



HAL
open science

Couplage hydro-chemo-mécanique de l'annulus fibrosus

Adrien Baldit, Dominique Ambard, Fabien Cherblanc, Pascale Royer

► **To cite this version:**

Adrien Baldit, Dominique Ambard, Fabien Cherblanc, Pascale Royer. Couplage hydro-chemo-mécanique de l'annulus fibrosus. Journées d'Étude sur les Milieux Poreux (JEMP2012), Nov 2012, France. hal-00754926

HAL Id: hal-00754926

<https://hal.science/hal-00754926>

Submitted on 20 Nov 2012

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.

Couplage hydro-chemo-mécanique de l'annulus fibrosus

A. Baldit, D. Ambard, F. Cherblanc, P. Royer

LMGC, UMR 5508, Université Montpellier II, 34095 Montpellier cedex 5, France

Key words: Annulus fibrosus, Comportement poro-mécanique, Osmose

1. Introduction

Le disque intervertébral (DIV) confère au rachis sa souplesse et dissipe les chargements physiologiques quotidiens, principalement de flexion et de compression. Pour contenir ces charges, le DIV est constitué de deux structures : le nucleus pulposus (NP) au centre, assimilable à un gel et l'annulus fibrosus (AF) en périphérie, est un cartilage à fibres orientées [1]. Le NP quasi incompressible transforme alors l'effort physiologique en pression hydrostatique sur l'AF, qui est par conséquent soumis à un effort de traction circonférentiel. Le DIV peut être assimilé à un matériau poreux hétérogène très déformable saturé par le liquide physiologique. La présence d'agrégats de protéoglycanes, principalement au sein du NP, est responsable de son caractère hydrophile par des effets électro-osmotiques. Ainsi, le comportement mécanique des tissus du DIV est couplé à la composition du liquide physiologique, en particulier à la concentration saline.

2. Matériels et méthodes

Une machine de traction est associée à deux microscopes orientés perpendiculairement à la direction de chargement et des acquisitions d'images numériques sont réalisées simultanément sur les deux plans d'anisotropie du matériau (fibre et lamelle) avec une résolution de $\approx 3.43 \pm 0.91 \mu m$. De plus, l'échantillon est immergé dans une cuve remplie de liquide physiologique dans laquelle sont régulés la température, le pH et la salinité, permettant un contrôle de l'environnement chimique du tissu.

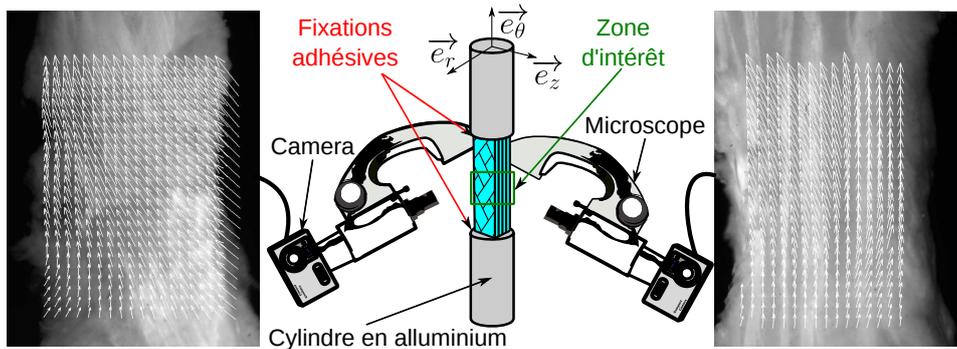


FIGURE 1: Principe expérimental et champs de déplacement dans le plan des fibres (gauche) et des lamelles (droite)

Les échantillons d'AF ($3.88 \pm 1.14 \times 10.45 \pm 2.86 \times 4.05 \pm 0.97 \text{ mm}^3$) sont prélevés sur des disques lombaires de cochon et soumis à des tests de traction cyclique et de relaxation. Les déformations circonférentielles maximales imposées sont de 10%, ce qui correspond aux conditions physiologiques. Un code académique [3] est utilisé pour la corrélation d'image, permettant de mesurer le déplacement et les déformations du matériau sur environ 350 points, ce qui est relativement important par rapport aux autres méthodes de la littérature [2].

3. Résultats expérimentaux

Un comportement fortement non linéaire est systématiquement obtenu, impliquant une rigidification du tissu pour de grandes déformations. D'autre part, un hystérésis significatif est observé lors des tests cycliques traduisant les fonctions dissipatives du disque et les transferts de fluides. Les résultats de la corrélation d'image (*cf. figure : 1*) dans les directions transverses présentent un rétrécissement dans le plan des fibres et une moindre compression au centre du plan des lamelles. Ce comportement peut être interprété comme une conséquence de la réorientation des fibres de collagène dans la direction de chargement [1], créant une surpression dans la matrice poreuse qui se décharge dans le plan perpendiculaire (lamelles), expliquant la moindre compression au centre de ce dernier.

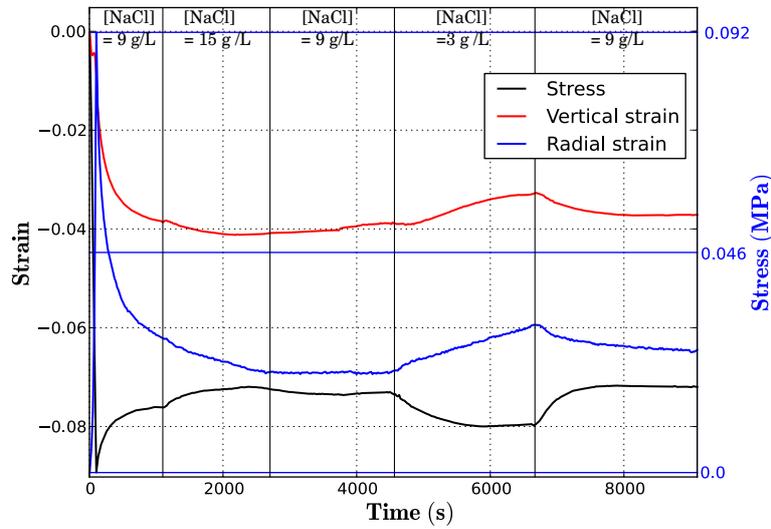


FIGURE 2: Mesures de forces et de déformations influencées par la concentration [NaCl]

D'autre part, les variations de salinité entraînent des modifications du comportement du tissu (*cf. figure : 2*). Il apparaît que l'AF a tendance à se relaxer pour de forte concentration en sel et à se contracter pour de faibles concentrations. Ces observations sont la conséquence de transferts de fluides au sein de l'échantillon d'origine osmotique mettant en évidence le couplage chemo-mécanique ainsi que la réversibilité du phénomène.

Basé sur ces observations, un modèle éléments finis 3D est développé grâce à la plateforme logicielle LMG C90. Il intègre, à ce jour, le comportement poro-hyper-élastique du tissu et est en cours de développement pour prendre en compte les effets osmotiques. Cette dernière implémentation, nous permettra de modéliser l'influence de l'environnement sur le comportement du DIV et d'identifier ses caractéristiques. La diversité des mesures disponibles dans les trois directions doit permettre d'identifier toutes les caractéristiques à partir d'un seul essai.

- [1] D. Ambard and F. Cherblanc. Mechanical behavior of annulus fibrosus : a microstructural model of fibers reorientation. *Ann Biomed Eng*, 37(11) :2256–2265, Nov 2009.
- [2] A. Baldit, D. Ambard, F. Cherblanc, and P. Royer. Mechanical behaviour of biological tissue - Anisotropy, non-linearity and fluid flow in annulus fibrosus. In *EUROMAT 2011 : European Congress and Exhibition on Advanced Materials and Processes*, France, Sep 2011.
- [3] B. Wattrisse, A. Chrysochoos, J.-M. Muracciole, and M. Némoz-Gaillard. Analysis of strain localization during tensile tests by digital image correlation. *Experimental Mechanics*, 41(1) :29–39, 2001.