

Sujet thèse / PhD subject 2025

Titre Thèse	Micro-nageurs acoustiques	
PhD Title		
(Co)-Directeur	Michael Baudoin	E-mail : michael.baudoin@univ-lille.fr
(Co)-Directeur		E-mail :
(Co)-Encadrant (s)	Sarah Cleve	E-mail : sarah.cleve@univ-lille.fr
Laboratoire	IEMN	Web : https://www.iemn.fr
Groupe(s)	AIMAN-FILMS	Web :
Projet phare principal	Technologies for health	
Thèse fléchée Flagships IEMN ?	Oui ./ Non : Non Flagship concerné :	
Demande de labellisation Université de Lille (GREAL, labellisée)	Oui / Non : Non Label :	
Financement acquis Oui <input type="checkbox"/> Non <input checked="" type="checkbox"/> Partiel <input type="checkbox"/>	Si acquis (total ou partiel), préciser : (contrat, organisme, Université étrangère, ,) :	
Financement demandé	Contrat Doctoral Etablissement	ULille <input checked="" type="checkbox"/> Centrale Lille <input type="checkbox"/> JUNIA <input type="checkbox"/>
	Région ou Autre <input type="checkbox"/> Préciser :	Co financement (Préciser l'origine, demande en cours, et si acquis ou pas) :

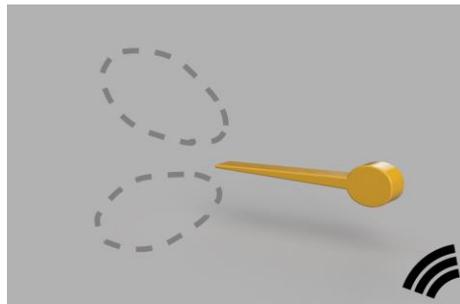


Figure : Concepte d'un micro-nageur : l'excitation acoustique induit un écoulement de streaming qui propulse le nageur
Concept of a micro-swimmer: acoustic actuation induces non-linear streaming flows which can propel the swimmer

Résumé : Le développement de micro-nageurs artificiels pouvant être manœuvrés dans des milieux biologiques *in vivo*, tel que le corps humain, a suscité un intérêt croissant ces dernières années. En effet, cela permettrait d'envisager des thérapies ultra ciblées en délivrant localement un médicament, ou même de réaliser des opérations de microchirurgie. Néanmoins, malgré tous les efforts qui ont été réalisés, le développement de micro-nageurs artificiels biocompatibles se heurte à 3 problèmes majeurs : (i) la propulsion biocompatible, (ii) la manœuvrabilité et (iii) la miniaturisation. L'utilisation d'ondes acoustiques est très prometteuse, car elle présente une source biocompatible et découplée du nageur mobile. Cependant, les concepts de nageurs acoustiques déjà développés sont soit trop grands pour circuler dans le corps humain, soit peu ou pas manœuvrables [1,2], et la plupart est équipé d'une bulle de gaz avec une durée de vie limitée. Des travaux récents ont montré qu'il est aussi possible de propulser un nageur entièrement solide avec des ondes acoustiques [3], mais la manœuvrabilité de celui-ci n'a pas encore été explorée pour un nageur libre, c'est-à-dire non posé sur un substrat [4]. L'objectif de cette thèse est le développement d'un tel nageur rigide, propulsé par une excitation acoustique et manœuvrable dans un espace 3D. Pour cela il sera important de comprendre chacune des étapes qui mènent à la propulsion du nageur : (i) la mise en oscillation du nageur par une onde acoustique, (ii) la création d'écoulements non-linéaires appelés streaming, et (iii) la propulsion du nageur grâce aux forces relatives entre le nageur et ces écoulements. Le travail de thèse sera essentiellement expérimental, mais inclura toujours la modélisation des phénomènes sous-jacents au moins par des modèles simples. Par ailleurs, pour des modèles plus poussés le projet pourra bénéficier d'études théoriques en cours par d'autres membres de l'équipe. Des premiers prototypes de nageurs 2D étant déjà étudiés dans l'équipe, le travail de thèse visera à optimiser leur propulsion, et finalement d'introduire un modèle de nageur 3D novateur.

Abstract: The development of steerable artificial micro-swimmers in biological *in vivo* environments, such as the human body, have raised increasing interest in the last years. Indeed, such a swimmer would allow highly targeted therapy of drug delivery, or even micro surgical operations. Nonetheless, despite past efforts, the development of such an artificial biocompatible micro-swimmer still encounters 3 main problems: (i) biocompatible propulsion, (ii) steerability, and (iii) miniaturization. The use of acoustic waves is very promising, because they are a biocompatible source which is decoupled from the mobile swimmer. Nevertheless, the existing concepts of acoustic micro-swimmers are either of large size or they have a very limited or no steerability. Furthermore, most of them rely on a gas bubble with a limited lifetime. Recent studies have shown that it is also possible to propel an entirely solid swimmer with acoustic waves [3], but its steerability has not yet been achieved for a free swimmer, that means a swimmer not placed on a substrate [4]. The objective of this PhD thesis is the development of such a solid swimmer, propelled by acoustic excitation and steerable in a 3D space. For this, it is important to understand each of the steps leading to the motion of the swimmer: (i) the vibrations of the swimmer induced by an acoustic wave, (ii) the creation of non-linear flows, called streaming, around the swimmer, and (iii) the propulsion of the swimmer thanks to the relative forces between the flow and the swimmer. The PhD work will be mostly experimental, but will also aim at including at least simple models of the principal underlying mechanisms. For more complex models, the work can further benefit from theoretical studies carried out by other group members. The first 2D prototypes being already investigated in our team, the PhD work will aim at optimizing their propulsion and finally introducing novel 3D micro-swimmers.

- [1] F.-W. Liu et S. K. Cho. "3-D swimming microdrone powered by acoustic bubbles". *Lab on a Chip* 21.2 (2021), p. 355-364
- [2] J.-F. Louf, N. Bertin, B. Dollet, O. Stephan et P. Marmottant. "Hovering microswimmers exhibit ultrafast motion to navigate under acoustic forces". *Advanced Materials Interfaces* 5.16 (2018), p. 1800425.
- [3] M. Kaynak, A. Ozcelik, A. Nourhani, P. E. Lammert, V. H. Crespi et T. J. Huang. "Acoustic actuation of bioinspired microswimmers". *Lab on a Chip* 17.3 (2017), p. 395-400.
- [4] D. Ahmed, T. Baasch, B. Jang, S. Pane, J. Dual et B. Nelson. "Artificial swimmers propelled by acoustically activated flagella". *Nano letters* 16.8 (2016), p. 4968-4974.

Contact : sarah.cleve@univ-lille.fr

