

Réflexion et réfraction non-linéaire d'ondes de gravité internes

Nicolas Grisouard

Laboratoire des Écoulements Géophysiques et Industriels

BP53 - 38041 Grenoble Cedex 9

☎ : 04 76 25 32 11 - courriel : nicolas.grisouard@legi.grenoble-inp.fr

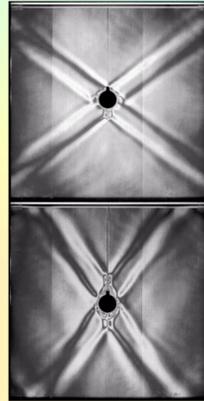
Encadré par Chantal Staquet (PR Université Joseph Fourier)



Les ondes internes dans l'océan

- Équivalentes en volume des ondes de surface
- Remontée d'eaux froides nutritives, variation de l'exposition au soleil du phytoplancton ⇒ **rôle biologique**
- Perturbation des trajets acoustiques ⇒ **importance pour les sonars**
- Mélange par déferlement, entretien de la structure thermodynamique de l'océan ⇒ **rôle climatique**

- **Forces de rappel** : stratification stable (fréquence d'oscillation naturelle N) + rotation (paramètre de Coriolis f)
- **Relation de dispersion** : $\omega^2 = N^2 \sin^2 \theta + f^2 \cos^2 \theta$ (θ = pente des rayons)
- → : Illustration ($f = 0$) : ω (haut) < ω (bas) ⇒ θ (haut) < θ (bas) (source : <http://www.gfd-dennou.org>)

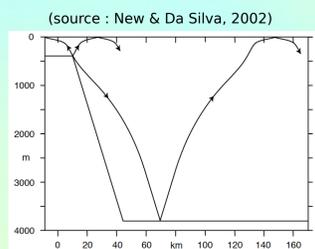


- Quand leur amplitude est forte, elles peuvent prendre la forme d'**ondes solitaires** (ondes de forme permanente)
- ↗ : Solitons dans l'océan (WA, USA) (source : <http://www.raincoastgeo.org>)
- → : Solitons dans l'atmosphère en Australie (source : wikipedia)



Génération de solitons dans une thermocline par un rayon d'ondes internes

- Dans le Golfe de Gascogne : **des solitons sont générés loin des côtes par un rayon d'ondes internes** lui-même généré sur le talus continental.
- Phénomène très mal connu, jamais observé directement
- Tracé du rayon d'ondes internes dans le Golfe de Gascogne →



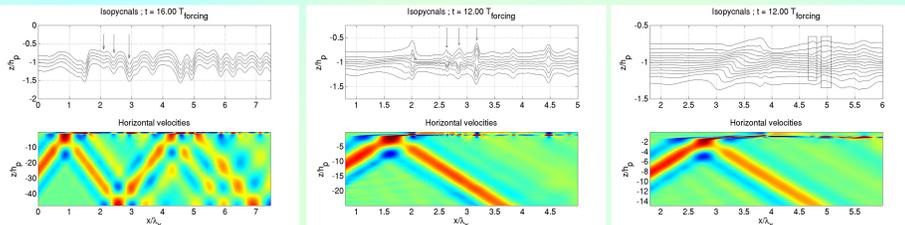
Réalisations :

- **Premières simulations numériques directes**
- **Génération idéalisée de solitons** de mode-1, mode-2 et mode-3

Solitons de mode-1 (↓),

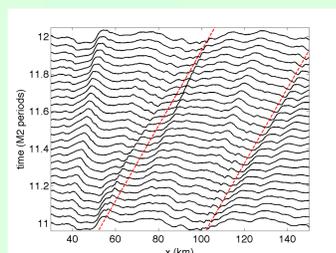
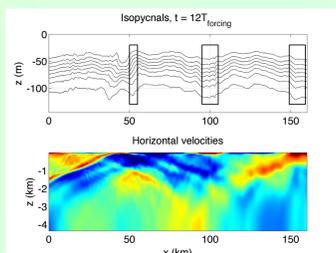
mode-2 (↓),

mode-3 (↓)



- **Deux conditions de résonances ont été dérivées** expliquant quel mode est sélectionné par un rayon :
 - 1/ égalité des vitesses de phases entre rayon et solitons
 - 2/ égalité des longueurs d'ondes entre rayon réfracté dans la thermocline et solitons (Grisouard, Staquet & Gerkema, *soumis à J. Fluid Mech.*)
- Application à des **simulations numériques 2D du Golfe de Gascogne** : il apparaît que le rayon n'est pas suffisant pour reproduire les observations, mais que **la composante sub-surface de la marée joue un rôle crucial.** (Grisouard & Staquet, *soumis à Nonlin. Processes Geophys.*)

↓ Thermocline à divers instants

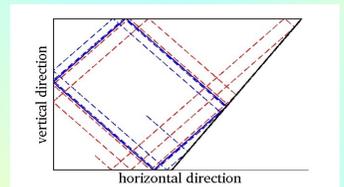


Perspectives :

- Déterminer les facteurs de qualité des résonances
- Comparaison avec les expériences de laboratoire Coriolis 2008
- Golfe de Gascogne : simulations 3D, étude théorique des effets de rotation

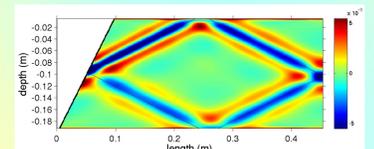
Simulations numériques d'attracteurs d'ondes internes

- Les attracteurs d'ondes internes peuvent se former dans des bassins fermés (exemple dans un bassin trapézoïdal vertical →)

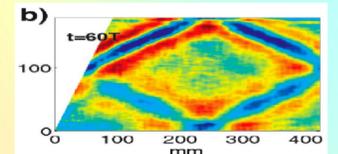


Réalisations :

- **Premières simulations numériques directes**, validation par des expériences, mise en évidence d'effets non-linéaires (Grisouard, Staquet & Pairaud, *J. Fluid Mech.* 2008)
- Combinaison simulation-expériences, (Hazewinkel, Grisouard & Dalziel, *soumis à Eur. J. Mech. B.*)



↑ Simulation ↓ Expérience

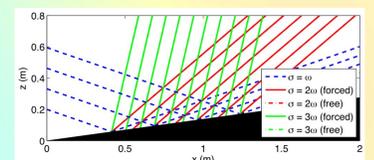


Perspectives :

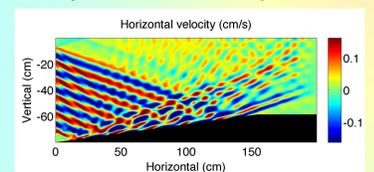
- Simulations 3D pour observer le transport de particules et le mélange turbulent
- Recherche de situations réalistes (océan, astres...)

Réflexion d'ondes planes sur un pan incliné

- Interaction entre un rayon incident sur une pente avec le rayon réfléchi ⇒ deuxième harmonique, plus raide
- Interaction entre le rayon incident et le second harmonique ⇒ troisième harmonique, etc...
- Simulations numériques + expériences (grande table tournante Coriolis, Grenoble) ⇒ **étude des résonances triadiques**
- Travail en cours...



↑ Rayons & harmoniques



↑ Simulation numérique

