

# Conception et modélisation d'un dispositif intra-auriculaire pour récupérer l'énergie de déformation du conduit auditif causée par les mouvements de la mâchoire.

Carioli, J.<sup>1</sup>, Aidin, D.<sup>1</sup>., Zednik, R. J, Voix, J.<sup>1</sup>.

Chaire de recherche industrielle en technologies intra-auriculaires (CRITIAS)<sup>1</sup>  
Département de génie mécanique, École de technologie supérieure,  
1100, rue Notre-Dame Ouest, Montréal (QC) Canada, H3C 1K3

## INTRODUCTION

Les dispositifs intra-auriculaires, tels les appareils auditifs, les écouteurs intra-auriculaires *bluetooth* et les *wearables* [1], nécessitent une source d'énergie électrique pour fonctionner; actuellement, ce sont les batteries qui remplissent ce rôle non sans inconvénient. Plusieurs centaines de millions d'utilisateurs, principalement des personnes âgées, doivent changer les batteries de leurs prothèses auditives de façon hebdomadaire. Ceci a un coût économique et un impact environnemental négatif non négligeable. Une solution alternative consiste à convertir une partie de l'énergie biomécanique du corps humain qui est inépuisable en énergie électrique [2] [3]. Or, il a été mis en évidence que le conduit intra-auriculaire se déformait sous l'action des mouvements de la mâchoire et que cette déformation était convertible en énergie électrique [4]. Il est de plus envisageable que les besoins énergétiques du dispositif intra-auriculaire soient directement assurés par le dispositif lui-même en utilisant ce principe de conversion d'énergie. Cependant, comme les mouvements du conduit auditif sont mal compris [5] [6], il est difficile de concevoir un système de micrograppillage énergétique adapté aux déformations du conduit auditif. En effet, la compréhension insuffisante du comportement mécanique du conduit auditif pendant la fermeture de la mâchoire ne permet pas de réaliser des simulations par éléments finis précises et rendant compte de la réalité expérimentale [7]. Mais la déformation du conduit auditif peut être décomposée en plusieurs modes de déformation comme de torsion, de flexion ou de compression radiale [8]. L'enjeu de ces travaux est de mettre en évidence le mode de déformation qui maximise l'énergie électrique convertible à partir des mouvements du conduit auditif et de concevoir un dispositif capable de convertir l'énergie provenant de ce mode de déformation.

## MÉTHODOLOGIE

Nous présentons une méthode alternative, basée sur des considérations analytiques, permettant de comprendre le comportement mécanique du conduit auditif causé par le mouvement fermeture de la mâchoire. Les nuages de points du conduit auditif en position "bouche ouverte" et "bouche fermée" [9] ont été utilisés pour quantifier ces énergies de flexion et de compression. Ce modèle est utilisé pour sélectionner un mode de déformation adapté à la conversion d'énergie mécanique des déformations du conduit auditif en énergie électrique. Nous illustrons la pertinence de ce modèle en l'appliquant à 12 sujets humains pour lesquels l'énergie de flexion et de compression développée par les mouvements du conduit auditif est quantifiée. Pour réaliser la conversion d'énergie mécanique en énergie électrique, des éléments piézoélectriques [10] sont utilisés. Nous nous intéressons ici à la façon de convertir l'énergie de flexion du conduit auditif en énergie électrique. Nous présentons un prototype de conversion d'énergie composé d'un film mince de PVDF [11] fixé à un bouchon d'oreille sur mesure. Le comportement mécanique de ce prototype est modélisé à partir de scans tridimensionnels du conduit en position ouverte et fermée. Les prédictions provenant de cette modélisation sont alors comparées aux résultats expérimentaux.

## RÉSULTATS

L'énergie de flexion développée par les mouvements du conduit auditif de l'oreille humaine a été évaluée comme étant en moyenne trois fois plus élevée que l'énergie de compression radiale. La modélisation du dispositif permettant de convertir l'énergie de flexion en énergie électrique a permis de prédire la tension en circuit ouvert générée par les mouvements du conduit auditif. Elle est évaluée à 5.2V. Les expérimentations ont confirmé cette modélisation avec une tension de 4.1V mesurée. De plus, nous montrons, qu'il est possible de convertir seulement l'énergie de flexion développée par les mouvements du conduit auditif lors de la fermeture de la mâchoire.

## CONCLUSION

Cette approche fournit un outil pour concevoir des dispositifs de micrograpillage intra-auriculaire adapté aux déformations du conduit auditif. À l'avenir, un dispositif de conversion d'énergie tel qu'il a été présenté pourrait être utilisé pour alimenter de l'énergie pour les appareils intra-auriculaires en énergie électrique. La modélisation développée peut être utilisée pour concevoir des capteurs de déformation du conduit auditif, ou toutes sortes de dispositifs de conversion d'énergie courbés fabriqués à partir de polymère piézoélectrique à couche mince. Les résultats obtenus pourront être pris en compte pour la conception des futurs dispositifs de micrograpillage intra-auriculaire. Enfin, un tel dispositif de conversion d'énergie a le potentiel de révolutionner le marché des *wearables* et des prothèses auditives en complétant ou en remplaçant la technologie de batterie.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier EERS Inc. et son «Chaire de recherche industrielle en technologies intra-auriculaires» pour son soutien financier, et pour fournir des équipements pour les installations expérimentales.

## RÉFÉRENCES

- [1] P. Harrop, J. Hayward, R. Das, et G. Holland, « Wearable Technology 2015-2025: Technologies, Markets, Forecasts: IDTechEx ». [En ligne]. Disponible sur: <http://www.idtechex.com/research/reports/wearable-technology-2015-2025-technologies-markets-forecasts-000427.asp>. [Consulté le: 14-mars-2016].
- [2] E. Romero, R. O. Warrington, et M. R. Neuman, « Energy scavenging sources for biomedical sensors », *Physiol. Meas.*, vol. 30, n° 9, p. R35–R62, sept. 2009.
- [3] E. Goll, H.-P. Zenner, et E. Dalhoff, « Upper bounds for energy harvesting in the region of the human head. », *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 58, n° 11, p. 3097–103, nov. 2011.
- [4] A. Delnavaz et J. Voix, « Ear canal dynamic motion as a source of power for in-ear devices », *J. Appl. Phys.*, vol. 113, n° 6, 2013.
- [5] D. J. Cunningham, *Cunningham's textbook of anatomy*. W. Wood, 1818.
- [6] M. J. Grenness, J. Osborn, et W. L. Weller, « Mapping ear canal movement using area-based surface matching », *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 111, n° 2, p. 960– 971, févr. 2002.
- [7] A. Delnavaz et J. Voix, « Energy Harvesting for In-Ear Devices Using Ear Canal Dynamic Motion », *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 61, n° 1, p. 583–590, janv. 2014.
- [8] S. Timoshenko, *Theory of elasticity*, 3rd. ed. New York, NY: McGraw-Hill, 1987.
- [9] S. Darkner, R. Larsen, et R. R. Paulsen, « Analysis of Deformation of the Human Ear and Canal Caused by Mandibular Movement », in *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2007*, N. Ayache, S. Ourselin, et A. Maeder, Éd. Springer Berlin Heidelberg, 2007, p. 801– 808.

- [10] V. K. Varadan, *Smart material systems and MEMS: design and development methodologies*. Chichester, Angleterre ; Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2006.
- [11] G. M. Sessler et A. Berraissoul, «Tensile and bending piezoelectricity of single-film PVDF monomorphs and bimorphs », *IEEE Trans. Electr. Insul.*, vol. 24, n° 2, p. 249- 254, avr. 1989.