



HAL
open science

DÉTERMINATION DE LA VIABILITÉ DU DISQUE INTERVERTÉBRAL PAR IMAGERIE PHOTOACOUSTIQUE QUANTITATIVE

Antoine Capart, Julien Wojak, Roman Allais, Moncef Ghiss, Olivier Boiron,
Anabela da Silva

► **To cite this version:**

Antoine Capart, Julien Wojak, Roman Allais, Moncef Ghiss, Olivier Boiron, et al.. DÉTERMINATION DE LA VIABILITÉ DU DISQUE INTERVERTÉBRAL PAR IMAGERIE PHOTOACOUSTIQUE QUANTITATIVE. Optique Nice, Jul 2022, Nice, France. hal-03758453

HAL Id: hal-03758453

<https://hal.science/hal-03758453>

Submitted on 23 Aug 2022

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.

DETERMINATION DE LA VIABILITÉ DU DISQUE INTERVERTÉBRAL PAR IMAGERIE PHOTOACOUSTIQUE QUANTITATIVE

Antoine Capart¹, Julien Wojak¹, Roman Allais², Moncef Ghiss³, Olivier Boiron², Anabela Da Silva¹

¹ Aix Marseille Univ, CNRS, Centrale Marseille, Institut Fresnel, Marseille, France

² Aix Marseille Univ, CNRS, Centrale Marseille, IRPHE, Marseille, France

³ Mechanical Laboratory of Sousse, National Engineering School of Sousse, University of Sousse

antoine.capart@fresnel.fr

RÉSUMÉ

Les disques intervertébraux font face à des changements liés à l'âge dans leur composition. Nous proposons l'imagerie photoacoustique pour mesurer la composition relative eau/collagène en profondeur. La faisabilité est illustrée sur un fantôme numérique d'un disque.

MOTS-CLEFS : *disque intervertébral ; problème inverse ; imagerie photoacoustique quantitative ; descente en gradient*

1. INTRODUCTION

Le disque intervertébral (DIV) est un organe fibrocartilagineux présent entre les vertèbres de la colonne vertébrale. Cet organe est connu pour posséder une forte proportion d'eau. Cependant, au fil du temps, sa composition change et il se déshydrate [1]. Ces altérations entraînent des discopathies dégénératives (par exemple, l'hernie discale ou la scoliose) et des douleurs. La composition du disque est donc un indicateur important de la santé du DIV.

Le diagnostic du disque est généralement effectué à l'aide de l'imagerie par résonance magnétique (IRM) ou de la tomodensitométrie [2]. Nous évaluons ici la faisabilité d'utiliser l'imagerie photoacoustique (PA) pour sonder le DIV, retrouver la distribution des chromophores dans ce disque (eau, collagène et protéoglycanes) et donc évaluer sa viabilité.

Pour montrer cette possibilité, une étude a été menée sur un DIV numérique, obtenu à partir de mesures IRM d'un disque porcin. Une résolution basée sur la méthode de descente en gradient a été implémentée pour résoudre le problème inverse optique. L'étude numérique menée montre la faisabilité de l'approche pour la reconstruction en 3D du coefficient d'absorption μ_a , à des longueurs d'onde données. Par la suite, si des mesures spectroscopiques sont effectuées, la composition en eau et collagène du DIV peut être récupérée.

2. MÉTHODES

La morphologie du DIV d'un porc a été obtenue par IRM [3] et est présentée en Fig.1. La distribution spatiale ainsi que les propriétés optiques (coefficients d'absorption et de diffusion μ_a et μ_s , et paramètre d'anisotropie g) des principaux composants (eau/collagène) issues de la littérature [4], nous permettent de modéliser les propriétés optiques variant spatialement dans le DIV. Des mesures synthétiques de la distribution de pression initiale, $P_0 = \Gamma \mu_a \phi(\mu_a, \mu_s, g)$, ont été simulées, avec ϕ la fluence. Pour simplifier l'étude, le paramètre de Grüneisen Γ du disque est supposé égal à 1, mais pourrait aussi être modélisé plus précisément. MCmatlab [5] a été utilisé pour calculer ϕ .

Le problème inverse optique a été résolu en utilisant un schéma de descente de gradient permettant la minimisation d'une fonction d'erreur ε . Le gradient de cette fonctionnelle par rapport au paramètre d'intérêt $\frac{\partial \varepsilon}{\partial \mu_a}$ a été calculé par la résolution d'un problème direct et d'un problème adjoint formulés respectivement pour la luminance L et la luminance adjointe L^* [6]. Ces quantités peuvent être calculées en résolvant l'équation de transfert radiatif et l'équation adjointe correspondante à l'aide de simulations

Monte Carlo (MC). Le code C MCmatlab [5] a été modifié pour le calcul de ces luminances directes et adjointes.

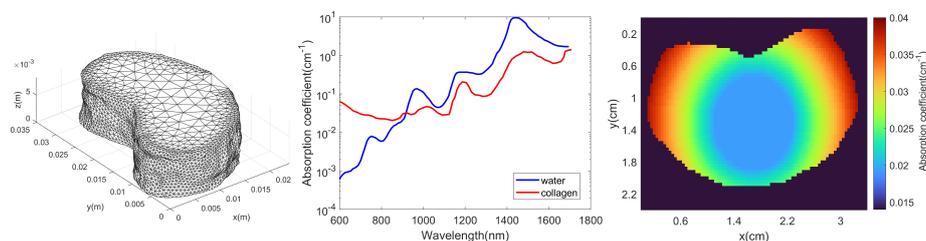


FIGURE 1 : Gauche : Morphologie du DIV obtenue par IRM [3]. Centre : Absorption optique du collagène et de l'eau [4]. Droite : visualisation 2D du coefficient d'absorption à l'intérieur du DIV.

3. RÉSULTATS

Un exemple de résultats est montré en Fig. 2. La figure présente la reconstruction de μ_a après 50 itérations du schéma de descente de gradient. La configuration laser est également présentée. Le rayon laser est de 1,5 mm. Les calculs MC pour les luminances directes et adjointes ont été implémentés avec environ 10^7 photons à chaque itération.

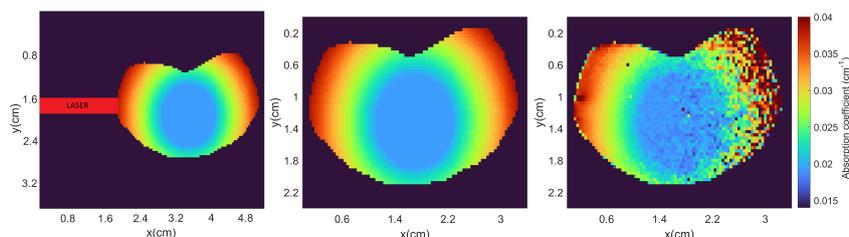


FIGURE 2 : Coefficient d'absorption reconstruit (à droite) comparé au coefficient d'absorption réel à l'intérieur du disque (au centre). La configuration d'éclairage est présentée à gauche.

Les résultats démontrent la possibilité d'utiliser l'imagerie photoacoustique pour obtenir des informations essentielles au diagnostic du disque.

RÉFÉRENCES

- [1] J. A. Buckwalter, "Aging and Degeneration of the Human Intervertebral Disc," *Spine*, vol. 20, no. 11, pp. 1307–1314, Jun. 1995.
- [2] L.-P. Yu, W.-W. Qian, G.-Y. Yin, Y.-X. Ren, and Z.-Y. Hu, "MRI assessment of lumbar intervertebral disc degeneration with lumbar degenerative disease using the pfirrmann grading systems," *PLoS ONE*, vol. 7, 12 2012.
- [3] M. Ghiss, B. Giannesini, P. Tropicano, Z. Tourki, and O. Boiron, "Quantitative MRI water content mapping of porcine intervertebral disc during uniaxial compression," *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, vol. 19, no. 10, pp. 1079–1088, Jul. 2016.
- [4] S. K. V. Sekar, I. Bargigia, A. D. Mora, P. Taroni, A. Ruggeri, A. Tosi, A. Pifferi, and A. Farina, "Diffuse optical characterization of collagen absorption from 500 to 1700 nm," *Journal of Biomedical Optics*, vol. 22, no. 1, p. 015006, jan 2017, publisher : International Society for Optics and Photonics.
- [5] D. Marti, R. N. Aasbjerg, P. E. Andersen, and A. K. Hansen, "MCmatlab : an open-source, user-friendly, MATLAB-integrated three-dimensional Monte Carlo light transport solver with heat diffusion and tissue damage," *Journal of Biomedical Optics*, vol. 23, no. 12, p. 1, dec 2018.
- [6] R. Hochuli, S. Powell, S. Arridge, and B. Cox, "Quantitative photoacoustic tomography using forward and adjoint Monte Carlo models of radiance," *Journal of Biomedical Optics*, vol. 21, no. 12, p. 126004, dec 2016.