

Observation expérimentale quantitative de la turbulence d'ondes d'inertie

Pierre-Philippe Cortet¹, Eduardo Monsalve¹, Maxime Brunet¹ & Basile Gallet²

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

² Université Paris-Saclay, CNRS, CEA, Service de Physique de l'État Condensé, 91191, Gif-sur-Yvette, France
pierre-philippe.cortet@universite-paris-saclay.fr

L'influence d'une rotation d'ensemble sur la turbulence hydrodynamique constitue un des ingrédients clés de la dynamique des océans et de l'atmosphère et plus généralement des écoulements géo et astrophysiques. Une des conséquences de la rotation est l'émergence d'une classe d'ondes spécifiques, fruit de l'action de la force de Coriolis, se propageant dans le volume du fluide et appelées ondes d'inertie. Au sein de la turbulence en rotation, ces ondes et les structures tourbillonnaires classiques de la mécanique des fluides peuvent s'intriquer de différentes manières conduisant à un vaste paysage de régimes possibles : parmi ceux-ci, le régime de turbulence d'ondes. La théorie de la turbulence d'ondes appliquée au cas des ondes d'inertie a conduit à des prédictions analytiques au début des années 2000 [1]. Depuis lors, différentes tentatives expérimentales visant à mettre en évidence ce régime ont été réalisées, avec un succès très limité.

Dans ce travail, nous présentons la première observation expérimentale quantitative du régime de turbulence d'ondes d'inertie de la turbulence en rotation [2]. Notre dispositif 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 statistiquement homogène et axisymétrique, en cohérence avec les hypothèses de la théorie.

Dans une première série d'expériences [3], nous mettons en évidence une instabilité qui transfère de manière efficace l'énergie des ondes vers un mode turbulent 2D, composé de tourbillons d'axe parallèle à la rotation et support d'une cascade inverse d'énergie. Cette "instabilité quartetique", qui implique l'interaction résonante de quatre modes, a alors pour conséquence de perturber l'émergence de la cascade d'énergie vers les petites échelles prévue par la théorie de la turbulence d'ondes.

Nous montrons toutefois qu'il est possible d'inhiber cette instabilité en introduisant dans l'expérience des grilles en nid d'abeille limitant l'écoulement en haut et en bas. Ces grilles ont pour effet de dissiper de manière sélective le mode tourbillonnaire 2D sans affecter les ondes. Dans cette nouvelle configuration, lorsque l'amplitude de forçage augmente, se construisent progressivement des spectres spatiaux et temporels d'énergie continus sur plus d'une décade de nombre d'ondes et de fréquence. Nous montrons par ailleurs que l'intégralité de ce continuum d'énergie est portée par des ondes d'inertie confirmant que l'écoulement observé possède les caractéristiques d'une turbulence d'ondes. Nous montrons finalement que les spectres spatiaux expérimentaux présentent un comportement en loi de puissance, dont l'exposant spectral et le niveau spectral, sont tous deux en accord avec les prédictions de la théorie.

Références

1. S. GALTIER, Weak inertial-wave turbulence theory, *Phys. Rev. E*, **68**, 015301(R) (2003).
2. E. MONSALVE, M. BRUNET, B. GALLET & P.-P. CORTET, Quantitative Experimental Observation of Weak Inertial-Wave Turbulence, *Phys. Rev. Lett.*, **125**, 254502 (2020).
3. M. BRUNET, B. GALLET & P.-P. CORTET, Shortcut to Geostrophy in Wave-Driven Rotating Turbulence : The Quartetic Instability, *Phys. Rev. Lett.*, **124**, 124501 (2020).