

**PROPOSITION DE SUJET DE THÈSE**  
**Campagne 2022**

Laboratoire de rattachement	LBMC
Encadrant référent Ifsttar	Laure-Lise GRAS (Maitre de conférences, LBMC)
Titre de la thèse en français	Analyse expérimentale et modélisation de la précontrainte exercée par le fascia sur les tissus musculaires
Titre de la thèse en anglais	Experimental analysis and modeling of the prestress exerted by the fascia on muscle tissue
Disciplines de la thèse	Mécanique
Lien avec les thématiques prioritaires de TS2	« L'homme virtuel », « la santé et la mobilité du quotidien »
Localisation principale (et secondaire, si besoin, avec temps passés)	LBMC - Laboratoire de Biomécanique et Mécanique des Chocs, UMR_T 9406 UNIV EIFFEL / UCBL
Ecole doctorale (prévision)	MEGA
Etablissement d'inscription (prévision)	Université Claude Bernard Lyon 1
Directeur (et codirecteur) prévu(s) avec statut et affiliation	Directeur : Karine BRUYERE (DR, LBMC) Co-directeur : Laure-Lise GRAS (Maitre de conférences, LBMC)
Financement prévu	Contrat doctoral Université Gustave Eiffel ou Université Claude Bernard Lyon 1

**Analyse expérimentale et modélisation de la précontrainte exercée par le fascia sur les tissus musculaires**

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

**Contexte et objectif :**

La modélisation numérique du corps humain est un outil important pour mieux appréhender les phénomènes mis en jeu dans la mobilité ou le confort. Pour pouvoir modéliser le mouvement, les modèles déformables du corps humain doivent reproduire convenablement l'activation musculaire. Ces modèles présentent des propriétés géométriques et mécaniques des muscles détaillées, voire personnalisées, mais leur réponse dans le cas d'activation musculaire pourrait être améliorée. Par exemple, dans le cas du modèle de membre inférieur développé au LBMC (ANR MIME : Approche multi-échelle pour la modélisation personnalisée du système musculosquelettique porté par le LBMC de 2010 à 2015 ; Stelletta et al., 2016, 2017), la modélisation permet de rendre compte de l'activation musculaire suivant la ligne d'action du muscle, mais n'est pas capable de reproduire la transmission transverse des efforts entre les muscles alors que celle-ci a une incidence sur la stabilisation des articulations.

En effet, dans ce modèle, les muscles sont considérés comme des entités indépendantes les unes des autres, sans connexion directe. Or comme la plupart des organes et des différentes structures du corps humain, les muscles et groupes de muscles sont enveloppés de fascias. Les fascias sont des tissus conjonctifs fibreux composés de fibres d'élastine et de collagène, qui exercent des contraintes sur les muscles (gainage) et participent ainsi à la cohésion entre les muscles (connexion) et à la transmission des efforts entre eux (Findley et al., 2015; Stecco et al., 2014). Par conséquent, comme suggéré par Stelletta et al. (2016, 2017) l'objectif principal de ce sujet de thèse est d'inclure les fascias, notamment le fascia lata au niveau de la cuisse, dans le modèle de membre inférieur développé au LBMC pour améliorer sa réponse biomécanique lors de l'activation musculaire.

Pour répondre à cet objectif, les propriétés mécaniques des fascias doivent être modélisées mathématiquement par une loi de comportement du matériau à intégrer dans le modèle de membre inférieur, et la précontrainte exercée par le fascia sur les tissus musculaires doit être quantifiée et modélisée aussi.

**Objectifs spécifiques et approche méthodologique :**

Les objectifs spécifiques de ce travail de thèse sont donc :

1) la **modélisation du comportement mécanique du fascia**. Sur la base d'expérimentations déjà réalisées,

notamment en traction et en cisaillement (thèse de Yullia Sednieva, 2018-2021), une modélisation du comportement mécanique se basant sur la théorie des matériaux composites fibreux et des membranes sera réalisée. Une analyse de la microstructure du matériau par histologie et microscopie biphotonique 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 et la loi de comportement mécanique qui en découle sera implémentée dans le modèle de membre inférieur ;

2) la **quantification de la précontrainte exercée par le fascia sur le tissu musculaire** grâce à l'utilisation de l'échographie ultrarapide et de l'élastographie par ondes de cisaillement et du modèle de membre inférieur. Un protocole expérimental *in vivo*, couplant plusieurs moyens de mesures (échographie ultrarapide, élastographie, analyse du mouvement et EMG) sera défini et appliqué sur des personnes volontaires saines. Récemment, Otsuka et al. (2020) ont mis en évidence l'impact de l'activation musculaire sur l'élasticité du fascia lata. Une analyse plus approfondie du rôle de la microstructure et de l'état naturel de tension du fascia lata au cours de la contraction musculaire est indispensable pour pouvoir modéliser la contraction de façon réaliste.

3) la **modélisation en éléments finis associée** qui sera développée à partir du modèle de membre inférieur existant et sera alimentée par les résultats des premiers objectifs. Ce modèle incluant les fascias, pourra ensuite être testé et évalué pour représenter des conditions physiologiques réelles comme par exemple la simulation de la marche et démontrer sa potentielle plus-value par rapport à un modèle dépourvu de fascia.

#### **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. 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 de master à Laure-Lise GRAS ([laure-lise.gras@univ-lyon1.fr](mailto:laure-lise.gras@univ-lyon1.fr)).

---

#### **ENGLISH VERSION**

---

### **Experimental analysis and modeling of the prestress exerted by the fascia on muscle tissue**

**Keywords:** Biomechanics, fascia, experimentation, constitutive law, modeling

#### **Context and objective:**

Numerical human body models are an important tool for better understanding the phenomena involved in mobility or comfort. In order to be able to model movement, deformable models of the human body must properly reproduce muscle activation. These models exhibit detailed, even personalized, geometric and mechanical muscle properties, but their response to muscle activation could be improved and made more accurate. For example, in the case of the lower limb model developed at LBMC (ANR MIME: Multi-scale approach for personalized modeling of the musculoskeletal system carried by the LBMC from 2010 to 2015; Stelletta et al., 2016, 2017), muscle activation along the line of action of the muscle is possible, but the model is not capable of reproducing the transverse transmission of forces between the muscles, although this has an impact on the stabilization of the joints.

Indeed, in this model, muscles are considered as independent entities, without direct connection between them. However, like most organs and other structures of the human body, muscles and muscle groups are surrounded by fascia. Fasciae are fibrous connective tissues made of elastin and collagen fibers which exert stresses on the muscles (sheathing effect) and thus participate in the cohesion between the muscles (connection) and in the transmission of forces between them (Findley et al., 2015; Stecco et al., 2014). Therefore, as suggested by Stelletta et al. (2016, 2017) the main objective of this thesis topic is to include the fasciae, in particular the fascia lata at the level of the thigh, in the lower limb model developed at the LBMC to improve its biomechanical response during muscular activation.

To meet this objective, fascia mechanical properties must be mathematically modeled with a constitutive law of the material to be integrated in the lower limb model, and the prestressing exerted by the fascia on muscle tissue should also be quantified and modeled.

**Specific objectives and methodology:**

The specific objectives of this thesis work are therefore:

- 1) **modeling of fascia mechanical properties.** Based on already performed experimentations, particularly in tension and shear (Yuliia Sednieva's thesis, 2018-2021), a modeling of the mechanical behavior based on the theory of fibrous composite materials and membranes will be done. An analysis of the material's microstructure with histological analysis and two-photon microscopy will be useful to implement the structural strain mechanisms of the material into the constitutive law. All of these analyses will provide a better understanding of the mechanical behavior of fascia in order to better understand its mechanical role on the adjacent tissues. The resulting mechanical constitutive law will be implemented in the lower limb model;
- 2) **quantification of the prestress** exerted by the fascia on muscle tissue through the use of ultrafast ultrasound imaging and shear wave elastography and the lower limb model. An experimental *in vivo* protocol combining several measurements systems (ultrafast ultrasound imaging, elastography, movement analysis, and EMG) will be defined and carried out on healthy volunteers. Recently, Otsuka et al. (2020) showed the influence of muscular activation on fascia lata elasticity. A thorough analysis of the microstructure role and of the natural tension state of fascia lata during muscular contraction is necessary to be able to model it properly.
- 3) the **associated modeling** that will be developed based on the existing lower limb model, and will be fed by the results of the previous experiments and constitutive law. This model including fascia could then be tested and evaluated to represent real physiological conditions such as the simulation of walking and demonstrate its potential added value compared to a model without fascia.

**Candidate profile:**

The candidate should hold a Master degree or equivalent in mechanics or biomechanics. He/she will have knowledge in continuum mechanics, materials and finite element modeling. He/she will have to demonstrate strong motivation and good writing and communicating skills. A first experience in modeling or experimentation will be appreciated.

To apply, please send CV, cover letter, contact information for a recommendation, and master's transcripts to Laure-Lise GRAS ([laure-lise.gras@univ-lyon1.fr](mailto:laure-lise.gras@univ-lyon1.fr)).

**References:**

- Findley, T. et al. (2015) DOI:10.1016/j.jbmt.2014.08.010  
Otsuka, S. et al. (2020) DOI:10.1016/j.jbiomech.2020.109919  
Sednieva, Y. et al. (2020) DOI:10.3389/fbioe.2020.00750  
Stecco, C. et al. (2014) DOI:10.1007/s00276-013-1152-y  
Stelletta, J. et al. (2016) Muscle interactions influence the muscular forces  
Stelletta, J. et al. (2017) Chapter 23: Modeling of the Thigh: A 3D Deformable Approach Considering Muscle Interactions in Biomechanics of Living Organs Pages 497-521