

Loi d'échelle pour la transition sous-critique de l'écoulement de Poiseuille plan

Grégoire Lemoult, Jean-Luc Aider, & Jose Eduardo Wesfreid

PMMH, École Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles, 10 rue Vauquelin, 75005 Paris, France
gregoire.lemoult@espci.fr

Depuis plus d'un siècle, l'étude de la transition vers la turbulence dans des écoulements cisailés a été un domaine prolifique d'étude [1]. Malgré de nombreux travaux théoriques, il n'a pas encore été possible de prévoir correctement ce processus, y compris pour des géométries aussi simple que l'écoulement de Poiseuille plan ou cylindrique ou l'écoulement de Couette. Dans le cas de l'écoulement de Poiseuille plan, la théorie de la stabilité linéaires prédit un nombre de Reynolds critique $Re_c = 5772$, où $Re = u_c h / \nu$ avec u_c la vitesse au centre du canal, h la demi hauteur et ν la viscosité cinématique du fluide. Expérimentalement, on observe que la transition se produit pour des Re sensiblement plus faibles, $1000 < Re < 2000$. A ces nombres de Reynolds, on observe qu'il y a cohabitation de zones laminaires et de zones turbulentes appelés "puffs" [2]. La transition vers la turbulence dans ces écoulements reste l'un des problèmes fondamentaux encore non résolu en mécanique des fluides.

Nous présentons ici une étude expérimentale de la transition vers la turbulence dans un écoulement de Poiseuille plan soumis à des perturbations d'amplitudes finies. Le canal dans lequel nous avons réalisé les expériences est long de 3 mètres et a une section de 20x150 mm. La conception de l'entrée du canal allié aux connections précises entre les éléments de celui-ci nous permettent de conserver des écoulement laminaires jusqu'à $Re = 5500$ minimum. Nous pouvons donc étudier précisément l'impact d'une perturbation sous forme de jets continus au travers de trous percés dans la paroi supérieure. le rapport des vitesses des jets et de u_c , noté A , varie entre 0 et 1. Dans ces régimes, chaque jet va induire une paire de vortex longitudinaux contra-rotatifs, qui vont générer par effet "lift-up" des stries de vitesse lente et rapide. Ces structures cohérentes sont proches de celles observées dans la transition naturelle [3]. Nous avons étudié l'effet de cette perturbation sur l'écoulement en utilisant à la fois de la visualisation par fluorescence induite par LASER (LIF) et de la vélocimétrie par image de particules (PIV).

En utilisant la déformation du profil moyen de vitesse pour définir l'état du système, nous avons pu construire un diagramme de phase pour différents Re et A . Nous avons déterminé pour chaque valeur de Re l'amplitude minimale d'une perturbation A_c qui déclenche la transition vers la turbulence. Nous avons montré que, pour des nombres de Reynolds suffisamment grands, A_c tend asymptotiquement vers une loi de puissance :

$$A_c = O(Re^{-1})$$

Ce résultat est en bonne adéquation avec la prédiction théorique de F. Waleffe et J. Wang [4]. Au travers d'une réduction 3D non-linéaire des équations de Navier-Stokes, ils ont adoptés l'idée d'un processus d'auto entretien de la turbulence et ont montré que l'amplitude minimale d'une perturbation permettant de déclencher la turbulence tendait asymptotiquement vers une loi de puissance en -1.

Références

1. T. MULLIN, Experimental Studies of Transition to Turbulence in a Pipe, *Annual Review of Fluid Mechanics*, **43**, 1-24 (2011).
2. D.R. CARLSON, S.E. WIDNALL. AND M.F. PEETERS, A flow-visualization study of transition in plane Poiseuille flow, *Journal of Fluid Mechanics*, **121**, 487-505 (1982).
3. H. FAISST AND B. ECKHARDT, Traveling waves in pipe flow, *Physical Review Letters*, **91** (22), 224502 (1975).
4. F. WALEFFE AND J. WANG, Transition threshold and the self-sustaining process, *IUTAM Symposium on Laminar-Turbulent Transition and Finite Amplitude Solutions*, 85-106 (2005).