

Dynamique lente de particules matérielles dans un écoulement de von Kármán.

N. Machicoane¹, L. Fiabane¹, R. Zimmermann¹, M. Bourgoin², J-F. Pinton¹, & R. Volk¹

¹ Laboratoire de Physique - ENS Lyon - 46, allée d'Italie, 69007 LYON.

² Laboratoire des Ecoulements Géophysiques et Industriels, CNRS, UJF INPG, Grenoble, F-38041, France
nathanael.machicoane@ens-lyon.fr

La turbulence est caractérisée par la présence d'une vaste gamme d'échelles spatiales et temporelles, qui rendent sa description difficile. De nombreuses études ont été conduites sur des écoulements turbulents et sur la transition à la turbulence visant essentiellement à caractériser l'écoulement en lui-même. Cependant, la dynamique de particules matérielles advectées par un écoulement turbulent est encore peu étudiée. Les particules matérielles sont définies comme des particules non ponctuelles et dont la densité n'est pas nécessairement celle du fluide.

Nous étudions la dynamique de grosses particules matérielles dans un écoulement, avec deux densités ($\pm 10\%$ celle de l'eau), et quatre diamètres allant de 6 à 24mm. La taille de ces particules est donc du même ordre de grandeur que les plus grandes échelles de l'écoulement. Notre écoulement turbulent est un écoulement de von Kármán : deux disques à pales droites tournent en contra-rotation dans une cellule cubique remplie d'eau, produisant un fort écoulement moyen composé de deux cellules contra-rotatives et de recirculations axiales. L'écoulement est fortement anisotrope, et n'est homogène que dans une petite région au centre de l'écoulement. Les fluctuations de cette écoulement sont fortes (environ 30% de l'écoulement moyen). L'échelle intégrale, qui correspond à la taille des plus gros tourbillons de l'écoulement, où l'énergie est injectée, vaut environ 3cm. L'échelle de Kolmogorov, la plus petite échelle de l'écoulement, où l'énergie est dissipée, est de l'ordre de 20 μ m. Deux caméras rapides et des algorithmes de tracking permettent d'obtenir des trajectoires Lagrangiennes [1].

Nous observons une dynamique particulière pour ces particules : les plus petites particules explorent l'écoulement de façon homogène, tandis qu'à partir d'une certaine taille, les particules explorent les grandes structures de manière préférentielle, notamment les deux cellules contra-rotatives. Le centre de l'écoulement n'est que très peu visité.

Enfin, l'exploration préférentielle des particules influe également sur la densité spectrale de puissance de la position axiale. Pour une exploration homogène, le spectre présente un plateau à basse fréquence, dû au confinement des particules dans la cuve. Puis, à plus hautes fréquences, nous observons une pente de valeur -4 (donnant donc lieu à une pente de -2 pour la vitesse), signature d'un spectre Lagrangien de turbulence. Cependant, lorsque l'exploration préférentielle apparaît pour des plus grands diamètres, une pente intermédiaire d'environ -1.5 se situe entre le plateau et la coupure turbulente. Ce régime à fréquences intermédiaires est dû aux mouvements aller-retour des particules d'une cellule contra-rotatives à l'autre. Ce mouvement est possible car les grosses particules sont essentiellement sensibles à la dynamique des grandes structures de l'écoulement. La description du mouvement des grosses particules est très similaire à celle d'une particule brownienne confinée dans un potentiel à double puits, subissant des fluctuations à corrélations exponentielles suffisamment intenses pour traverser la barrière de potentielle séparant les deux puits. Un modèle statistique de Langevin avec un potentiel à deux puits [2] reproduit bien les densités de probabilités des expériences qui mettent en évidence l'exploration préférentielle. De plus, ce modèle conduit à des spectres de position présentant un plateau suivi d'une pente -2 puis d'une pente -4 , très similaires aux spectres expérimentaux.

Références

1. R. ZIMMERMANN, Rotational Intermittency and Turbulence Induced Lift Experienced by Large Particles in a Turbulent Flow, *Physical Review Letters* **106**, 154501 (2011).
2. N.G. VAN KAMPEN, *Stochastic processes in physics and chemistry*, Elsevier (1981).