

1. Ondes internes de gravité

Les études sur les ondes internes de gravité ont porté sur l'émission des ondes, leur propagation et plusieurs processus de transfert d'énergie.

Théorie linéaire de l'émission d'ondes internes par un objet oscillant. Le contexte théorique d'une topographie oscillante dans un fluide uniformément stratifié au repos a été considéré par B. Voisin. La théorie, linéaire, que B. Voisin a développée, se distingue de la littérature par sa capacité à prendre en compte des effets jusque là négligés : tridimensionnalité, instationnarité, champ proche et modification de la masse ajoutée de la topographie par la stratification du fluide. Tous ces effets sont présents dans l'océan. L'application de la même approche à la diffraction par un obstacle est en cours (ANR PIWO).

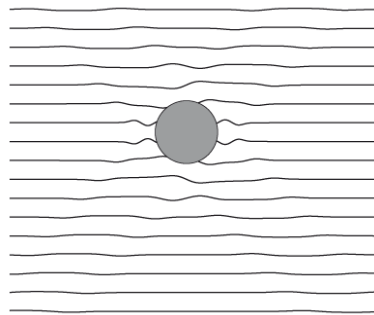
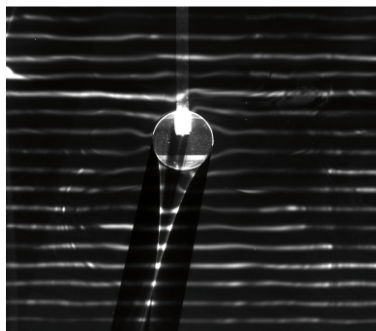


Figure 1 : Déformation des lignes d'iso-densité par une sphère oscillante : expérience (à gauche) et théorie (à droite).

Des expériences ont été réalisées par J.-B. Flor en collaboration avec E. Ermanyuk (professeur invité). Elles mettent en jeu une sphère oscillante et démontrent de façon frappante la supériorité de la nouvelle théorie par rapport aux théories existantes (Figure 1). À l'occasion de ces expériences, une nouvelle méthode de mesure des ondes internes a été développée, reposant sur l'emploi conjoint de plans laser et de plans de colorant.

Emission d'ondes internes par un vent catabatique. L'émission d'ondes internes par un courant de gravité a été étudiée numériquement dans le contexte d'un vent catabatique en vallée encaissée. Si ce vent se produit dans une atmosphère stablement stratifiée, des ondes internes sont émises. Ces ondes sont généralement confondues dans la littérature avec des oscillations existant au sein du vent (simplement dues aux effets de compression adiabatique qui réchauffent l'air et le ralentissent). Le travail mené par C. Chemel (ATER à l'UJF) et C. Staquet a permis de caractériser chacun de ces mouvements oscillants et de montrer que les ondes se propagent dans une direction bien déterminée, indépendante de la pente locale de la topographie d'où elles sont émises, en accord avec une prédiction théorique de B. Voisin.

Propagation et transferts d'énergie de la marée interne. L'étude des ondes internes générées par la marée dans l'océan -ou marée interne- est motivée par le rôle que ces ondes pourraient jouer dans la remontée des eaux froides abyssales, via le mélange qu'elles induisent.

L'étude de la marée interne dans le cadre du contrat ANR TOPOGI-3D a conduit à la première comparaison numérique et expérimentale de la génération de la marée interne, les expériences ayant été menées sur la plate-forme Coriolis. Ce travail d'envergure a fait l'objet de la thèse de M.M. Mehdizadeh et du post-doc ANR d'I. Pairaud. Un très bon accord numérique/expérimental a ainsi été obtenu concernant la structure du champ de marée interne, ainsi qu'avec la théorie linéaire d'Hurley & Keady (J. Fluid Mech. 1997), qui prédit la structure du champ d'ondes émis par un cylindre oscillant de même rayon de courbure que la topographie au lieu d'émission des ondes.

Nous avons également montré, tant numériquement qu'expérimentalement, que des ondes internes de fréquence double de celle de la marée interne sont produites lors de la réflexion de celle-ci sur le « fond de l'océan », par interaction non linéaire avec le champ réfléchi. Finalement,

lorsque l'amplitude de forçage augmente, expériences et simulations montrent que le champ d'ondes devient le siège d'une instabilité paramétrique, conduisant à la formation de petites échelles verticales favorables au mélange.

La marée interne peut également transférer son énergie vers de petites échelles verticales par interaction avec une thermocline sous forme d'ondes interfaciales non linéaires. N. Grisouard, doctorant avec C. Staquet, a déterminé numériquement les conditions pour que ces ondes soient générés au sein de la thermocline, un résultat important au plan international. Ce travail a fait l'objet d'une étroite collaboration entre L. Gostiaux et T. Gerkema (NIOZ, Pays-Bas), qui ont également montré pour la première fois l'apparition de telles ondes non linéaires dans une expérience de laboratoire (Figure 2). Ces expériences utilisaient un nouveau générateur d'ondes planes imaginé et mis au point par l'équipe 'Coriolis', sorte de 'laser' à ondes internes, qui ouvre de nombreuses voies sur l'interaction de ces ondes avec des parois ou des tourbillons.

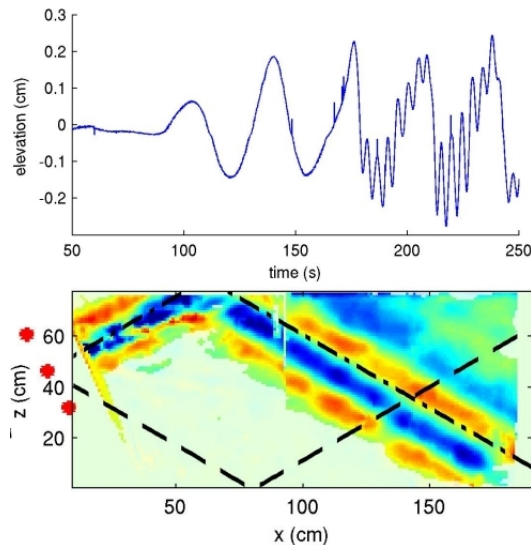


Figure 2 : Rayon de marée interne (figure du bas) se propageant vers une pycnocline (région de fort gradient de densité, située ici juste sous la surface et à peine visible). Sous certaines conditions, des ondes non linéaires de type 'solitons' sont produites à la pycnocline, comme le montrent un enregistrement acoustique sur la figure du haut.

Interactions ondes-vortex. JB Flor et F. Moulin, doctorant, ont étudié l'interaction entre ondes d'inertie-gravité et un tourbillon en fluide stratifié tournant, et mis en évidence le régime pour lequel les ondes déferlent et entraînent un mélange local et chaotique. En outre, les ondes déposent de la quantité de mouvement provoquant dans certains cas l'instabilité du tourbillon. Ce type d'interaction a également été étudié par la théorie des rayons et des simulations numériques tridimensionnelles lorsque les ondes interagissent avec un écoulement moyen (post-doctorat de N. Edwards, avec C. Staquet) : la réfraction des ondes peut alors conduire à un transfert linéaire d'énergie vers de très petites échelles et à la dissipation de celles-ci. L'interaction entre des ondes internes de mode 1 et un tourbillon lenticulaire est actuellement étudiée par JB Flor, en collaboration avec T. Dauxois de l'ENS-Lyon. Un autre exemple d'interaction entre ondes et tourbillons concerne la dynamique des cyclones intenses. Des études préliminaires ont montré une influence dominante des ondes de Rossby sur la vitesse et la direction de propagation des cyclones intenses.