

Proposition de thèse à l'Université Bourgogne Franche-Comté, Institut de recherche FEMTO-ST Sciences et Technologies :

Biomécanique des tissus mous : la peau humaine.

Domaine : Biomécanique et mécanique des matériaux

Le sujet de thèse est porté par le département de mécanique appliquée de l'institut FEMTO-ST à Besançon (25). Il s'inscrit dans la continuité d'une collaboration pluridisciplinaire avec le LMB (laboratoire de mathématiques de Besançon), l'Hôpital (centre Investigation Clinique CIC - CHRUB) et l'université du Luxembourg (computational mechanics team).

Contexte :

Les méthodes numériques et capacités de calculs actuelles offrent la possibilité de simuler la réponse d'une structure complexe à des sollicitations mécaniques dans différents environnements choisis. Les modèles développés et les hypothèses posées pour restituer fidèlement la réalité nécessitent l'obtention de données expérimentales, ce que le projet vise à mettre en place au travers d'une caractérisation des matériaux et de structures réelles. Le projet s'inscrit dans le domaine de la biomécanique des tissus mous et en particulier le comportement mécanique de la peau humaine et des matériaux de substitution. L'équipe réunit autour du projet des mécaniciens et des numériciens pour évaluer des champs de contraintes mécaniques supposés responsables de certaines pathologies, comme les chéloïdes, correspondant à une prolifération excessive des fibroblastes durant le processus de cicatrisation et présentant des propriétés mécaniques différentes de la peau saine. La présence de sites anatomiques favorables à l'apparition de chéloïdes alors que d'autres en sont complètement dépourvus atteste de l'importance de l'environnement mécanique du tissu [1]. La collaboration avec des médecins et biologistes rend possible une meilleure compréhension de certaines cinétiques de progression de ces pathologies contribuant également à la prise en compte des incertitudes au niveau des analyses.

Objectifs :

Partant d'une problématique médicale et visant à définir précisément le cahier des charges d'un dispositif de prévention du développement des chéloïdes (par ex. dans le cadre d'un accompagnement thérapeutique postérieur à une sternotomie), l'objectif du projet consiste à comprendre le développement de ces tumeurs de la peau du point de vue de la mécanique. Le projet concerne uniquement les causes mécaniques; les origines génétique ou biologique de la maladie existent mais ne seront pas étudiées dans ce travail.

Méthodologie :

Une analyse mécanique de la problématique à partir de résultats expérimentaux patient-spécifiques permet d'appréhender le champ des contraintes mécaniques sur toute la zone considérée mais de nombreux paramètres (matériaux et conditions aux limites) restent mal connus [1] ou complètement inconnus. Ceci conduit à développer un modèle physique géométrique et matériel reproduisant ce que le modèle numérique représente pour servir de cas-test expérimental à une validation des résultats numériques proposés. Des « phantoms »

de peau présentant des comportements mécaniques maîtrisés [2], proches de la peau humaine, et sur lesquels différentes mesures sont possibles seront développés au laboratoire et utilisés pour tester et valider les outils numériques [3]. Un point essentiel sera d'actualiser en temps réel les modèles avec les données "patient-spécifiques" au fur et à mesure qu'elles deviennent disponibles pour réduire l'impact de la variabilité inter-individuelle et améliorer les simulations. Les essais seront utilisés pour choisir un modèle de comportement matériau, identifier les paramètres du modèle et proposer une modélisation numérique du modèle physique. Des essais identiques à ceux qu'il est possible de réaliser in vivo (Ultrasons, succion, traction uniaxiale et biaxiale...) [4] seront menés sur le modèle physique. Une confrontation calculs-expériences associée à une analyse de sensibilité permettra d'identifier, les paramètres du modèle les plus sensibles et les sites les plus adaptés pour faire les mesures. Une analyse des résultats obtenus mettra en évidence la limite des outils actuels et la nécessité de compléter ces outils par des mesures de champs (corrélation d'images numériques et scans 3D de réponses des tissus) pour bien poser le problème de modélisation et d'identification.

L'objectif visé concerne les propriétés d'élasticité non linéaire, la viscosité et l'anisotropie du comportement mécanique. Il est envisagé de faire des tests de caractérisation mécanique sur la peau avec un vibromètre laser (technique Doppler 3D-laser) encore peu utilisée aujourd'hui sur les tissus vivants (oreille, face du visage et tendons) en complément des tests quasi-statiques. Des tests sur les matériaux «phantoms» permettront aussi de corréler les mesures d'extensiométrie aux mesures vibratoires et d'identifier des singularités au niveau des méthodes expérimentales.

Le travail de thèse comportera notamment :

- Une partie expérimentale de caractérisation mécanique classique en laboratoire d'un «phantom» construit artificiellement pour mettre en évidence des singularités (anisotropie, hétérogénéité, non linéarité) identifiées grâce à des modèles éprouvés sur la peau in vivo dans différents cas de figure.
- Un ensemble de mesures in vivo pour compléter une base de données existante [5]. Partant de mesures expérimentales et des paramètres de modèles prenant en compte la variabilité des mesures, chaque nouvel essai enrichira la base de données [3] et la connaissance du problème.
- L'exploitation numérique des données collectées pour l'actualisation des modèles développés et la quantification des incertitudes associées aux prédictions fournies.

La thèse bénéficiera des liens existants avec les services de chirurgie et le Centre d'investigation Clinique (CIC-CHRU de Besançon) pour la préparation d'un protocole d'essais in vivo ainsi que le recrutement des sujets du panel. De même les collaborations impliquant des étudiants ingénieurs biomédicaux (UBFC Univ. Bourgogne Franche-Comté) contribueront à une déclaration conforme aux aspects réglementaires permettant l'utilisation des dispositifs de mesure sur la peau in vivo.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] R. Ogawa, K. Okai, F. Tokumura, K. Mori, Y. Ohmori, C. Huang, H. Hyakusoku, S. Akaishi, The relationship between skin stretching/contraction and pathologic scarring: the important role of mechanical forces in keloid generation. *Wound Repair and Regeneration*, 2012, 20(2):149-157.

[2] A.K. Dabrowska, G.-M. Rotaru, S. Derler, F. Spano, M. Camenzind, S. Annaheim, R. Stampfli, M. Schmid and R.M. Rossi, Materials used to simulate physical properties of human skin Skin Research and Technology, 2016, 22:3-14.

[3] J. Hale, P. Farrell, S. Bordas. A Bayesian inversion approach to recovering material parameters in hyperelastic solids using dolfinadjoint, in: FEniCS '15 Workshop, Imperial College, London, 2015.

[4] E. Jacquet, S. Joly, J. Chambert, K. Rejik, P. Sandoz. Ultra-light extensometer for the assessment of the mechanical properties of the human skin in vivo. Skin Res. Technol. 2017, 23:531–538.

[5] E. Jacquet, J. Chambert, J. Pauchot, P. Sandoz. Intra- and inter-individual variability in the mechanical properties of the human skin from in vivo measurements on 20 volunteers. Skin Res Technol. 2017, 23:491–499.

Profil attendu du chercheur :

Formation	Ingénieur ou universitaire. Diplôme de master 2 ou master Ingénieur en biomécanique, mécanique, génie mécanique, mécanique numérique.
Compétences et spécialités	Mise en œuvre de tests mécaniques, Simulation numérique en calculs de structures. Une motivation forte vers la biomécanique des tissus vivants est fortement souhaitée.
Lieu de la thèse	FEMTO-ST à Besançon
Début de la thèse	Septembre 2018
Langue	Anglais (obligatoire), Français (niveau minimum B2 requis).

Encadrement :

Directeur de la thèse	Emmanuelle JACQUET (UBFC - FEMTO-ST Institut de recherche en Sciences et Technologies, Département de Mécanique Appliquée, 24 rue de l'épitaphe, 25000 Besançon, France)
Conditions	Contrat doctoral UBFC : Contrat à Durée Déterminée de 36 mois Salaire : 23 700 € bruts annuels

Adressez votre candidature (lettre de motivation et CV) à Emmanuelle Jacquet (emmanuelle.jacquet@univ-fcomte.fr) avant le 14 mai 2018.