

Inéquivalence d'ensemble d'états stationnaires turbulents

Brice Saint-Michel, Bérengère Dubrulle, Cécile Wiertel, Vincent Padilla, & François Daviaud

CEA Saclay, Orme des Merisiers, 91191 Gif-sur-Yvette Cedex
brice.saint-michel@cea.fr

Les systèmes à longue portée possèdent une caractéristique étonnante d'*inéquivalence d'ensemble* : parfois, les solutions obtenues dans l'ensemble canonique et dans l'ensemble microcanonique diffèrent. Cela est lié à une anomalie de concavité de l'entropie ou de l'énergie libre du système considéré, qu'il soit à l'équilibre ou hors-équilibre [1,2]. Les systèmes turbulents sont par essence hors-équilibre. De plus, il semble raisonnable de penser qu'ils peuvent posséder des corrélations à longue portée [3,4]. Toutefois, un des principaux résultats du domaine [5] postule que les symétries d'un système pleinement turbulent, brisées par les mécanismes d'injection, sont restaurées au sens statistique.

La classe des écoulements de von Kármán permet de générer des écoulements pleinement turbulents : ces écoulements, générés par deux turbines contra-rotatives se faisant face dans un cylindre rempli de fluide, sont des bons modèles pour étudier la turbulence stationnaire dans un dispositif relativement compact [6,7]. Dans le cadre de nos expériences, il est possible de commander la rotation des turbines en imposant leur *couple* ou leur *vitesse*. Ces grandeurs sont conjuguées dans le sens où leur produit définit la puissance injectée dans le système. Tandis que les hypothèses de Kolmogorov semblent indiquer que ces deux commandes devraient donner le même résultat, nous avons observé un cycle d'hystérésis [8] en commande en vitesse : plusieurs branches d'écoulements stationnaires peuvent être sélectionnées en fonction de l'histoire du système. Ces branches sont séparées par une "zone interdite". Cette zone interdite *disparaît* en commande en couple au profit de nouvelles branches instationnaires qui viennent compléter le cycle d'hystérésis [9]. Un nouvel état quasi-stationnaire est observé, ainsi qu'une zone de "susceptibilités négatives" de l'écoulement, ce qui n'est pas sans rappeler les résultats de De Ninno [2]. Nous pensons donc que l'inéquivalence d'ensemble peut s'appliquer à certains écoulements pleinement turbulents.

Références

1. J. BARRÉ *et al.*, Out-of-equilibrium statistical ensemble inequivalence, *Europhysics Letters*, **87** (3), 030601 (2001).
2. G. DE NINNO *et al.*, Inequivalence of Ensembles in a System with Long-Range Interactions, *Physical Review Letters*, **8** (2), 20002 (2012).
3. P.A. DAVIDSON, Long-range interactions in turbulence and the energy decay problem, *Philosophical Transactions of the Royal Society A : Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, **369** (1937), 796-810 (2010).
4. J. MILLER *et al.*, Statistical mechanics of Euler equations in two dimensions, *Physical Review Letters*, **65** (17), 2137-2140 (1990).
5. A. KOLMOGOROV, The Local Structure of Turbulence in Incompressible Viscous Fluid for Very Large Reynolds' Numbers, *Akademiia Nauk SSSR Doklady*, **30**, 301-305 (1941).
6. O. CADOT, *Étude des structures de basse pression dans la turbulence développée*, Université Paris VII (1995).
7. S. T. BRAMWELL *et al.*, Universality of rare fluctuations in turbulence and critical phenomena, *Nature*, **396**, 552-554 (1998).
8. F. RAVELET *et al.*, Multistability and Memory Effect in a Highly Turbulent Flow : Experimental Evidence for a Global Bifurcation, *Physical Review Letters*, **93** (16), 164501 (2004).
9. B. SAINT-MICHEL *et al.*, Forcing-dependent stability of steady turbulent states, *en préparation*.