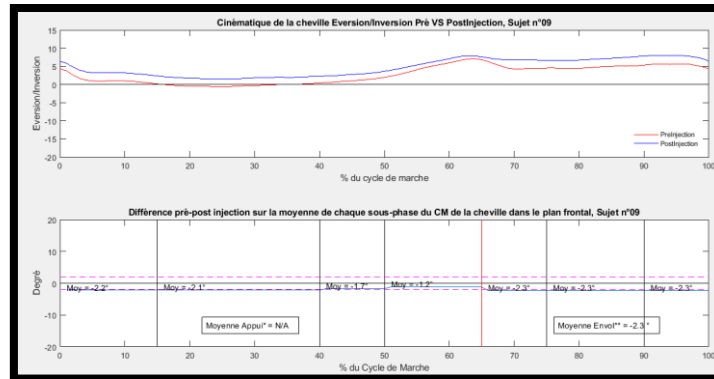
Figure VII.7. Pour le participant S08, A : Partie supérieure: Cinématique de la cheville dorsiflexion/flexion plantaire pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM de la cheville dans le plan sagittal. B : Partie supérieure : Cinématique de la cheville éversion/inversion pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM de la cheville dans le plan frontal. C : Partie supérieure : Cinématique de la cheville adduction/abduction pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM de la cheville dans le plan transversal.

*Moyenne appui : calculée en prenant au moins 3 changements vers la même direction sur les 4 sous-phases qui correspondent à la phase d'appui. **Moyenne envol : calculée en prenant au moins 2 changements vers la même direction sur les 3 sous-phases qui correspondent à la phase d'envol.

A



B



C

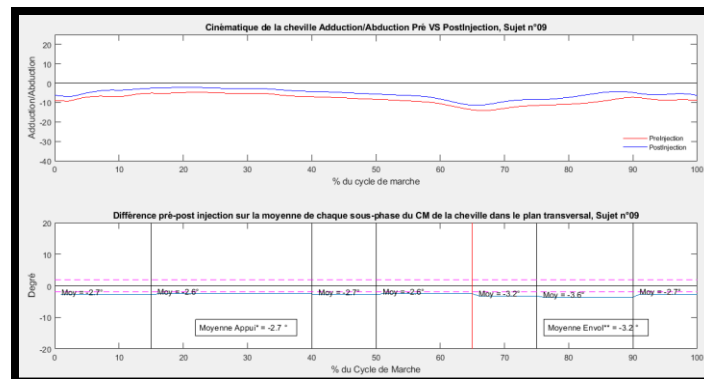


Figure VII.8. Pour le participant S09, A : Partie supérieure: Cinématique de la cheville dorsiflexion/flexion plantaire pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM de la cheville dans le plan sagittal. B : Partie supérieure : Cinématique de la cheville éversion/inversion pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM de la cheville dans le plan frontal. C : Partie supérieure : Cinématique de la cheville adduction/abduction pré- (rouge) vs post-injection (bleu). Partie inférieure : différence pré- et post-injection sur la moyenne de chaque sous-phase du CM de la cheville dans le plan transversal.

*Moyenne appui : calculée en prenant au moins 3 changements vers la même direction sur les 4 sous-phases qui correspondent à la phase d'appui. **Moyenne envol : calculée en prenant au moins 2 changements vers la même direction sur les 3 sous-phases qui correspondent à la phase d'envol.

Annexe 8. Données complémentaires sur l'analyse statistique du genou

Les tableaux d'analyse statistique que l'on retrouve dans cette annexe sont présentés ci-dessous.

Tableau VIII.1. Pour chaque sous-phase du CM pré- et post-injection, moyenne (\pm écart-type) et erreur moyenne standard dans le plan frontal au genou.

| Statistiques des échantillons appariés pour les 9 sujets | | | | |
|---|----------------|----------|------------|-------------------------|
| Plan frontal du genou | | Moyenne* | Écart-type | Erreur moyenne standard |
| Sous-phase 0-15% | Pré-injection | 7,7 | 4,6 | 1,5 |
| | Post-injection | 5,9 | 3,4 | 1,1 |
| Sous-phase 15-40% | Pré-injection | 7,5 | 4,8 | 1,6 |
| | Post-injection | 5,9 | 3,5 | 1,2 |
| Sous-phase 40-50% | Pré-injection | 5,8 | 4,9 | 1,6 |
| | Post-injection | 4,2 | 3,9 | 1,3 |
| Sous-phase 50-65% | Pré-injection | 2,8 | 6,1 | 2,0 |
| | Post-injection | 1,5 | 4,9 | 1,6 |
| Sous-phase 65-75% | Pré-injection | 1,9 | 7,7 | 2,6 |
| | Post-injection | 0,9 | 6,0 | 2,0 |
| Sous-phase 75-90% | Pré-injection | 4,8 | 7,4 | 2,5 |
| | Post-injection | 3,8 | 6,3 | 2,1 |
| Sous-phase 90-100% | Pré-injection | 6,8 | 4,9 | 1,6 |
| | Post-injection | 4,9 | 4,1 | 1,4 |

*Moyenne des résultats des 9 sujets

Tableau VIII.2. Pour chaque sous-phase du CM, moyenne de la différence de moyennes pré- et post-injection, (\pm écart-type), erreur moyenne standard, intervalle de confiance, test T, degré de liberté (ddl) et signification statistique dans le plan frontal au genou.

| Test des échantillons appariés pour les 9 sujets | | | | | | | | | |
|--|---------------------------|---------|------------|-------------------------|--------------------------------|-----------|-------|-----|------------------|
| Plan frontal du genou | | Moyenne | Écart-type | Erreur moyenne standard | Intervalle de confiance à 95 % | | t | ddl | Sig. (bilatéral) |
| | | | | | Inférieur | Supérieur | | | |
| Sous-phase 0-15% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | 1.8 | 2.9 | 1.0 | -0.4 | 4.1 | 1,895 | 8 | 0,095 |
| Sous-phase 15-40% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | 1.6 | 3.2 | 1.1 | -0.9 | 4.1 | 1,508 | 8 | 0,170 |
| Sous-phase 40-50% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | 1.7 | 3.1 | 1.0 | -0.7 | 4.1 | 1,605 | 8 | 0,147 |
| Sous-phase 50-65% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | 1.3 | 3.5 | 1.2 | -1.4 | 4.0 | 1,100 | 8 | 0,303 |
| Sous-phase 65-75% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | 1.0 | 4.2 | 1.4 | -2.2 | 4.3 | 0,710 | 8 | 0,498 |
| Sous-phase 75-90% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | 1.0 | 3.3 | 1.1 | -1.5 | 3.6 | 0,928 | 8 | 0,381 |
| Sous-phase 90-100% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | 1.9 | 2.9 | 1.0 | -0.3 | 4.1 | 1,987 | 8 | 0,082 |

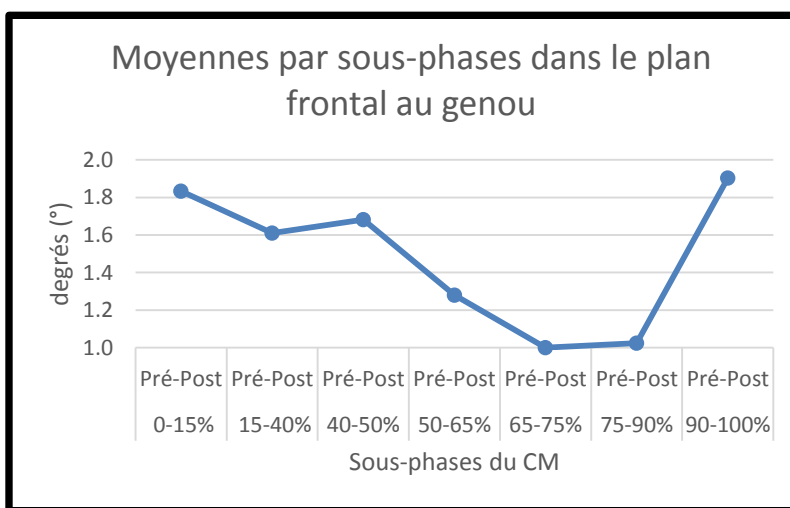


Figure VIII.1. Moyennes des différences de degré d'adduction/abduction du genou par sous-phase pré- et post-injection.

Tableau VIII.3. Pour chaque sous-phase du CM pré- et post-injection, moyenne (\pm écart-type) et erreur moyenne standard dans le plan transversal au genou.

| Statistiques des échantillons appariés pour les 9 sujets | | | | |
|---|----------------|----------|------------|-------------------------|
| Plan transversal du genou | | Moyenne* | Écart-type | Erreur moyenne standard |
| Sous-phase 0-15% | Pré-injection | -0,2 | 2,0 | 0,7 |
| | Post-injection | 1,2 | 3,3 | 1,1 |
| Sous-phase 15-40% | Pré-injection | -1,9 | 1,8 | 0,6 |
| | Post-injection | -0,5 | 2,7 | 0,9 |
| Sous-phase 40-50% | Pré-injection | -1,6 | 1,4 | 0,5 |
| | Post-injection | -0,9 | 1,8 | 0,6 |
| Sous-phase 50-65% | Pré-injection | -4,3 | 2,1 | 0,7 |
| | Post-injection | -3,1 | 1,9 | 0,6 |
| Sous-phase 65-75% | Pré-injection | -2,8 | 3,2 | 1,1 |
| | Post-injection | -0,1 | 4,2 | 1,4 |
| Sous-phase 75-90% | Pré-injection | -0,7 | 2,1 | 0,7 |
| | Post-injection | 1,9 | 4,2 | 1,4 |
| Sous-phase 90-100% | Pré-injection | 3,5 | 3,3 | 1,1 |
| | Post-injection | 5,1 | 4,3 | 1,4 |

*Moyenne des résultats des 9 sujets

Tableau VIII.4. Pour chaque sous-phase du CM, moyenne de la différence de moyennes pré- et post-injection, (\pm écart-type), erreur moyenne standard, intervalle de confiance, test T, degré de liberté (ddl) et signification statistique dans le plan transversal au genou.

| Test des échantillons appariés pour les 9 sujets | | | | | | | | | |
|--|---------------------------|-----------------------|------------|-------------------------|--------------------------------|-----------|--------|-----|------------------|
| Plan transversal du genou | | Différences appariées | | | | | t | Ddl | Sig. (bilatéral) |
| | | Moyenne | Écart-type | Moyenne erreur standard | Intervalle de confiance à 95 % | | | | |
| | | | | | Inférieur | Supérieur | | | |
| Sous-phase 0-15% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | -1.4 | 2.3 | 0.8 | -3.1 | 0.4 | -1,805 | 8 | 0,109 |
| Sous-phase 15-40% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | -1.4 | 2.5 | 0.8 | -3.3 | 0.5 | -1,700 | 8 | 0,128 |
| Sous-phase 40-50% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | -0.7 | 1.6 | 0.5 | -1.9 | 0.5 | -1,279 | 8 | 0,237 |
| Sous-phase 50-65% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | -1.2 | 2.3 | 0.8 | -3.0 | 0.5 | -1,608 | 8 | 0,146 |
| Sous-phase 65-75% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | -2.8 | 3.7 | 1.2 | -5.6 | 0.1 | -2,247 | 8 | 0,055 |
| Sous-phase 75-90% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | -2.6 | 3.3 | 1.1 | -5.2 | -0.1 | -2,361 | 8 | 0,046 |
| Sous-phase 90-100% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | -1.6 | 2.6 | 0.9 | -3.6 | 0.4 | -1,846 | 8 | 0,102 |

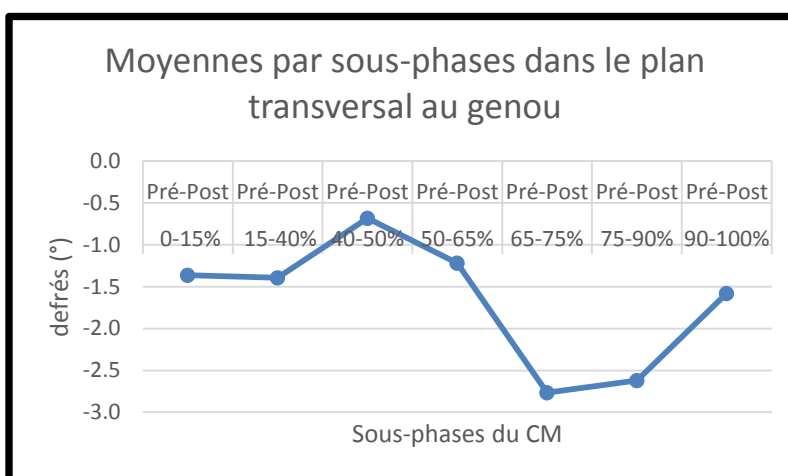


Figure VIII.2. Moyennes des différences de degré rotation interne/externe du genou par sous-phase pré- et post-injection.

Annexe 9. Données complémentaires sur l'analyse statistique de la cheville

Les tableaux d'analyse statistique que l'on retrouve dans cette annexe sont présentés ci-dessous.

Tableau IX.1. Pour chaque sous-phase du CM pré- et post-injection, moyenne (\pm écart-type) et erreur moyenne standard dans le plan frontal à la cheville.

| Statistiques des échantillons appariés pour les 9 sujets | | | | |
|---|----------------|----------|------------|-------------------------|
| Plan frontal à la cheville | | Moyenne* | Écart-type | Erreur moyenne standard |
| Sous-phase 0-15% | Pré-injection | -3,8 | 4,3 | 1,4 |
| | Post-injection | -6,8 | 7,5 | 2,5 |
| Sous-phase 15-40% | Pré-injection | -6,7 | 4,7 | 1,6 |
| | Post-injection | -9,5 | 7,6 | 2,5 |
| Sous-phase 40-50% | Pré-injection | -6,0 | 4,7 | 1,6 |
| | Post-injection | -8,8 | 7,0 | 2,3 |
| Sous-phase 50-65% | Pré-injection | -2,6 | 5,2 | 1,7 |
| | Post-injection | -5,3 | 7,5 | 2,5 |
| Sous-phase 65-75% | Pré-injection | -1,6 | 5,6 | 1,9 |
| | Post-injection | -4,6 | 9,5 | 3,2 |
| Sous-phase 75-90% | Pré-injection | -1,4 | 5,7 | 1,9 |
| | Post-injection | -4,2 | 9,2 | 3,1 |
| Sous-phase 90-100% | Pré-injection | -0,7 | 5,3 | 1,8 |
| | Post-injection | -3,4 | 9,1 | 3,0 |

*Moyenne des résultats des 9 sujets

Tableau IX.2. Pour chaque sous-phase du CM, moyenne de la différence de moyennes pré- et post-injection, (\pm écart-type), erreur moyenne standard, intervalle de confiance, test T, degré de liberté (ddl) et signification statistique dans le plan frontal à la cheville.

| Test des échantillons appariés pour les 9 sujets | | | | | | | | | |
|--|---------------------------|-----------------------|------------|-------------------------|--------------------------------|-----------|-------|-----|------------------|
| Plan frontal à la cheville | | Différences appariées | | | | | t | Ddl | Sig. (bilatéral) |
| | | Moyenne | Écart-type | Erreur moyenne standard | Intervalle de confiance à 95 % | | | | |
| | | | | | Inférieur | Supérieur | | | |
| Sous-phase 0-15% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | 3.0 | 5.5 | 1.8 | -1.2 | 7.2 | 1,664 | 8 | 0,135 |
| Sous-phase 15-40% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | 2.8 | 5.0 | 1.7 | -1.0 | 6.7 | 1,721 | 8 | 0,123 |
| Sous-phase 40-50% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | 2.9 | 4.4 | 1.5 | -0.6 | 6.3 | 1,926 | 8 | 0,090 |
| Sous-phase 50-65% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | 2.7 | 4.8 | 1.6 | -1.0 | 6.4 | 1,696 | 8 | 0,128 |
| Sous-phase 65-75% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | 3.0 | 5.9 | 2.0 | -1.5 | 7.6 | 1,533 | 8 | 0,164 |
| Sous-phase 75-90% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | 2.8 | 5.5 | 1.8 | -1.5 | 7.0 | 1,494 | 8 | 0,174 |
| Sous-phase 90-100% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | 2.7 | 5.3 | 1.8 | -1.4 | 6.7 | 1,516 | 8 | 0,168 |

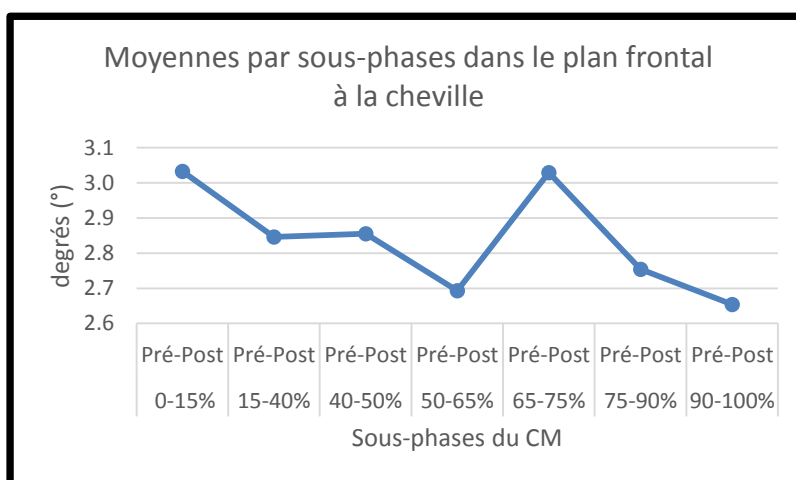


Figure IX.1. Moyennes des différences de degré d'éversion/inversion à la cheville par sous-phase pré- et post-injection.

Tableau IX.3. . Pour chaque sous-phase du CM pré- et post-injection, moyenne (\pm écart-type) et erreur moyenne standard dans le plan transversal à la cheville.

| Statistiques des échantillons appariés pour les 9 sujets | | | | |
|---|----------------|----------|------------|-------------------------|
| Plan transversal à la cheville | | Moyenne* | Écart-type | Erreur moyenne standard |
| Sous-phase 0-15% | Pré-injection | -4,7 | 10,5 | 3,5 |
| | Post-injection | -1,4 | 11,3 | 3,8 |
| Sous-phase 15-40% | Pré-injection | -4,6 | 9,4 | 3,1 |
| | Post-injection | -1,9 | 10,5 | 3,5 |
| Sous-phase 40-50% | Pré-injection | -6,4 | 9,1 | 3,0 |
| | Post-injection | -3,6 | 9,0 | 3,0 |
| Sous-phase 50-65% | Pré-injection | -8,0 | 9,7 | 3,2 |
| | Post-injection | -4,9 | 10,2 | 3,4 |
| Sous-phase 65-75% | Pré-injection | -9,1 | 11,4 | 3,8 |
| | Post-injection | -5,7 | 10,8 | 3,6 |
| Sous-phase 75-90% | Pré-injection | -7,1 | 9,7 | 3,2 |
| | Post-injection | -4,0 | 10,1 | 3,4 |
| Sous-phase 90-100% | Pré-injection | -7,2 | 10,5 | 3,5 |
| | Post-injection | -4,1 | 10,8 | 3,6 |

Tableau IX.4. . Pour chaque sous-phase du CM, moyenne de la différence de moyennes pré- et post-injection, (\pm écart-type), erreur moyenne standard, intervalle de confiance, test T, degré de liberté (ddl) et signification statistique dans le plan transversal à la cheville.

| Test des échantillons appariés pour les 9 sujets | | | | | | | | | |
|--|---------------------------|-----------------------|------------|-------------------------|--------------------------------|-----------|--------|-----|---------------------|
| Plan transversal à la cheville | | Différences appariées | | | | | t | ddl | Sig. (bilatéral) |
| | | Moyenne | Écart-type | Erreur moyenne standard | Intervalle de confiance à 95 % | | | | |
| | | | | | Inférieur | Supérieur | | | |
| Sous-phase 0-15% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | -3.3 | 6.5 | 2.2 | -8.3 | 1.7 | -1,504 | 8 | 0 ,171 |
| Sous-phase 15-40% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | -2.7 | 6.5 | 2.2 | -7.7 | 2.2 | -1,267 | 8 | 0,241 |
| Sous-phase 40-50% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | -2.7 | 6.8 | 2.3 | -7.9 | 2.5 | -1,217 | 8 | 0,258 |
| Sous-phase 50-65% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | -3.1 | 6.4 | 2.1 | -8.1 | 1.8 | -1,476 | 8 | 0,178 |
| Sous-phase 65-75% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | -3.4 | 5.5 | 1.8 | -7.6 | 0.8 | -1,841 | 8 | 0,103 |
| Sous-phase 75-90% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | -3.1 | 6.5 | 2.2 | -8.1 | 1.8 | -1,451 | 8 | 0,185 |
| Sous-phase 90-100% | Moyenne Pré-Moyenne Post- | -3.1 | 6.8 | 2.3 | -8.3 | 2.1 | -1,364 | 8 | 0,210 |

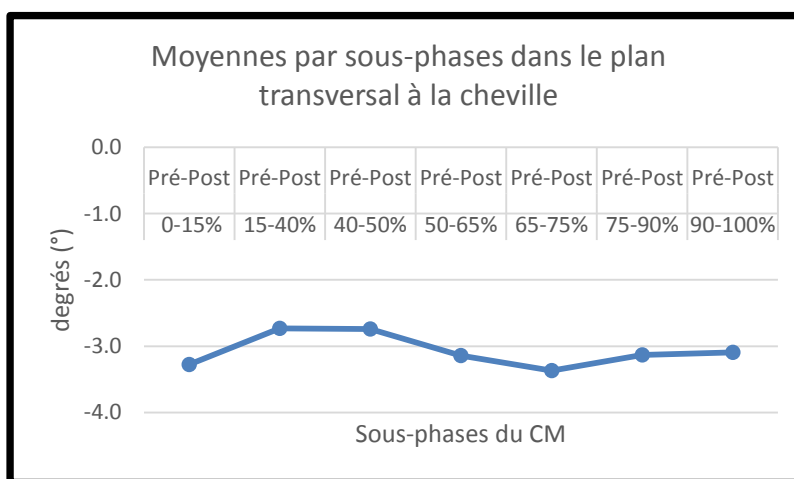


Figure IX.2. Moyennes des différences de degré d'adduction/abduction à la cheville par sous-phase pré- et post-injection.