

# Etats stationnaires, théorèmes de fluctuation-dissipation et température effective dans un écoulement de von Karman turbulent

R. Monchaux<sup>1</sup>, P-H. Chavanis<sup>2</sup>, A. Chiffaudel<sup>1</sup>, F. Daviaud<sup>1</sup>, & B. Dubrulle<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Service de Physique de l'État Condensé, DSM, CEA Saclay, CNRS URA 2464, 91191 Gif-sur-Yvette, France

<sup>2</sup> Laboratoire de Physique Théorique (UMR 5152), Université Paul Sabatier, 118, route de Narbonne 31062

Toulouse, France

romain.monchaux@cea.fr

Une question non résolue de la physique statistique est de savoir si certains systèmes hors équilibre partagent des propriétés avec les états d'équilibre classiques. La turbulence est un bon cadre pour étudier cette question. En effet, les écoulements incompressibles soumis à un forçage statistiquement stationnaire atteignent en général une sorte d'état d'équilibre (au sens statistique), indépendant des conditions initiales. Depuis Onsager, on rêve de décrire la turbulence à l'aide d'outils issus de la mécanique statistique. En 2D, les équilibres des équations de Navier-Stokes ont été classifiés à l'aide de principes de mécanique statistique par Robert et al. [1,2]. Plus récemment, des avancées ont été réalisées dans un cadre 3D axi-symétrique (situation intermédiaire entre 2D et 3D) par Leprovost *et al.* [3]. Ils envisagent une limite idéale d'écoulement turbulent en négligeant le forçage et la dissipation. Dans cette limite, l'écoulement est caractérisé par la donnée d'un certain nombre de grandeurs globales conservées, dépendant de la forme du montage, comme l'énergie ou l'hélicité. De plus, en raison des symétries, une grandeur scalaire locale est conservée (le moment cinétique) le long d'une ligne de courant. Cette propriété permet de retrouver un théorème de Liouville et d'établir la conservation des Casimirs de cette grandeur scalaire locale. On peut alors définir une entropie de mélange et obtenir les états de Gibbs correspondant en maximisant cette entropie sous contrainte de conservation des grandeurs globales. A partir de l'état de Gibbs, on peut définir un ensemble de relations assez générales caractérisant les états stationnaires ainsi que des relations entre ces états et leurs fluctuations.

Dans cette présentation, nous mettons en avant une confrontation entre des expériences et ces résultats théoriques pour un écoulement de von Karman turbulent [4]. Nous trouvons que les états stationnaires peuvent être décrits par deux familles de fonctions, comme prédit dans [3]. Ces fonctions dépendent du forçage et de la viscosité. Quand le nombre de Reynolds augmente, ces fonctions tendent vers celles correspondant à un écoulement de Beltrami, donnant une première preuve expérimentale de la réduction des non linéarités dans un système non homogène non isotrope. Nous montrons par ailleurs que les fluctuations vérifient deux relations de fluctuation-dissipation analogues aux théorèmes de fluctuation de la physique statistique classique. Nous utilisons ces relations pour dériver une température statistique turbulente dont nous discutons la dépendance avec le nombre de Reynolds.

L'ensemble de ces résultats suggèrent que les états stationnaires hors équilibre tels que la turbulence sont universels dans un sens plus restreint que les systèmes à l'équilibre classique : ils peuvent être décrits par des relations générales déterminant des "équations d'état", mais ces relations dépendent de la dissipation et du forçage et ne sont donc pas universelles car ils dépendent des détails fins du système.

## Références

1. J. Sommeria and R. Robert, *J. Fluid Mech.* **229**, 291 (1991).
2. P. H. Chavanis, *Phys. Rev. E* **68**, 036108 (2003).
3. N. Leprovost, B. Dubrulle, and P. H. Chavanis, *Phys. Rev. E* **73**, 046308 (2006).
4. R. Monchaux *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **96**, 124502 (2006).