
Déformation de fibres flexibles dans un milieu poreux : bifurcations et dynamique non-linéaire

Mathis Coutadeur^{*1}, Zhibo Li², Clément Bielinski¹, Etienne Jambon-Puillet¹, Anke Lindner², Olivia Du Roure², and Blaise Delmotte¹

¹Laboratoire d'hydrodynamique – Ecole Polytechnique, Centre National de la Recherche Scientifique, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR7646 – France

²Physique et mécanique des milieux hétérogènes – Ecole Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles de la Ville de Paris, Sorbonne Université, Centre National de la Recherche Scientifique, Université Paris Cité – France

Résumé

Le transport de fibres flexibles dans des environnements complexes, comme les milieux poreux, intervient dans de nombreux systèmes, du transfert de microplastiques dans les sols à la séparation de particules en analyses biologiques. Leur déformabilité et leur forme allongée induisent toutefois des trajectoires complexes et une dynamique riche dans les écoulements tortueux.

Dans ce travail, nous combinons expériences microfluidiques et simulations numériques pour étudier la dynamique de fibres flexibles dans des réseaux de piliers. Nous mettons en évidence une dynamique de migration non-monotone en fonction de la longueur des fibres, identifiant ainsi un mécanisme de tri de type “passe-bande” distinct. Plus intrigant encore, les fibres dont la longueur appartient à cette “bande” se déforment de façon périodique, alors que pour les autres longueurs la déformation est majoritairement chaotique. Ainsi la capacité de tri du dispositif est directement liée à la stabilité du mode périodique associé à la bande. Nous caractérisons les bifurcations de ce système dynamique à l'aide d'observables simples et d'outils empruntés de la physique non-linéaire (spectrogramme, portrait de phase, ...). Nous étudions l'influence des paramètres géométriques (porosité, angle d'écoulement incident) et des paramètres mécaniques (déformabilité des fibres) sur cet effet passe-bande et donc sur le domaine d'existence du mode périodique. Nous définissons un domaine opérationnel dans lequel cet effet se manifeste et identifions les conditions optimales pour la séparation. Nos résultats contribuent non seulement à la conception de technologies de séparation et de filtration efficaces, apportent également un nouvel éclairage sur la dynamique non-linéaire des objets déformables dans les environnements tortueux.

Référence :

Zhibo Li, Clément Bielinski, Anke Lindner, Blaise Delmotte, Olivia Du Roure. A microfluidic band-pass filter for flexible fiber separation. 2025. *PNAS* en cours de publication.

*Intervenant