

Émergence d'un mode géostrophique dans une expérience de turbulence en rotation forcée par des ondes d'inertie

Pierre-Philippe Cortet¹, Maxime Brunet¹ & Basile Gallet²

¹ Université Paris-Saclay, CNRS, FAST, 91405, Orsay, France

² Université Paris-Saclay, CNRS, CEA, Service de Physique de l'Etat Condensé, 91191, Gif-sur-Yvette, France
ppcortet@fast.u-psud.fr

Les fluides en rotation, à travers l'action de la force de Coriolis, permettent la propagation d'ondes internes dispersives et anisotropes, appelées ondes d'inertie. Celles-ci constituent un des ingrédients majeurs de la dynamique des écoulements géophysiques et astrophysiques. En régime non-linéaire, ces ondes et les structures tourbillonnaires peuvent s'intriquer de différentes manières conduisant à un vaste paysage de régimes possibles pour la turbulence en rotation. Parmi ceux-ci, le régime de turbulence d'ondes, pour lequel de nombreuses prédictions analytiques existent, n'a pour l'instant jamais été observé.

Dans ce travail, nous présentons les résultats d'une expérience de turbulence en rotation ayant l'originalité d'être forcée uniquement par des ondes d'inertie. Notre système consiste en un jeu de 32 cylindres oscillants organisés régulièrement sur la surface d'une sphère virtuelle de 80 cm de diamètre dans un aquarium rempli d'eau placé sur une plateforme tournante. La propagation des faisceaux d'ondes émis par les cylindres permet de venir déposer, au cœur de la sphère, l'énergie dans une assemblée de nombreuses ondes d'inertie.

Pour une amplitude de forçage modérée, une partie de l'énergie des ondes forcées est transférée à des ondes sous-harmoniques selon le processus d'instabilité par résonance triadique [1]. Ce phénomène est en accord avec le scénario proposé par la théorie de la turbulence d'ondes, où une cascade d'énergie vers les basses fréquences est portée par des interactions triadiques résonantes. Toutefois, pour des amplitudes de forçage plus grandes, le système ne tend pas vers un régime de turbulence d'ondes. Au lieu de cela, nous mettons en évidence que la majorité de l'énergie se condense dans un mode géostrophique, invariant verticalement. L'émergence de ce mode est tout à fait remarquable car les interactions triadiques résonantes sont théoriquement incapables de transférer de l'énergie vers un tel mode 2D.

En nous inspirant des travaux de Smith et Waleffe [2], nous proposons une description théorique de nos observations s'appuyant sur un développement de l'équation de Navier-Stokes en rotation au troisième ordre en nombre de Rossby et non plus simplement au deuxième ordre comme proposé dans la théorie de la turbulence d'ondes. Nous montrons que l'assemblée d'ondes d'inertie que nous forçons expérimentalement peut conduire à travers une instabilité à quatre ondes résonantes à l'émergence d'un mode géostrophique. Cette instabilité "quartetique" a pour conséquence de court-circuiter la cascade d'énergie par résonances triadiques prévue par la théorie de la turbulence d'ondes.

Nous montrons toutefois qu'il est possible d'inhiber l'instabilité quartetique en introduisant une dissipation sélective du mode géostrophique ouvrant potentiellement la voie à l'exploration du régime de turbulence d'ondes d'inertie.

Références

1. G. BORDES, F. MOISY, T. DAUXOIS & P.-P. CORTET, Experimental evidence of a triadic resonance of plane inertial waves in a rotating fluid, *Phys. Fluids*, **24**, 014105 (2012).
2. L.M. SMITH & F. WALEFFE, Transfer of energy to two-dimensional large scales in forced, rotating three-dimensional turbulence, *Phys. Fluids*, **11**, 1608 (1999).