

Compte-rendu de la session : « Mélange II : approche analytique et numérique »

S. Tardu « Mixing in micro devices. Review and a prospective view »

Dans la première partie de sa présentation, S. Tardu résume les enjeux et les problèmes liés au mélange dans les microsystèmes. L'orateur insiste sur le fait que dans les systèmes de très petites dimensions, l'écoulement est restreint à de très bas nombres de Reynolds, limitant ainsi leur capacité à produire un bon mélange, puisque celui-ci est essentiellement dû à la diffusion moléculaire. Les différentes solutions adoptées pour forcer « artificiellement » la convection afin d'augmenter l'efficacité du mélange ont ensuite été présentées. Elles peuvent être départagées entre mélangeurs passifs (introduction de chevrons à la paroi par exemple) et mélangeurs actifs (par l'introduction de perturbations de type : pressions, pulses de vitesse, électrodynamiques ou électrochimiques).

Dans la seconde partie de son exposé S. Tardu propose d'imiter la turbulence afin d'augmenter le mélange et présente un mécanisme pour la création des structures longitudinales rencontrées en turbulence de paroi. Puisque pour la majorité des fluides il est impossible de forcer la transition vers la turbulence à très bas nombre de Reynolds, il convient de recréer synthétiquement les structures de type « quasi streamwise vortex » formées en proche paroi dans les écoulements turbulents et assurant un très bon mélange. L'auteur montre que ces structures peuvent être formées par l'interaction entre deux paires de tourbillons contrarotatifs décalées transversalement. Cette brisure de la symétrie transversale de l'écoulement induisant un étirement puis une inclinaison vers la paroi de ces tourbillons, en accord avec la composante longitudinale de l'équation pour la vorticité. Ce mécanisme est montré comme étant crédible par des visualisations issues de DNS. De façon pratique, ces tourbillons contrarotatifs peuvent être créés par des obstacles sur la paroi ou par des jets synthétiques (également montré par DNS).

F. Raynal « Mélange par advection chaotique »

Dans sa présentation F. Raynal, nous propose une revue du mélange par advection chaotique, pour les écoulements à très faible nombre de Reynolds. F. Raynal nous fait remarquer que l'équation décrivant l'évolution d'un fluide incompressible en 2D (lorsque le terme de convection non linéaire est négligeable) est strictement similaire à l'Hamiltonien en mécanique classique (pour le pendule par exemple). Il faut donc s'attendre à

observer du chaos déterministe dans ce type d'écoulement, permettant ainsi d'analyser ces écoulements par les mêmes outils que ceux utilisés pour l'étude des systèmes chaotiques. Les écoulements étudiés étant bidimensionnels, ils ne présenteront un caractère chaotique que s'ils sont instationnaires, puisque le chaos déterministe nécessite au moins trois dimensions pour se développer. Si en plus d'être instationnaires, l'écoulement est périodique, la construction des sections de Poincaré devient extrêmement aisée : il suffit de reporter la position d'une particule à chaque période. Les sections de Poincaré d'un ensemble de trajectoire permet de caractériser l'écoulement en analysant ses points fixes, ses bassins d'attraction et ses orbites périodiques trahissant la présence de zones de recirculation signes d'un mélange non idéal. F. Raynal termine son exposé en présentant les résultats obtenus dans l'amélioration de puce à hybridation d'ADN, dont les performances sont très dépendantes de la qualité du mélange. Ces optimisations ayant été obtenues en produisant un mélange chaotique lui-même analysé par les sections de Poincaré.

L. Rossi « Lamination, stirring and mixing with canonical flows driven by electromagnetic forces »

L. Rossi se propose d'identifier les mécanismes assurant un bon mélange. Il utilise, pour cela, différents écoulements canoniques bidimensionnels, à très bas Reynolds ($Re = 10$), induits par des forces de volume électromagnétiques. Un bon mélange est assuré par l'alternance entre étirement et repliement produisant une croissance exponentielle de l'interface (analogie de Reynolds en 1886 entre mélange et pâtisserie (« baker process »)). L. Rossi remarque que les particules se séparent rapidement dans les zones à fort cisaillement, ceci étant lié aux effets de lamination (croissance de l'interface) créés par l'étirement dû au cisaillement de l'écoulement. Il montre, grâce à ses écoulements canoniques, que les effets d'étirement-repliement peuvent être reproduits efficacement par l'alternance entre cisaillement et tourbillon. Les tourbillons sont produits par deux jets perpendiculaires et le cisaillement est induit par deux jets, soit alignés soit légèrement décalés.