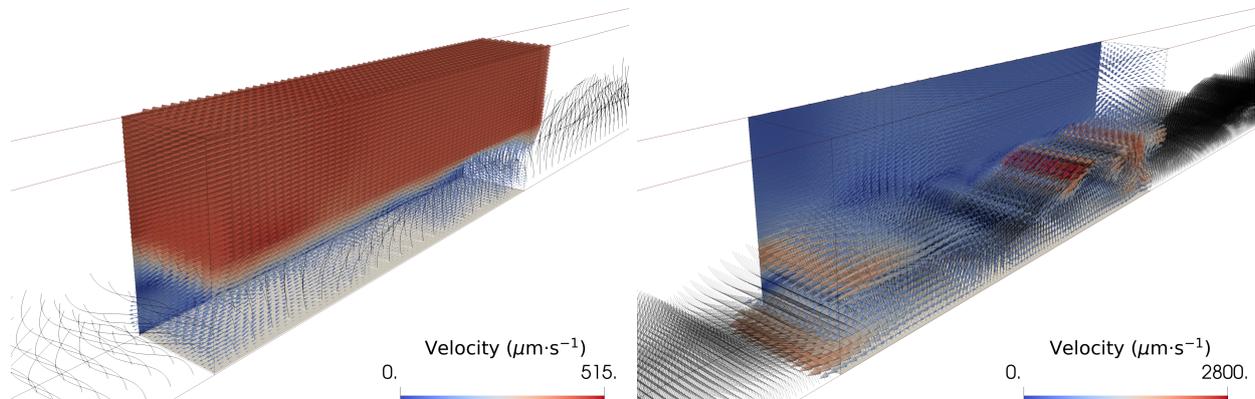


Modélisation 3D et simulation du transport mucociliaire

Astrid DECOENE, IMB - Bordeaux Sébastien MARTIN, MAP5 - Paris
 Chabane MEZIANE, LMO - Orsay

Nous proposons une hiérarchie de modèles mathématiques pour la simulation numérique de structures fines actives dans un fluide visqueux et son application à la clairance mucociliaire. Notre objectif est de simuler de grandes forêts de cils et d'analyser les dynamiques collectives qui émergent dans l'écoulement, ainsi que leur impact sur l'efficacité du transport mucociliaire. Dans un modèle 3D, nous décrivons les cils individuellement et étudions leurs actions conjointes sur le fluide. Le modèle est construit sur **i.)** une paramétrisation du mouvement prescrit des cils [3], incluant l'onde métachronale qui traverse la forêt, **ii.)** des forces hydrodynamiques évaluées par la *slender body theory* [1, 5] associées à la représentation 1D des cils [4], **iii.)** la persistance de la structure bifluide par un mécanisme de tension superficielle entre la couche périciliaire et le mucus. Il en résulte un problème de Stokes 3D *non local* avec des termes source *singuliers*, en raison de l'action des cils 1D sur le fluide. À partir du modèle 3D, nous justifions également un modèle 1D moyenné en espace, décrivant la dynamique de la vitesse moyenne du mucus propulsé par les cils, permettant ainsi des coûts de calcul inférieurs tout en fournissant une caractérisation utile de l'efficacité du transport. Les propriétés mathématiques des modèles (existence et unicité de solutions dans des espaces fonctionnels appropriés) sont analysées. Des simulations numériques mettent en évidence l'influence de paramètres critiques sur l'efficacité du transport mucociliaire dans le cas de forêts denses de cils.



Écoulements générés par une forêt clairsemée ou dense de cils.

Références

- [1] R.G. Cox, *The motion of long slender bodies in a viscous fluid. Part 1. General theory*, J. Fluid Mech., 44:791-810, 1970
- [2] A. Decoene, S. Martin, C. Meziane, *3D simulation of active thin structures in a viscous fluid and application to mucociliary transport*, <https://hal.science/hal-04263010/> 1923
- [3] G.R. Fulford, J.R. Blake, *Muco-ciliary transport in the lung*, J. Theor. Biol., 121(4):381-402, 1986
- [4] L. Lacouture, *Modélisation et simulation du mouvement de structures fines dans un fluide visqueux : application au transport mucociliaire*, Thèse de doctorat de l'université Paris-Sud, 2016.
- [5] Y. Mori, L. Ohm, D. Spirn, *Theoretical justification and error analysis for slender body theory*, Comm. Pure Appl. Math., 73(6):1245-1314, 2020.