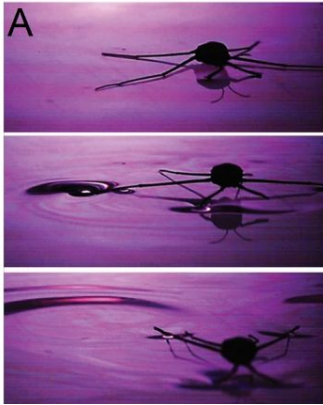
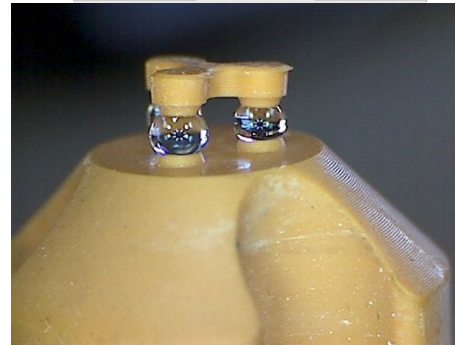


**Design of a robotic simulator modelling capillary forces using SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) method**



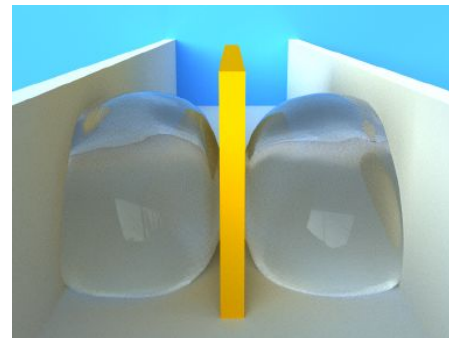
1/ *Propulsion of an insect at the water surface*



2/ *Microrobotic platform based on capillary effects*



3/ *SPH Wave simulation using openMaelstrom [video]*



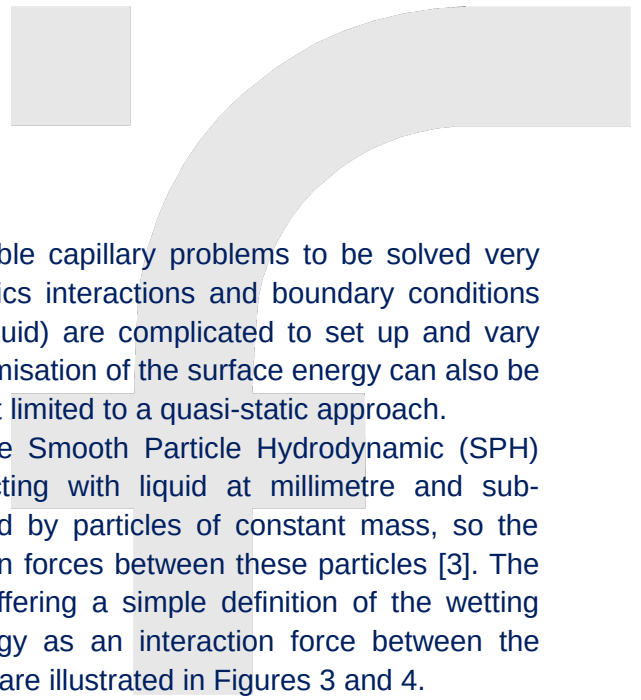
4/ *SPH Surface tension simulation [video]*

**Laboratory:** FEMTO-ST Institute, affiliated to the CNRS, SupMicroTech-ENSMM and the University of Franche-Comté.

**Partner laboratory:** INRIA - Lille - Nord-Europe.

**Location:** Besançon - a green city with a vibrant student life.

**Context:** The AS2M department of the FEMTO-ST institute specialises in small-scale robotics (microrobotics). Its researchers develop millimetric and submillimetric robots for medical and industrial applications. At small scales, the deformation of robots and their interactions with their environment is difficult to predict. In particular, capillary forces resulting from the surface tension between two fluids are particularly important at scales of between one micrometre and one millimetre. They can therefore have a major influence on the deformation of a structure and its adhesion to an object in humid environments. In nature, many mechanisms rely on these forces, such as the propulsion of insects on the surface of water [1], illustrated in Figure 1. Properly understood, they can be used as the basis for flexible droplet based micromechanisms, as shown in figure 2 [2]. It is therefore essential to propose simulation tools for deformable robots that incorporate capillary force models.



**Topic:** Among simulation methods, finite elements enable capillary problems to be solved very accurately. However, the problem definition, multiphysics interactions and boundary conditions definition (in particular the zones in contact with the liquid) are complicated to set up and vary greatly from one simulation to another. Alternatively, minimisation of the surface energy can also be carried out, allowing a rapid resolution of the problem, but limited to a quasi-static approach.

The aim of this thesis is to study the relevance of the Smooth Particle Hydrodynamic (SPH) method for simulating deformable microrobots interacting with liquid at millimetre and sub-millimetre scales. The SPH method represents the fluid by particles of constant mass, so the equations of the medium are approximated by interaction forces between these particles [3]. The advantage of this method is that it is very versatile, offering a simple definition of the wetting boundary conditions by representing the surface energy as an interaction force between the particles. Two examples of the application of this method are illustrated in Figures 3 and 4.

**Expected results:** This thesis first objective will be to implement surface tension in SPH models by adding an inter-particle force. The expression of this force will be studied in order to be robust to changes in resolution and materials, as well as to changes in topology such as the division of a drop into two sub-parts. The coupling between fluid mechanics and continuum mechanics will then be studied in order to propose a stable and efficient scheme for elasto-capillary problems (such as for example, the deformation of hairs by water). After validation of the method on case studies from the literature, its implementation in an existing calculation code will be considered. Finally, demonstrators will be produced, for example enabling the design and control of a micro-actuator based on the formation and destruction of drops or the design of a robot propelling itself on the surface of water inspired by water strider insect as shown on figure [1].

**Required Profile:** Student with an engineering degree or a Masters in one of the following domains : physics simulation, computer science, mechanics or applied mathematics.

**Expected skills:** Finite element methods, object-oriented programming (C++, Python), computer graphics (GPU, particles, physics engines). Knowledge of fluid mechanics is not mandatory but will be considered positively for the application.

Start of thesis: October 2024 (for a period of 3 years).

**Salary:** Between 2100 and 2300 euros/month (Gross salary).

**Applications:** Applications should be sent before 29 April with a covering letter, CV and transcript of grades for the last two years to : Antoine Barbot: antoine.barbot@femto-st.fr, and Guillaume Laurent: 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.

## BELFORT

Capitale du Territoire de Belfort, plus petit département de France créé en 1922, la ville se situe en région Bourgogne-Franche-Comté, dans la Trouée de Belfort : voie de passage entre les Vosges et le Jura, mais aussi passage facile entre la plaine d'Alsace et la vallée du Rhône. Entourée de collines, Belfort s'insère dans un environnement naturel propice aux activités au grand air : randonnée, cyclotourisme, activités nautiques, golf...

Mais la ville est surtout marquée par son histoire et notamment par sa résistance à la Prusse et à l'annexion allemande, dès 1870. De ce passé de ville stratégique et défensive, Belfort a conservé sa citadelle réputée imprenable et ses remparts, œuvres de Vauban au XVIIe siècle.

Depuis les fortifications, on peut pénétrer dans la citadelle ou se diriger vers la vieille ville par la porte de Brisach, surmontée des symboles de la royauté, fleur de lys et devise du roi Louis XIV. Au pied de la citadelle, le fameux Lion de Belfort, sculpté dans du grès rose par Auguste Bartholdi entre 1875 et 1879, un monument de 22 mètres de long et de 11 mètres de haut, qui possède son pendant place Denfert-Rochereau à Paris et semble garder la ville.



Parmi les sites à découvrir, la tour de la Miotte, dans les Hauts de Belfort, vestige d'un château médiéval disposant d'un beau panorama sur la ville et les Vosges ; la cathédrale Saint-Christophe, monument imposant bâti en grès rose au XVIIIe siècle ; la jolie place de la Grande Fontaine ; le musée des Beaux-Arts, installé dans une ancienne tour fortifiée. Un peu partout, de jolies places agrémentées de cafés.

Belfort est aussi le théâtre d'un festival d'envergure : les Eurockéennes, qui se tiennent début juillet sur le site du lac du Malsaucy, à 6 kilomètres de la ville. Une moyenne de 75 concerts s'y déroule chaque année, dans un large registre musical : rock, électro, métal, reggae, pop, folk...

Les Entrevues de Belfort, festival dédié au jeune cinéma indépendant, se tient à la fin de l'année.

## MONTBÉLIARD

Montbéliard est une commune de l'Est de la France, sous-préfecture du département du Doubs en région Bourgogne-Franche-Comté. Elle est située dans le nord-est de la Franche-Comté, à moins d'une vingtaine de kilomètres de la Suisse, aux portes du massif du Jura. Montbéliard et sa proche région (le « Pays de Montbéliard ») ont été rattachés à la France en 1793.



Ses habitants, les Montbéliardais, étaient au nombre de 25 573 habitants en 2021. L'unité urbaine, qui comptabilisait pour sa part 112 810 habitants, est la troisième agglomération de la région en nombre d'habitants.

Labellisée Ville d'Art et d'Histoire, la ville est connue mondialement pour son marché de Noël, considéré comme l'un des plus beaux de France, mais aussi pour son patrimoine agricole et culinaire, dont les fleurons sont la vache montbéliarde et la saucisse de Montbéliard. Le Pays de Montbéliard est aussi le berceau des automobiles Peugeot.