

Etude des propriétés mécanique de la cornée – lien avec la microstructure

Nous souhaitons développer un projet sur le lien entre propriétés mécaniques et la microstructure de la cornée.

La cornée est à la fois un tissu intéressant d'un point de vue médical, car il se développe depuis quelques années de nouvelles méthodes chirurgicales par laser dont l'effet est encore parfois mal compris, mais aussi un bon système modèle pour la biomécanique des tissus. Comme la majorité des tissus de l'organisme (tissus conjonctifs – tels la peau), elle est formée principalement de fibres de collagènes reliées entre elles par des protéines. Il est généralement admis que le comportement des tissus peut être vu comme celui d'un composite, où les fibres de collagène jouent le rôle de fibres élastiques raide et les protéines de liaison celui de la matrice molle. L'intérêt de la cornée est d'avoir une organisation bien ordonnée des fibres de collagène – contrairement à la plupart des tissus - tout en étant bidimensionnelle - comme la plupart des tissus.

Nous proposons un nouveau système expérimental, qui combine des essais mécaniques sur des tissus avec de l'imagerie optique non-linéaire (génération de Second Harmonique - SHG), qui permet d'imager spécifiquement, sans marquage et en volume, les fibres de collagène formant la structure de la cornée.

Objectifs du projet :

1/ Imager les fibres de collagène de la cornée lors de différents trajets de chargement en pression de la cornée (montée simple en pression, cycles répétés de monter/descente en pression, à des vitesses différentes).

2/ Comparer les résultats obtenus avec les modèles existants prédisant l'évolution de l'orientation des fibres dans la cornée. Au besoin, développer un nouveau modèle mieux adapté à la description de la cornée.

3/ Etudier l'effet d'un chargement en pression sur la microstructure après une opération chirurgicale de la cornée (type LASIK). Une attention particulière sera accordée à la possibilité de glissement des couches de fibres les unes par rapport aux autres, favorisant l'ouverture de la fissure. Ce genre de glissement a été observé lors de la rupture des tendons.

4/ Construire un moyen de chargement biaxial en traction, compatible avec le microscope SHG, permettant des chargements non physiologiques mais plus complexes.

Originalité du projet et caractère exploratoire

L'originalité du projet est de combiner dans le même projet à la fois un savoir en mesures et modélisation mécaniques sur des échantillons hétérogènes (disponibles à la F2M) et les compétences d'un laboratoire d'optique pour mettre en place une méthode d'imagerie non standard. A notre connaissance, un tel montage expérimental n'a jamais été réalisé.

Ce projet permettra de mettre en place une meilleure compréhension du lien entre microstructure et propriétés mécaniques dans les tissus conjonctifs (formés de fibres de

collagène et d'élastine), comme la cornée, la peau... Ce lien présente un intérêt potentiel fort pour l'ingénierie tissulaire : pour obtenir une formation correcte d'un nouveau tissu, il faut que les cellules soient dans un environnement chimique mais aussi mécanique adapté. Comprendre les déformations locales (autour des cellules) lors d'une sollicitation macroscopique serait donc particulièrement utile. De ce point de vue, la cornée est un système modèle car sa structure est bien organisée.

Par ailleurs, ce projet peut avoir un fort intérêt pour l'ophtalmologie, en permettant une modélisation plus fine des propriétés mécaniques de la cornée, mais surtout en permettant une meilleure prise en compte des risques opératoires dans la chirurgie laser.

Partenaires :

- Jean-Marc ALLAIN (jeune chercheur), Laboratoire de Mécanique des Solides, Ecole Polytechnique, Palaiseau (membre de la F2M).
- Jérôme CREPIN, Centre des Matériaux, Mines de Paris, Evry (membre de la F2M)
- Marie-Claire Schanne-Klein, Laboratoire d'Optique et Biosciences, Ecole Polytechnique, Palaiseau.

Les rôles sont les suivants :

Le système mécanique de chargement sera conçu par Jean-Marc ALLAIN et Jérôme CREPIN, qui apportera son expertise dans la mesure de champs de déformation « in-situ » pour des matériaux hétérogènes, en prenant en compte les contraintes du montage optique.

L'obtention, la préparation et l'élimination des cornées seront à la charge du LOB (Marie-Claire SCHANNE-KLEIN), qui dispose des autorisations nécessaires.

Les expériences seront réalisées par le post-doctorant recruté par le projet, sous la supervision de Marie-Claire SCHANNE-KLEIN pour la partie optique et de Jean-Marc ALLAIN pour la partie mécanique. L'analyse de l'évolution de la structure du collagène et la reconstitution du champ de déformations sera faite par l'ensemble des partenaires. Marie-Claire SCHANNE-KLEIN apportera son savoir-faire dans le traitement d'images en volume, Jérôme Crépin apportera un savoir en corrélation d'image.

La mise en place d'un modèle sera faite au LMS par le post-doctorant recruté par le projet et par Jean-Marc ALLAIN

Durée : 18 mois

Financement : 60 k€

- 12 mois de post-doctorant (55 k€)
- Equipement pour la machine d'essai (3 k€)
- Fonctionnement et missions (2 k€)