

La turbulence en rotation est-elle une turbulence d’ondes ?

A. Campagne¹, B. Gallet², F. Moisy¹ & P.-P. Cortet¹

¹ Laboratoire FAST, CNRS, Université Paris-Sud, Orsay, France

² Laboratoire SPHYNX, Service de Physique de l’État Condensé, DSM, CEA Saclay, CNRS, 91191, Gif-sur-Yvette, France

campagne@fast.u-psud.fr

Les fluides en rotation sont le support d’ondes anisotropes, les ondes d’inertie, dont les interactions non-linéaires jouent un rôle clef dans la dynamique de la turbulence en rotation et donc des écoulements géo et astrophysiques.

La théorie de la turbulence d’ondes (d’inertie) [1,2] a pour ambition de décrire l’état asymptotique de la turbulence en rotation dans sa limite faiblement non-linéaire, c’est-à-dire lorsque la dynamique linéaire des ondes est rapide devant celle des processus non-linéaires. Dans cette approche, le couplage faiblement non-linéaire entre les ondes construit une cascade directe et anisotrope d’énergie qui amène celle-ci vers des modes de plus en plus invariants selon l’axe de rotation, sans cependant pouvoir alimenter le mode exactement 2D. Ce formalisme a pour intérêt majeur de permettre la prédiction de lois d’échelles (anisotropes) pour le spectre spatial d’énergie, qui n’ont cependant pas encore pu être observées expérimentalement.

Dans les expériences de turbulence en rotation ainsi que la plupart des écoulements naturels, la limite faiblement non-linéaire est en effet loin d’être atteinte et les ondes d’inerties co-existent avec les structures cohérentes “classiques” de la turbulence [3,4]. Il a notamment été montré que dans ces conditions les interactions non-linéaires permettaient les transferts d’énergie entre les modes 3D et le mode exactement 2D, autorisant l’émergence d’une cascade inverse d’énergie au sein du mode 2D, à l’inverse des prédictions de la turbulence d’ondes.

Afin de tester expérimentalement la pertinence de la théorie de la turbulence d’ondes pour décrire la turbulence en rotation, nous avons effectué une analyse de la distribution spatio-temporelle de l’énergie dans une expérience de turbulence en rotation statistiquement stationnaire [5]. La turbulence est entretenue par un ensemble de générateurs de dipôle de tourbillons qui injectent périodiquement des fluctuations turbulentes 3D vers le centre d’une cuve tournante remplie d’eau. Les 3 composantes des champs de vitesse, résolus en temps, sont mesurés dans un plan vertical à l’aide d’un système de vélocimétrie stéréoscopique par image de particules.

Cette analyse spatio-temporelle nous permet d’observer la présence de turbulence d’ondes d’inertie à grande échelle et grande fréquence. De manière plus intéressante encore, elle révèle que la cause principale du brouillage des ondes à petite échelle et basse fréquence est liée au balayage stochastique des ondes par le mode 2D. L’importance ainsi mise en évidence du mode 2D dans l’écart à la théorie faiblement non-linéaire pose la question de la pertinence même de la théorie de la turbulence d’ondes d’inertie pour la description des écoulements turbulents en rotation réels.

Références

1. S. GALTIER, Weak inertial-wave turbulence theory, *Phys. Rev. E* **68**, 015301 (2003).
2. C. CAMBON, R. RUBINSTEIN, F.S. GODEFERD, Advances in wave turbulence : rapidly rotating flows, *New J. Phys.* **6**, 73 (2004).
3. P. CLARK DI LEONI *et al.*, Quantification of the strength of inertial waves in a rotating turbulent flow, *Phys. Fluids*. **26**, 035106 (2014).
4. E. YAROM, E. SHARON, Experimental observation of steady inertial wave turbulence in deep rotating flows, *Nature Physics* **10**, 510-514 (2014).
5. A. CAMPAGNE *et al.*, Direct and inverse energy cascades in a forced rotating turbulence experiment, *Phys. Fluids* **26**, 125112 (2014).