

PROPOSITION DE SUJET DE THÈSE

Laboratoire de rattachement	LBMC
Titre de la thèse en français	Approche des matériaux composites pour caractériser et modéliser les tissus biologiques fibreux : application aux fascias
Titre de la thèse en anglais	A composite materials approach to characterizing and modeling fibrous biological tissues: application to fasciae
Localisation principale (et secondaire, si besoin, avec temps passés)	Localisation principale : LBMC Localisation secondaire : LaMCoS
École doctorale (prévision)	ED 162 MEGA
Encadrement	Directrice de thèse : Karine BRUYERE (DR, LBMC) Codirecteur : Julien COLMARS (MCF, LaMCoS) Codirectrice : Laure-Lise GRAS (MCF, LBMC)

Approche des matériaux composites pour caractériser et modéliser les tissus biologiques fibreux : application aux fascias

Mots-clés : biomécanique, fascia, modélisation, expérimentation, loi de comportement

Contexte :

La plupart des organes, muscles et structures du corps sont entourés de fascias, des tissus conjonctifs fibreux qui maintiennent la cohésion musculaire et permettent de transmettre les efforts.^{1,2,3,4} Cliniquement, les lésions des fascias peuvent provoquer des douleurs articulaires et musculaires. Par exemple, le fascia thoraco-lombaire est impliqué dans les lombalgies, et le fascia lata de la cuisse peut être lésé par surentraînement (syndrome de l'essuie-glace), traumatismes (déchirures du fascia et œdème musculaire) ou inflammation, entraînant des douleurs à la cuisse, au genou ou à la hanche.⁵

Les fascias sont composés essentiellement de fibres de collagène organisées en différentes couches.^{6,7} Le fascia lata présente deux à trois couches de fibres : une avec des fibres longitudinales épaisses et une ou deux avec des fibres transversales plus fines. L'angle entre les réseaux de fibres est compris entre 60° et 80°.^{7,8,9} Reliés par une matrice extracellulaire,⁷ ces réseaux de fibres forment un matériau composite à orientation et propriétés mécaniques variables.

Les fascias présentent un comportement anisotrope, non linéaire et viscoélastique. La littérature rapporte surtout des expérimentations *ex vivo* sur tissus animaux^{8,10,11} ou humains,^{12,13,14} principalement en traction unidirectionnelle^{8,11,12,13,14} ou biaxiale,^{8,10,14} avec peu d'études en cisaillement.^{11,14} Certains modèles constitutifs, comme Gasser-Ogden-Hozapfel ou des modèles anisotropes hyperélastiques, ont été proposés, mais ils supposent une déformation homogène et négligent souvent le cisaillement ou la viscoélasticité réelle du fascia lata.

Le cisaillement est pourtant un mode de sollicitation important de ce tissu soumis à des chargements multi-axiaux. Des expérimentations *in situ*, sur corps entier, ont été menées au LBMC pour quantifier les niveaux de déformations du fascia lata et leur répartition sur la cuisse au cours du mouvement de la jambe.¹⁵ L'objectif était

¹ Findley, T. et al. (2015). <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2014.08.010>

² Stecco, C. et al. (2014). <https://doi.org/10.1007/s00276-013-1152-y>

³ Huijing, P.A. (2009). <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2008.09.027>

⁴ Eng, C.M., & Roberts, T.J. (2018). <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00151.2018>

⁵ Huang, B.K. et al. (2013). <https://doi.org/10.1148/rg.335125171>

⁶ Stecco, C. et al. (2011). <https://doi.org/10.13128/IJAE-10683>

⁷ Manon, J. et al. (2024). <https://doi.org/10.1111/joa.14125>

⁸ Bonaldi, L. et al. (2023). <https://doi.org/10.3390/bioengineering10020226>

⁹ Pancheri, F.Q. et al. (2014). <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2013.12.002>

¹⁰ Eng, C.M. et al. (2014). <https://doi.org/10.1007/s10439-014-0999-3>

¹¹ Ruiz-Alejos, D. et al. (2016). <https://doi.org/10.1111/str.12198>

¹² Stecco, C. et al. (2014). <https://doi.org/10.1007/s00276-013-1152-y>

¹³ Manon, J. et al. (2022). <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.944828>

¹⁴ Aparicil-Gil, A. et al. (2025). <https://doi.org/10.3389/fbioe.2025.1494793>

¹⁵ Sednieva, Y. et al. (2020). <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00750>

d'identifier des niveaux de déformations du fascia lata représentatifs d'un mouvement physiologique pour pouvoir ensuite les reproduire lors d'essais sur échantillons, et d'étudier ces déformations sur différentes zones de la cuisse, étant donné des orientations de fibres hétérogènes, qui affectent sa réponse mécanique locale. Nous avons montré que le fascia lata présente, notamment pour l'ITB, un mécanisme de déformation en cisaillement pur, d'où l'importance de caractériser la réponse du tissu pour ce type de sollicitation.

Le fascia lata pouvant être considéré comme un matériau composite à deux directions principales de fibres, les essais et modèles utilisés pour caractériser les renforts textiles de matériaux composites pourraient être adaptés pour tester des échantillons de fascia. Entre autres, pour le cisaillement, le « bias extension test »^{16,17} consiste en un essai de traction uniaxiale réalisé sur un échantillon rectangulaire de tissu, le long de la bissectrice des deux réseaux de fibres. La cinématique des fibres est mesurée pour observer la variation d'angle au milieu de l'échantillon, là où apparaissent d'importantes déformations en cisaillement. Une rigidité en cisaillement peut être calculée analytiquement en tenant compte d'hypothèses spécifiques, ou bien estimée grâce à des outils de modélisation par éléments finis développés au LaMCoS.

Objectifs de la thèse et méthodologie :

Étant donné que le fascia s'apparente à un **matériau composite**, nous nous proposons de modéliser son comportement mécanique en utilisant, pour la première fois, les théories appliquées aux matériaux composites et plus spécifiquement aux renforts textiles. L'objectif de ce projet est de proposer une **caractérisation mécanique originale du fascia lata**, en particulier en **cisaillement** pour différentes zones d'intérêt et pour **différentes vitesses de sollicitation**. Le comportement en **flexion dans le plan** sera également étudié pour compléter la caractérisation et la modélisation.

L'ambition scientifique du projet proposé se décline selon les objectifs spécifiques suivants :

1. **Cisaillement et traction de l'ITB : modélisation du comportement des échantillons d'ITB déjà testés.** Cette modélisation se basera sur les résultats expérimentaux déjà obtenus en quasi-statique et sur la description microscopique des échantillons.
2. **Autres zones du fascia lata : expérimentations et modélisation du comportement d'échantillons d'ITB, de fascia antérieur et postérieur à différentes vitesses de sollicitations.** L'objectif de cette série d'essais sera d'étudier les différences de comportement entre les différentes zones du fascia lata, ainsi que le comportement viscoélastique du tissu.
3. **Flexion dans le plan.** Les fibres de fascia peuvent changer d'orientation en fonction de la localisation sur la cuisse. Les fibres transverses en particulier peuvent être soumises à des ondulations dans le plan, suggérant de la flexion plane. Le rôle de la flexion plane des fibres sera un sujet d'étude. Un protocole expérimental dédié devra être développé pour solliciter la flexion dans le plan du tissu.

Cette approche originale, par rapport aux modèles actuels de matériaux biologiques fibreux, améliorera la compréhension du rôle des différents constituants du fascia lata et de leurs interactions. Le modèle et les méthodologies développées spécifiquement pour l'observation et la caractérisation du fascia lata pourraient s'appliquer à d'autres tissus et zones anatomiques comme le fascia thoracolombaire lié aux lombalgies. Il pourrait aussi être enrichi par l'ajout de paramètres physiologiques et biologiques pour simuler des cas pathologiques.

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 post-bac à Laure-Lise GRAS (laure-lise.gras@univ-lyon1.fr).

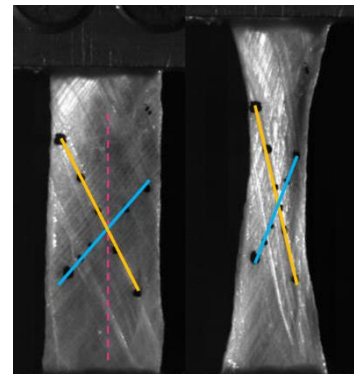


Figure 1: Essai de cisaillement "bias extension test" sur un échantillon de fascia lata. En bleu: fibre longitudinale, en orange: fibre transverse, en magenta: bissectrice de l'angle entre les fibres

¹⁶ Boisse, P. et al. (2017). <https://doi.org/10.1007/s12289-016-1294-7>

¹⁷ Guzman-Maldonado, E. et al. (2022). <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.110682>