


Proposition de Thèse au LBMC (Laboratoire de Biomécanique et Mécanique des Chocs)

Titre de la thèse	Vers une intégration de la physiologie musculaire pour des modèles EF de comportement constitutif actif plus robustes et plus versatiles
UR de Rattachement	LBMC (UMR T9406) https://lbmc.univ-gustave-eiffel.fr/ 
Ecole Doctorale	MEGA
Spécialité de la Thèse	Mécanique
Allocation	Candidature de bourse ED MEGA – Mai/Juin 2023 pour un début Automne 2023
Lieu de travail principal	LBMC site de Bron
Directeur (et co-directeur)	Yoann Lafon (DR, HDR) et Bertrand Fréchède (MCF) Tél. : 04 7244 8093/04 7865 6900, email : bertrand.frechede@univ-lyon1.fr
Mots clés	Modélisation, Eléments-Finis, Caractérisation Mécanique, Lois de Comportement, Tissus mous, Muscle, Stimulation et activation.

Contexte : La recherche internationale s’est lancée depuis quelques années dans les défis du patient virtuel et de la médecine numérique ou ‘*in-silico*’. De nombreuses actions mettent en avant l’importance de ces approches et de leur potentiel à devenir les outils futurs d’aide au diagnostic, aux choix thérapeutiques, à la recherche et au développement de dispositifs médicaux innovants¹.

Au sein de l’Axe 3 « Capacités fonctionnelles au cours de la vie » les chercheurs du LBMC développent des modèles musculo-squelettiques personnalisés visant à pouvoir représenter différents patients et leurs pathologies. Ces modèles nécessitent une modélisation du comportement mécanique musculaire qui permette de prendre en compte ses caractères physiologiques (cf. résultats du travail de Thèse de M. Maamir² Fig. 1). Les challenges et verrous scientifiques associés concernent ces deux aspects : la modélisation de la pennation et de l’orientation locale des fibres musculaires, la synergie muscle/tendon/aponévrose, les effets de déformation/de génération d’efforts transverse, le comportement mécanique musculaire en grandes déformations au sens général³ dépendent non seulement des modèles de comportements mécaniques implémentés, mais également de considérations physiologiques⁴, comme la prise en compte des distributions géométriques des activations via les motoneurones, celle de la dynamique de l’activation (lien stimulation/activation), celle des différents niveaux de contrôle impliqués dans cette activation. Les enjeux d’une meilleure modélisation de ces deux aspects concernent tout spécialement la capacité à mieux représenter des sujets présentant des spécificités, comme la dégradation d’une capacité musculaire et fonctionnelle chez le sujet pathologique (ex. dystonie musculaire) ou âgé, la possibilité d’explorer des muscles aussi variés que la langue ou la trompe d’éléphant, et celle de pouvoir à terme contribuer à mieux évaluer des dispositifs médicaux dans leurs phases de conception et de développement, en intégrant ces modèles aux modèles musculo-squelettiques pour mieux prédire les sollicitations mécaniques appliquées à ces dispositifs.

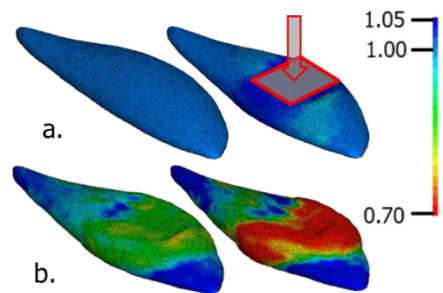


Figure 1 : effet d’un effort transverse sur l’allongement des fibres musculaires a. passives b. activées²

Objectifs : Afin de pouvoir envisager le développement de telles applications et d’essais biomécaniques ‘*in-silico*’, il est impératif de poursuivre le travail entrepris sur la robustesse et sur l’adaptabilité des modèles de comportement musculaires déjà développés et implémentés au LBMC, portant également sur leur vérification numérique et sur leur validation. Ce travail inclut de :

- Améliorer la bio-fidélité et la robustesse des modèles musculaires constitutifs actifs existants. Ce travail forme le cœur du travail de recherche et ciblera plusieurs niveaux :
 - o La poursuite de l’évaluation et l’amélioration de la formulation et de l’implémentation de différents modèles de comportement mécanique du muscle actif actuellement utilisés ou en développement dans LS-DYNA,

- L'investigation de la réponse aux verrous actuels suivants : modélisation (i) de la synergie longitudinale muscle/tendon/aponévrose, (ii) de la synergie entre comportement longitudinal et transverse, (iii) des effets la pennation et l'orientation locale des fibres musculaires,
- L'exploration des possibilités de modélisation et d'implémentation de phénomènes physiologiques (en lien avec la dynamique de l'activation) et l'évaluation de leur influence sur le comportement mécanique mais aussi numérique (stabilité) du modèle EF.
- En lien avec les possibilités de collaborations en cours ou identifiées, poursuivre la validation et l'amélioration de l'adaptabilité du modèle, par le biais d'applications portant :
 - Sur le muscle seul (pour l'investigation phénoménologique des effets de l'âge ou l'application du travail effectué sur les orientations des fibres à la modélisation d'un tissu musculaire à architecture complexe, comme celui de la trompe de l'éléphant),
 - Sur la modélisation du cas spécifique d'une pathologie (dystonie musculaire), pour mieux comprendre les mécanismes perturbateurs touchant le muscle, en permettant d'envisager l'ouverture du travail de recherche à la problématique plus large de la co-activation au sein de groupes musculaires (cas d'un couple agoniste/antagoniste),
 - Sur la contribution le cas échéant à l'obtention de données de validation musculaire *in-vivo* permettant de mieux valider ces distributions.

Profil du candidat : de profil mécanicien, titulaire d'un Master Recherche ou équivalent avec d'excellents résultats, le candidat devra présenter de bonnes connaissances en Mécanique des Milieux Continus, une expérience en modélisation EF et des compétences en programmation (Matlab, Python, Fortran...). Un background en biomécanique constituera également un point fort de la candidature.

Moyens humains et matériels : L'étudiant sera accueilli au sein du Thème 2 « Maintenir le corps en bonne santé ». Il travaillera avec les intervenants cliniciens et les chercheurs de l'équipe impliqués sur ce projet. Il aura accès aux licences industrielles HyperWorks/Radioss et LS-DYNA ainsi qu'au cluster de calcul du P2CHPD du Département de Mécanique de l'Université Lyon 1.

Candidature : Envoyer CV et lettre de motivation avec 2 références à B. Fréchède avant le 19/05/23.

Références :

¹ <https://avicenna-alliance.com/publications/>

² Maamir M, Siebert T, Tomalka A, Lafon Y, Fréchède Y, 2021. A rat muscle finite-element model to account for transverse loading effects. Proc Int Symposium Comp Meth Biomech Biomed Eng CMBBE 2021. Paper C10.2

³ Stelletta J, Dumas R, Lafon Y, 2017. Chapter 23 - Modeling of the thigh: A 3D deformable approach considering muscle interactions, in *Biomechanics of Living Organs*, Eds. Y. Payan and J. Ohayon, Oxford Acad Press

⁴ Blemker S, 2017. Chapter 17 - Three-dimensional modeling of active muscle tissue: the why, the how, and the future, in *Biomechanics of Living Organs*, Eds. Y. Payan and J. Ohayon, Oxford Acad Press