



HAL
open science

Convection thermique turbulente : étude Lagrangienne expérimentale

Olivier Liot, Julien Salort, Mickaël Bourgoïn, Francesca Chillà

► **To cite this version:**

Olivier Liot, Julien Salort, Mickaël Bourgoïn, Francesca Chillà. Convection thermique turbulente : étude Lagrangienne expérimentale. CFM 2015 - 22ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2015, Lyon, France. hal-03444696

HAL Id: hal-03444696

<https://hal.science/hal-03444696>

Submitted on 23 Nov 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Convection thermique turbulente : étude Lagrangienne expérimentale

O. LIOT^a, A. GAY^a, J. SALORT^a, M. BOURGOIN^a, F. CHILLÀ^a

a. Laboratoire de Physique - ENS de lyon - olivier.liot@ens-lyon.fr

Résumé :

Nous présentons ici des résultats préliminaires obtenus dans une cellule de convection de Rayleigh-Bénard où un écoulement turbulent est mis en place à l'aide d'une différence de température verticale imposée à une couche d'eau. Nous suivons en trois dimensions des particules dont le diamètre est de l'ordre de la longueur de Kolmogorov à l'aide de deux caméras par Particle Tracking Velocimetry (PTV). Les premiers résultats sur la vitesse montrent bien l'anisotropie et l'inhomogénéité de l'écoulement. Pour autant, pour une des composantes de la vitesse, on retrouve une distribution gaussienne telle qu'attendue dans un écoulement turbulent.

Abstract :

We present preliminary results obtained in a Rayleigh-Bénard convection cell. A turbulent flow is established by a vertical temperature difference imposed on a water layer. We track in three dimensions some particles which diameter is close to the Kolmogorov scale. We use two cameras and a Particle Tracking Velocimetry (PTV) algorithm. First results about velocity show the anisotropy and homogeneity of the flow. Nevertheless, for one of the three velocity components, we observe a gaussian distribution as expected in a turbulent flow.

Mots clefs : convection thermique, turbulence, statistiques Lagrangiennes, dispersion de paires

1 Introduction

De nombreux écoulements naturels sont pilotés par des variations de densité au sein du fluide. Ces variations de densité peuvent être d'origine thermique comme c'est le cas dans l'atmosphère ou le manteau terrestre. L'industrie aussi s'appuie sur ces écoulements pour améliorer les échanges de chaleur, notamment dans les échangeurs

de centrale nucléaire. Aussi, l'étude de la convection thermique revêt un intérêt tant fondamental qu'appliqué. En laboratoire, le système modèle utilisé est celui de Rayleigh-Bénard. Une couche de fluide horizontale est confinée entre une plaque chauffée en bas et une plaque refroidie en haut. Le système est alors intrinsèquement instable car le gradient de densité est orienté vers le haut si bien qu'un écoulement se met en place si le forçage thermique est suffisant. On distingue trois paramètres de contrôle qui régissent cet écoulement. Le nombre de Rayleigh (Ra) compare les effets de flottabilité aux effets dissipatifs qui freinent le mouvement, le nombre de Prandtl (Pr) compare la dissipation visqueuse à la dissipation thermique et le rapport d'aspect (Γ) compare les différentes dimensions du système expérimental :

$$Ra = \frac{g\alpha H^3 \Delta T}{\nu\kappa}, \quad Pr = \frac{\nu}{\kappa}, \quad \Gamma = \frac{L}{H}. \quad (1)$$

Ici, g représente l'accélération de gravité, α le coefficient d'expansivité thermique du fluide, ν sa viscosité cinématique, κ sa diffusivité thermique, ΔT la différence de température entre les plaques, H la distance qui les sépare et L une longueur caractéristique transverse du système. La réponse du système est un transfert thermique représenté par le nombre de Nusselt qui compare le flux thermique convectif au flux thermique purement diffusif qui existerait en l'absence de convection :

$$Nu = \frac{QH}{\lambda\Delta T}, \quad (2)$$

où Q est le flux thermique à travers l'expérience et λ la conductivité thermique du fluide.

Si le nombre de Rayleigh est suffisamment élevé (typiquement supérieur à 10^6), l'écoulement devient turbulent. L'étude de la convection thermique turbulente est un domaine de recherche très actif [1] qui bénéficie des nombreux progrès techniques observés dans les systèmes de visualisation et de traitement. En particulier, le suivi Lagrangien de particules, inertielles ou non, s'est imposé en turbulence comme une méthode incontournable [4]. Elle commence tout juste à être exploitée dans des expériences de convection thermique [2, 3]. Dans cette optique nous avons élaboré une cellule dédiée au suivi de particules sub-millimétriques afin de s'intéresser au comportement statistique des vitesses et accélérations Lagrangiennes ainsi qu'à la dispersion de paires.

2 Dispositif expérimental

2.1 La cellule de convection

La cellule de convection conçue pour cette étude est de forme octogonale (figure 1). Les plaques horizontales sont en aluminium tandis que les parois sont en plexiglas. Le diamètre interne de la cellule est de 40 cm et la hauteur entre les plaques est de 30 cm. Le chauffage est assuré par une nappe de silicone parcourue d'un fil résistif tandis que la plaque du haut est régulée en température à l'aide d'un bain thermostaté. La température moyenne de la cellule est portée à 40,5°C, la différence de température des

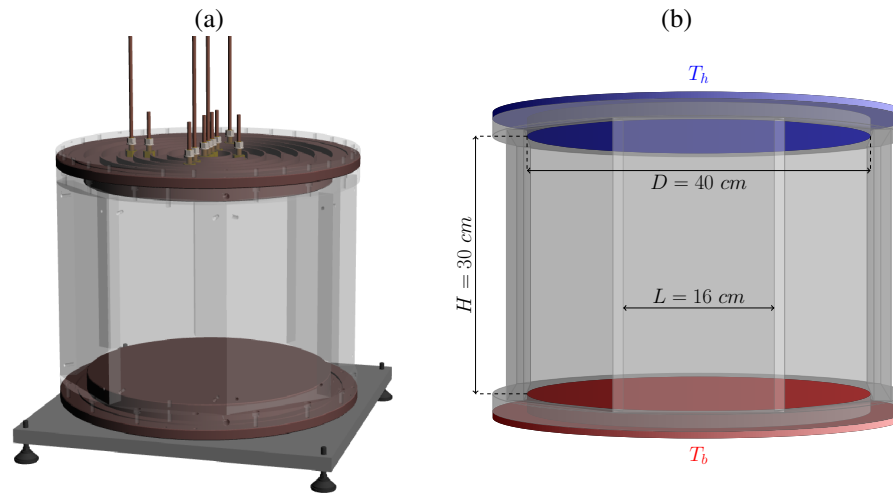


Figure 1: (a) Vue de la cellule de convection en trois dimensions. (b) Schéma de la cellule vue de côté.

plaques est comprise entre 10 et 23,5 °C. Cela correspond à un nombre de Rayleigh compris entre $1,0 \times 10^{10}$ et $2,4 \times 10^{10}$ et un nombre de Prandtl de 4,35.

2.1 Méthode de mesures

L'écoulement est ensemençé avec quelques milliers de particules de polystyrène de 250 μm de diamètre et de densité 1,03. Elles sont éclairées à l'aide de barres LED. Deux caméras *Flare* de IO Industries sont placées en regard de deux face perpendiculaires. Leur résolution est de 1088×2048 pixels². Le volume ainsi observé mesure environ 10 cm en largeur et profondeur pour 15 cm en hauteur. La calibration des caméras est effectuée à l'aide d'une méthode développée en parallèle qui n'utilise aucun modèle de caméra, la seule hypothèse étant un déplacement en ligne droite de la lumière dans le milieu observé. La sédimentation des particules limite le temps d'acquisition à 180 à 300 secondes avant de ré-ensemencer l'écoulement. Les acquisitions sont effectuées à des fréquences de 30, 60 et 200 Hz.

3 Observations et résultats préliminaires

L'objectif de ce suivi Lagrangien est d'obtenir des trajectoires de particules et les différentes statistiques qui en découlent à propos de la vitesse ou de l'accélération. On peut voir figure 2 un exemple d'image des particules prise par une des deux caméras. La figure 3 montre la fonction de densité de probabilité des vitesses v_x , v_y , v_z (normalisées par l'écart-type) suivant les trois directions de l'espace sur 10 acquisitions de 180 secondes. Ces PDF signent la forte anisotropie de l'écoulement. La distribution

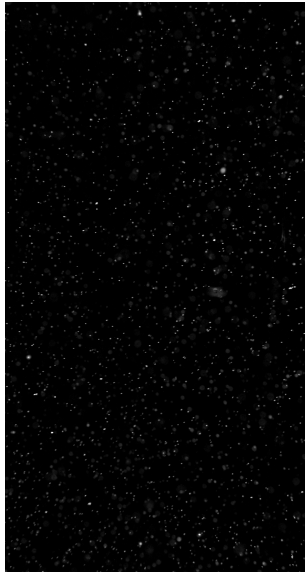


Figure 2: Image prise par une caméra, après soustraction de l'arrière-plan.

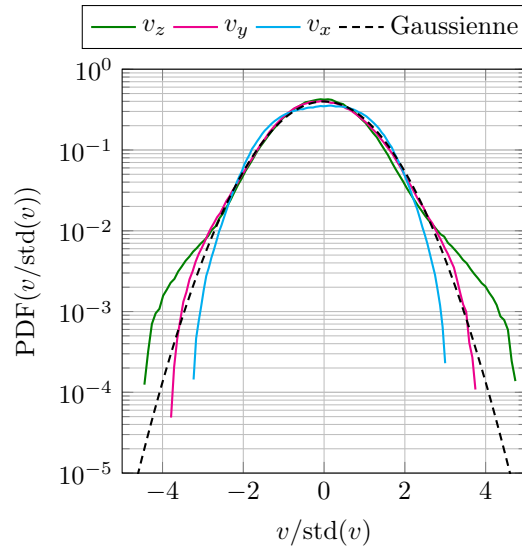


Figure 3: Fonctions de densité de probabilité des vitesses suivant les trois directions.
 $Ra = 2,0 \times 10^{10}$.

des vitesses verticales (v_z) présente de larges ailes qui sont dues au passage de panaches thermiques. De plus, la forme légèrement différente des distributions de vitesse horizontale provient de l'écoulement grande échelle. La distribution de v_y épouse fidèlement une distribution gaussienne tandis que celle en v_x est plus plate. On peut en déduire que le rouleau qui constitue l'écoulement grande échelle est plutôt perpendiculaire à l'axe \vec{y} . Le fait d'obtenir une distribution gaussienne pour v_y laisse penser que suivant cet axe les particules voient une turbulence homogène et isotrope. Au contraire, suivant \vec{x} , les particules voient successivement une vitesse moyenne négative et positive: selon qu'elles évoluent dans la partie haute ou basse du rouleau. Aussi les valeurs de vitesse plus probable sont moins piquées autour de 0 et les fluctuations sont amorties par cette structure grande échelle. C'est ce que l'on observe figure 3. Des statistiques plus détaillées sur la vitesse, mais également sur l'accélération, ainsi qu'une étude sur la dispersion de paires seront présentées.

Références

- [1] F. Chillà and J. Schumacher. New perspectives in turbulent rayleigh-bénard convection. *The European Physical Journal E: Soft Matter and Biological Physics*, 35(7):1–25, 2012.

- [2] Y. Gasteuil, W. L. Shew, M. Gibert, F. Chilla, B. Castaing, and J.-F. Pinton. Lagrangian temperature, velocity, and local heat flux measurement in Rayleigh-Bénard convection. *Physical review letters*, 99(23):234302, 2007.
- [3] R. Ni, S.-D. Huang, and K.-Q. Xia. Lagrangian acceleration measurements in convective thermal turbulence. *J. Fluid Mech.*, 692:395–419, 2012.
- [4] F. Toschi and E. Bodenschatz. Lagrangian properties of particles in turbulence. *Ann. Rev. of Fluid Mech.*, 41:375 – 404, 2009.