



HAL
open science

Tomographie RX synchrotron stroboscopique pour la caractérisation 4D d'oscillateurs biomimétiques

Antoine Klos, Lucie Bailly, Sabine Rolland Du Roscoat, Laurent Orgéas, Nathalie Henrich Bernardoni, Andrew King, Ludovic Broche, Nicolas Lenoir

► To cite this version:

Antoine Klos, Lucie Bailly, Sabine Rolland Du Roscoat, Laurent Orgéas, Nathalie Henrich Bernardoni, et al.. Tomographie RX synchrotron stroboscopique pour la caractérisation 4D d'oscillateurs biomimétiques. RITS (Recherche en Imagerie et Technologies pour la Santé) 2022, SFGBM, May 2022, Brest, France. hal-03931000

HAL Id: hal-03931000

<https://hal.science/hal-03931000v1>

Submitted on 9 Jan 2023

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.

TOMOGRAPHIE RX SYNCHROTRON STROBOSCOPIQUE POUR LA CARACTERISATION 4D D'OSCILLATEURS BIOMIMETIQUES

Antoine Klos (1,2), Lucie Bailly (1), Sabine Rolland du Roscoat (1), Laurent Orgéas (1), Nathalie Henrich Bernardoni (2), Andrew King (3), Ludovic Broche (4), Nicolas Lenoir (1)

1. Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, 3SR, 38000 Grenoble, France ; 2. Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, GIPSA-lab, 38000 Grenoble, France ; 3. PSICHE beamline, Synchrotron SOLEIL, F-91190 Saint-Aubin, France ; 4. ID19 beamline, ESRF - European Synchrotron Radiation Facility, CS40220, 38043 Grenoble, France

Contexte

En cas de cancers laryngés avancés, la restauration des capacités phonatoires des patients par des implants artificiels capables de mimer les vibrations des “cordes vocales” reste un défi scientifique, clinique et sociétal. Ce défi nécessite de développer des matériaux aux propriétés vibro-mécaniques proches de celles du tissu natif, pouvant vibrer dans une large gamme de fréquences fondamentales (50 à 1500 Hz).

Au cours de la dernière décennie, des études pionnières ont été proposées pour imager les mouvements 3D d'oscillateurs biologiques à basse fréquence (sous 5 Hz) à l'aide de la tomographie à rayons X synchrotron. Ces travaux visaient la mesure des fonctions pulmonaires et cardiaques [1]. Récemment, des images 3D de muscles d'une mouche pendant le battement de ses ailes à 145Hz ont été obtenues [2]. Cependant, des verrous sont encore à lever dans les procédures d'acquisition et de reconstruction d'images 4D par rayons X afin d'en améliorer la résolution spatio-temporelle, et de pouvoir étudier la vibration de structures multi-échelles à des fréquences plus élevées. Ainsi, cette étude vise à proposer de nouveaux développements méthodologiques pour caractériser les évolutions multi-échelles induites par la vibration 4D de matériaux mous microstructurés, soumis à des charges mécaniques oscillant jusqu'à 400Hz, tel qu'observé en phonation.

Méthode

Matériaux et essais vibro-mécaniques. N éprouvettes composites ($10 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$) constituées d'une matrice molle élastomère et de fibres/billes de verre (longueur typique $50 \mu\text{m}$) ont été placées dans un dispositif vibromécanique développé sur mesure. Elles ont été soumises à des oscillations sinusoïdales (de 50 à 400 Hz), sans déformation (mouvement de corps rigide), et après pré-déformation en traction ou flexion.

Imagerie. Les échantillons ont été imagés à une taille de voxel de $2^3 \mu\text{m}^3$ et $10^3 \mu\text{m}^3$ dans les lignes SOLEIL-PSICHE et ESRF-ID19 au cours de deux campagnes. Les paramètres d'acquisition et de reconstruction (e.g. la fréquence d'acquisition et la répartition angulaire des projections par phase cyclique) ont été optimisés pour minimiser les artefacts de flou obtenus lors de l'imagerie d'une structure en mouvement. Pour ce faire, des simulations numériques ont été réalisées au préalable sur des particules vibrantes idéales (sphériques)

de géométrie 3D connue. Ensuite, des tomographies à rayons X stroboscopiques ont été réalisées en utilisant les paramètres optimisés.

Résultats et discussion

Des images 4D typiques de la base de données collectée (246 scans, $N=16$) sont reportées sur la Fig. 1b, illustrant le cas d'un composite fibreux vibrant à 100 Hz autour d'un pré-étirement de 0,5. L'amplitude vibratoire optimale à appliquer (resp. la fréquence d'acquisition) a été trouvée autour de $60 \mu\text{m}$ (resp. 1033 Hz).

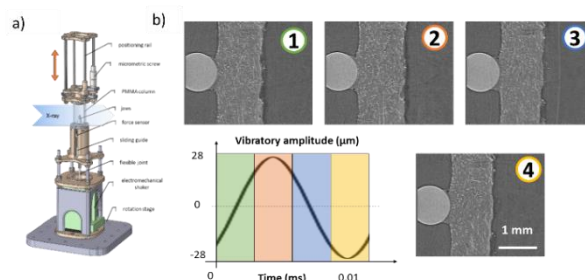


Figure 1 : a) Schéma du dispositif vibromécanique ; b) Images tomographiques 4D à rayons X d'un échantillon fibreux (SOLEIL, coupes mi-verticales, $10 \mu\text{m}/\text{pix}$).

Pour chaque cas, les procédures d'optimisation ont permis une reconstruction réussie de 30 phases des cycles périodiques, avec une qualité d'image prometteuse pour les analyses quantitatives à plusieurs échelles. La pertinence de la méthodologie sera discutée en comparant les résultats dérivés de plusieurs procédures d'acquisition et de reconstruction (non) optimisées. Les perspectives de recherche ouvertes par ces développements pour la biomécanique phonatoire seront discutées.

Références

1. Lovrić, G. *In Vivo Study of Lung Physiology with Dynamic Synchrotron-Based Tomographic Microscopy*, ETH Zurich, PhD thesis, 2015.
2. Walker et al., *In Vivo Time-Resolved Microtomography Reveals the Mechanics of the Blowfly Flight Motor*, PLoS Biology, 12(3):e1001823, 2014.

Remerciements

Ce travail a été soutenu par les proposals SOLEIL 20210430, ESRF MA-5278 et par le projet ANR MICROVOICE (ANR-17-CE19-0015-01).