

Reformulation énergétique-géométrique du tenseur de Reynolds associé à une onde tridimensionnelle et applications

Roland Nicolas, Plaut Emmanuel, & Nouar Chérif

LEMTA, CNRS-INPL-UHP, 2 avenue de la Forêt de Haye, 54516 Vandoeuvre-lès-Nancy cedex
Nicolas.Roland@ensem.inpl-nancy.fr

En modélisation de la turbulence et en théorie des instabilités hydrodynamiques, on sépare souvent l'écoulement moyen \mathbf{V} de l'écoulement fluctuant \mathbf{v} . Le tenseur de Reynolds

$$\underline{\underline{\tau}} = -\langle \mathbf{v} \otimes \mathbf{v} \rangle ,$$

où les crochets désignent une prise de moyenne adéquate, exprime la rétroaction de l'écoulement fluctuant sur l'écoulement moyen [1]. Il intervient aussi dans l'équation de l'énergie des perturbations, via une contraction avec le tenseur gradient de \mathbf{V} , d'où son importance en théorie des instabilités. Dans ce dernier cas, on pourrait espérer avoir une compréhension plus fine de la structure du tenseur de Reynolds, sachant que la partie fluctuante du champ de vitesse prend, au voisinage du seuil d'une instabilité, une forme simple, par exemple celle d'une onde pure. Malgré cela, la structure du tenseur de Reynolds, ou du moins de ses composantes non diagonales - les composantes diagonales pouvant être assimilées à des énergies cinétiques partielles -, reste assez mystérieuse. D'ailleurs, on se contente souvent d'estimations « moyennes » assez grossières ou d'un calcul purement numérique de ce tenseur.

L'objet de ce travail est de proposer une reformulation énergétique-géométrique du tenseur de Reynolds créé par une onde pure tridimensionnelle, en généralisant la reformulation proposée par [2,3] dans le cas bidimensionnel. Cette reformulation sera illustrée par l'étude des ondes fortement non linéaires apparaissant en écoulements en conduite cylindrique découvertes récemment [4,5], et qui joueraient un rôle très important dans la transition vers la turbulence [6]. Cette reformulation permet de mieux comprendre le « procédé d'auto-entretien » de ces ondes non linéaires, proposé par [7] dans une géométrie plane plus simple, et repris par [5] en géométrie cylindrique. Plus précisément, l'instabilité inflexionnelle des jets attachés à l'onde et la rétroaction de l'onde sur les vortex associés sont deux étapes du « procédé d'auto-entretien » qui se trouvent clarifiées. Cette reformulation repose sur une « nouvelle » description de la géométrie des écoulements associés aux ondes, grâce à deux familles de « surfaces séparatrices ». Elle pourrait s'avérer utile dans d'autres contextes où des ondes non linéaires jouent un rôle important, par exemple en fluides non newtoniens.

Références

1. O. REYNOLDS, On the dynamical theory of incompressible viscous fluids and the determination of the criterion, *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond.* **186**, 123-164 (1895).
2. E. PLAUT, Sur la création de modes de vitesse ou de pression moyens par des ondes : une expression physique générale de la contrainte de Reynolds, *Communication* **1316** au 17^{ème} CFM (2005).
3. E. PLAUT, Y. LEBRANCHU, R. SIMITEV & F. H. BUSSE, On the Reynolds stresses and mean fields generated by pure waves - Applications to shear flows and rotating convection, *Soumis au J. Fluid Mech.* (2007).
4. H. FAISST & B. ECKHARDT, Traveling waves in pipe flow, *Phys. Rev. Lett.* **91**, 224502, 1-4 (2003).
5. H. WEDIN & R. R. KERSWELL, Exact coherent structures in pipe flow : travelling wave solutions, *J. Fluid Mech.* **508**, 333-371 (2004).
6. F. H. BUSSE, Visualizing the dynamics of the onset of turbulence, *Science* **305**, 1574-1575 (2004).
7. F. WALEFFE, On a self-sustaining process in shear flows, *Phys. of Fluids* **9**, 883-900 (1997).