



Etude de la réorganisation macroscopique de la peau de souris lors d'une sollicitation bi-axiale

Jean-Sébastien Affagard, Florent Wijanto, Barbara Lynch, Guillaume Ducourthial,
Marie-Claire Schanne-Klein, Ruth Rubio Amador, Christelle Bonod-Bidaud,
Florence Ruggiero, Jean-Marc Allain

► To cite this version:

Jean-Sébastien Affagard, Florent Wijanto, Barbara Lynch, Guillaume Ducourthial, Marie-Claire Schanne-Klein, et al.. Etude de la réorganisation macroscopique de la peau de souris lors d'une sollicitation bi-axiale. CFM 2015 - 22ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2015, Lyon, France. <hal-03445051>

HAL Id: hal-03445051

<https://hal.science/hal-03445051v1>

Submitted on 23 Nov 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

Étude de la réorganisation macroscopique de la peau de souris lors d'une sollicitation bi-axiale

J-S. AFFAGARD^a, F. WIJANTO^a, B. LYNCH^a, G. DUCOURTHIAL^b, M-C. SCHANNE-KLEIN^b, R. RUBIO AMADOR^c, C. BONOD-BIBAUD^c, F. RUGGIERO^c, J-M. ALLAIN^a

a. Laboratoire de Mécanique des Solides (LMS), École Polytechnique, 91120 Palaiseau

b. Laboratoire Optique et Biosciences (LOB), École Polytechnique, 91120 Palaiseau

c. Institut de Génomique Fonctionnelle de Lyon (IGFL), 46 allée d'Italie, 69364 Lyon

{ affagard@lms.polytechnique.fr }

Résumé

La peau est composée en majorité de collagène et présente une microstructure très hiérarchisée qui influe sur son comportement mécanique aux différentes échelles. Pour caractériser l'influence de la microstructure sur les propriétés mécaniques un test de traction bi-axiale couplé à une mesure macroscopique (corrélation d'images numériques) et microscopique (génération de second harmonique) a été développé. A terme, ce travail permettra de corrélérer les propriétés macroscopiques à la microstructure. Cette étude présente les résultats de la mesure effectuée par corrélation d'images.

Abstract

The skin is mainly composed of collagen and has a very hierarchical microstructure that influences its mechanical behavior at different scales. To characterize the influence of the microstructure on the mechanical properties a bi-axial tensile test coupled with a macroscopic (digital image correlation) and microscopic (second harmonic generation) measurement has been developed to, finally, correlate the macroscopic behavior with the microstructure. This study aims at presenting the strain measurements realized from digital image correlation.

Mots clefs : biomécanique, traction bi-axiale, peau, corrélation d'images numériques, anisotropie

1 Introduction

Les tissus biologiques possèdent une microstructure très hiérarchisée engendrant ainsi une variabilité des propriétés mécaniques inter-individus. Les tissus conjonctifs mous tels que la peau sont, par exemple, constitués à plus de 90% de protéines contenues dans la matrice extracellulaire, les collagènes fibrillaires étant de loin prédominants. Cette microstructure donne à la peau, par l'intermédiaire du derme, tissu prépondérant, un comportement complexe viscoélastique, non-linéaire et anisotrope [1].

Une diminution de la synthèse du collagène ou une synthèse aberrante conduit généralement à une dégradation des propriétés mécaniques des tissus et / ou à un retard de cicatrisation. Par exemple, le dérèglement de la fibrillogenèse du collagène est caractéristique de plusieurs sous-types du syndrome d'Ehlers-Danlos (EDS). La forme la plus courante d'EDS découle de mutations du gène du collagène V.

Dans cette optique, cette étude vise à comprendre le lien entre la microstructure des tissus conjonctifs et leurs propriétés mécaniques macroscopiques [2]. Cependant, le lien entre les propriétés mécaniques

de la peau à l'échelle macroscopique et la déformation du tissu à l'échelle microscopique reste peu clair. Ce lien va être étudié sur des souris sauvages saines et des souris présentant la forme classique du Syndrome d'Ehlers-Danlos. Pour ce faire, un protocole de traction uni-axiale couplé à une imagerie SHG (Second Harmonic Generation) a été développé [3]. Il permet un suivi local de la déformation à une échelle microscopique. Nous présenterons ici un protocole de traction bi-axiale couplé à une mesure par corrélation d'images permettant ainsi de mettre en évidence le comportement macroscopique de la peau.

2 Matériel et méthode

Les échantillons de peau de souris *ex vivo* proviennent de souris âgées d'un mois dont l'épiderme et l'hypoderme ont été préalablement retirés. La découpe est effectuée avec un emporte pièce dont le rayon est de 16 mm (fig.2a). Ces échantillons de derme sont soumis à une traction bi-axiale. Les dimensions de l'échantillon sont mesurées à l'aide d'un pied à coulisse numérique. Les échantillons ont typiquement une longueur et une largeur de 2 cm et une épaisseur de 1 mm. L'axe antéropostérieur est placé le long de l'axe x (fig.2). Le chargement consiste à successivement imposer un déplacement sur chacun des axes tel qu'illustré à la fig.1a. La sollicitation se voulant quasi-statique, le déplacement imposé est de 10^{-4} s^{-1} . La force résultante est déduite à l'aide de capteurs de force.

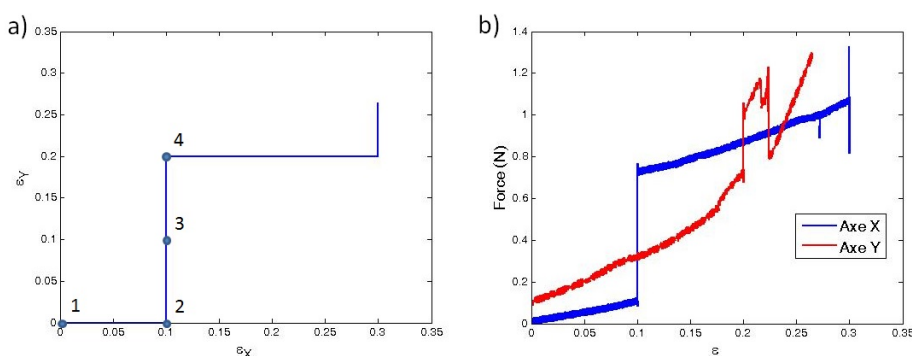


FIGURE 1 – a) Chargement imposé. b) Courbe force-déformation dans chaque direction de la traction bi-axiale

Le mouchetis est obtenu suite à la dépose de graphite. La réponse est suivie à l'aide d'une caméra digitale munie d'un objectif télécentrique (TC16M036-Q, OPTOENGINEERING) prenant une image par seconde (taille du pixel : $4.179 \mu\text{m}$). Le champ de déplacement est mesuré par corrélation d'images numérique (CIN) entre l'image de référence (fig.2a) et les images soumises à une déformation (fig.2b-d) [4]. Comme illustré par les points numérotés fig.1a, les champs de déplacement et de déformation seront uniquement représentés pour ces niveaux de déformation. Cette étude présente le résultat de la mesure de champ sur un unique échantillon, cependant, 11 échantillons ont été étudiés.

3 Résultats et discussion

Les courbes force-déformation obtenues sont classiques d'un essai de traction bi-axiale (fig. 1b) dans lequel la contrainte dans chaque direction est liée en raison de l'effet poisson. On peut y distinguer la rupture de l'échantillon pour une déformation en Y se situant aux alentours de 22%. La déformation en X est de 30% à cet instant.

Les résultats de la corrélation d'images sont présentés fig.2. Les résultats des champs de déplacement mesurés sont cohérents au chargement appliqué. Les chargements selon X sont très similaires entre les trois configurations de chargement ou seul le chargement selon Y varie (fig.2e-g). Concernant la mesure selon Y, la première image (fig.2h) illustre une compression induite par l'effet poisson. Ensuite,

le champ mesuré est proportionnel entre le chargement selon Y à 10% (fig.2i) et 20% (fig.2j). Les champs de déformation ϵ_{xx} (fig.2k-m) et ϵ_{yy} (fig.2n-p) possèdent une déformation moindre en son centre qui illustre le fait que la déformation est plus importante dans les bras de l'éprouvette qu'en son centre.

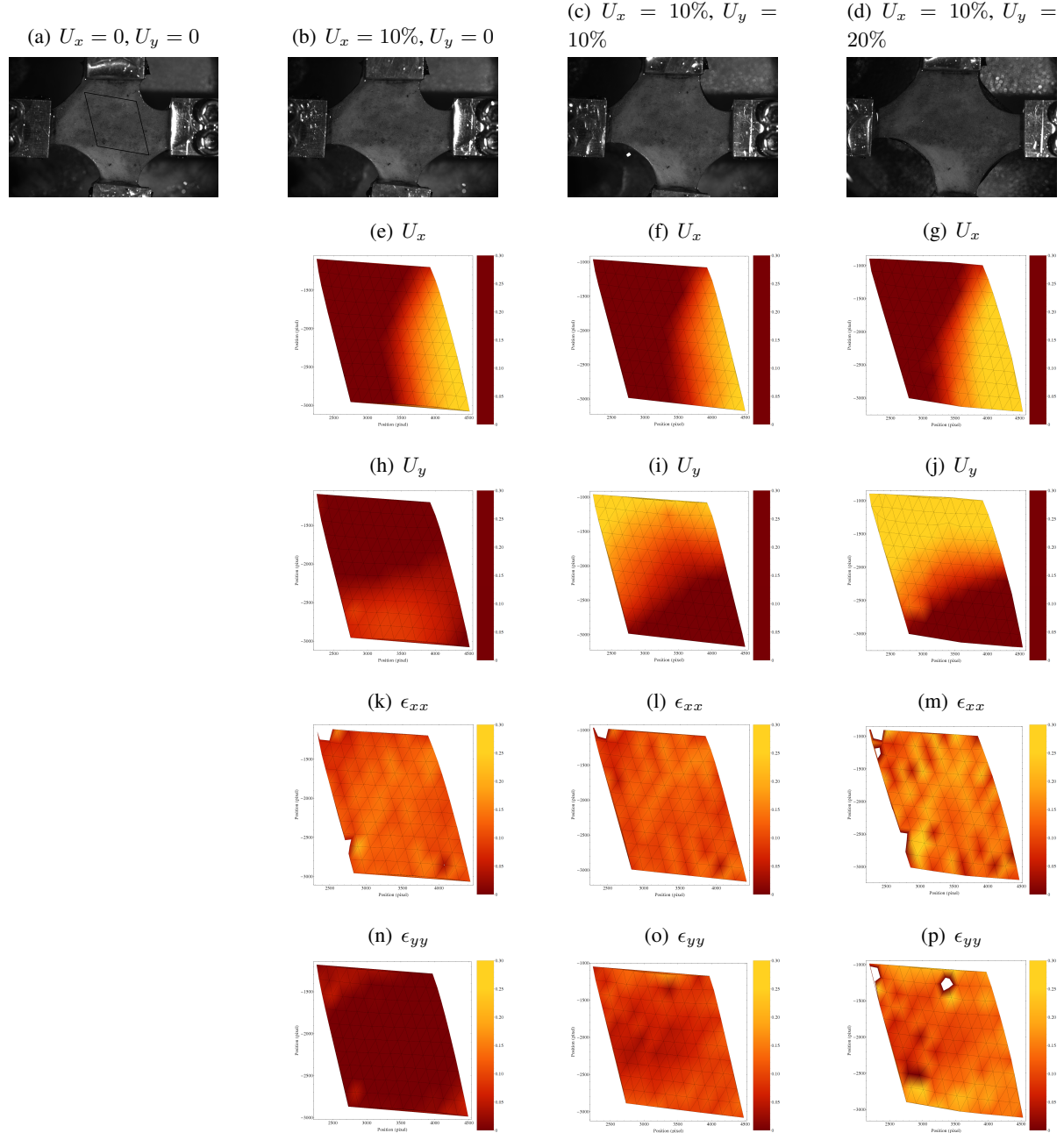


FIGURE 2 – a) Configuration de référence. b) Configurations sous chargement : x=10% et y=0, c) x=10% et y=10%, d) x=10% et y=20%. e-g) Cartographies des champs de déplacement selon x et h-j) selon y. k-m) Cartographies des champs de déformation ϵ_{xx} et n-p) ϵ_{yy}

4 Conclusion

L'approche développée illustre la mesure de champ suite à une traction bi-axiale sur une peau de souris. Cette technique d'observation du tissu au niveau macroscopique nous permettra de caractériser des propriétés mécaniques anisotropes voire hétérogènes sur l'échantillon entier. En parallèle, la réponse

macroscopique sera étudiée sous génération de second harmonique. Aussi, cet essai devrait permettre d'analyser la relation entre la réponse macroscopique du tissu et l'organisation de la microscopique (fibres de collagène). Cela nous permettra, à terme, d'identifier un modèle mécanique de la peau basée sur sa microstructure.

Cette étude sera, par ailleurs, utilisée pour appréhender la relation entre certaines modifications pathologiques de la synthèse du collagène tel que le syndrome d'Elhers-Danlos, l'organisation des fibres et les propriétés biomécaniques de la peau.

Références

- [1] Y.C. Fung. *Biomechanics : Mechanical Properties of Living Tissues*. Springer-Verlag, New York, 1993.
- [2] Y. Lanir. A structural theory for the homogeneous biaxial stress-strain relationships in flat collagenous tissues. *Journal of biomechanics*, 12(6) :423–436, 1979.
- [3] B. Lynch. Étude du lien entre propriétés mécaniques macroscopiques et organisation microstructurale de la peau. *21ème Congrès Français de Mécanique, 26 au 30 août 2013, Bordeaux, France (FR)*, 2013.
- [4] Michael A Sutton. Computer vision-based, noncontacting deformation measurements in mechanics : a generational transformation. *Applied Mechanics Reviews*, 65(5) :050802, 2013.