

Effondrement de la turbulence transitionnelle calculé par une méthode d'évènements rares

Joran Rolland¹

Laboratoire de Mécanique des Fluides de Lille
joran.rolland@centraleslille.fr

La transition vers la turbulence de paroi a ceci de particulier qu'elle ne se produit pas par une série d'instabilités linéaires, comme pour la convection thermique par exemple. En pratique, dans une configuration canonique comme Couette plan, l'écoulement entre deux plaques parallèles en mouvement à vitesse $\pm U$ séparés de $2h$, l'écoulement laminaire est toujours linéairement stable. Cependant, la turbulence de paroi peut exister à partir de nombre de Reynolds $R \gtrsim 350$ ($R = \frac{hU}{\nu}$ avec ν la viscosité cinématique du fluide). Dans un système de taille finie, cela conduit à une situation de multistabilité où la turbulence peut s'effondrer au bout d'un temps fini : une variable aléatoire dont la moyenne T peut être vu comme un temps de premier passage moyen.

Ce temps de premier passage moyen va nécessairement croître très rapidement avec le nombre de Reynolds, mais la dépendance exacte dépend de la configuration de l'écoulement. Un fort accent a été mis sur l'écoulement de Poiseuille dans une conduite [3], ainsi que sur des écoulements de Couette ou Poiseuille où la coexistence laminaire-turbulente est forcée par l'inclinaison du domaine (avec une complexité comparable à une conduite) [4]. Dans ces configurations, il est possible d'étudier l'effondrement des bouffées turbulentes isolées. Cependant dans un écoulement de Couette plan naturel (tel qu'on peut l'étudier expérimentalement) la turbulence s'étend dans deux directions, et cela change la façon dont elle s'effondre [1]. C'est précisément ce qui est étudié dans cette communication. De manière à rendre très efficace le calcul de réalisations d'effondrement, qui deviennent de plus en plus rare à mesure que le nombre de Reynolds ou les dimensions du domaine d'écoulement sont augmentés [6], une méthode d'étude d'évènements rares est utilisée [2].

L'utilisation d'une version modifiée de l'Adaptive Multilevel Splitting permet de calculer efficacement des trajectoires d'effondrement dans des domaines rectangulaires qui contiennent bien plus de structures turbulentes que cela a été fait auparavant. Dans ces domaines plus larges, il est alors possible de mettre en évidence que l'effondrement de la turbulence possède beaucoup de propriétés de la multistabilité dans les systèmes stochastiques, comme la concentration des trajectoires autour d'une trajectoire typique, ou la forme de la distribution des durées de trajectoire. De plus, cela permet de mettre en évidence le caractère spatial de l'effondrement de la turbulence : plus la taille du domaine est grande, plus un scénario d'effondrement par formation de trous laminaires est prépondérant. Localement, il apparait que la formation de ces trous se produit par l'arrêt du processus d'auto-entretien de la turbulence lors de la formation des vortex longitudinaux [7], laissant des stries qui déclinent plus lentement sous l'effet de la viscosité. On peut ainsi vérifier de manière systématique, et avec des champ de vitesse détaillé ce qui était suggéré dans des modèles [6], des expériences forcées [5] ou des simulations [4].

Références

1. S. Bottin, H. Chaté, Eur. Phys. J. B **6**, 143-155 (1998).
2. F. Céro, A. Guyader, M. Rousset, Chaos **29**, 043108 (2007).
3. B. Eckhardt, T. Schneider, B. Hof, J. Westerweel, Annu. Rev. Fluid Mech. **39**, 447-468, (2007).
4. S. Gomé, L. S. Tuckerman, D. Barkley, Phys. Rev. F **5**, 083905 (2020).
5. T. Liu, B. Semin, L. Klotz, R. Godoy-Diana, J. E. Wesfreid, T. Mullin, arXiv :2008.08851, (2020).
6. J. Rolland, Phys. Rev. E **97**, 023109 (2018).
7. F. Waleffe, Phys. Fluids **9**, 883-900 (1997).