



HAL
open science

Comportement poro-mécanique de l'annulus fibrosus

Dominique Ambard, Fabien Cherblanc, Jean-Michel Lafosse

► **To cite this version:**

Dominique Ambard, Fabien Cherblanc, Jean-Michel Lafosse. Comportement poro-mécanique de l'annulus fibrosus. 9èmes Journées d'Etude sur les Milieux Poreux, Oct 2009, France. pp.165-166. hal-00683889

HAL Id: hal-00683889

<https://hal.science/hal-00683889>

Submitted on 2 Apr 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.

Comportement poro-mécanique de l'annulus fibrosus

D. Ambard^a, F. Cherblanc^a, JM. Lafosse^b

^aLMGC, UMR 5508, Université Montpellier II, 34095 Montpellier cedex 5, France

^bLaboratoire de biomécanique, CHU Purpan, 31089 Toulouse cedex 3, France

Key words: Annulus fibrosus, Poisson, Disque intervertébral, Comportement poro-mécanique

1. Introduction

Lorsque la colonne vertébrale est soumise à un chargement mécanique, les tissus périphériques des disques intervertébraux (annulus fibrosus) subissent une tension circonférentielle dont le niveau de déformation se situe entre 3% et 10% [3]. Pour résister à ces efforts importants, l'annulus fibrosus s'est structurée autour de fibres de collagène tissées dans une matrice fortement hydratée. Lors des cycles de chargement journaliers, les transferts de fluides au sein du disque sont couplés aux déformations globales de la colonne [4]. Ils peuvent être perturbée par des variations géométriques et directionnelles de la perméabilité des plateaux cartilagineux [1]. Le comportement mécanique de ce tissu a fait l'objet de nombreuses caractérisations expérimentales, mais son implication dans le transport des nutriments n'a pour l'instant pas été évaluée. Dans un milieu poro-élastique déformable tel que l'annulus fibrosus [2], le taux de variation volumique du tissu joue un rôle essentiel dans le couplage transferts/déformation. Sa structure organisée autour de fibres longues orientées peut impliquer une variation volumique négative et ainsi conduire à des couplages inhabituels. Pour contribuer à la discussion, nous proposons d'effectuer des mesures expérimentales afin d'expliquer le comportement anisotrope de la macrostructure et développer un modèle numérique du comportement poro-mécanique de l'annulus fibrosus.

2. Matériels et méthodes

Des échantillons rectangulaires ($10 \times 2 \times 2$ mm) ont été découpés dans les tissus externes de disques intervertébraux porcins. Les extrémités des échantillons ont ensuite été collées dans des bagues métalliques à l'aide de cyanoacrylate. Le dispositif de test est composé d'un analyseur de texture (LF-Plus, Lloyd instrument) associé à un capteur de force 50 N et deux stéréomicroscopes ZEISS équipés de caméras vidéos (Fig. 1a). Chaque spécimen est fixé entre les mors de la machine de traction et soumis à un allongement de 1 mm durant 3 cycles afin de rester dans une plage de déformation maximale de l'ordre de $\varepsilon_{max} = 10\%$. Tous les tests ont été effectués à une vitesse d'allongement de 0.01 mm/s et les images sont enregistrées toutes les 2 secondes.

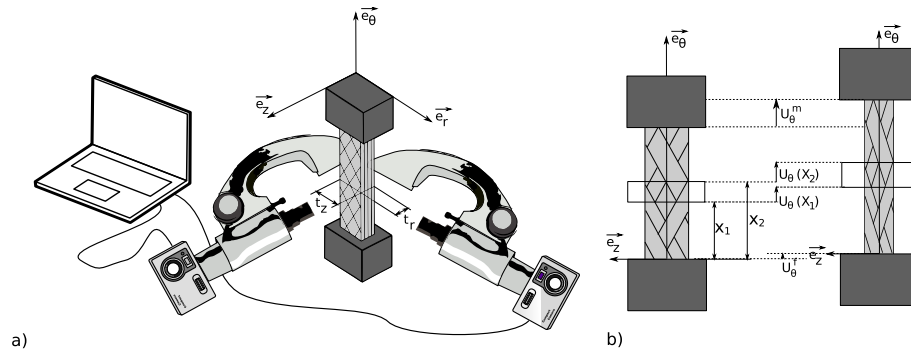


FIGURE 1: a) Description schématique du banc de mesure. b) Méthode du suivi numérique optique d'une section de l'échantillon.

La résolution spatiale des images est de $0.01 \text{ mm}/\text{pixel}$. Les déplacements des mors fixe et mobiles sont obtenus par une méthode de corrélation d'image. En supposant les déformations homogènes dans l'échantillon, les déplacements des mors permettent de générer une fenêtre de visualisation d'une zone de l'éprouvette, afin de suivre sa déformation au cours des cycles de chargement (Fig. 1b). Nous évaluons ainsi les déformations transverses ε_{rr} (Fig. 2a) et ε_{zz} (Fig. 2b) en fonction de la déformation $\varepsilon_{\theta\theta}$.

3. Résultats expérimentaux

Dans le plan des fibres, la déformation transverse ε_{zz} évolue linéairement en fonction de la déformation longitudinale $\varepsilon_{\theta\theta}$ (Fig. 2b). Dans ce cas, le coefficient de Poisson, $\nu_{\theta z}$, est correctement défini et les valeurs mesurées sont comprises entre 0.5 et 1.1 (Fig. 2c). Ces valeurs obtenues sont caractéristiques des structures tissées qui produisent des contractions transverses bien supérieures à celles observées sur des milieux homogènes. Par contre, dans le plan perpendiculaire aux fibres, la déformation transverse, ε_{rr} , montre des comportements très différents suivant les échantillons (Fig. 2a). Le pseudo-coefficient de Poisson, $\nu_{\theta r}$, estimé à partir de ces courbes peut prendre des valeurs positives ou négatives.

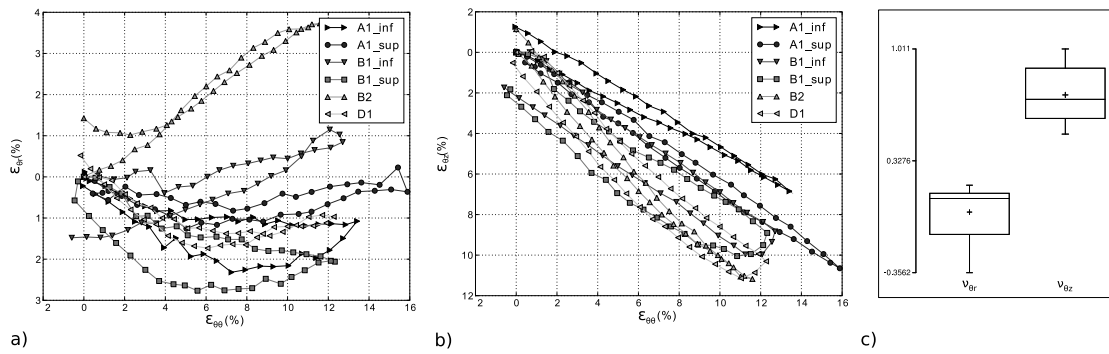


FIGURE 2: a) Déformation transverse ε_{rr} en fonction de la déformation longitudinale $\varepsilon_{\theta\theta}$. b) Déformation transverse ε_{zz} en fonction de la déformation longitudinale $\varepsilon_{\theta\theta}$. c) Évaluation des coefficients de Poisson transverses $\nu_{\theta r}$ et $\nu_{\theta z}$ à une déformation longitudinale de 10%.

La contraction dans le plan des fibres génère une sur-pression intra-tissulaire qui conduit au gonflement de la structure dans la direction perpendiculaire. Ce couplage poro-mécanique peut être mis en évidence simplement sur un modèle numérique du tissu biologique. Ce modèle est constitué de câbles élastiques inclus dans une matrice poro-élastique isotrope. Une formulation en grandes déformations permet de capturer les non-linéarités géométriques liées à la réorientation des câbles au cours du chargement. Une bonne adéquation qualitative entre le modèle numérique et les résultats expérimentaux est obtenue. Cependant, l'identification précise des caractéristiques du modèle reste délicate à effectuer.

Le comportement poro-mécanique non-linéaire anisotrope des tissus du disque intervertébral a une forte incidence sur les transferts de nutriments au cours des cycles de chargement journaliers. A ce stade, l'objectif est d'introduire le couplage entre le comportement poro-mécanique du tissu et les phénomènes de transport d'un composé dissous dans le liquide physiologique saturant le disque.

Références

- [1] Accadbled, F., Ambard, D., de Gauzy, J. S., Swider, P., 2008. A measurement technique to evaluate the macroscopic permeability of the vertebral end-plate. *Med Eng Phys* 30, 116–122.
- [2] Argoubi, M., Shirazi-Adl, A., 1996. Poroelastic creep response analysis of a lumbar motion segment in compression. *J Biomech* 29, 1331–1333.
- [3] Shirazi-Adl, S. A., 1989. Strain in fibers of a lumbar disc. analysis of the role of lifting in producing disc prolapse. *Spine* 14, 96–103.
- [4] Soukane, D. M., Shirazi-Adl, S. A., Urban, J. P. G., 2007. Computation of coupled diffusion of oxygen, glucose and lactic acid in an intervertebral disc. *J Biomech* 40, 2645–2654.