

Streaming de micro-bulles sous excitation acoustique : comment mélanger avec des bulles ?

Combriat Thomas¹, Thibault Pierre¹ & Marmottant Philippe¹

Laboratoire Interdisciplinaire de Physique
thomas.combriat@univ-grenoble-alpes.fr

Les systèmes microfluidiques permettent de manipuler de très faibles volumes de fluide et sont de plus en plus répandus dans le milieu scientifique. Leurs dimensions micrométriques impliquent que les écoulements se font à très faible nombre de Reynolds, rendant des opérations comme le mélange entre fluides difficiles.

Nous proposons ici une approche originale de ce problème basée sur l'introduction de bulles micrométriques dans ces systèmes qui permettent, lorsqu'elles sont excitées par un champ extérieur de pression périodique (onde ultrasonore), de forcer des écoulements intenses grâce au phénomène non linéaire d'écoulement redressé ou *streaming acoustique*. En effet les bulles, du fait de leur grande compressibilité comparée à l'eau, peuvent pulser avec de grandes amplitudes, ce qui en fait de bonnes sources secondaires de pression acoustique.

Les bulles sont injectées dans des canaux de polydiméthylsiloxane (PDMS) fabriqués par lithographie. La hauteur de ces canaux (entre 25 et 40 microns) est plus faible que la taille des bulles étudiées qui sont donc confinées dans leur dimension verticale, adoptant la forme de «pancakes». La position des bulles dans le canal peut être contrôlée grâce à des microcavités qui servent de piège, ce qui permet d'étudier de manière reproductible divers agencements de bulles.

L'excitation est faite entre 30 et 140 kHz afin d'être proche de la résonance des bulles dont le rayon est généralement compris entre 25 et 50 microns.

Du fait de la non linéarité de l'équation de Navier-Stokes, une excitation sinusoïdale de pression peut provoquer un écoulement de moyenne temporelle non nulle. Ce type d'écoulement redressé est observé aux alentours d'une bulle soumise à une onde ultrasonore du fait de l'oscillation radiale (mode 0) de sa surface à la fréquence d'excitation.

En présence d'autres bulles, du fait d'interactions véhiculées par des ondes de surface se propageant sur les parois du canal [1], une bulle peut également présenter d'autres modes d'oscillation comme par exemple un mode de translation (mode 1). La présence simultanée de différents modes (en particulier les modes 0 et 1) sur une bulle génère des écoulements bien plus intenses que ceux produits par un seul mode 0, du fait de la brisure de symétrie radiale de l'oscillation [2]. Ces écoulements issu d'un tel mode mixte ont la particularité d'être à relative grande portée (jusqu'à une dizaine de rayon de la bulle excitatrice) et très rapides (vitesse pouvant atteindre 1 mm.s^{-1}).

Nous étudions actuellement différentes configurations de bulles devant favoriser le mélange, à la fois sur le plan expérimental et grâce à des simulations numériques multibulles.

À terme, ces études doivent pouvoir se généraliser à l'étude des vibrations d'un grand nombre de bulles couplées, se comportant alors comme un métamatériau.

Références

1. RABAUD, D. *et al.*, Acoustically Bound Microfluidic Bubble Crystals, *Phys. Rev. Lett.*, **106**, (2011).
2. MEKKI-BERRADA, F. *et al.*, Interactions enhance the acoustic streaming around flattened microfluidic bubbles, Soumis au *Journal of Fluid Mechanics*.