

Événements extrêmes dans la dispersion relative turbulente

Bec, Bitane & Homann

Laboratoire J.-L. Lagrange UMR 7293, Université de Nice-Sophia Antipolis, CNRS, Observatoire de la Côte d'Azur, BP 4229, 06304 Nice Cedex 4, France.
jeremie.bec@oca.eu

Le comportement diffusif aux temps longs des traceurs d'un écoulement turbulent est souvent utilisé dans la modélisation du transport. Les propriétés de mélange sont alors décrites en termes d'une diffusivité turbulente effective. Cette démarche est par exemple utilisée pour le contrôle de la qualité de l'air afin d'évaluer les risques sur la santé d'une longue exposition en aval d'une source de polluants. Toutefois, ce type d'approche échoue lorsqu'on s'intéresse à l'éventualité de trouver une concentration locale excédant un certain seuil critique. Les fluctuations locales ne peuvent alors pas être déterminées à partir de la concentration moyenne puisqu'elles sont associées à ses moments d'ordres plus élevés. Les statistiques d'ordre deux, comme par exemple la corrélation spatiale d'un scalaire passif, peuvent s'exprimer en fonction du mouvement relatif de deux traceurs de l'écoulement turbulent. Dans la plus grande partie des applications, comme par exemple la météorologie, l'ingénierie mécanique, la biologie, cette dynamique est approchée par le modèle de diffusivité turbulente de Richardson.

Nous étudions ici les propriétés statistiques de la dispersion relative de paires de traceurs lagrangiens dans un écoulement turbulent homogène isotrope. Nous utilisons pour cela les résultats de simulations numériques directes de l'équation de Navier–Stokes effectuées avec 4096^3 points de grille pour atteindre un nombre de Reynolds $R_\lambda \approx 730$. Une attention particulière est portée aux fortes fluctuations subies par les traceurs. Nous observons que la distribution de leurs distances atteint un régime quasiment auto-similaire caractérisé par une très faible intermittence. L'échelle de temps de convergence vers ce comportement est donnée par le temps de dissipation de l'énergie cinétique mesuré à l'échelle donnée par la séparation initiale entre les traceurs.

Au contraire, les différences de vitesse entre traceurs montrent un comportement fortement anomal dont les propriétés d'échelle sont très proches de celles des fonctions de structure lagrangiennes. Ces fluctuations violentes sont interprétées de manière géométrique et nous montrons qu'elles sont responsables d'une mémoire à long terme de la séparation initiale. Malgré cette forte intermittence, le taux local moyen de transfert d'énergie, défini comme la valeur moyenne du rapport entre le cube de la différence de vitesse longitudinale et la distance entre les traceurs, atteint un régime statistiquement stationnaire sur des temps relativement courts.

Finalement, ces résultats sont rassemblés pour s'attaquer à la question des événements violents dans la distribution des distances. Nous trouvons que les séparations les plus grandes sont atteintes par les paires de traceurs qui se sont toujours séparées très vite depuis l'instant initial. Elles sont responsables de la présence d'une queue exponentielle étirée dans la distribution des distances entre traceurs. Aux temps longs, cette queue devient plus proche d'une exponentielle que de la distribution prédite par l'approche diffusif de Richardson. En même temps, la distribution des distances développe un comportement algébrique aux petites valeurs que nous interprétons en termes de géométrie fractale. Les données numériques suggèrent que cet exposant converge vers 1, ce qui est de nouveau en conflit avec la distribution de Richardson. Ces deux comportements asymptotiques nous montrent que la turbulence mélange d'une manière bien moins efficace que ce qui est prédit par l'approche de Richardson.

Références

1. R. Bitane, H. Homann et J. Bec. Time scales of turbulent relative dispersion. *Physical Review E* **86** :045302, 2012.
2. R. Bitane, H. Homann et J. Bec. Geometry and violent events in turbulent pair dispersion. *Journal of Turbulence*, sous presse, 2013.