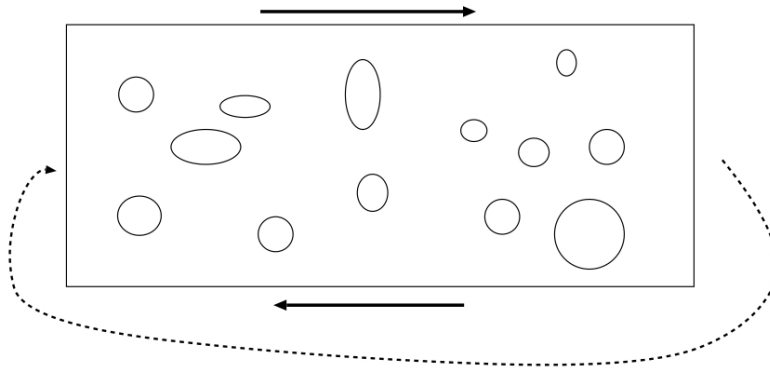


ESTIMATION DE LA VISCOSITÉ EFFECTIVE DE SUSPENSIONS ACTIVES

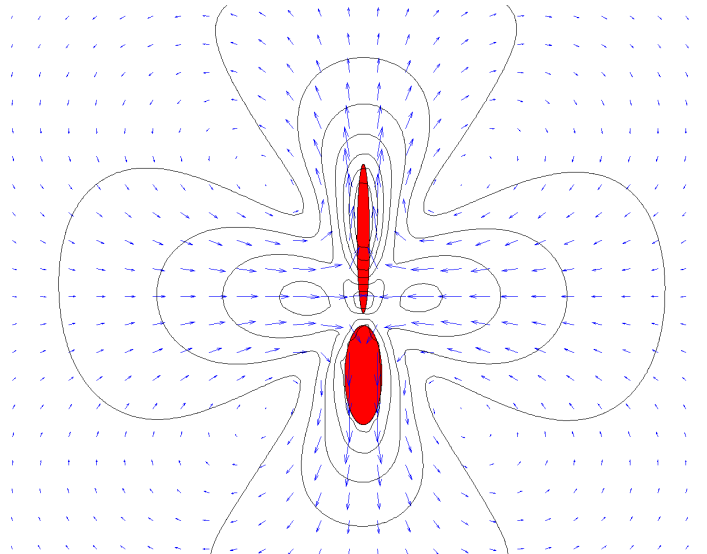
Sujet proposé par A. Decoene, S. Martin, et B. Maury

On mesure expérimentalement la viscosité dite "apparente" de fluides complexes en plaçant un tel fluide entre deux plaques (ou deux cylindres coaxiaux), et en estimant la relation entre taux de cisaillement et contrainte de cisaillement. On mesure ainsi une quantité qui reflète une part des propriétés *macroscopiques* du mélange, selon des mécanismes de perturbation au niveau *microscopique* de l'écoulement. Une démarche analogue peut être appliquée au calcul numérique, et l'on peut ainsi par la simulation directe accéder à cette viscosité apparente. La figure ci-dessous représente un domaine de calcul typique, avec des conditions de Dirichlet en haut et en bas, et des conditions périodiques sur les côtés.



Pour des particules passives, on peut montrer et vérifier expérimentalement que le fait de rajouter des entités rigides augmente nécessairement la viscosité apparente du mélange.

Une telle démarche a été réalisée expérimentalement pour des suspensions actives. Il s'agit par exemple de bactéries de type *E. coli*, qui se déplacent dans le fluide à l'aide de flagelles, et qui créent localement une perturbation du champ de vitesse représentée ci-dessous (calcul Freefem++ en 2d)



Il a été observé expérimentalement que la présence de telles entités actives est susceptible de *diminuer* la viscosité apparente, non seulement par rapport à la version passive du même mélange, mais même par rapport à la viscosité du fluide porteur. Ce projet porte sur l'étude qualitative (compréhension des phénomènes microscopiques à la base de cet effet paradoxal) et quantitative (dépendance de la variation de viscosité en fonction de la concentration, des paramètres de la nage au niveau micro, etc ...). Les calculs 2d pourront être réalisés sous Freefem++, et il est prévu pour les calculs en 3d d'utiliser un solveur en cours de développement au LMO.

Cette étude pourra être approfondie en fonctions des goûts et compétences des intervenants dans diverses directions

- On a évoqué ci-dessous le cas de *pushers* (l'E. Coli se propulse à l'aide de flagelles, comme un nageur qui n'utiliserait que ses jambes), mais d'autres entités sont connues pour se comporter en *puller* (comme un nageur qui n'utiliserait que ses bras). Il est expérimentalement vérifié que les effets sont drastiquement différents (en particulier la diminution de viscosité apparente n'est pas observée pour les *pullers*). Le calcul numérique direct devrait permettre une meilleure compréhension de la distinction entre ces deux types de nageurs. Par ailleurs, d'autres types de nages pourraient être envisagées, en particulier pour des entités non organiques que seraient des gouttes d'un second fluide susceptibles de se mouvoir dans le fluide porteur par l'apparition de courants de surface consécutifs à des gradient de concentration surfacique de tensioactifs.
- Étude de problèmes de minimisation associés à ce phénomène. On peut fixer par exemple le nombre d'entité, leur force motrice, et se demander quelle disposition (on a 3 degrés de liberté par entité en dimension 2, 6 en dimension 3) conduit à la diminution la plus importante de viscosité apparente. Cette étude plus mathématique pourrait permettre de mieux comprendre les mécanismes de réduction effective de viscosité
- Dans le cas de suspensions denses, les interactions rapprochées entre entités sont susceptibles de jouer un rôle important. La simulation directe est censée inclure les forces de lubrifications, mais l'expérience montre qu'une description fine de ces phénomènes nécessite un traitement approprié.
- La notion de viscosité apparente est un peu ambiguë. Elle n'a en particulier de sens que dans le cadre d'une expérience (réelle ou numérique) donnée, et même dans un tel cadre, elle est susceptible de varier en fonction du taux de cisaillement lui-même (pour un fluide complexe la relation entre taux de cisaillement et contrainte de cisaillement n'est pas en général linéaire). Il pourrait être pertinent d'explorer en particulier comme se transposent ces considérations au cas d'autres expériences rhéologiques (bille qui sédimente, perte de charge dans un écoulement de Poiseuille, ...).