

# Ondes internes axisymétriques en stratification non-linéaire

Paco Maurer<sup>1</sup>, Sylvain Joubaud<sup>1</sup>, Philippe Odier<sup>1</sup> & Thomas Peacock<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire de Physique de l'ENS de Lyon, 46, allée d'Italie, 69007 Lyon, France.

<sup>2</sup> Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 02139-4307, USA.

paco.maurer@ens-lyon.fr

Nous étudions expérimentalement des ondes internes en géométrie axisymétrique. À l'inverse des expériences déjà réalisées [2,5], nous utilisons un nouveau générateur qui permet de contrôler la fréquence d'excitation des ondes, mais également leur amplitude et leur profil. Fort du succès du générateur d'onde développé par Gostiaux [3] et amélioré par Mercier [4], nous avons repris sa conception pour l'adapter à une géométrie axisymétrique au lieu d'une géométrie à deux dimensions. Ce générateur est constitué de cylindres concentriques qui oscillent tous à la même pulsation  $\omega$  mais dont le déphasage et l'amplitude des oscillations peuvent être changés indépendamment. Le générateur est placé, centré dans une cuve cylindrique, à la surface du fluide stratifié et l'onde émise est visualisée par PIV dans un plan vertical ou horizontal. Des diagrammes temps fréquence et des transformées de Hankel permettent ensuite de suivre le contenu spectral de ces ondes.

De par sa conception, ce nouveau générateur permet d'étudier plusieurs types de profils spatiaux, nous en étudions deux. Le premier profil, un mode normal de Bessel qui ne contient qu'une seule fréquence spatiale, nous permet de nous assurer de la génération des ondes sur toute une plage de fréquence ainsi que de vérifier la relation de dispersion. La comparaison entre les résultats expérimentaux et les résultats théoriques obtenus par intégration numérique en utilisant *bvp4c* sont très bonnes dans le domaine linéaire. Par ailleurs, la génération d'ondes secondaires de différentes fréquences qui vérifient la condition de résonance temporelle mais qui brisent la symétrie du problème est observée.

Dans la deuxième configuration, appelée bourrelet, le générateur va émettre des ondes depuis les cylindres extérieurs. Ces ondes vont se propager vers le centre de la cuve en suivant un cône et se rencontrer à la profondeur de focalisation  $z_f$ . Au cours de cette propagation, l'amplitude des ondes va augmenter pour être maximale en  $z_f$ . Parallèlement, nous utilisons une stratification non-linéaire, c'est-à-dire dont la pulsation de flottabilité  $N$  dépend de la profondeur. Dans une telle stratification, il existe un point de rebroussement à une profondeur  $z^*$  telle que  $\omega = N(z^*)$ . En ce point, non seulement l'onde se réfléchit, mais sa vitesse de groupe s'annule, ce qui constitue un point d'accumulation de l'énergie. Ces trois facteurs, focalisation, réflexion et annulation de la vitesse de groupe, changent de façon importante l'amplitude des ondes. Notamment le spectre s'enrichit en fréquences lorsque  $z_f$  tend vers  $z^*$ , c'est-à-dire lorsque le point de rebroussement se confond avec le point de focalisation. Ces résultats rappellent les observations de Brouzet [1], qui a montré que l'enrichissement spectral est une signature de turbulence d'ondes internes.

## Références

1. BROUZET, C., ERMANYUK, E., JOUBAUD, S., SIBGATULLIN, I., AND DAUXOIS, T. Energy cascade in internal wave attractors. *EPL (Europhysics Letters)* 113, 4 (feb 2016), 1–6.
2. DURAN-MATUTE, M., FLÓR, J. B., GODEFERD, F. S., AND JAUSE-LABERT, C. Turbulence and columnar vortex formation through inertial-wave focusing. *Physical Review E - Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics* 87, 4 (2013), 1–4.
3. GOSTIAUX, L., DIDELLE, H., MERCIER, S., AND DAUXOIS, T. A novel internal waves generator. *Experiments in Fluids* 42, 1 (oct 2006), 123–130.
4. MERCIER, M. J., MARTINAND, D., MATHUR, M., GOSTIAUX, L., PEACOCK, T., AND DAUXOIS, T. New wave generation. *Journal of Fluid Mechanics* 657 (aug 2010), 308–334.
5. PEACOCK, T., AND WEIDMAN, P. The effect of rotation on conical wave beams in a stratified fluid. *Experiments in Fluids* 39, 1 (may 2005), 32–37.