

# Turbulence d'ondes inertielles générée par instabilité elliptique

Thomas Le Reun<sup>1</sup>, Benjamin Favier<sup>1</sup>, Adrian J. Barker<sup>2</sup> & Michael Le Bars<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Aix Marseille Univ., CNRS, Centrale Marseille, IRPHE UMR 7342, Marseille, France

<sup>2</sup> Department of Applied Mathematics, School of Mathematics, University of Leeds, Leeds, LS2 9JT, UK

`lereun@irphe.univ-mrs.fr`

La déformation d'une planète par les forces de marées associée à sa rotation propre peuvent conduire à la déstabilisation globale de ses enveloppes internes fluides via un mécanisme appelé instabilité elliptique. Celui-ci est par exemple invoqué pour expliquer le champ magnétique de la Lune primitive [1], bien qu'il ait été originellement formalisé dans le cadre des instabilités de vortex déformés [2]. Si la croissance de cette instabilité, qui s'effectue par résonance de deux ondes inertielles avec l'écoulement de marées, est bien caractérisée tant théoriquement qu'expérimentalement [3,4], sa saturation non-linéaire reste mal comprise et révèle une grande variété de comportements. En effet, les ondes initialement croissantes peuvent dans certains cas donner naissance non-linéairement à des vortex géostrophiques, *i.e.* alignés avec l'axe de rotation du fluide, qui dominent alors l'écoulement à tel point qu'ils parviennent à inhiber le mécanisme de résonance [3,5]. Dans d'autres cas, elles transfèrent non-linéairement leur énergie à une cascade d'ondes inertielles [6].

Nous proposons ici un ensemble de simulations numériques dans une boîte triplement périodique modélisant localement le comportement d'une enveloppe fluide soumise à l'instabilité elliptique. Nous sommes en mesure de produire dans ce modèle idéalisé les deux états de saturation mentionnés plus haut. Ce résultat est obtenu en appliquant spécifiquement aux vortex géostrophiques une friction visant à reproduire des conditions analogues aux enveloppes planétaires où ceux-ci sont soumis au pompage d'Ekman. Cette friction contrôle alors leur amplitude de saturation. Dans le cas des faibles frictions, nous retrouvons la saturation en vortex géostrophiques dominant et inhibant le mécanisme d'instabilité. En revanche, pour des frictions plus élevées, ils laissent place à une cascade d'ondes inertielles caractérisée notamment par la focalisation de l'énergie cinétique de l'écoulement suivant la relation de dispersion de ces ondes. L'analyse de la répartition de l'énergie dans l'espace spectral révèle une anisotropie proche de celle prédite par les théories asymptotiques de la turbulence d'ondes inertielles [7]. Nous en concluons que l'amplitude de saturation des vortex géostrophiques, elle-même pilotée par la géométrie du système via notamment le pompage d'Ekman, détermine l'état de saturation non-linéaire de l'instabilité elliptique dans les noyaux planétaires. Dans le cas où cette amplitude est faible, nous montrons en particulier que l'écoulement ainsi généré est une turbulence d'ondes inertielles. Nous proposons enfin une approche heuristique visant à prédire lequel de ces deux régimes peut être attendu dans les noyaux planétaires.

## Références

1. LE BARS *et al.*, An impact-driven dynamo for the early Moon, *Nature*, **479**, 215-218 (2011).
2. KERSWELL, Elliptical instability, *Annual Review of Fluid Mechanics*, **34**, 83-113 (2002).
3. ELOY, LE GAL, LE DIZÈS, Experimental Study of the Multipolar Vortex Instability, *Physical Review Letters*, **85**, 3400-3403 (2000).
4. LE DIZÈS, Three-dimensional instability of a multipolar vortex in a rotating flow; *Physics of Fluids*, **12**, 2762-2774 (2000).
5. BARKER, LITHWICK, Non-linear evolution of the tidal elliptical instability in gaseous planets and stars; *MNRAS*, **435**, 3614-3626 (2013).
6. FAVIER *et al.*, Generation and maintenance of bulk turbulence by libration-driven elliptical instability; *Physics of fluids*, **27**, 066601 (2015).
7. BELLET *et al.*, Wave turbulence in rapidly rotating flows; *Journal of Fluid Mechanics*, **562**, 83-121 (2006).