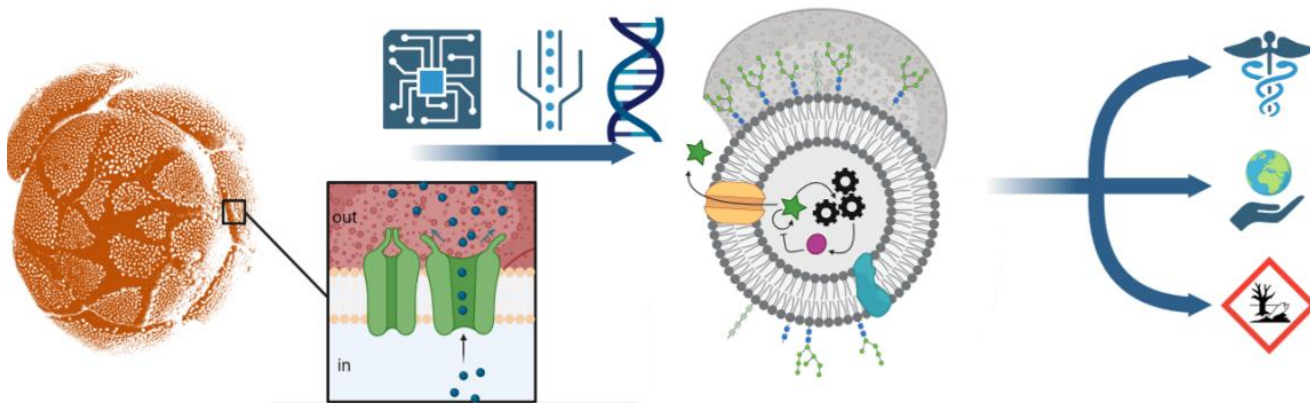


Sujet thèse / PhD subject 2025

Titre Thèse	Nouveaux outils Bio-MEMS pour la biominéralisation des foraminifères benthiques : des cellules artificielles aux applications en ingénierie environnementale.	
PhD Title	New Bio-MEMS tools for biomineralization in benthic foraminifera: from artificial cells to environmental engineering.	
(Co)-Directeur	Vincent BOUCHET	E-mail : vincent.bouchet@univ-lille.fr
(Co)-Directeur	Alexandre BACCOUCHE	E-mail : alexandre.baccouche@univ-lille.fr
(Co)-Encadrant (s)		E-mail :
Laboratoire	IEMN UMR 8520	Web : https://www.iemn.fr
Groupe(s)	BioMEMS	Web : https://www.iemn.fr/en/la-recherche/les-groupes/biomems
Projet phare principal		
Thèse fléchée Flagships IEMN ?	Oui ./ Non : NON Flagship concerné :	
Demande de labellisation Université de Lille (GREAL, labellisée)	Oui / Non : Label :	
Financement acquis Oui ☐ Non ☒ Partiel ☐	Si acquis (total ou partiel), préciser : (contrat, organisme, Université étrangère, ,) :	
Financement demandé	Contrat Doctoral Etablissement Région ou Autre ☒ Préciser : Région / ADEME	ULille ☒ Centrale Lille ☐ JUNIA ☐ Co financement (Préciser l'origine, demande en cours, et si acquis ou pas) :

Résumé (français) / Abstract (anglais)

Dédié à l'affichage sur le site de l'IEMN Typiquement 5000 caractères maximum)



Ce projet de thèse a pour objectif d'élucider les mécanismes moléculaires responsables de la formation des tests calcaires chez les foraminifères benthiques, organismes unicellulaires essentiels au cycle du carbone et aux études paléo-environnementales^{1,2}. Malgré leur importance cruciale, les processus de calcification restent largement méconnus^{3,4}.

L'objectif principal est de reproduire *in-vitro* les procédés biochimiques de calcification observés chez ces organismes à l'aide de micro-actionneurs bio-inspirés, appelés cellules artificielles (ArC), constituées de vésicules lipidiques contenant le matériel biochimique nécessaire à la reproduction d'une tâche biologique. Pour atteindre ce but, le projet prévoit la conception et l'optimisation d'un dispositif microfluidique sur-mesure permettant la production d'ArC monodisperses, à haut débit⁵. Ces ArC seront conçues pour imiter les voies naturelles de précipitation de la calcite, en recréant les conditions biochimiques favorables à une nucléation contrôlée^{4,6} via des programmes moléculaires et voies de signalisation synthétiques^{7,8} développés au laboratoire.

En parallèle, une étude sera consacrée à l'impact des contaminants, en particulier les sels de métaux lourds, sur la composition du test. L'incorporation de ces métaux, proportionnelle à leur concentration dans le milieu, pourrait constituer la base d'indicateurs fiables de pollution marine. Ainsi,

le projet s'articule autour de trois axes complémentaires : (1) la reconstitution *in-vitro* des processus de biominéralisation en ArC, (2) l'analyse des effets des paramètres physico-chimiques sur la formation du test, et (3) l'exploration d'applications en ingénierie environnementale pour la dépollution des sédiments.

Ce travail interdisciplinaire repose sur la synergie entre l'expertise de l'IEMN (microfluidique, biologie synthétique, programmation moléculaire) et celles du LOG (écologie marine, foraminifères). Bien que basé à l'IEMN, le projet inclut des collaborations internationales (Japon, Italie, Allemagne) associant des approches complémentaires. Les résultats attendus devraient approfondir notre compréhension de la biominéralisation chez les foraminifères et ouvrir de nouvelles perspectives pour des solutions de bioremédiation à faible impact contre la pollution.

This thesis project aims to elucidate the molecular mechanisms responsible for the formation of calcareous tests in benthic foraminifera, unicellular organisms essential to the carbon cycle and paleoenvironmental studies^{1,2}. Despite their crucial importance, the calcification processes remain largely unknown^{3,4}.

The primary objective is to reproduce *in vitro* the biochemical calcification processes observed in these organisms using bio-inspired micro-actuators, called artificial cells (ArC). These ArCs consist of lipid vesicles containing the biochemical material necessary to replicate a biological function. To achieve this goal, the project involves designing and optimizing a custom microfluidic device for the high-throughput production of monodisperse ArCs⁵. These ArCs will be designed to mimic the natural pathways of calcite precipitation by recreating the biochemical conditions favorable for controlled nucleation^{4,6} through synthetic molecular programs and signaling pathways^{7,8} developed in the laboratory.

In parallel, a study will investigate the impact of contaminants, particularly heavy metal salts, on test composition. The incorporation of these metals, proportional to their environmental concentration, could serve as the basis for reliable marine pollution indicators. Thus, the project is structured around three complementary axes: (1) the *in vitro* reconstruction of biomineralization processes in ArCs, (2) the analysis of the effects of physicochemical parameters on test formation, and (3) the exploration of environmental engineering applications for sediment decontamination.

This interdisciplinary work relies on the synergy between the expertise of IEMN (microfluidics, synthetic biology, molecular programming) and the expertise of LOG (marine ecology, foraminifera). Although based at IEMN, the project includes international collaborations (Japan, Italy, Germany) integrating complementary approaches. The expected results should deepen our understanding of foraminiferal biomineralization and open new perspectives for low-impact bioremediation solutions to pollution.

1 Ujiié, Y. et al., Sci. Adv. 2023, 9 (25), eadd3584.

2 Nagai, Y. et al., Biogeosciences 2018, 15 (22), 6773–6789.

3 Nagai, Y. et al., Front. Mar. Sci. 2018, 5, 67.

4 de Nooijer, L. J. et al., Earth-Sci. Rev. 2014, 135, 48–58.

5 Ushiyama, R. et al., Sens. Actuators B Chem. 2022, 355, 131281.

6 Toyofuku, T. et al., Nat. Commun. 2017, 8 (1), 14145.

7 Okumura, S. et al., Nature 2022, 610 (7932), 496–501.

8 Lentini, R. et al., ACS Cent. Sci. 2017, 3 (2), 117–123.