

Projet M3S – Année 2020-2021

Titre du projet : Déploiement et dynamique de membranes architecturées bistables

Encadrant(s) : Stéphane Bourgeois (ECM/LMA), Joël Marthelot (IUSTI) et Victor Charpentier (IUSTI).

Contexte : La maturité des nouvelles techniques de prototype rapide (laser cutting, impression 3D...) offre aujourd'hui de nouvelles perspectives en termes d'applications. En particulier, la possibilité de fabriquer des matériaux présentant une microarchitecture (une périodicité à petite échelle) a ouvert des possibilités dans les domaines de l'électromagnétisme, de la photonique, de l'acoustique pour programmer l'interaction entre la microstructure et la propagation des ondes avec des applications pour la conception de matériaux présentant une non-réciprocité dans la transmission des ondes, des propriétés de camouflage ou de réduction du bruit par exemple. Dans le domaine de la mécanique, la microarchitecture permet d'imaginer des structures reconfigurables pour lesquelles on peut contrôler la dynamique du passage d'une configuration à une autre ([Exemple](#)). Cela ouvre des perspectives dans le design de structures déployables, d'actuateurs mécaniques logiques, pour contrôler l'absorption (ou la libération) d'énergie dans la structure ou encore pour programmer la locomotion de robots flexibles.

Le challenge est de réaliser des structures bidimensionnelles ou tridimensionnelles ayant ces propriétés reconfigurables. Une piste est d'utiliser des systèmes présentant une bistabilité c'est à dire ayant deux positions d'équilibre stable (pour lesquelles une force de rappel fait revenir le système vers l'équilibre pour les deux positions stables). Récemment, les équipes de Katia Bertoldi à Harvard University et Dennis Kochmann à l'ETH Zurich ont démontré la possibilité de fabriquer de telles structures [1]. Pour cela, ils ont utilisé une membrane présentant une microarchitecture avec un motif élémentaire qui présente deux états d'équilibre (ouvert et fermé voir la figure 1). Le passage entre les deux états présente de grandes rotations réversibles du motif élémentaire. En multipliant le motif, ils ont obtenu une structure bidimensionnelle pouvant passer d'un état à l'autre (voir la membrane architecturée de la figure 1).

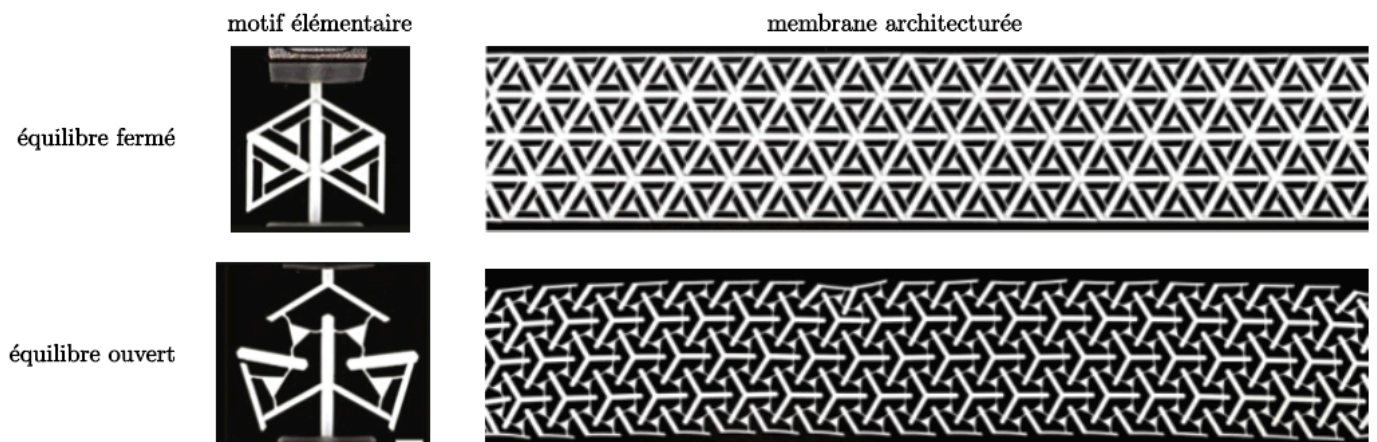


Figure 1: Exemple de structures microarchitecturées (d'après [1]). Le motif élémentaire présente deux états d'équilibre fermé et ouvert. En multipliant le motif, on obtient une membrane architecturée présentant deux états d'équilibre stable.

Objectif :

Le projet consiste à mettre au point des structures microarchitecturées déployables pour étudier leur dynamique d'ouverture. En utilisant des techniques de prototype rapide disponibles à l'IUSTI (système à découpe laser et impression 3D), nous chercherons à jouer sur les paramètres de fabrication (matériaux, épaisseur, paramètres géométriques de la cellule) pour obtenir une structure bistable en nous appuyant sur les designs proposés récemment [1]. Nous caractériserons expérimentalement la réponse mécanique (la variation de la contrainte avec la déformation) du motif élémentaire puis d'une membrane architecturée présentant un grand nombre de motifs. En parallèle, on cherchera à décrire la cinématique et la réponse mécanique de la structure en s'appuyant sur des modélisations numériques à l'aide de logiciels commerciaux et en mettant au point des modèles simplifiés. Nous nous intéresserons ensuite à la dynamique de propagation pour mettre en point un modèle pouvant décrire la vitesse du front de transition entre les deux phases dans un cas bidimensionnel (une poutre microarchitecturée comme présentée dans la figure 2). Nous chercherons enfin à étendre cette approche pour programmer le déploiement de tubes cylindriques microarchitecturés. Le contrôle de la dynamique d'ouverture de telles structures est cruciale et est encore un challenge dans de nombreux domaines d'applications à différentes échelles, par exemple pour programmer le déploiement d'endoprothèse vasculaire (stent), pour piloter la dynamique en robotique flexible ou pour contrôler le déploiement de structures dans le domaine spatial.

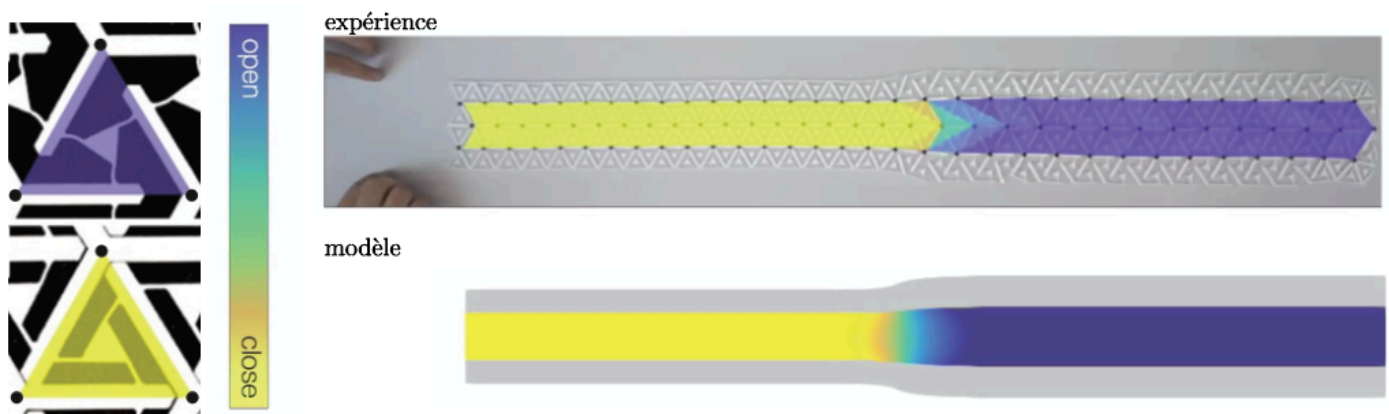


Figure 2: Dynamique de transition (d'après [1]) entre les deux phases ouvertes (en bleu) et fermées (en jaune) observée expérimentalement et prédite numériquement pour une poutre microarchitecturée

Références :

1. L. Jin, R. Khajehtourian, J. Mueller, A. Rafsansjani, V. Tournat, K. Bertoldi and D.-M. Kochmann. « Guided transition waves in multistable mechanical metamaterials ». Proceedings of the National Academy of Sciences 117.5 (2020): 2319-2325.

Mots clés : structures déployables, membranes architecturée, dynamique de structure bistable