

PROPOSITION DE SUJET DE THÈSE

Laboratoire de rattachement	Laboratoire de Biomécanique et Mécanique des Chocs (LBMC)
Titre de la thèse en français	Pré-tension des tissus mous pour un jumeau numérique à destination de la clinique
Titre de la thèse en anglais	Soft tissue pre-tensioning for a digital twin designed for the clinic
Localisation	Laboratoire de Biomécanique et Mécanique des Chocs (LBMC) Unité Mixte Univ Eiffel – Univ Lyon 1
Ecole doctorale (prévision)	ED MEGA
Encadrement	Laure-Lise Gras (MCF) ; Karine Bruyère (DR) ; Anthony Viste (PUPH) ; Thomas Neri (PUPH)

Pré-tension des tissus mous pour un jumeau numérique à destination de la clinique

Mots clefs : Biomécanique, fascia, ligaments, modélisation, expérimentation, loi de comportement

Contexte et objectifs :

La chirurgie robotique est actuellement en plein essor. En orthopédie, le robot chirurgical va venir assister le chirurgien dans le cadre de la pose d'une prothèse totale de hanche, prothèse totale de genou ou prothèse unicompartimentale du genou. Le geste est alors plus précis, répétable et suivi au cours de l'intervention par le clinicien. Il y a également moins de manipulation du patient, donc moins de lésions et moins de douleurs pour le patient. La récupération post-opératoire en est améliorée et le retour à la marche se fait alors plus rapidement qu'avec une méthode chirurgicale conventionnelle.^{1,2}



Figure 1: Robot MAKO, Stryker

Le principe de ces robots est de planifier la chirurgie grâce à un jumeau numérique³. Un scanner est réalisé pour obtenir la géométrie en trois dimensions des os du patient. Cette géométrie sert ensuite à définir précisément les zones et les orientations de coupe des os pour pouvoir positionner la prothèse de la manière la plus optimale possible. Cependant, il est à noter que seules les parties osseuses sont personnalisées. Bien que des algorithmes permettent d'évaluer la laxité des articulations, en particulier du genou, les propriétés mécaniques des tissus mous ne sont pas parfaitement prises en compte ou bien devraient être améliorées, car ces tissus jouent un rôle dans la stabilisation des articulations.⁴

Parmi ces tissus, on retrouve la capsule articulaire, des ligaments, des tendons mais aussi des fascias profonds. Les fascias profonds sont des membranes conjonctives fibreuses qui entourent les muscles et groupes de muscles. Au niveau de la cuisse, le fascia lata englobe les muscles et comporte une partie plus épaisse, renforcée, qui s'apparente à du tendon et que l'on appelle la bandelette iliotibiale ou ITT. Comme il s'insère à la fois au niveau de la hanche et en dessous du genou, il intervient dans la stabilité du bassin et du membre inférieur,^{5,6} et participe à la transmission des efforts entre les muscles.⁷ Au niveau du genou, l'ITT a notamment un rôle de stabilisateur de la rotation pendant la flexion du genou⁸ et il a été montré que la tension dans l'ITT peut affecter la cinématique du genou.^{5,6} Il apparaît donc primordial que l'équilibre des tensions des tissus mous soit personnalisé pour chaque patient dans le cas d'une chirurgie.

¹ Kayani B, et al. 2018, doi:10.1302/0301-620X.100B7.BJJ-2017-1449.R1

² Decey DG, et al. 2021, doi:10.1302/0301-620X.103B6.BJJ-2020-2003.R1

³ Sun T, et al. 2023, doi.org/10.3390/bioengineering10060627

⁴ Bjelland Ø, et al. 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3170108

⁵ Merican and Amis 2009, doi.org/10.1016/j.jbiomech.2009.03.041

⁶ Kwak SD, et al. 2000, doi.org/10.1002/jor.1100180115

⁷ Stecco A, et al. 2023, doi.org/10.1016/j.jbmt.2013.04.004

⁸ Matsuda S, et al. 2017, doi.org/10.1007/978-3-662-54082-4

Objectifs et méthodologie :

Par conséquent, pour permettre au chirurgien de contrôler de manière quantitative l'équilibre des tissus mous des articulations, il apparaît alors nécessaire de répondre à la question : **comment quantifier la pré-tension exercée par les tissus mous comme les ligaments et les fascias profonds sur les articulations, pour aller vers un outil de personnalisation des tissus mous pour les jumeaux numériques ?**



Figure 2: Genou, Netter, atlas d'anatomie

L'objectif de ce projet de thèse est donc de proposer une méthodologie originale combinant à la fois expérimentations et modélisation pour objectiver la pré-tension dans les tissus mous comme les ligaments et le fascia, dans une approche pluridisciplinaire (mécanique, biomécanique, clinique). Pour y répondre, deux axes de recherche seront abordés :

1) **la modélisation du comportement mécanique du fascia.** Sur la base d'expérimentations déjà réalisées, notamment en traction et en cisaillement (thèse de Yuliia Sednieva, 2018-2021), une modélisation du comportement mécanique se basant sur la théorie des matériaux composites fibreux et des membranes sera réalisée (collaboration avec le LaMCoS ; modélisation analytique et par éléments finis). Une analyse de la microstructure du matériau par histologie et microscopie biphotonique (collaboration avec le LBTI et utilisation de la plateforme CIQLE) permettra d'intégrer les mécanismes de déformations structurels du matériau dans la loi de comportement. L'ensemble de ces analyses permettra d'avoir une meilleure connaissance du comportement mécanique du fascia pour mieux appréhender son rôle mécanique sur les tissus adjacents.

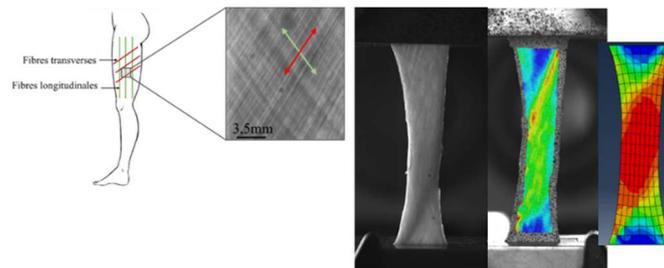


Figure 3: Cinématique des fibres, champ de déformations et modélisation EF pendant un essai de cisaillement, Source : LBMC

2) **la quantification de la précontrainte exercée par le fascia, et les ligaments** sur le tissu musculaire et les articulations grâce à l'utilisation de l'élastographie par ondes de cisaillement et du modèle de membre inférieur (modélisation en éléments finis ou corps rigides). Un protocole expérimental *in situ*, couplant plusieurs moyens de mesures (élastographie ultrasonore par ondes de cisaillement, analyse du mouvement) et des dissections successives sera défini pour établir les liens entre tension des tissus, propriétés mécaniques et effets sur la cinématique de l'articulation. Le protocole pourra ensuite être adapté à une étude clinique *in vivo* et complété par des mesures d'activité musculaire (EMG), pour évaluer la faisabilité de l'élastographie ultrasonore dans la personnalisation des propriétés mécaniques des tissus mous.

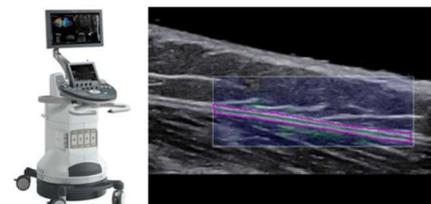


Figure 4: Elastographe Supersonic Imagine, image échographique du fascia, Source : LBMC

Profil du candidat :

Titulaire d'un master en mécanique ou biomécanique ou d'un diplôme équivalent, vous avez de bonnes connaissances en mécanique, notamment en matériaux, mécanique des milieux continus et modélisation en éléments finis ou corps rigides. Vous faites preuve d'une forte motivation et de compétences en communication, rédaction et gestion du temps. Une première expérience en expérimentation ou en modélisation sera appréciée.

Pour candidater, merci d'envoyer CV, lettre de motivation, informations de personnes à contacter pour une recommandation, et relevés de notes post-bac à Laure-Lise GRAS (laure-lise.gras@univ-lyon1.fr).