

Instabilité d'une onde plane d'inertie par résonance triadique

Pierre-Philippe Cortet¹, Guilhem Bordes², Frédéric Moisy¹ & Thierry Dauxois²

¹ Laboratoire FAST, CNRS, Univ Paris Sud, UPMC Univ Paris 06

² Laboratoire de Physique de l'École Normale Supérieure de Lyon, CNRS et Université de Lyon
ppcortet@fast.u-psud.fr

Les fluides en rotation sont le support d'une classe d'ondes singulières, les ondes d'inertie, qui jouent un rôle fondamental dans la dynamique des écoulements géo- et astro-physiques. Ces ondes sont remarquables de par leur vitesse de groupe normale à leur vitesse de phase ainsi que par leur fréquence qui sélectionne leur direction de propagation mais pas leur longueur d'onde.

Nous présentons ici la première observation expérimentale de la déstabilisation d'une onde plane d'inertie par une instabilité paramétrique [1]. La motivation fondamentale de ce travail est le rôle clé joué par ce type d'instabilités par résonance triadique dans les transferts d'énergie entre échelles en turbulence en rotation. L'instabilité observée illustre en effet le mécanisme de base des transferts anisotropes vers des modes de vecteurs d'ondes toujours plus horizontaux (l'axe de rotation est vertical) qui construisent la bidimensionnalité de la turbulence en rotation.

L'instabilité que nous rapportons est analogue à celle que subit un pendule pesant forcé à deux fois sa fréquence propre. Dans le cas des ondes d'inertie, le paramètre est le taux de rotation Ω du fluide qui est modulé localement par la présence d'une onde de fréquence σ_0 . L'instabilité de l'onde primaire induit alors à travers une résonance non-linéaire un transfert d'énergie vers deux ondes secondaires de fréquences σ_1 et σ_2 plus faibles. Comme un continuum de fréquences peut être excité, σ_1 et σ_2 ne sont ici pas nécessairement égales à la moitié $\sigma_0/2$ de la fréquence d'excitation, mais vérifient la relation de résonance $\sigma_1 + \sigma_2 = \sigma_0$. En l'absence de dissipation, on retrouve la résonance paramétrique standard avec $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_0/2$. C'est la viscosité qui lève cette dégénérescence des fréquences σ_1 et σ_2 qui se répartissent alors de part et d'autre de $\sigma_0/2$.

Dans notre expérience, l'onde primaire est excitée par un générateur composé d'un empilement de plaques autour d'un arbre à cames qui reproduit les conditions aux limites d'une onde plane. Ce générateur est placé dans un aquarium rempli d'eau sur notre plateforme tournante. Grâce à une mesure des champs de vitesse par vélocimétrie par image de particules dans le référentiel tournant, nous montrons qu'après un régime transitoire, l'onde plane subit une instabilité qui conduit à l'excitation de deux ondes planes sous-harmoniques dont les vecteurs d'ondes sont systématiquement plus horizontaux que celui de l'onde primaire. Les transferts d'énergie à l'intérieur de cette triade d'ondes sont alors décrit quantitativement grâce à la décomposition de l'équation de Navier-Stokes en modes hélicoïdaux introduite par Waleffe en 1992 [2].

Nous montrerons que la direction —vers les grandes ou les petites échelles— des transferts d'énergie dépend de l'amplitude de l'onde primaire et de la viscosité. En turbulence en rotation, le bilan de cette compétition entre transferts directs et inverses est au coeur du problème complexe de la direction des cascades d'énergie.

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, *Physics of Fluids*, **24**, 014105 (2012).
2. F. WALEFFE, The nature of triad interactions in homogeneous turbulence, *Physics of Fluids A*, **4** (2), 350 (1992).