

Etude lagrangienne de la dispersion dans un canal plan turbulent

N. Stelzenmuller^a, N. Mordant^b

a. Université Grenoble Alpes, LEGI, CNRS F-38000 Grenoble, France.
nick.stelzenmuller@legi.grenoble-inp.fr

b. Université Grenoble Alpes, LEGI, CNRS F-38000 Grenoble, France. Institut
Universitaire de France, 103, bd Saint Michel, F-75005 Paris, France.
nicolas.mordant@ujf-grenoble.fr

Résumé :

Nous effectuons une étude expérimentale lagrangienne de la dispersion de traceurs passif par un écoulement turbulent dans un canal plan entre deux parois parallèles. Nous suivons la trajectoire de particules de flottabilité nulle par imagerie ultrarapide. Nous analysons ainsi les propriétés statistique des trajectoires, vitesses et accélération en fonction de la distance au parois.

Abstract :

We report an experimental Lagrangian study of the dispersion of passive tracers by a turbulent flow in a planar channel flow (between two parallel walls). We track non buoyant particles by ultrafast high speed imaging. In this way, we can analyse the statistical properties of the particle trajectory, velocity or acceleration as a function of the distance to the wall.

Mots clefs : Dispersion, Couche limite turbulente, Canal plan turbulent, Approche lagrangienne, Particules

La dispersion de polluants ou d'aérosols s'exprime de façon naturelle dans un formalisme lagrangien faisant intervenir les trajectoires des particules (fluides ou solides). Cependant ce formalisme est délicat à utiliser de manière théorique et les expériences ont été longtemps très difficiles à mettre en oeuvre, en particulier dans un contexte turbulent, du fait de la nécessité de résoudre les échelles spatiales et temporelles. L'avènement de caméras numériques très rapides au tournant du 21^e siècle a ouvert la possibilité de telles expériences. L'attention c'est alors focalisée prioritairement sur la turbulence homogène isotrope [1, 2, 3] mais des travaux plus récents s'intéressent au cas d'écoulements inhomogènes, en particulier sur le cas de la couche limite turbulente [7]. La

motivation de ces dernières études est notamment reliée à la problématique du transport de polluants dans la couche limite atmosphérique ou des problèmes industriels de transport ou mélange dans des enceintes confinées ou des conduites. Une des voies de recherche est la modélisation stochastique de la dispersion, en particulier pour le calcul sous-maille des simulations numériques [4, 5].

Nous nous intéressons au cas d'un écoulement turbulent dans un canal plan. Cet écoulement est relativement académique mais possède des couches limites turbulentes tout en maintenant un certain nombre de propriétés de symétrie et d'homogénéité qui en facilitent l'étude statistique et en font un écoulement de référence [6]. Nous disposons d'une boucle hydrodynamique à eau en circuit fermé dont la section d'essai est une conduite de section rectangulaire de section $37.5 \times 316 \text{ mm}^2$ (rapport d'aspect 8.4) et 3m20 de longueur de manière à assurer un développement des couches limites et une zone d'homogénéité longitudinale de l'écoulement. La vitesse centrale de l'écoulement est de l'ordre de 2 m/s et donne donc un nombre de Reynolds $R_0 \sim 37000$. Ce nombre de Reynolds est suffisamment élevé pour assurer une turbulence développée et maintenu volontairement relativement modéré pour assurer que les échelles spatiales en paroi demeurent assez grandes pour permettre une mesure suffisamment résolue en espace.

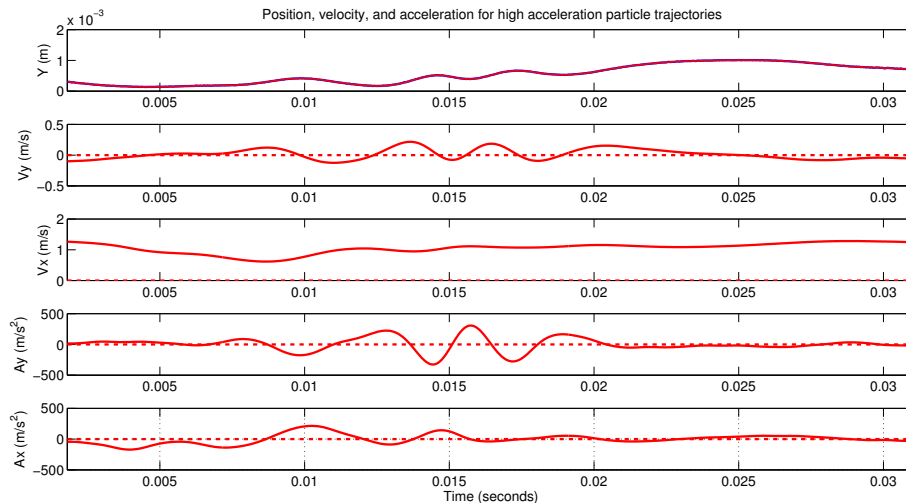


FIGURE 1 – Exemple de trajectoire, vitesse et accélération mesurée à 25000 images/s.

Nous mesurons le mouvement de particules fluorescentes de polystyrène (de densité 1.05) de taille 10 microns par une caméra Phantom v2511 de Vision Research fournissant une cadence de 25000 images/s sur un capteur Mégapixel. Cette cadence est rendue nécessaire par la nécessité d'avoir une résolution temporelle suffisante pour dériver deux fois les trajectoires pour accéder à l'accélération [3, 8]. Un exemple de telles quantités est présenté sur la figure 1.

Nous présenterons les propriétés statistiques observées sur les trajectoires, la vitesse

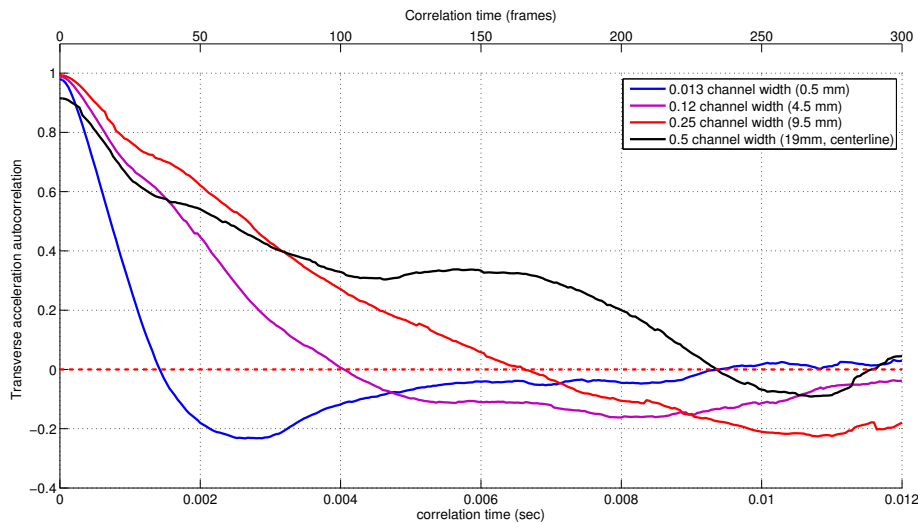


FIGURE 2 – Fonctions de corrélation de l'accélération normale $\langle a_y(0)a_y(\tau) \rangle$ mesurées pour des ensembles de trajectoires initialement situées à des distances $y(t=0) = 0.5, 4.5, 9.5$ et au centre (de bas en haut).

et l'accélération des particules. On s'attachera notamment à caractériser les échelles de temps associées à ces quantités en fonction de la distance à la paroi. La figure 2 montre les fonctions de corrélation de l'accélération transverse pour des trajectoires issues de différentes positions respectivement à la paroi. On observe très nettement la variation de l'échelle de temps, nettement plus courte au voisinage de la paroi qu'au coeur de l'écoulement.

On présentera plus précisément le dispositif expérimental et ainsi que l'analyse statistique des trajectoires.

Références

- [1] F. Toschi et E. Bodenschatz, *Lagrangian properties of Particles in Turbulence*, Ann. Rev. Fluid Mech., 2009.
- [2] N. Mordant, P. Metz, O. Michel et J.-F. Pinton, *Measurement of Lagrangian velocity in fully developed turbulence*, Phys. Rev. Lett., 87, 2001.
- [3] A. La Porta, G.A. Voth, A.M. Crawford, J. Alexander et E. Bodenschatz, *Fluid particle accelerations in fully developed turbulence*, Nature, 409, 2001.
- [4] A. Tanière, B. Arcen, B. Oesterlé et J. Pozorski, *Study on Langevin model parameters of velocity in turbulent shear flows*, Phys. Fluids, 22, 2010.

-
- [5] R. Zamansky, I. Vinkovic et M. Gorokhovski, *LES approach coupled with stochastic forcing of subgrid acceleration in a high-Reynolds-number channel flow*, J. Turbulence, 11, 2010.
 - [6] A.J. Smits, B.J. McKeon et I. Marusic, *High-Reynolds number wall turbulence*, Ann. Rev. Fluid Mech., 2011.
 - [7] J.L.G. Oliveira, C.W.M. van der Geld et J. G. M. Kuerten, *Lagrangian and Eulerian Statistics of Pipe Flows Measured with 3D-PTV at Moderate and High Reynolds Numbers*, Flow Turbulence Combust., 91, 2013.
 - [8] N. Mordant, A.M. Crawford, E. Bodenschatz, *Experimental Lagrangian acceleration probability density function measurement*, Physica D 193, 2004.