

# La transition vers la turbulence induite par du bruit de l'écoulement de Couette plan contourne-t'elle les instantons ?

Joran Rolland<sup>1</sup>,

Univ. Lille, CNRS, ONERA, Arts et Métiers Institute of Technology, Centrale Lille, UMR 9014 - LMFL -  
Laboratoire de Mécanique des Fluides de Lille - Kampé de Fériet, F-59000 Lille, France.  
joran.rolland@centralelille.fr

Comme d'autres écoulements de paroi, l'écoulement de Couette plan, d'un fluide de viscosité cinématique  $\nu$  entre deux parois séparées d'une distance  $2h$  se déplaçant à vitesse  $\pm U$ , a une transition particulière vers la turbulence. L'écoulement de base laminaire est linéairement stable pour tout nombre de Reynolds  $R = \frac{hU}{\nu}$ , le principal paramètre de contrôle adimensionné. Cependant, la turbulence peut exister de manière localisée en espace dès que  $R \gtrsim 330$ . Dans ce cas, son existence est transitoire, avec un temps de vie qui augmente extrêmement rapidement avec le nombre de Reynolds et avec les tailles longitudinales  $L_x$  et transverses  $L_z$  du domaine de l'écoulement.

On a ainsi une situation bistable entre l'écoulement laminaire et l'écoulement turbulent. Nous considérons ici le passage de l'écoulement laminaire vers l'écoulement turbulent sous un forçage stochastique principalement contrôlé par son taux d'injection d'énergie  $\epsilon$  [3]. Lorsque le taux d'injection d'énergie est réduit, l'observation d'une trajectoire allant du voisinage de l'écoulement laminaire vers la turbulence devient rare. Ces trajectoires sont donc systématiquement échantillonnées à l'aide d'une méthode de simulation d'évènements rares [2], accompagnée de validations.

De manière surprenante, les trajectoires échantillonnées n'ont que partiellement les propriétés des instantons, les trajectoires les plus probables structurant les évènements de métastabilité dans la limite  $\epsilon \rightarrow 0$ . Si l'on observe entre autre une croissance exponentielle avec  $\frac{1}{\epsilon}$  du temps d'attente  $T$  avant un évènement, et une concentration des trajectoires à  $\epsilon$  donné, des éléments clefs sont manquants. Ainsi, la trajectoire autour de laquelle les évènements se concentrent évolue lentement avec  $\epsilon$ . De plus, si ces trajectoires traversent la séparatrice entre écoulement laminaire et turbulent, elles le font relativement loin du point col le plus proche, au contraire d'un instanton. Le lent déplacement des trajectoires dans l'espace des phases laisse penser qu'elles peuvent rejoindre un instanton, mais qu'elles le feraient à des  $\epsilon$  très petits et des temps d'attente excessivement longs. Ce comportement est observé dans des domaines de tailles  $L_x \times L_z$  minimales et dans des domaines de tailles croissantes où de la coexistence laminaire-turbulente se manifeste. Ce comportement pourrait être similaire à celui décrit pour la première fois dans le cadre plus simple de la transition induite par du bruit, d'une onde non linéaire vers l'écoulement de base de l'écoulement de Poiseuille plan. Dans ce cas, les instantons passent par un état médiateur près de la séparatrice, où les trajectoires traversent effectivement [4]. Il est comparable à celui décrit dans des modèles à quelques degrés de libertés motivés par la géophysique [1].

## Références

1. R. BÖRNER, R. DEELEY, R. RÖMER, T. GRAFKE, V. LUCARINI, U. FEUDEL, arXiv :2311.10231 (2023).
2. F. CÉROU, A. GUYADER, *Stoch. Analysis and Appl.* **25**, 417–443 (2007) .
3. J. ROLLAND, arxiv :2401.05555 (2024).
4. X. WAN, H. YU, W. E, *Nonlinearity*, **28**, 1409 (2015).