

Table des matières

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Introduction | 11 |
| 2 | Anatomie du membre inférieur | 15 |
| 2.1 | Présentation générale | 15 |
| 2.1.1 | Axes, plans et directions corporels | 15 |
| 2.1.2 | Ostéologie du membre inférieur | 17 |
| 2.1.3 | Les articulations du genou et tibiofibulaires..... | 21 |
| 2.1.4 | Myologie du membre inférieur..... | 27 |
| 2.2 | Les mouvements des articulations de la hanche et du genou..... | 40 |
| 2.2.1 | Les mouvements articulaires de la hanche..... | 41 |
| 2.2.2 | Mouvements de l'articulation du genou | 41 |
| 3 | Modélisation musculo-squelettiques : Les concepts théoriques | 43 |
| 3.1 | Structure du muscle squelettique..... | 44 |
| 3.2 | Dynamique musculo-squelettique | 46 |
| 3.2.1 | Modélisation de la production de force par les muscles : modèle musculo-tendineux de Hill | 46 |
| 3.3 | Equations du mouvement..... | 48 |
| 3.4 | Méthode de la dynamique inverse | 49 |
| 3.5 | Méthode de la dynamique directe | 49 |
| 4 | Modélisation musculo-squelettique à l'aide du logiciel AnyBody | 51 |
| 4.1 | Critères d'optimisation dans AnyBody..... | 51 |
| 4.2 | Modèles musculo-tendineux dans AnyBody..... | 52 |
| 4.2.1 | AnyMuscleModel | 53 |
| 4.2.2 | AnyMuscleModel2ELin..... | 53 |
| 4.2.3 | AnyMuscleModel3E | 54 |
| 5 | Simulation de la marche normale : Forces des muscles et forces de contact dans le genou | 55 |
| 5.1 | Utilisation du logiciel AnyBody | 55 |
| 5.2 | Analyse du cycle de la marche | 55 |
| 5.2.1 | Phases du cycle de la marche | 55 |
| 5.2.2 | Les forces de réactions au sol | 56 |
| 5.3 | Simulation de la marche avec le modèle “GaitFullBody” | 59 |
| 5.3.1 | Modélisation du membre inférieur du modèle « GaitFullBody » | 60 |
| 5.3.2 | Modélisation des muscles du modèle « GaitFullBody » | 61 |
| 5.4 | Forces de contact dans le genou : Validation du modèle GaitFullBody | 63 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 5.4.1 | Forces de contact dans le genou – Résultats expérimentaux : Revue bibliographique | 64 |
| 5.4.2 | Forces de contact dans le genou – Résultats numériques : Revue bibliographique | 66 |
| 5.4.3 | Forces de contact dans le genou obtenues à partir du modèle GaitFullBody | 67 |
| 5.5 | Forces des muscles à appliquer aux modèles éléments finis | 70 |
| 5.5.1 | Sélection des muscles du membre inférieur à appliquer au modèle éléments finis.... | 70 |
| 5.5.2 | Forces des muscles lors du cycle de la marche..... | 72 |
| 6 | Etude biomécanique expérimentale comparative d'implants d'ostéotomie utilisés dans les cas de gonarthrose dans le genu varum | 77 |
| 6.1 | Ostéotomie: notions de base..... | 77 |
| 6.1.1 | Mauvais alignement du membre inférieur : jambes arquées, en O ou « genu varum » et jambes en X ou « genu valgum » | 77 |
| 6.1.2 | Ostéotomies dans les cas de déviations latérales genu varum | 78 |
| 6.1.3 | L'ostéotomie tibiale de valgisation (OTV) : Technique de réalisation | 80 |
| 6.2 | État de l'art..... | 82 |
| 6.3 | Les tibias artificiels et les différentes plaques d'ostéotomies testées | 82 |
| 6.3.1 | Tibias artificiels..... | 82 |
| 6.3.2 | Les différentes plaques d'ostéotomies testées | 84 |
| 6.4 | Méthodes..... | 85 |
| 6.4.1 | Préparation des spécimens..... | 85 |
| 6.4.2 | Plateforme des essais..... | 89 |
| 6.4.3 | Protocole expérimental | 92 |
| 6.4.4 | Raideur mécanique | 95 |
| 6.4.5 | Déformation permanente plastique des spécimens..... | 96 |
| 6.5 | Résultats..... | 99 |
| 6.5.1 | Résultats des essais statiques jusqu'à endommagement des spécimens | 99 |
| 6.5.2 | Résultats des essais dynamiques jusqu'à endommagement par fatigue | 103 |
| 6.6 | Discussion..... | 117 |
| 6.7 | Conclusion..... | 121 |
| 7 | Modèle éléments finis du membre inférieur | 122 |
| 7.1 | Généralités..... | 122 |
| 7.2 | Modélisation avec Ansys-Workbench..... | 124 |
| 7.2.1 | Géométries du modèle | 126 |
| 7.2.2 | Maillage du modèle | 128 |
| 7.2.3 | Propriétés des matériaux..... | 128 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 7.2.4 | Application des forces musculaires sur la géométrie | 130 |
| 7.2.5 | Conditions aux limites..... | 133 |
| 7.2.6 | Procédé de passage de AnyBody à Ansys-Workbench | 135 |
| 7.3 | Validation des modèles..... | 139 |
| 7.3.1 | Déplacements, Forces de réaction à la hanche et action des ressort stabilisateurs.. | 142 |
| 7.3.2 | Récapitulatif et conclusion..... | 152 |
| 8 | Simulation des genoux ayant subi les ostéotomies tibiales valgisantes médiales testées..... | 154 |
| 8.1 | Généralités..... | 154 |
| 8.2 | Modèles numériques des essais expérimentaux..... | 155 |
| 8.2.1 | Les contraintes dans les implants | 159 |
| 8.2.2 | Les contraintes équivalentes dans la corticale latérale opposée | 165 |
| 8.2.3 | Mouvements de l'ouverture d'ostéotomie | 168 |
| 8.3 | Modèles numériques avec considération des forces des muscles | 171 |
| 8.3.1 | Détermination de l'influence des forces des muscles | 173 |
| 8.3.2 | Les contraintes dans les implants sous l'action des forces musculaires..... | 177 |
| 8.3.3 | Les contraintes équivalentes dans la corticale latérale opposée dues à l'action des forces musculaires | 183 |
| 8.3.4 | Mouvements de l'ouverture d'ostéotomie sous l'action des forces des muscles.... | 190 |
| 8.4 | Récapitulatif comparatif et conclusion | 192 |
| 9 | Conclusion générale et perspectives | 196 |
| 10 | Bibliographie | 200 |
| 11 | Annexes..... | 212 |
| 11.1 | Annexes 1: Essais statiques (Courbes force-déplacement) | 212 |
| 11.2 | Annexes 2: Essais dynamiques (Evolution temporelle des mesures) | 214 |
| 11.3 | Annexes 3: Essais dynamiques (Evolution temporelle des raideurs)..... | 223 |
| 11.4 | Annexes 4: Essais dynamiques (Courbes force-déplacement) | 232 |
| 11.5 | Annexes 5: Contraintes équivalentes de von-Mises dans les implants (Position 2)..... | 242 |
| 11.6 | Annexes 6: Contraintes équivalentes de von-Mises dans les implants (Position 3)..... | 245 |
| 12 | Remerciements | 249 |