

Titre Thèse Title	Micro-nageurs acoustiques	
(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(s)	IEMN	Web : https://www.iemn.fr
Groupe(s)	AIMAN-FILMS	Web :
Financement acquis ?	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input checked="" type="checkbox"/>
	Origine :	
Financement demandé	Contrat Doctoral <input checked="" type="checkbox"/>	Etablissement porteur : Univ. Lille <input checked="" type="checkbox"/> Centrale Lille <input type="checkbox"/> JUNIA <input type="checkbox"/>
	Région <input type="checkbox"/>	Co-financement acquis : Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Préciser son origine (qu'il soit acquis ou non) :
	Autre :	

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. On s'intéressera en particulier à la compréhension et modélisation du streaming pour une géométrie relativement simple, puis à son contrôle par les paramètres de conception du nageur et de la source acoustique. Cette approche méthodique permettra aussi, dans un deuxième temps, de manœuvrer un nageur plus complexe.

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. We will be particularly interested in understanding and modeling the streaming for a relatively simple geometry, enabling then to design and control it depending on the design parameters of the

swimmer and of the acoustic source. This methodical approach will allow us also, in a second step, to steer a more complex swimmer.

- [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