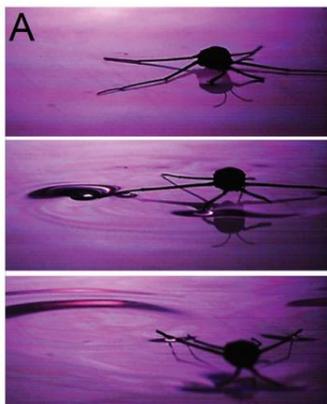
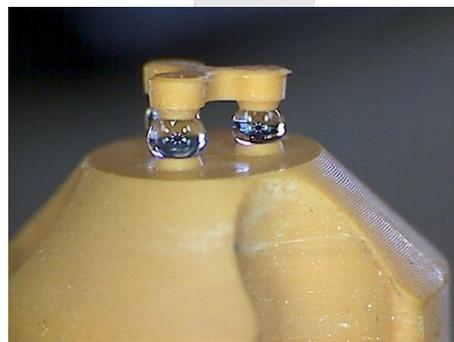


**Conception d'un simulateur robotique modélisant les forces capillaires
 par la méthode SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics)**



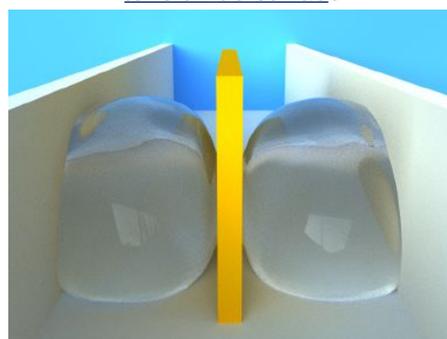
1/ Propulsion d'un insecte à la surface de l'eau



2/ Plateforme microrobotique basée sur les forces de tension de surface



3/ Simulation d'une vague avec openMaelstrom [vidéo]



4/ Simulation de la tension de surface [vidéo]

Laboratoire : Institut FEMTO-ST, affilié au CNRS, à SupMicroTech-ENSMM et à l'Université de Franche-Comté.

Laboratoire partenaire : INRIA – Lille – Nord-Europe.

Lieu : Besançon – verte cité avec une vie étudiante animée.

Contexte : Le département AS2M de l'institut FEMTO-ST est spécialisé dans la robotique aux petites échelles (microrobotique). Ses chercheurs développent des robots de très petites tailles pour des applications médicales et industrielles. Aux petites échelles, la déformation des robots, ainsi que de leurs interactions avec leur environnement est difficile à prévoir. Notamment, les forces capillaires résultant de la surface de tension entre deux fluides sont particulièrement importantes aux échelles comprises entre un micromètre et un millimètre. Elles peuvent donc influencer grandement sur la déformation d'une structure ainsi que de son adhésion avec un objet dans des milieux humides. Dans la nature, de nombreux mécanismes reposent sur ces forces tels que la propulsion des insectes à la surface de l'eau [1] illustrée par la figure 1. Bien comprises, elles peuvent être utilisées comme base de micromécanismes flexibles comme illustrée par la figure 2 [2]. Il est donc essentiel de proposer des outils de simulation de robots déformables intégrant des modèles de forces capillaires.

Sujet : Parmi les méthodes de simulations, les éléments finis permettent une résolution très précise des problèmes capillaires cependant la définition du problème, les interactions multiphysiques ainsi que la définition des conditions aux limites (en particulier des zones en contact avec le liquide) sont compliquées à mettre en place et varient grandement d'une simulation à une autre. La minimisation de l'énergie de surface peut aussi être réalisée permettant une résolution rapide du problème, mais limitée à une approche quasi statique.

Cette thèse a pour but d'étudier la pertinence de la méthode de Smooth Particle Hydrodynamic (SPH) pour simuler des microrobots déformables interagissant avec du liquide à une échelle millimétrique et sub-millimétrique. La méthode SPH représente le fluide par des particules de masse constante, les équations du milieu sont donc approximées par des forces d'interactions entre ces particules [3]. L'avantage de cette méthode est d'offrir une grande versatilité en proposant une définition simple des conditions limites de mouillage en représentant l'énergie de surface comme une force d'interaction entre les particules. Deux exemples d'application de cette méthode sont illustrés en figure 3 et 4.

Résultats attendus : La thèse aura comme premier objectif l'implémentation de la tension de surface aux modèles SPH par ajout d'une force inter-particulaire. L'expression de cette force sera étudiée afin d'être robuste aux changements de résolution, de matières, ainsi qu'au changement de topologie tel que la division d'une goutte en deux sous-parties. Le couplage entre mécanique des fluides et mécanique des milieux continus sera ensuite étudié afin de proposer un schéma stable et efficace à des problèmes élasto-capillaires (comme par exemple l'adhésion de cheveux mouillés). Après validation de la méthode sur des cas d'étude issus de la littérature, son implémentation dans un code de calcul existant sera envisagé. Finalement, des démonstrateurs seront réalisés, par exemple en permettant la conception et le contrôle d'un micro-actionneur basé sur la formation et destruction de gouttes ou la conception de robot se propulsant à la surface de l'eau (à la manière des insectes).

Profil recherché : étudiant·e diplômé·e d'une école d'ingénieur ou d'un master en simulation physique, informatique, mécanique, ou mathématiques appliquées.

Compétences attendues : méthodes éléments finis, programmation orientée objet (C++, python), informatique graphique (GPU, particules, moteurs physiques). Des connaissances en mécanique des fluides ne sont pas obligatoires mais seront considérées positivement pour la candidature.

Début de la thèse : octobre 2024 (pour une durée de 3 ans).

Salaire : entre 2100 and 2300 euros/mois (Gross salary).

Candidatures : Les candidatures sont à envoyer avant le 29 avril avec une lettre de motivation, un CV et relevé de notes des deux dernières années à : [Antoine Barbot](mailto:antoine.barbot@femto-st.fr) : antoine.barbot@femto-st.fr,
Et [Guillaume Laurent](mailto:guillaume.laurent@ens2m.fr) : guillaume.laurent@ens2m.fr

Référence:

[1] Mahadik, G. A., et al. "Superhydrophobicity and size reduction enabled Halobates (Insecta: Heteroptera, Gerridae) to colonize the open ocean." *Scientific Reports* 10.1 (2020): 7785.

[2] N. Majcherczyk et al., « Experimental characterization of Drobot: Towards closed-loop control », in *2014 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, Besacon: IEEE, juill. 2014, p. 961-966. doi: 10.1109/AIM.2014.6878204.

[3] L. Li, L. Shen, G. D. Nguyen, A. El-Zein, et F. Maggi, « A smoothed particle hydrodynamics framework for modelling multiphase interactions at meso-scale », *Comput. Mech.*, vol. 62, n° 5, p. 1071-1085, nov. 2018, doi: 10.1007/s00466-018-1551-3.

L'UNIVERSITÉ DE FRANCHE-COMTÉ



L'université de Franche-Comté, une des plus anciennes de France, a été fondée en 1423. Elle compte plus de 24 000 étudiants - dont plus de 20% d'étudiants et stagiaires en provenance de l'Europe et du monde entier - répartis sur toute la Franche-Comté, et principalement Besançon, sa capitale.

PRINCIPALES FILIÈRES

Elle est pluridisciplinaire avec six UFR ou « facultés » : Sciences du Langage, de l'Homme et de la Société ; Sciences Juridiques, Economiques, Politiques et de Gestion avec son Institut d'Administration des Entreprises (IAE) ; Sciences et Techniques ; Santé ; Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives ; Sciences, Techniques et Gestion de l'Industrie ; deux Instituts Universitaires de Technologie ; un Institut Supérieur d'Ingénieurs (ISIFC) ; un Centre de Linguistique Appliquée (CLA) réputé, qui accueille chaque année plusieurs milliers de stagiaires ; un Observatoire des Sciences de l'Univers et un Institut National Supérieur du Professorat et de l'Éducation.

RECHERCHE

Ses unités de recherche labellisées entretiennent des relations avec de nombreuses universités étrangères en Europe et dans le monde entier. Elles se répartissent dans les domaines des Sciences de l'Environnement et de la Santé, des Sciences de l'Homme et de la Société, des Sciences pour l'Ingénieur et Sciences Fondamentales. L'université de Franche-Comté regroupe des laboratoires et des instituts internationalement reconnus entre autres en mécanique et microtechniques et a su évoluer vers les techniques les plus modernes. L'ensemble des équipes des différents secteurs de recherche s'appuie sur plusieurs Écoles Doctorales de la COMUE UBFC.



L'INSTITUT FEMTO-ST



L'institut FEMTO-ST est une unité mixte de recherche, placé sous la tutelle principale du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) et de l'Université Bourgogne Franche-Comté (UBFC) ainsi que de l'Université de Franche-Comté (UFC), de l'École Nationale Supérieure de Mécanique et des Microtechniques (SUPMICROTECH-ENSMM) et de l'Université de Technologie Belfort-Montbéliard (UTBM).

Il compte aujourd'hui plus de 750 membres, départements scientifiques, services communs et direction confondus et est divisé en sept départements :

- Automatique et Systèmes Micro-Mécatroniques - AS2M
- Département d'Informatique et Systèmes Complexes - DISC
- Énergie
- Mécanique Appliquée
- Micro Nano Sciences et Systèmes - MN2S
- Optique
- Temps-Fréquence

RECHERCHE

La spécificité de FEMTO-ST est d'associer les Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication (STIC) avec les Sciences pour l'Ingénieur (SPI). Son champ thématique couvre en effet l'optique, l'acoustique, les micro nanosciences et systèmes, le temps-fréquence, l'automatique, l'informatique, la mécatronique, en même temps que la mécanique et les matériaux, l'énergétique et le génie électrique.

Les actions de recherche de FEMTO-ST peuvent être fondamentales ou appliquées, et produisent régulièrement un impact socio-économique, dans des secteurs comme l'énergie et les transports, la santé, les télécommunications, le spatial, l'instrumentation et la métrologie, l'horlogerie, l'industrie du luxe.

L'institut peut s'appuyer sur des technologies de haut niveau, équipements et plateformes, en particulier la centrale de micro et nanotechnologies MIMENTO (MIcrofabrication pour la MEcanique, les Nanosciences, la Thermique et l'Op-tique), membre du réseau national CNRS RENATECH.



BESANÇON

La ville de Besançon a été fondée il y a plus de deux mille ans sur un site exceptionnel : enserrée dans un méandre du Doubs, c'est une très belle cité aux maisons de pierre calcaire et à l'architecture préservée. Capitale économique et universitaire du Département du Doubs qui est le plus industrialisé de France (Automobiles Peugeot, ALSTOM, etc), elle est aussi la première ville verte de France, pays de forêts et de grands espaces. Sa citadelle fait partie du 'Réseau Vauban' et est inscrite au patrimoine mondial de l'UNESCO.

À 2 h de Genève, 2h30 de Zurich, Paris, Lyon et Strasbourg et 4h de Francfort par le TGV, proche de l'aéroport de Bâle/Mulhouse, elle bénéficie d'une situation géographique idéale. Ville à la vie sportive et culturelle intense, elle accueille chaque année en septembre un festival de musique internationale de réputation mondiale. La ville est proche des pistes de ski du Jura et sa région est réputée pour ses sports 'out-door', par exemple pour la pratique du vélo tout terrain, pour la pêche et le kayak.