

Étude numérique efficace des effondrements et développements rares de la turbulence de paroi transitionnelle.

Joran Rolland

Laboratoire de Physique à l'ENS de Lyon, UMR CNRS 5672, Univ. Lyon, Univ. Claude Bernard Lyon 1, France
joran.rolland@ens-lyon.fr

L'écoulement de Couette plan, d'un fluide de viscosité cinématique ν , entre deux plaques situées en $y = \pm h$ en mouvement à vitesse $\pm U e_x$ est un exemple typique d'écoulement de paroi. Ces écoulements sont linéairement stables pour tout nombre de Reynolds $R = \frac{hU}{\nu}$. Par conséquent, des conditions initiales localisées d'amplitude finie sont nécessaires pour les faire évoluer vers la turbulence. Ces particularités se retrouvent aussi dans des écoulements de paroi d'intérêt en aérodynamique, en météorologie ou en biophysique, ce qui motive des études d'écoulements académiques. Le fait qu'il faille partir d'une condition initiale d'amplitude finie pour développer de la turbulence est lié à l'existence d'une "séparatrice" entre écoulement laminaire et turbulent, vus dans l'espace des phases [1]. Ce problème peut alors être vu comme un système bistable : sous un forçage l'écoulement laminaire peut évoluer vers la turbulence, tandis qu'un écoulement turbulent peut s'effondrer et naturellement redevenir laminaire. Dans cette communication, je présente l'étude de cette bistabilité dans l'écoulement de Couette plan.

Lorsque le taux d'injection d'énergie du forçage est réduit, le temps d'attente avant le développement de la turbulence croît exponentiellement rapidement. De même lorsque le nombre de Reynolds ou la taille $L_x \times L_z$ du système sont augmentés, le temps de vie de la turbulence augmente exponentiellement. Dans les deux cas, les événements d'intérêt sont rares. Je les étudie donc avec des approches dédiées, qui ont été testées sur des systèmes modèles [2], cette fois ci appliquées à des simulations de l'écoulement de Couette plan. L'utilisation de ces méthodes permet d'échantillonner de manière très rapide (par rapport à une simulation numérique directe) un très grand nombre de trajectoire conduisant aux événements rares et d'estimer les temps d'attentes correspondants. Des événements auparavant décrit sur quelques exemples peuvent alors devenir des faits statistiques.

En premier lieu, je présente le développement de la turbulence de paroi, partant d'un écoulement laminaire, sous un forçage stochastique de couleur prescrite. Ces calculs sont réalisés dans des domaines de taille restreints $L_x \times L_z = 6h \times 4h$, dits *minimal flow units* [3]. En faisant tendre vers 0 le taux d'injection d'énergie du forçage, on note la concentration des dynamiques de développement de la turbulence autour de chemin spécifiques, ce qui indique une phénoménologie d'instantons. Il apparaît aussi que la durée de ces trajectoires augmente exponentiellement rapidement avec le taux d'injection d'énergie, ce qui est très probablement une conséquence de la complexité de la séparatrice entre écoulement laminaire et turbulent.

En second lieu, je présente l'effondrement de la turbulence sous ses propres fluctuations. Ces calculs sont réalisés dans des domaines de taille croissante (jusqu'à $L_x \times L_z = 36h \times 27h$), pour mettre en évidence le caractère spatial de l'effondrement de la turbulence dans l'écoulement de Couette plan [4]. La dynamique d'effondrement passe par la création d'un trou laminaire, puis son extension. De plus, d'un point de vue méthodologique, ces simulations représente un jalon, car elles sont l'une des premières applications donnant de bons résultats d'une méthode de calcul d'évènements rares à une dynamique déterministe.

Références

1. F. Waleffe, Phys. Fluids **7**, 3060–3066 (1995).
2. J. Rolland, Phys. Rev. E, **97**, 023109 (2018).
3. J. Jimenez, P. Moin, J. Fluid Mech. **225**, 213–240 (1991)
4. P. Manneville, Fluid Dyn. Res. **43**, 065501 (2011).