

Oscillations de cylindres confinés à faibles nombres de Reynolds

Benoît Semin¹, Astrid Decoene², Jean-Pierre Hulin³, & Harold Auradou³

¹ Laboratoire de physique statistique, ENS, 24 rue Lhomond, 75 005 Paris

² Département de mathématiques, Bât. 452, Campus Univ., 91 405 Orsay

³ Laboratoire FAST, Bât. 502, Campus Univ., 91 405 Orsay

`benoit.semin@lps.ens.fr`

L'interaction d'une fibre et d'un écoulement en milieu confiné se rencontre par exemple lors de l'injection par un écoulement de fibres optiques dans une fracture rugueuse ou lors de la déformation de biofilms dans un dispositif microfluidique ou dans un milieu poreux naturel. La compréhension de ces phénomènes nécessite la connaissance des forces sur les fibres [1].

Nous avons ainsi étudié expérimentalement et numériquement l'effet de la portance subie par un cylindre rigide confiné entre deux plaques parallèles proches, soumis à un écoulement perpendiculaire [2]. Dans une première configuration, le cylindre est attaché et ne peut pas se déplacer dans la direction de l'écoulement, mais il est libre dans la direction de l'ouverture de la cellule. Sa longueur est proche de la largeur de la cellule, et le rapport de son diamètre à la distance entre les plaques vaut 0,66.

Dans cette configuration, le cylindre se place au centre de la cellule aux très faibles nombres de Reynolds. Au-delà d'un nombre de Reynolds seuil de l'ordre de $Re_c \sim 20$ (calculé en utilisant la vitesse moyenne de l'écoulement et la distance entre les plaques), le cylindre oscille spontanément, parallèlement aux plaques, de manière très régulière.

Pour les cylindres de densité inférieure à 4 fois celle du fluide, l'amplitude de l'oscillation augmente au-delà du seuil jusqu'à saturer à cause de la présence des plaques. Pour des cylindres plus denses, l'oscillation cesse au-delà d'un second nombre de Reynolds seuil Re_r (environ 50), et le cylindre se centre de manière stable au milieu des deux plaques.

Cette instabilité n'est pas liée à l'émission de tourbillons de type Bénard-Von Kármán qui engendreraient une portance fluctuante capable de mettre en mouvement le cylindre. En effet, le nombre de Reynolds au-delà duquel l'écoulement est instationnaire lorsque le cylindre est fixé au milieu de la cellule vaut 110, ce qui est très nettement supérieur au seuil de l'instabilité étudiée. Le couplage entre le fluide et l'écoulement est donc essentiel à l'instabilité.

Pour mieux comprendre l'instabilité, nous avons étudié les forces exercées sur le cylindre en régime sinusoïdal forcé pour une large gamme de fréquences. Cela a permis de montrer que la position du cylindre est solution d'une équation de Van der Pol. Le terme inertiel de cette équation est liée à la masse du cylindre ainsi qu'à un terme de masse ajoutée liée à l'accélération du fluide. Le terme de raideur est lié à la force qui s'exerce sur un cylindre immobile décentré, et peut se justifier par la dissymétrie amont-aval de l'écoulement liée à l'inertie du fluide. Le terme proportionnel à la vitesse du cylindre, i.e. le terme déclenchant l'instabilité, est plus difficile à comprendre à l'aide d'arguments qualitatifs simples. Une étude des champs de pression a permis de montrer qu'il ne peut pas être interprété en utilisant la relation de Bernoulli.

Dans une deuxième configuration, le cylindre sédimente entre les deux plaques, il n'est pas attaché et peut tourner librement autour de son axe. Le cylindre oscille spontanément parallèlement aux plaques, avec des nombres de Reynolds seuils similaire à ceux de la première configuration. L'oscillation subsiste si le cylindre sédimente dans un fluide en écoulement : l'oscillation est particulièrement robuste.

Références

- [1] M. V. D'Angelo, B. Semin, G. Picard, M. E. Poitzsch, J. P. Hulin and H. Auradou "Single Fiber Transport in a Fracture Slit : Influence of the Wall Roughness and of the Fiber Flexibility", *Transp. Porous Med.* **84** 389-408 (2010).
- [2] B. Semin, A. Decoene, J.-P. Hulin, M.L.M. François and H. Auradou, "New oscillatory instability of a confined cylinder in a flow below the vortex shedding threshold", *J. Fluid Mech.* **690** 345-365 (2012)