

Ondes et Instabilités dans les écoulements tournants stratifiés

Patrice Le Gal

Institut de Recherche sur les Phénomènes Hors Equilibre,
Aix-Marseille Université, CNRS, Centrale Marseille

Dans ce cours, je présenterai les différents types d'ondes et d'instabilités qui peuvent apparaître classiquement dans les écoulements astro et géophysiques. Les ondes inertielles, causées par la rotation du fluide, seront d'abord présentées ainsi que leur version 2D appelées ondes de Rossby. Ensuite, il sera montré comment une stratification en densité du fluide peut faire naître des ondes de gravité internes. Dans chaque cas et dans le cas où la rotation et la stratification sont simultanément présentes, les relations de dispersion linéaire des ondes seront dérivées. Une conséquence directe de la présence d'ondes inertielles dans les écoulements est leur possible résonance avec, par exemple, la déformation elliptique du récipient tournant dans lequel elles se propagent : cette résonance donne lieu dans ce cas à l'instabilité elliptique (ou de marée) qui peut apparaître dans les corps célestes [1] (voir Figure 1-a) et 1-b)).



FIGURE 1 – a) Visualisation de l'instabilité elliptique dans une sphère en rotation déformée par une marée [2] et b) dans un cylindre déformé [3] ; c) Visualisation de l'instabilité strato-rotationnelle dans un dispositif de Taylor Couette avec stratification axiale de densité [4].

Une rotation différentielle sera ensuite ajoutée à l'écoulement. Le critère classique de Rayleigh pour l'instabilité centrifuge sera tout naturellement retrouvé dans le cas où le fluide est homogène mais on montrera qu'une nouvelle instabilité, appelée l'instabilité strato-rotationnelle (SRI) peut se produire dans un dispositif de Taylor-Couette lorsque le fluide est stratifié [5, 4] (voir la figure 1-b)). Encore une fois, cette instabilité est générée par la résonance d'ondes de gravité internes qui sont ici piégées près des parois. Elles subissent alors un décalage Doppler de leurs fréquences, permettant ainsi à deux ondes initialement contrapropagatives de devenir stationnaires et de résonner mutuellement. Plus généralement cette interaction d'ondes identifie une classe d'instabilité qui est caractéristique des écoulements cisailés ([6]) comme par exemple dans l'écoulement de Couette non stratifié mais à surface libre [7], ou plus récemment dans l'écoulement de Couette plan [8] ou dans l'écoulement de Poiseuille [9, 10] stratifiés.

Finalement, je présenterai des exemples de recherche expérimentale récents portant sur l'instabilité barocline, instabilité représentative en particulier des évolutions météorologiques

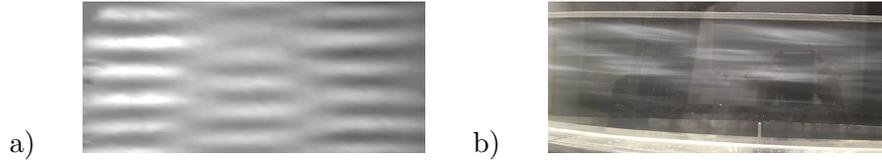


FIGURE 2 – Visualisation du motif en échiquier généré par deux ondes résonantes : a) dans l'écoulement de Couette plan [8] et b) dans l'écoulement de Poiseuille [10].

aux latitudes moyennes ou encore sur les tourbillons océaniques et leurs appariements. Nous verrons que dans ces deux cas, des missions spontanées d'ondes internes sont observées.

Références

- [1] M. Le Bars, D. Cébron, P. Le Gal, *Flows Driven by Libration, Precession, and Tides*, Annual Review of Fluid Mechanics, **47** :1, 163-193, 2015.
- [2] L. Lacaze, P. Le Gal, S. Le Dizès, *Elliptical instability in a rotating spheroid* Journal of Fluid Mechanics **505**, 1-22, 2004.
- [3] C. Eloy, P. Le Gal, S. Le Dizès, *Experimental Study of the Multipolar Vortex Instability* Phys. Rev. Lett. **85**, 3400, 2000.
- [4] M. Le Bars, P. Le Gal, *Experimental analysis of the stratorotational instability in a cylindrical Couette flow* Phys. Rev. Lett. **99** (6), 064502, 2007.
- [5] I. Yavneh, J.C. McWilliams, J. C. Molemaker, M. Jeroen, *Non-axisymmetric instability of centrifugally stable stratified Taylor-Couette flow*, Journal of Fluid Mechanics **448**, 1-21, 2001.
- [6] P. G. Baines, H. Mitsudera, *On the mechanism of shear flow instabilities*, Journal of Fluid Mechanics **276**, 327342, 1994.
- [7] T. Satomura, *An investigation of shear instability in a shallow water*, Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II **59** (1), 148-167, 1981.
- [8] G. Facchini, B. Favier, P. Le Gal, M. Wang, M. Le Bars, *The linear instability of the stratified plane Couette flow*, arXiv preprint arXiv :1711.11312, 2018.
- [9] J. Chen, *Stabilité d'un écoulement stratifié sur une paroi et dans un canal. PhD thesis, Ecole Centrale Marseille*, 2016.
- [10] P. Le Gal, U. Harlander, I. Borcia, *Experiments on stratified Poiseuille flow in Cottbus, 18 - 27 April, 2018*, Note interne IRPHE, 2018.
- [11] S.A. Balbus, J.F. Hawley, *Instability, turbulence, and enhanced transport in accretion disks*, Rev. Mod. Phys. **70**, 153, 1998.