

PhD proposal (starting date between 01/05/24 and 01/10/24)

Nano-porous silicon-elastomer hybrid: Mechanical properties assessed by laser ultrasonics.

This doctoral thesis is part of a Franco-German research project entitled "Nano-porous silicon-elastomer hybrids: from liquid-crystalline functionalization to tunable elasticity assessed by laser ultrasonics", conducted in collaboration with the Hamburg University of Technology. (Institute for Materials and X-Ray Physics).

Nano-porous silicon offers novel functionalities in various fields. The aim of the project is to develop a hybrid material with controllable elastic properties. To this end, a liquid-crystalline elastomer (LCE) will be confined within the pores of a nano-porous silicon membrane (pSi) (see Figure (a)). Given that the mechanical properties of LCE significantly change depending on stimuli [1], it is expected that this hybrid material will possess tunable properties. The idea is to combine the rigidity of the silicon matrix with the adaptability of the elastomer to ultimately propose various electromechanical devices, such as actuators or sensors.

A Laser ultrasonic technique will be used to evaluate the elastic behaviour of this hybrid material. This technique involves generating mechanical waves through the thermo-elastic conversion of a laser pulse and detecting them using laser interferometry [2]. During this PhD, measurements will be performed on silicon membranes with different porosities, in particular to understand the impact of the porous network on material anisotropy. The feasibility of such measurements was demonstrated in a study conducted on pSi membranes with 50% porosity (see Figure (b)) [3]. Elastic waves will then be observed in pSi membranes loaded with elastomer. The effective elastic properties of these membranes will be evaluated by combining guided wave modelling and an inverse identification procedure developed in parallel [4].

These works should provide a better understanding of the mechanical properties of confined viscoelastic materials as well as of the influence of pore morphology on wave propagation.

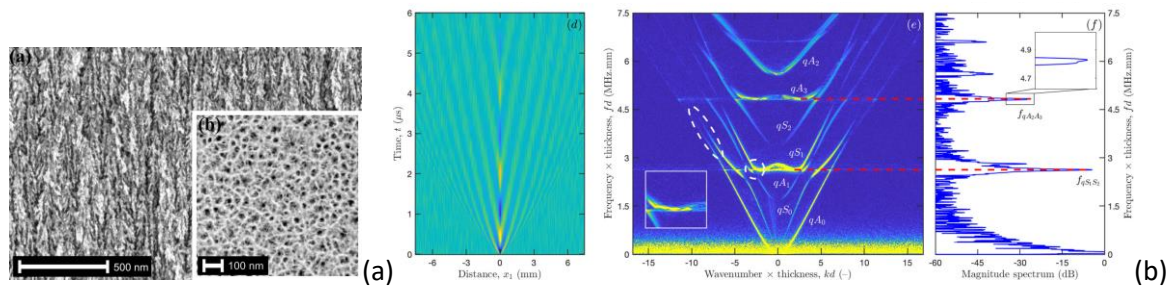


Figure (a) Scanning electron microscopy images of the surface and cross-section of a nano-porous silicon membrane. (b) Elastic waves propagating along the membrane generated and detected by laser, dispersion curves obtained by Fourier transform of the displacement field, and local resonances measured at the excitation point.

Prerequisites: A solid background in general physics and good knowledge of wave physics are required. Experimental skills and an interest in numerical modelling are desired.

Host Laboratory: Institut Langevin, ESPCI, Université PSL, 1 rue Jussieu, 75005 Paris.

Directors: Claire Prada et Sylvain Mezil, Institut Langevin,
Nicolas Bochud, Laboratoire MSME, Université Paris-Est Créteil.

Contacts: claire.prada@espci.psl.eu, sylvain.mezil@espci.psl.eu and nicolas.bochud@u-pec.fr.

- [1] C. Ohm, M. Brehmer, and R. Zentel. "Liquid Crystalline Elastomers as Actuators and Sensors". *Advanced Mat.* 22.31 (2010).
- [2] C. Prada, O. Balogun, and T. W. Murray. "Laser-based ultrasonic generation and detection of zero-group velocity Lamb waves in thin plates". *Appl. Phys. Lett.* 87 (2005).
- [3] M. Thelen, N. Bochud, M. Brinker, C. Prada, and P. Huber. "Laser-excited elastic guided waves reveal the complex mechanics of nanoporous silicon". *Nat. Comm.* 12.1 (2021).
- [4] N. Bochud, J. Laurent, F. Bruno, D. Royer, and C. Prada. "Towards real-time assessment of anisotropic plate properties using elastic guided waves". *J. Acoust. Soc. Am.* 143 (2018).

Proposition de Thèse (démarrage possible entre 01/05/24 et 01/10/24)

Evaluation par ultrasons laser des propriétés élastiques accordables de membranes en silicium nano-poreux chargé d'élastomère à cristaux liquides

Ce sujet de thèse s'inscrit dans un projet de recherche franco-allemand intitulé "Nanoporous silicon-elastomer hybrids: from liquid-crystalline functionalization to a tunable elasticity assessed by laser ultrasonics", mené en collaboration avec l'Université de Technologie de Hambourg (Institute for Materials and X-Ray Physics).

Le silicium nano-poreux offre des fonctionnalités nouvelles dans divers domaines. L'objectif du projet est de développer un matériau hybride ayant des propriétés élastiques contrôlables. À cette fin, un élastomère à cristaux liquides (LCE) sera confiné à l'intérieur des pores d'une membrane en silicium nano-poreux (pSi) (voir Figure (a)). Les propriétés mécaniques du LCE changeant significativement en fonction des stimuli [1], on s'attend à ce que ce matériau hybride possède des propriétés accordables. L'idée est donc de combiner la rigidité de la matrice en silicium à l'adaptabilité de l'élastomère pour, à terme, proposer divers dispositifs électromécaniques, tels que des actionneurs ou des capteurs.

Pour évaluer le comportement élastique de ce matériau hybride, l'utilisation d'une technique ultrasons-laser est prévue. Celle-ci consiste à engendrer des ondes mécaniques par conversion thermoélastique d'une impulsion laser et à les détecter en surface par interférométrie laser [2]. Au cours de cette thèse, des mesures seront effectuées sur des membranes de différentes porosités, notamment afin de comprendre l'incidence du réseau poreux sur l'anisotropie du matériau. La faisabilité de ces mesures a été démontrée au cours d'une étude menée sur des membranes de pSi ayant une porosité de 50% (voir Figure (b)) [3]. Les ondes élastiques seront ensuite observées dans des membranes de pSi chargé d'élastomère. Les propriétés élastiques effectives de ces membranes seront évaluées en associant modélisation de guide d'ondes et procédure d'identification inverse développée en parallèle [4].

Ces travaux devraient apporter une meilleure compréhension de l'influence de la morphologie des pores sur la propagation des ondes ainsi que des propriétés mécaniques de matériaux viscoélastiques confinés.

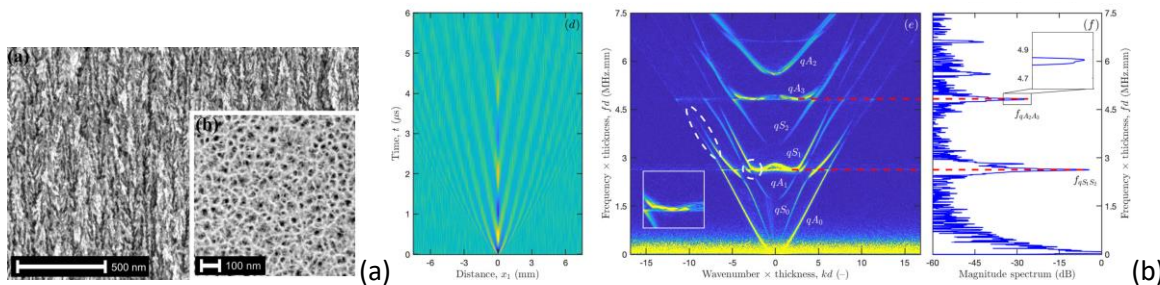


Figure (a) Images par microscopie électronique à balayage de la surface et la section d'une membrane en silicium nano-poreux (b) Ondes élastiques se propageant le long de la membrane engendrées et détectées sans contact par laser, courbes de dispersion obtenues par transformée de Fourier du champ de déplacement, et résonances locales mesurées au point d'excitation.

Prérequis : Une solide formation en physique générale ainsi que de bonnes connaissances en physique des ondes sont demandées. Des compétences expérimentales ainsi qu'un intérêt pour la modélisation numérique sont souhaités.

Laboratoire d'accueil : Institut Langevin, ESPCI, Université PSL, 1 rue Jussieu, 75005 Paris.

Direction de thèse : Claire Prada et Sylvain Mezil, Institut Langevin,
Nicolas Bochud, Laboratoire MSME, Université Paris-Est Créteil.

Contacts : claire.prada@espci.psl.eu, sylvain.mezil@espci.psl.eu et nicolas.bochud@u-pec.fr.

[1] C. Ohm, M. Brehmer, and R. Zentel. "Liquid Crystalline Elastomers as Actuators and Sensors". *Advanced Mat.* 22.31 (2010).

[2] C. Prada, O. Balogun, and T. W. Murray. "Laser-based ultrasonic generation and detection of zero-group velocity Lamb waves in thin plates". *Appl. Phys. Lett.* 87 (2005).

[3] M. Thelen, N. Bochud, M. Brinker, C. Prada, and P. Huber. "Laser-excited elastic guided waves reveal the complex mechanics of nanoporous silicon". *Nat. Comm.* 12.1 (2021).

[4] N. Bochud, J. Laurent, F. Bruno, D. Royer, and C. Prada. "Towards real-time assessment of anisotropic plate properties using elastic guided waves". *J. Acoust. Soc. Am.* 143 (2018).