

**Offre de thèse / PhD Thesis offer****MODÉLISATION NEURO-MUSCULOSQUELETTIQUE DU RISQUE DE BLESSURE  
LIGAMENTO-TENDINEUX  
NEUROMUSCULOSKELETAL MODELLING OF TENDINOUS AND LIGAMENT INJURY  
RISK**

*Etablissement* **Université Polytechnique Hauts de France**

*Spécialité* **Biomécanique et bio-ingénierie**

*Unité de recherche* **Laboratoire d'Automatique, de Mécanique et d'informatique Industrielles et Humaines**

*Encadrement de la thèse* **CHRISTOPHE MARECHAL Co-Encadrant Mathias BLANDEAU**

*Début de la thèse le* **1 octobre 2024**

*Date limite de candidature (à 23h59)* **1 septembre 2024**

**Mots clés - Keywords**

Analyse du mouvement, Modélisation biomécanique, Cohérence intermusculaire, Eléments finis, Enthèse

Motion analysis, Intermuscular coherence, Biomechanical Modelling, Finite Element analysis, Enthèse

**Description de la problématique de recherche - Project description**

Les ligaments et tendons se situent à l'intersection de groupes musculaires volontairement recrutés et des os au niveau des enthèses osseuses, une modélisation neuro-musculo-squelettique est donc nécessaire afin de prendre autant en considération la microstructure de l'enthèse que la géométrie anatomique ainsi que les stratégies de recrutement musculaires.

Cette thèse se situera à la jonction entre la modélisation biomécanique et l'analyse du mouvement. L'objectif principal est de créer la première brique de calcul prenant en compte des paramètres personnels d'un sujet, des données de mouvement et de recrutement musculaire afin de calculer des efforts musculaires et les injecter dans un modèle éléments-finis d'enthèse afin de calculer un risque de blessure personnalisé.

Les travaux se baseront sur des modèles éléments-finis biomécaniques ainsi que sur une modélisation intégrant la cohérence intermusculaire développés au sein du LAMIH. Concernant la modélisation musculosquelettique, l'utilisation du logiciel OpenSim est envisagée mais nécessitera dans un premier temps de réaliser une analyse de la sensibilité de l'algorithme de calcul aux variations des paramètres internes (modèle de Hill, nombre de fibres...). Les processus neurophysiologiques seront par la suite modélisés afin de prendre en compte la cohérence intermusculaire. Un modèle éléments finis paramétrable et personnalisable de l'enthèse sera enfin développé sur le logiciel Abaqus.

Les étapes de modélisation seront ponctuées de vérifications et de validations expérimentales. Des protocoles expérimentaux basés sur du matériel d'analyse du mouvement ainsi que des tests de caractérisation sur échantillons biologiques animaux seront à développer.

Ligaments and tendons are located at the intersection of voluntarily recruited muscle groups and bones at the level of the bone insertions. Therefore, a neuro-musculo-skeletal modeling is necessary to consider both the enthesis microstructure, anatomical geometry, and muscle recruitment strategies.

This thesis will be situated at the junction between biomechanical modeling and motion analysis. The main objective is to create the first computational module that takes into account subject-specific parameters, motion data, and muscle recruitment to calculate muscle forces and inject them into a finite element model of the enthesis to calculate personalized injury risk.

The work will be based on biomechanical finite element models and a modeling integrating intermuscular coherence developed within the LAMIH laboratory. Regarding the musculoskeletal modeling, the use of OpenSim software is envisaged but will first require an analysis of the algorithm's sensitivity to variations in internal parameters (Hill model, number of fibers, etc.). Neurophysiological processes will then be modeled to consider intermuscular coherence. Lastly, a parametrizable and customizable finite element model of the enthesis will be

developed with the Abaqus software.

The modeling steps will be punctuated by experimental verifications and validations. Experimental protocols based on motion analysis equipment and characterization tests on animal biological samples will be developed.

## **Thématique / Contexte**

La plupart des études publiées sur les lésions tendineuses ou ligamentaires ont exploré des questionnements tels que le diagnostic, le traitement chirurgical, la rééducation postopératoire, les procédures pour faciliter une récupération rapide et la biomécanique post-lésion. Quelques études cadavériques ont porté sur les propriétés mécaniques et structurelles des ligaments du genou. Bien que ces informations soient précieuses, des limitations existent telles que des différences dans les sources de tissus cadavériques, les modes de préservation, les conditions in vitro, la conception expérimentale et les paramètres de charge. Comprendre le comportement mécanique des complexes ligamento-tendineux en accord avec la cinématique et les conditions de charge réelles nous aidera à mieux saisir la relation contrainte-déformation et les mécanismes de blessure.

## **Références bibliographiques**

Marieswaran M, Sikidar A, Goel A, Joshi D, Kalyanasundaram D. An extended OpenSim knee model for analysis of strains of connective tissues. *Biomed Eng Online*. 2018 Apr 17;17(1):42. doi: 10.1186/s12938-018-0474-8. PMID: 29665801; PMCID: PMC5905155.

Sikidar A, Kalyanasundaram D. An open-source OpenSim® ankle-foot musculoskeletal model for assessment of strains and forces in dense connective tissues. *Comput Methods Programs Biomed*. 2022 Sep;224:106994. doi: 10.1016/j.cmpb.2022.106994. Epub 2022 Jul 3. PMID: 35843077.

Mateus RB, Ferrer-Roca V, João F, Veloso AP. Muscle contributions to maximal single-leg forward braking and backward acceleration in elite athletes. *J Biomech*. 2020 Nov 9;112:110047. doi: 10.1016/j.jbiomech.2020.110047. Epub 2020 Sep 19. PMID: 33035838.

Chen Z, Franklin DW. Musculotendon Parameters in Lower Limb Models: Simplifications, Uncertainties, and Muscle Force Estimation Sensitivity. *Ann Biomed Eng*. 2023 Jun;51(6):1147-1164. doi: 10.1007/s10439-023-03166-5. Epub 2023 Mar 13. PMID: 36913088; PMCID: PMC10172227.

Tits A, Ruffoni D. Joining soft tissues to bone: Insights from modeling and simulations. *Bone Rep*. 2020 Dec 23;14:100742. doi: 10.1016/j.bonr.2020.100742. PMID: 34150954; PMCID: PMC8190669.

## **Précisions sur l'encadrement - Details on the thesis supervision**

Co-encadrant principal ayant en charge la partie neuro-musculosquelettique avec Émilie Mathieu

## **Conditions scientifiques matérielles et financières du projet de recherche**

Le candidat aura accès aux plateformes expérimentales d'analyses du mouvement du LAMIH.

## **Objectifs de valorisation des travaux de recherche du doctorant : diffusion, publication et confidentialité, droit à la propriété intellectuelle,...**

Valorisation au travers des communications nationales et internationales ainsi que des publications internationales dans des journaux de rangs A

## **Profil et compétences recherchées - Profile and skills required**

Le (la) candidat (e) aura un niveau BAC + 5 master ou ingénieur. Il (elle) aura une expérience significative en biomécanique et en modélisation mécanique. Il (elle) maîtrisera les procédures expérimentales d'analyse du mouvement et les outils de simulation par méthodes d'éléments finis. Il (elle) aura un intérêt fort à la recherche et des compétences en programmation et analyse de données. Il (elle) sera à l'aise avec les outils de communication et de rédaction en anglais nécessaires à la valorisation des travaux. Des connaissances fines du système musculosquelettique seraient un plus.

The applicant will hold an engineering or a master's degree. He or she will have a great experience of mechanical modeling and biomechanics. He or she will be conversant with finite element simulation software and experimental motion analysis techniques. Along with being proficient in programming and data analysis, he or she will have a keen interest in research. The English-language writing and communication tools required to promote the work will come naturally to him or her. Thorough understanding of the musculoskeletal system would be advantageous.