

Conception d'écrans de bulles reconfigurables pour le contrôle d'ondes sonores sous-marines

Applications à la synthèse de champs et à la bioacoustique

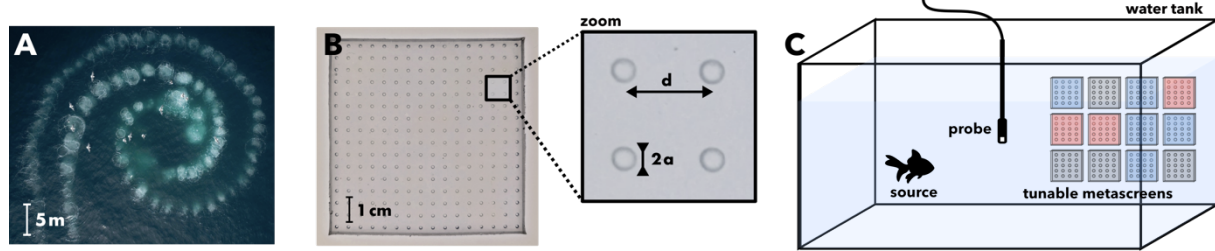


Figure 1 – Acoustique des rideaux de bulles. (A) À la surface de l'océan, les filets de bulles créés par les baleines à bosse se manifestent sous la forme de spirales d'écume (source : BBC NHU). (B) Photographie d'un méta-écran de bulles constitué de cavités d'air piégées dans une matrice de silicone souple. (C) Schéma d'une expérience avec plusieurs panneaux de bulles utilisés pour façonner le paysage sonore.

Contexte. Sous la surface de l'eau, le son joue un rôle essentiel : il constitue un mode de perception, de navigation et de communication essentiel pour de nombreuses espèces marines. Un exemple emblématique est celui des baleines à bosse, qui produisent des spirales de bulles pour piéger leurs proies [1] (voir Fig. 1A). Ces filets de bulles agissent comme des parois acoustiques, réfléchissant le champ sonore environnant et désorientant les organismes. Ces dernières années, les ingénieurs se sont inspirés de tels processus naturels pour développer diverses applications. Aujourd'hui, des rideaux de bulles sont utilisés autour des chantiers sous-marins afin de réduire la pollution sonore et de protéger la faune marine. En laboratoire, la diffusion du son dans l'eau par ces rideaux a été étudiée pour comprendre leurs propriétés acoustiques exceptionnelles [2]. Ces travaux ont conduit à l'émergence de méta-matériaux acoustiques à bulles (voir Fig. 1B) : des matériaux souples comportant des inclusions d'air, particulièrement prometteurs pour le contrôle et l'absorption des ondes [3,4].

Objectifs. L'objectif de cette thèse est de développer une nouvelle génération de méta-surfaces de bulles reconfigurables pour le façonnage en temps réel du son sous-marin. Dans un premier temps, le/la doctorant.e concevra des écrans de bulles ajustables dont la réponse acoustique pourra être modifiée mécaniquement. Ces « méta-surfaces intelligentes » seront ensuite combinées en structures multicouches afin d'explorer les phénomènes d'absorption cohérente parfaite [5] et de points exceptionnels [6]. Dans un second temps, ces écrans seront intégrés aux parois d'une cuve instrumentée de façon à agir sur ses modes de cavité. Une première étape consistera à concevoir l'équivalent sous-marin d'une chambre anéchoïque. Au-delà du problème de l'anéchoïsme, l'ambition de la thèse consistera à proposer un système permettant de façonner le paysage sonore d'une cavité sous-marine, en s'inspirant des concepts développés dans la communauté des cavités électromagnétiques [7].

Impact scientifique et sociétal. Ce projet se situe à l'interface entre la physique des ondes et la bioacoustique. Sur le plan fondamental, il contribuera au développement de méta-matériaux souples capables d'absorber, de manipuler et d'imager le son sous-marin. L'exploration de structures reconfigurables, combinant absorption cohérente parfaite et points exceptionnels ajustables, ouvrira de nouvelles voies pour le contrôle temps réel des fronts d'onde acoustiques. Sur le plan des applications, les résultats offriront un outil inédit pour la bioacoustique : la création d'environnements contrôlés permettant d'étudier la production sonore, la perception et la réponse comportementale d'organismes aquatiques. Au-delà de ces enjeux fondamentaux, ce travail s'inscrit dans la problématique environnementale de réduction des nuisances sonores sous-marines, reconnues comme source de perturbations des écosystèmes aquatiques.

Méthodologie. La thèse combinera expérimentation, modélisation et simulation numérique. La partie expérimentale portera sur la conception et la fabrication de méta-surfaces de bulles à l'aide de techniques d'impression 3D, de découpe laser et de micro-fabrication, suivie de campagnes de mesures acoustiques dans des cuves instrumentées. Des modèles analytiques et numériques seront développés pour décrire la propagation, la diffusion et le couplage des ondes à l'aide de méthodes matricielles et modales. Les simulations seront réalisées sous MATLAB ou Python.

Profil du candidat. Le poste est ouvert aux titulaires (ou futurs titulaires) d'un Master en Physique, Acoustique, Mécanique ou Mathématiques appliquées. Le.la candidat.e devra faire preuve d'un fort intérêt pour la recherche expérimentale en physique fondamentale, de curiosité scientifique, d'autonomie et d'esprit d'initiative. Une bonne maîtrise de l'anglais et des compétences en programmation (MATLAB ou Python) sont requises.

Environnement. La thèse sera menée au Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Mans (LAUM, UMR CNRS 6613), centre de recherche d'envergure internationale en acoustique et physique des ondes. Le.la doctorant.e rejoindra l'équipe *Matériaux*, spécialisée dans la propagation d'ondes en milieux hétérogènes et dans la conception de méta-matériaux. Il.elle bénéficiera d'un environnement pluridisciplinaire, d'infrastructures expérimentales de pointe et développera une expertise à l'interface entre la physique des ondes, la science des matériaux et la biologie. Le travail comprendra également la rédaction d'articles scientifiques et la participation à des conférences nationales et internationales.

Durée : 36 mois

Date de début : fin 2026 (flexible selon disponibilité du/de la candidat.e)

Date limite de candidature : avril 2026

Lieu : LAUM, Le Mans Université, France

Financement : Agence Nationale de la Recherche (ANR)

Encadrement : La thèse sera encadrée par Maxime Lanoy, Antonin Novak et Pierrick Lotton. Elle impliquera une collaboration avec Laurent Simon et Valentin Leroy (Laboratoire MSC, Paris). N'hésitez pas à nous écrire pour toute question ou manifestation d'intérêt :

Maxime Lanoy – maxime.lanoy@univ-lemans.fr

Antonin Novak – antonin.novak@univ-lemans.fr

References:

- [1] T. G. Leighton, "An acoustical hypothesis for the spiral bubble nets of humpback whales and the implications for whale feeding," *J. Acoust. Soc. Am.* (2004).
- [2] V. Leroy, A. Strybulevych, M. G. Scanlon, J. H. Page, "Transmission of ultrasound through a single layer of bubbles", *Eur. Phys. J. E* (2009)
- [3] V. Leroy, A. Strybulevych, M. Lanoy, F. Lemoult, A. Tourin, and J. H. Page, "Superabsorption of acoustic waves with bubble metascreens," *Phys. Rev. B* (R) (2015).
- [4] M. Lanoy, R.-M. Guillermic, A. Strybulevych, and J. H. Page, "Broadband coherent perfect absorption of acoustic waves with bubble metascreens," *Appl. Phys. Lett.* (2018).
- [5] Y. D. Chong, L. Ge, H. Cao, and A. D. Stone, "Coherent perfect absorbers: Time-reversed lasers," *Phys. Rev. Lett.* (2010).
- [6] S. Rotter and U. Kuhl, "The physics of exceptional points," *Rev. Mod. Phys.* (2017).
- [7] M. Dupré, P. del Hougne, M. Fink, F. Lemoult, and G. Lerosey, "Wave-field shaping in cavities: Waves trapped in a box with controllable boundaries," *Phys. Rev. Lett.* (2015).
- [8] Duarte, Carlos M., *et al.* "The soundscape of the Anthropocene ocean." *Science* (2021).