

# Statistiques conditionnelles des structures cohérentes en convection turbulente de Rayleigh-Bénard

Andrés Castillo-Castellanos<sup>1,2</sup>, Anne Sergent<sup>1,3</sup>, Bérengère Podvin<sup>1</sup> & Maurice Rossi<sup>2,4</sup>

<sup>1</sup> LIMSI, CNRS, Université Paris-Saclay, F-91405 Orsay, France

<sup>2</sup> Sorbonne Universités, UPMC Univ Paris 06, UMR 7190, Inst Jean Le Rond d'Alembert, F-75005, Paris, France

<sup>3</sup> Sorbonne Universités, UPMC Univ Paris 06, UFR d'Ingénierie, F-75005, Paris, France

<sup>4</sup> CNRS, UMR 7190, Inst Jean Le Rond d'Alembert, F-75005, Paris, France

andres.castillo@limsi.fr

Une caractéristique remarquable de la convection turbulente de Rayleigh-Bénard est l'établissement spontané d'une circulation cohérente à grande échelle remplissant la cavité. Malgré sa simplicité apparente, la convection de Rayleigh-Bénard dans une cellule carré (2D) présente une dynamique à grande échelle riche et complexe où les structures grandes échelles se développant sur des périodes de temps beaucoup plus grandes que les échelles de temps caractéristiques de la turbulence peuvent se renverser, disparaître ou changer d'orientation [1].

A partir de simulations numériques directes des équations de Boussinesq en régime faiblement turbulent (nombres de Rayleigh de  $10^5$  à  $5 \cdot 10^8$  et un nombre de Prandtl fixé  $Pr = 3$ ) et réalisées sur des temps physiques longs (plusieurs milliers d'unités de temps convectives), il est possible d'identifier sur une certaine plage de nombres de Rayleigh, deux régimes intermittents d'écoulement. Le premier régime est caractérisé par des renversements spontanés et souvent consécutifs de la circulation à grande échelle, tandis que le deuxième régime, plus rapide et moins prédominant, est caractérisé par la cessation prolongée de cette circulation. Nous adoptons une approche statistique conditionnelle pour étudier les deux régimes séparément, sur plusieurs centaines de renversements observés. Cette approche a permis préalablement de mettre en évidence un cycle générique [3] décrivant énergétiquement les renversements standards en terme d'énergie cinétique et énergie potentielle disponible [2] grâce à une remise à l'échelle temporelle des renversements.

Nous reprenons ici cette démarche pour l'appliquer cette fois-ci à l'analyse des structures cohérentes de type POD [4,5] en nous focalisant sur les six premiers modes. Ceux-ci sont regroupés en plusieurs familles suivant leurs symétries. Tout d'abord, nous nous intéresserons au régime des renversements consécutifs et identifions l'évolution des modes POD durant le cycle générique des renversements standards. Une comparaison de la dynamique temporelle des modes durant les deux régimes (renversements et cessation) est ensuite présentée à partir d'échelles de temps caractéristiques et des diagrammes de phase des coefficients temporels de la POD, mettant en évidence le comportement déterministe des modes pendant le régime de renversements consécutifs, contrairement au caractère plus stochastique du régime de cessations. Enfin, l'énergie relative des modes en fonction du nombre de Rayleigh nous permet de décrire la succession des régimes d'écoulement jusqu'au régime pleinement turbulent.

## Références

1. Sugiyama, K. and Ni, R. and Stevens, R.J.A.M. and Chan, T-S and Zhou, S-Q and Xi, H-D and Sun, C. and Grossmann, S. and Xia, K-Q and Lohse, D *Phys. Rev. Lett.* vol.105 2010.
2. K.B. Winters, P.N. Lombard, J.J. Riley, and E.A. D'Asaro *J. Fluid Mech.* vol.289 1995.
3. A. Castillo-Castellanos, A. Sergent and M. Rossi *J. Fluid Mech.* vol.808 2016.
4. B. Podvin and A. Sergent *J. Fluid Mech.* vol.766 2015.
5. B. Podvin and A. Sergent *Phys. Rev. E* vol.95 2017.