

Modélisation numérique de l'interaction entre un fluide visqueux et des structures fines actives se mouvant à forces imposées

Fabien VERGNET, LMO, Université Paris-Sud

En biologie, de nombreux micro-organismes interagissent avec le fluide les entourant au moyen de structures fines actives, comme des flagelles ou des cils. Ainsi, les spermatozoïdes se déplacent grâce à leur flagelle, et les cils tapissant les parois des bronches dans le poumon humain, mettent en mouvement le mucus bronchique environnant.

Le travail en cours porte sur l'étude d'un problème d'interaction fluide-structures comprenant : la modélisation du système mettant en jeu un fluide visqueux et des cils bronchiques, son analyse mathématique et sa résolution numérique. Pour ce problème, différents modèles ont déjà été proposés. Il s'agit, pour la plupart, soit de modèles à mouvement du cil imposé, c'est-à-dire qu'un couplage fluide-structures faible est considéré et l'action du fluide sur le cil n'est pas prise en compte [1], soit de modèles à forces imposées, mais exclusivement discrets [2].

Dans l'optique de proposer un modèle d'interaction continu à forces imposées, nous commencerons par présenter un modèle discret pour les cils, prenant en compte leur inextensibilité, leur grande déformabilité, ainsi que la rigidité de leur structure interne. Dans cette représentation, les cils sont composés de boules rigides, séparées par du fluide, et dont la distance deux à deux est maintenue constante en contraignant le mouvement des boules uniquement à des mouvements de rotation les unes autour des autres. À travers cette contrainte, on modélise à la fois le caractère inextensible de la structure, et sa capacité à se déformer. Un profil de forces, réparties sur les boules et correspondant aux actions des forces internes des cils, est ensuite choisi, induit un mouvement des cils et agit sur le fluide qui, à son tour, rétro-agit sur les cils. Enfin, ces structures solides ainsi construites tendent à minimiser une énergie élastique, présente dans le modèle pour tenir compte de la rigidité des cils. Ce modèle discret est le premier pas vers un modèle continu, correspondant à l'asymptotique où le nombre de boules tend vers l'infini, le rayon des boules vers zéro et où la résultante des forces exercées sur un cil reste constante.

Références

- [1] A. DECOENE, L. LACOUTURE, S. MARTIN, *Direct simulation in 3D of a large forest of cilia: application to muco-ciliary transport*, In progress.
- [2] R. H. DILLON, L. J. FAUCI, *An integrative model of internal axoneme mechanics and external fluid dynamics in ciliary beating*, J. Theor. Biol. (2000) 207, 415-430.