

ED SMAER

Sujet de thèses 2013

Laboratoire : Laboratoire Matière et Systèmes Complexes

Etablissement de rattachement : Université Paris Diderot

Directeur de thèse et section CNU ou CNRS : Eric Falcon Directeur de Recherche CNRS (HDR) Section 2

Codirection et section CNU et CNRS : Michael Berhanu Chargé de Recherche CNRS section 10

Titre de la thèse : Statistiques spatiales en turbulence d'ondes gravito-capillaires.

Collaborations dans le cadre de la thèse : N. Mordant (LEGI Grenoble)

Rattachement à un programme :

Le sujet peut être publié sur le site web de l'ED SMAER : OUI ~~NON~~ rayer la mention inutile.

Résumé du sujet :

NOTA : l'ED SMAE collecte environ 100 fiches par an. Merci de limiter cette fiche à 1 page maxi.

Statistiques spatiales en turbulence d'ondes gravito-capillaires.

La turbulence d'ondes consiste à l'étude statistique d'un champ d'ondes interagissant non linéairement, pour lequel on pourra observer des transferts d'énergie via une cascade turbulente. Dans le cas faiblement non-linéaire, la théorie permet d'aborder analytiquement le phénomène. Nous proposons d'étudier au laboratoire la turbulence d'ondes à la surface d'un liquide. La plupart des mesures étaient jusqu'à présent localisées en espace impliquant des mesures temporelles, tandis que les prédictions théoriques sont souvent relatives à l'espace de Fourier. Pour mesurer le champ de déformation des ondes, résolu en temps et en espace, nous utilisons des méthodes optiques (profilométrie par Transformée de Fourier pour les vagues de gravité et *Diffusing Light Photography* pour les ondes capillaires). La relation de dispersion (linéaire et non-linéaire), les spectres spatiaux et temporels et la statistique des modes de Fourier ont été ainsi mesurés et comparés aux prédictions théoriques. Il semble que les mécanismes de transfert d'énergie en turbulence d'ondes ne se restreignent pas aux interactions purement résonantes entre ondes non linéaires (comme le suppose la théorie), mais impliquent la formation de structures non-linéaires localisées et d'ondes liées. On propose d'étudier les corrélations à trois ou à quatre ondes pour déterminer la présence d'interactions résonantes et aussi de détecter et d'observer les structures localisées. Une autre piste consistera à étudier la conversion des ondes de gravité en ondes capillaires, pour les vagues de forte amplitude.

Sujet développé (à présenter en 2 ou 3 pages maximum,
en précisant notamment le contexte, les objectifs, les résultats attendus)

Statistiques spatiales en turbulence d'ondes gravito-capillaires.

Contexte :

La turbulence d'ondes consiste à l'étude statistique d'un champ d'ondes interagissant non linéairement, pour lequel on pourra observer des transferts d'énergie via une cascade turbulente. Dans le cas faiblement non-linéaire, la théorie permet d'aborder analytiquement le phénomène. Nous proposons d'étudier au laboratoire la turbulence d'ondes à la surface d'un liquide. La plupart des mesures étaient jusqu'à présent localisées en espace impliquant des mesures temporelles, tandis que les prédictions théoriques sont souvent relatives à l'espace de Fourier. Pour mesurer le champ de déformation des ondes, résolu en temps et en espace, nous utilisons des méthodes optiques (profilométrie par Transformée de Fourier pour les vagues de gravité et « *Diffusing Light Photography* » pour les ondes capillaires). La relation de dispersion (linéaire et non-linéaire), les spectres spatiaux et temporels et la statistique des modes de Fourier ont été ainsi mesurés et comparés aux prédictions théoriques.

Pour la turbulence d'ondes de gravité nous avons pu montrer [Herbert] que dans les régimes de turbulence d'ondes la relation de dispersion s'écarte de la solution linéaire du fait de l'apparition d'ondes liées, (branches secondaires, harmoniques d'une branche principale). Les spectres spatio-temporels présentent un désaccord avec la prédiction théorique. Dans des conditions analogues, il serait possible de retrouver les prédictions théoriques et d'éviter l'apparition d'ondes liées [Cobelli], en changeant les paramètres de forçage, c'est-à-dire en jouant sur la gamme de fréquences injectées dans le système. Le rôle crucial des caractéristiques du forçage ainsi que l'influence des ondes liées sur les régimes de turbulence d'ondes restent à déterminer.

Pour la turbulence d'ondes capillaires, nous avons observés des spectres de hauteur de vague en loi de puissance en bon accord avec la théorie, à la fois en espace et en temps [Berhanu]. Néanmoins dans les conditions d'observation des régimes turbulent les hypothèses utilisées dans la dérivation analytique de la théorie ne sont pas complètement valable, à savoir le champ de vagues doit être homogène et isotrope, la dissipation visqueuse négligeable et la non-linéarité faible. Le fait que le paramètre quantifiant la non-linéarité soit de l'ordre de 0.3, permet de s'interroger sur la présence effective d'interactions résonantes à 3 ondes. On peut alors se demander si les spectres observés ne seraient pas compatibles avec d'autres mécanismes d'interaction.

Ainsi il semble que les mécanismes de transfert d'énergie en turbulence d'ondes ne se restreignent pas aux interactions purement résonantes entre ondes non linéaires (comme le suppose la théorie), mais impliquent la formation de structures non-linéaires localisées et d'ondes liées.

Objectifs et résultats attendus :

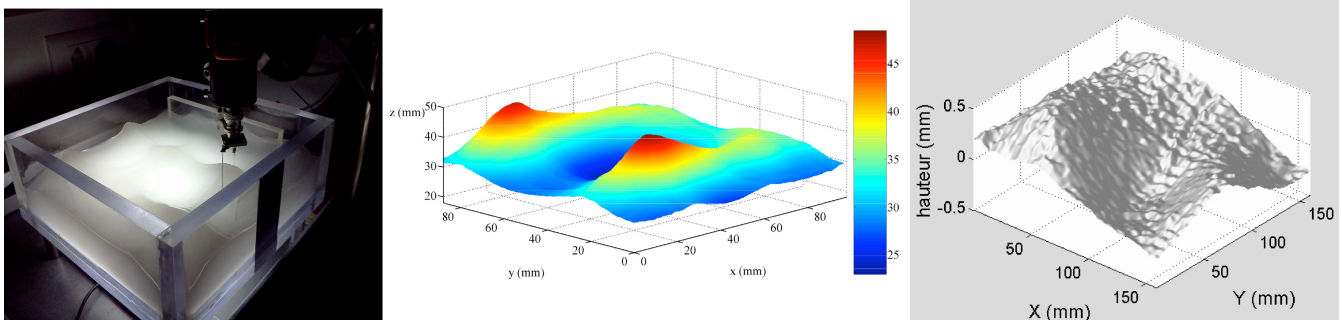
On propose ainsi d'étudier les corrélations à trois ou à quatre ondes pour déterminer la présence d'interactions résonantes. Néanmoins le calcul des corrélations entre triades ou quartettes résonnantes nécessite une grande quantité de données pour converger les corrélations. La méthode « *Diffusing Light Photography* » associée à une écriture des images en direct devrait permettre de calculer les corrélations à petite échelle des ondes capillaires. Dans un second temps, on passera aux mesures des corrélations pour les ondes de gravité, en utilisant la « *profilométrie par Transformée de Fourier* ». Puis le flux local d'énergie à travers les échelles et le temps d'interaction non-linéaire entre ondes pourront être aussi estimés grâce

aux mesures spatio-temporelles. On pourra ainsi répondre à deux questions fondamentales : Est-ce que le flux d'énergie moyen est conservé à travers les échelles ? Comment ses fluctuations évoluent lorsqu'on parcourt la cascade vers les petites échelles ?

Cette dernière question pourrait expliquer l'origine de l'intermittence des signaux turbulents **[Falcon]**.

D'autre part les structures localisées ou cohérentes seront détectés par exemple en utilisant une analyse spatiale en ondelette. L'évolution et la dynamique de ces structures seront caractérisées au cours du temps. La présence de ces structures dans le champ de vagues, pourrait en brisant transitoirement l'invariance d'échelles, expliquer le désaccord avec les prédictions théoriques.

Enfin les résultats pourront être comparés avec des simulations de turbulence d'ondes capillaires (3D) et gravito-capillaires (2D), obtenues avec le solveur GERRIS (collaboration avec Luc Deike (MSC), Daniel Fuster (Institut d'Alembert) et Stéphane Popinet).



Mesure du champ de déformation d'un ensemble d'ondes en interaction à la surface d'un fluide. Méthode « *Diffusing Light Photography* » (Gauche). Reconstruction du champ de vagues par la technique précédente pour des vagues de forte amplitude (centre). Reconstruction du champ de vagues par *profilométrie par Transformée de Fourier* (droite).

Références :

- **[Herbert]** E. Herbert, N. Mordant and E. Falcon, *Physical Review Letters* **105**, 144502 (2010) *Nonlinear dispersion relation and spatial statistics of wave turbulence on the surface of a fluid*
- **[Berhanu]** M. Berhanu and E. Falcon, *Physical Review E* **89**, 033003 (2013) *Space-time-resolved capillary wave turbulence*
- **[Cobelli]** P. Cobelli, A. Prasadka, P. Petitjeans, G. Lagubeau, V. Pagneux and A. Maurel, *Physical Review Letters*, **107**, 214503 (2011) *Different regimes for waterwave turbulence*
- **[Falcon]** E. Falcon, S.G. Roux and C. Laroche *EPL* **90**, 34005 (2010) *Origin of intermittency in wave turbulence*