

Turbulence synthétique multifractale : modélisation et simulation à l'aide d'ondelettes à divergence nulle et de cascades aléatoires

Clément MORHAIN, EM2C & CMAP - Gif-sur-Yvette

Marc MASSOT, CMAP - École Polytechnique - Palaiseau

Aymeric VIÉ, EM2C - CentraleSupélec - Université Paris-Saclay - Gif-sur-Yvette

Pour des écoulements turbulents, la résolution numérique directe des équations de Navier-Stokes reste limitée à des nombres de Reynolds modérés. Cela motive le développement de modèles pour une simulation d'ordre réduit de ces écoulements, tout en reproduisant les statistiques connues de la turbulence. Dans cet esprit, nous avons récemment développé un modèle de turbulence homogène isotrope (THI) qui permet de reproduire certaines statistiques eulériennes et lagrangiennes bien connues. Ce modèle repose sur une base d'ondelettes à divergence nulle [1], dont l'évolution temporelle des coefficients de détail est modélisée par des processus stochastiques. Dans [3], nous avons montré que la modélisation des détails par des processus d'Ornstein-Uhlenbeck permet de reproduire un spectre d'énergie, ainsi que le phénomène de concentration préférentielle des particules inertielles, voir Fig. 1. Ce modèle gaussien pour les détails ne permet cependant pas de reproduire les statistiques d'ordre élevé de la THI, en particulier celles liées à l'intermittence.

Afin tenir compte de ce phénomène caractérisé par les statistiques multifractales du champ de vitesse, nous avons choisi de modéliser les détails à partir d'un champ de dissipation local en échelle et en espace, construit à partir d'un processus de cascade multiplicative issu de [2]. Ce nouveau modèle non gaussien pour les détails permet d'obtenir un champ de vitesse multifractal dont les statistiques d'ordre élevé sont cohérentes avec celles de la THI intermittente. Une évolution de ces coefficients est également proposée afin de préserver les propriétés d'intermittence dans le temps [4].

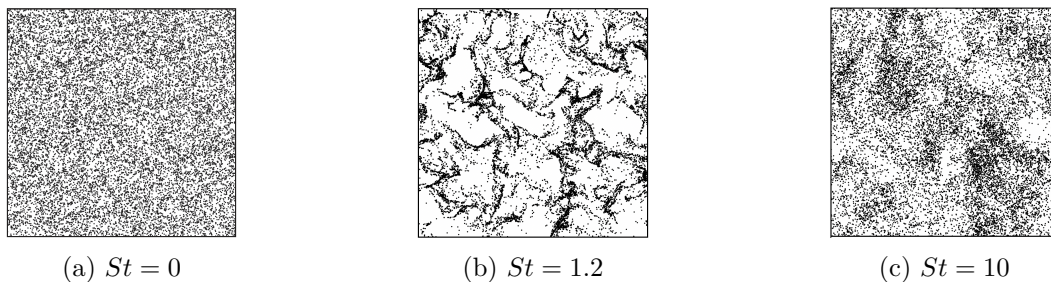


FIGURE 1 – Particules dans un champ de turbulence synthétique selon le nombre Stokes St (inertie).

- [1] E. Deriaz, V. Perrier. *Divergence-free and curl-free wavelets in two dimensions and three dimensions : Application to turbulent flows*. Journal of Turbulence, **7**, N3, 2006. doi : 10.1080/14685240500260547.
- [2] A. S. Monin, A. M. Yaglom. *Statistical fluid mechanics. 2*. MIT Press, Cambridge, MA, 1981 ed., 1965.
- [3] C. Morhain, R. Letournel, M. Massot, A. Vié. *Hybrid stochastic-structural reduced-order modelling of particle-laden turbulent flows based on wavelet reconstruction*. Under review, 2025.
- [4] C. Morhain, M. Massot, A. Vié. *Synthesizing turbulence from divergence free wavelets and random multiplicative cascades : an intermittent hit model*. In preparation.