

Laboratoire d'accueil du stagiaire	
Nom complet	Institut FEMTO-ST, UMR 6174, Université de Franche-Comté
Département	Département Mécanique Appliquée, Besançon
Thématique de Recherche	Applications à l'Être Humain
Partenaires	IMB, Laboratoire de Mathématiques de Bourgogne, Université de Bourgogne
Co-encadrants	A. Lejeune (IR, UFC), J. Chambert (MCF, UFC), F. Chouly (PU, UB)
contact	Arnaud Lejeune (arnaud.lejeune@univ-fcomte.fr)

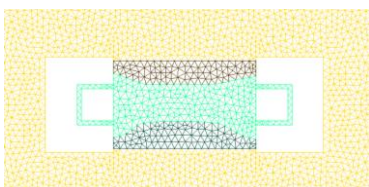
**Titre : Biomécanique de la peau humaine :** Optimisation du maillage d'un domaine bi-matériau hyperélastique dans le but de délimiter la géométrie d'une tumeur nécessitant une exérèse chirurgicale.

La modélisation éléments finis des tissus ou organes humains permet à la fois une compréhension accrue de leur physiologie et pathophysiologie, via l'identification de grandeurs mécaniques pertinentes, et aussi l'amélioration de dispositifs biomédicaux de prévention ou de traitement pour l'aide au chirurgien.

Dans des applications en dermatologie et chirurgie cutanée, en particulier dans le traitement des cicatrices chéloïdiennes, la quantification des champs de contraintes mécaniques dans un domaine de forme complexe plus ou moins définie et constitué de deux milieux matériels différents s'avère très utile. En effet, ces champs, une fois connus peuvent servir de base au cahier des charges d'un dispositif de contention avec ou sans exérèse.

De telles prédictions via la modélisation s'appuient sur une connaissance des propriétés mécaniques de ces milieux : les lois de comportement hyperélastiques caractéristiques des tissus mous et les paramètres correspondants peuvent être identifiés par des essais mécaniques expérimentaux [Jacquet et al., 2017] en particulier dans un tissu chéloïdien [Chambert et al., 2019]. La géométrie du domaine est obtenue expérimentalement indépendamment des propriétés du tissu et le maillage patient-spécifique résulte alors de procédures automatiques améliorées par des techniques numériques avancées [Bucki et al., 2010].

Les erreurs numériques associées à un calcul éléments finis peuvent être estimées a posteriori par des indicateurs locaux pour s'assurer de la qualité et de la densité du maillage généré à partir de la géométrie spécifiée. Ces erreurs peuvent être réduites en raffinant le maillage dans des régions trouvées par ces indicateurs. Dans le cas des contraintes planes, et en élasticité linéaire, quand une quantité d'intérêt est bien définie, des estimateurs d'erreur de type DWR (« Dual Weighted Residuals ») [Becker & Rannacher, 2001] appelés estimateurs « ciblés » ont montré leur efficacité sur des applications réelles en biomécanique comme la localisation de sources d'erreur induites dans le maillage d'un domaine comportant une hétérogénéité (paroi artérielle avec une nécrose [Duprez et al., 2020]).



**Le présent projet vise à tester ces méthodes pour des tissus mous en hyperélasticité dans un cadre clinique en dermatologie** [Elouneg et al. 2019]. **Un premier travail mené en 2020 [Marie 2020] a consisté à transposer l'approche développée par [Duprez et al., 2020]**

à un bi-matériau avec un comportement élastique linéaire (voir le maillage utilisé, figure à gauche) dans la plateforme FeniCs. Le début du stage consistera à l'étendre au cas hyperélastique (problème non linéaire). Il s'agit d'adapter le maillage de manière optimale minimisant l'erreur de discrétisation d'une quantité d'intérêt. La seconde partie du travail visera à permettre l'identification de la zone chéloïdienne à partir de mesures expérimentales. On

s'attachera à définir une nouvelle quantité d'intérêt permettant de localiser la transition entre la zone chéloïdienne et la peau saine.

La seconde partie du travail visera à permettre l'identification de la zone chéloïdienne à partir de mesures expérimentales. On s'attachera à définir une nouvelle quantité d'intérêt permettant de localiser la transition entre la zone chéloïdienne et la peau saine.

### Références bibliographiques :

**[Becker & Rannacher, 2001]** R. Becker and R. Rannacher (2001). An optimal control approach to a posteriori error estimation in finite element methods, *Acta Numerica*, 10, 1-102.

**[Bucki.et.al, 2010]** M. Bucki, C. Lobos, and Y. Payan, A fast and robust patient specific finite element mesh registration technique: application to 60 clinical cases (2010). *Medical Image Analysis*, 14, 303-317.

**[Chambert et al., 2019]** J. Chambert, T. Lihoreau, S. Joly, B. Chatelain, P. Sandoz, P. Humbert, E. Jacquet, G. Rolin (2019). Multimodal investigation of a keloid scar by combining mechanical tests in vivo with diverse imaging techniques, *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 99, 206-215.

**[Duprez et al., 2020]** M. Duprez, S.P.A. Bordas, M. Bucki, H.P. Bui, F. Chouly, V. Lleras, C. Lobos, A. Lozenski, P.H. Rohan and S. Tomar (2020). Quantifying discretization errors for soft tissue simulation in computer assisted surgery: A preliminary study. *Applied Mathematical Modelling*, 77, 709-723.

**[Elouneg et al. 2019]** A. Elouneg, D. Sutula, M. Sensale, F. Chouly, J. Chambert, A. Lejeune, D. Baroli, P. Hauseux, S.P.A. Bordas, and E. Jacquet. (2019). Mechanical parameters identification of keloid and surrounding healthy skin using Digital Image Correlation measurements in vivo, *Congrès Français de Mécanique*, Brest.

**[Jacquet et al., 2017]** E. Jacquet, S. Joly, J. Chambert, K. Rekik, P. Sandoz (2017). Ultra-light extensometer for the assessment of the mechanical properties of the human skin in vivo. *Skin Research and Technology*, 23, 531-538.

**[Marie 2020]** N. Marie (2020). Estimateurs d'erreur DWR appliqués à la biomécanique d'une peau avec chéloïde, *Rapport de stage, Master MIGS*, Département Mécanique Appliquée - Institut FEMTO-ST, 2020.

Profil recherché	Ingénieur ou universitaire. Diplôme de master 2 ou master Ingénieur en mécanique numérique, ingénierie mathématique ou mathématiques appliquées.
Compétences et spécialités	Modélisation numérique, Simulation et programmation. Analyse numérique. Une motivation forte vers la mécanique et la biologie est fortement souhaitée.
Lieu d'accueil, durée du stage et gratification	Département Mécanique Appliquée Institut FEMTO-ST (Besançon)– des déplacements sont prévus à l'Institut de Mathématiques de Bourgogne (Dijon) et seront pris en charge par le laboratoire. Durée du stage : entre 4 et 6 mois à partir de février 2020 gratification selon la réglementation.
Modalités de candidature	Lettre de candidature et CV à adresser à Arnaud Lejeune (arnaud.lejeune@univ-fcomte.fr)