

# Statistiques spatiales en turbulence d'ondes gravito-capillaires.

Laboratoire Matière et Systèmes Complexes (MSC), Université Paris Diderot.  
UMR CNRS 7057

Bâtiment Condorcet, 10 rue Alice Domon et Léonie Duquet 75013 Paris

Nom des responsables du stage: **Michael Berhanu** ( Chargé de recherche) et **Eric Falcon** (Directeur de recherche).

Contact :

[michael.berhanu@univ-paris-diderot.fr](mailto:michael.berhanu@univ-paris-diderot.fr)    [Eric.Falcon@univ-paris-diderot.fr](mailto:Eric.Falcon@univ-paris-diderot.fr)

téléphone : 01 57 27 70 44

téléphone : 01 57 27 62 19

Site internet : <http://www.msc.univ-paris-diderot.fr/~berhanu/>

<http://www.msc.univ-paris-diderot.fr/~falcon/>

Lieu du stage: **Laboratoire Matière et Systèmes Complexes (MSC)**

Niveau souhaité : M1 ou L3, stage à dominante expérimentale. Avoir déjà suivi un cours en mécanique des fluides est souhaitable.

Contexte :

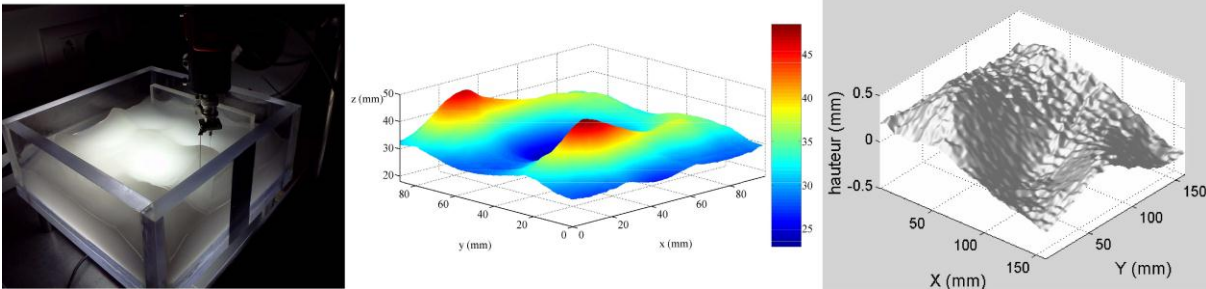
La turbulence d'ondes consiste à l'étude statistique d'un champ d'ondes interagissant non linéairement, pour lequel on pourra observer des transferts d'énergie via une cascade turbulente. Dans le cas faiblement non-linéaire, la théorie permet d'aborder analytiquement le phénomène. Nous proposons d'étudier 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.



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).

### Objectifs et résultats attendus :

On propose ainsi d'étudier les mécanismes sous-jacents aux régimes de turbulence d'ondes en utilisant des mesures spatio-temporelles de vagues. La méthode « *Diffusing Light Photography* » associée à une écriture des images en direct permet de caractériser la dynamique à petite échelle des ondes capillaires. Dans un second temps, on étudiera le cas des ondes de gravité, en utilisant la « *profilométrie par Transformée de Fourier* ». Pour ces deux systèmes, plusieurs pistes de travail sont envisageables.

#### A) Caractérisation des interactions résonantes et transition à la turbulence d'ondes.

Les interactions résonantes à trois ondes (capillarité) ou quatre ondes (gravité) constituent le mécanisme non-linéaire invoqué, régissant les échanges d'énergie à travers les échelles. Une première étape consiste en utilisant une excitation contrôlée de quelques modes à faible amplitude, de détecter l'apparition du mode résonant en espace et en temps. Lorsque l'amplitude d'excitation est augmentée, le nombre de modes excités (triades ou quartets excités) devrait augmenter, permettant d'atteindre progressivement un régime pleinement turbulent. L'influence de la dissipation visqueuse sur les interactions résonantes reste à caractériser.

#### B) Corrélations spatio-temporelles en régime de turbulence d'ondes.

Pour les régimes stationnaires de turbulence d'ondes, l'analyse fine des données des mesures spatio-temporelles devrait permettre d'approfondir notre compréhension de ce phénomène. Un premier objectif consiste à détecter des corrélations à trois ou à quatre ondes pour déterminer la

présence ou non, d'interactions résonantes en régime pleinement turbulent. Ensuite on pourra estimer le temps d'interaction non-linéaire entre ondes ou le temps de cascade, à partir de l'élargissement de la relation de dispersion. Enfin en exprimant la dissipation visqueuse à une échelle **[Deike]**, le flux local d'énergie à travers les échelles pourra être aussi estimé au cours du temps. 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]**.

### C) Vagues fortement non-linéaires et structures localisées.

En régimes fortement non-linéaires, d'autres mécanismes précurseurs du phénomène de déferlement, pourraient induire un transfert d'énergie à travers les échelles. Ces mécanismes fortement non-linéaires se caractérisent par la présence de structures localisées ou cohérentes, brisant l'invariance d'échelles. On essaiera de détecter ces structures et de caractériser l'évolution et la dynamique de ces structures au cours du temps. Plus fondamentalement on cherchera à savoir si ces mécanismes peuvent être inclus dans la description statistique des champs de vague turbulents et comment leur présence modifie les prédictions de la théorie de turbulence d'ondes.

### 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 water wave turbulence*
- **[Deike]** L. Deike, M. Berhanu and E. Falcon, submitted to Physical Review E *Dissipation effects and estimation of the energy flux in capillary wave turbulence*
- **[Falcon]** E. Falcon, S.G. Roux and C. Laroche EPL **90**, 34005 (2010) *Origin of intermittency in wave turbulence*