Modéliser les grandes échelles dans les écoulements de paroi transitionnels

Paul Manneville

Laboratoire d'Hydrodynamique, UMR 7646, École Polytechnique, 91128 Palaiseau, France
paul.manneville@ladhyx.polytechnique.fr

Contrastant avec les écoulements de cisaillement libre qui cascadent vers la turbulence de façon globalement super-critique à relativement bas nombre de Reynolds (R), les écoulements contrôlés par les effets visqueux à proximité de parois solides transitent de façon résolument sous-critique, restant linéairement stables jusqu'à des valeurs de R suffisamment élevées pour que des régimes non-triviaux (permis par la non-linéarité des équations de Navier–Stokes) puissent exister en compétition avec le régime laminaire. Sur un intervalle en R limité appelé *régime transitionnel*, cette compétition prend la forme de poches sièges d'un écoulement turbulent à petite échelle (*puffs*/*slugs*, *spots*/*stripes*, etc.) coexistant avec un écoulement resté laminaire. Une compréhension détaillée de la transition dans les différents cas d'intérêt est rendue difficile précisement par la présence de deux échelles spatio-temporelles, une *grande*, celle du motif laminaire/turbulent présentant des interfaces statistiquement bien définis et évoluant *lente*ment, et une *petite*, interne aux régions agitées d'une turbulence *rapide*. Même si des progrès sensibles ont été enregistrés récemment [1], d'importants problèmes restent mal compris, notamment le rôle de l'écart au profil de base dans les domaines restés laminaires qui, à l'échelle du motif, semble important pour rendre compte de la croissance des poches turbulentes [2] ou pour fixer l'angle des bandes turbulentes [3].

Étendant une approche antérieure reposant sur un modèle simplifié d'écoulement de Couette plan [4], je présenterai les équations générales qui gouvernent les grandes échelles d'écoulement. Ces dernières sont engendrées par les tensions de Reynolds au sein des poches turbulentes résultant d'un moyennage sur les (produits de) fluctuations aux petites échelles. Le problème sera ensuite fermé par l'écriture des équations qui régissent ces dernières et dans lesquelles les grandes échelles sont présentes sous la forme de termes d'advection effectifs. Dans un troisième temps le problème relatif aux petites échelles sera résolu *via* une hypothèse de type "Minimal Flow Unit" [5] qui conduit à un système généralisant le modèle de Waleffe [6] décrivant le processus local d'auto-entretien de la turbulence.

Cette approche explicite les intuitions de Hayot et Pomeau [6] concernant les aspects non-locaux associés au maintien du motif laminaire-turbulent. Mis en évidence pour l'écoulement de Couette, le feedback entre petites et grandes échelles ainsi décrit est générique et, moyennant des modifications spécifiques appropriées, se transpose aux autres cas moins académiques, écoulement dans un canal, couche limite, etc.

Références

1. P. Manneville, On the transition to turbulence of wall-bounded flows in general, and plane Couette flow in particular, Eur. J. Mech. B/Fluids **49** (2015) 345–362.
2. Y. Duguet, P. Schlatter, Oblique laminar-turbulent interfaces in plane shear flows, Phys. Rev. Lett. **110** (2013) 034502.
3. D. Barkley, L.S. Tuckerman, Mean flow of turbulent-laminar patterns in plane Couette flow, J. Fluid Mech. **576** (2007) 109–137.
4. M. Lagha, P. Manneville, Modeling of plane Couette flow. I. Large scale flow around turbulent spots, Phys. Fluids **19** (2007) 094105.
5. J. Jiménez, P. Moin, The minimal flow unit in near wall turbulence, J. Fluid Mech. **225** (1991) 213–240.
6. F. Waleffe, On a self-sustaining process in shear flows, Phys. Fluids **9** (1997) 883–900.
7. F. Hayot, Y. Pomeau, Turbulent domain stabilization in annular flows, Phys. Rev. E **50** (1994) 2019–2021.