



HAL
open science

Turbulence d'onde faible et forte dans une plaque élastique mince vibrée

Nicolas Mordant

► **To cite this version:**

Nicolas Mordant. Turbulence d'onde faible et forte dans une plaque élastique mince vibrée. CFM 2015 - 22ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2015, Lyon, France. <hal-03446376>

HAL Id: hal-03446376

<https://hal.science/hal-03446376v1>

Submitted on 24 Nov 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

Turbulence d'onde faible et forte dans une plaque élastique mince vibrée

N. Mordant^a

a. Université Grenoble Alpes, LEGI, CNRS F-38000 Grenoble, France. Institut Universitaire de France, 103, bd Saint Michel, F-75005 Paris, France.
nicolas.mordant@ujf-grenoble.fr

Résumé :

Une plaque élastique mince vibrée peut donner lieu à un régime de turbulence d'ondes de flexion. Une cascade d'énergie est alors observée des grandes échelles de forçage vers les échelles auxquelles la dissipation domine. En combinant des expériences et des simulations numériques, je montrerai que pour des forçages faibles, le régime de turbulence observé est compatible avec la phénoménologie de la turbulence faible malgré des différences quantitatives. Pour des amplitudes de forçage intenses, un régime de turbulence fortement non linéaire est observé dans lequel la turbulence faible coexiste avec des singularités de type cônes développables.

Abstract :

A vibrated thin elastic plate can develop a regime of turbulence of bending waves. An energy cascade is then observed from the large forcing scales to the scales at which dissipation dominates. By presenting both experiments and numerical simulations, I will show that at weak forcing, the observed regime is compatible with the phenomenology of weak turbulence despite quantitative differences. A strong forcing amplitudes, a regime of strongly non linear turbulence is observed in which weak turbulence coexists with singularities such as developable cones.

Mots clés : Plaque mince vibrée, turbulence d'onde, turbulence faible, singularités, cônes développables.

Un grand nombre d'ondes non linéaires peuvent échanger entre elles de l'énergie et développer un état turbulent. Les propriétés statistiques d'une telle turbulence d'onde ont été décrites théoriquement pour une non linéarité faible dans la cadre de la théorie de la turbulence faible. Dans cette théorie, seules des ondes résonantes peuvent échanger des quantités significatives d'énergie sur des temps longs à cause du faible couplage non linéaire. La phénoménologie prédite pour des états statistiquement stationnaires ressemble à celle de la turbulence hydrodynamique : l'énergie est injectée à grande échelle

et cascade vers les petites échelles auxquelles la dissipation domine et absorbe l'énergie en chaleur. Une différence majeure avec la turbulence fluide est que des prédictions analytiques pour les spectres stationnaires (et d'autres quantités statistiques) peuvent être obtenues pour la turbulence faible [1, 2, 3]. Le cas des ondes à la surface de l'océan fait partie des systèmes physiques pionniers qui ont conduit au développement de la théorie [4]. La théorie a ensuite été appliquée à de nombreux autres systèmes d'ondes (dans les plasmas [1], les vents solaires [5], l'optique non linéaire [6], la turbulence superfluide [7], ...).

Le cas de la plaque élastique mince vibrée a été étudié par Düring *et al.* [8] avec un titre très attractif : "the sound of the Kolmogorov spectrum". Les premières simulations numériques ont confirmé le spectre issu de la théorie de la turbulence faible mais les premières expériences [9, 10] ont, au contraire, rapporté des spectres très différents des prédictions. La question qui fut posée alors fut de savoir si les hypothèses de la turbulence faible étaient réellement vérifiées.

Nous avons mis en place une expérience utilisant une tôle en acier de taille $2 \times 1 \text{ m}^2$ et d'épaisseur 0.4 mm. La déformation de la plaque est mesurée par une technique de profilométrie à transformée de Fourier qui permet une caractérisation complète des ondes [11, 12]. Un motif est projeté sur la plaque par un vidéoprojecteur et la déformation du motif est enregistré par une caméra rapide (jusqu'à 10000 images/s). Le motif peut alors être inversé pour remonter à la déformation de la plaque sur une surface de 1 m^2 de façon résolue en temps.

Simultanément, nous avons développé une simulation numérique idéalisée (code pseudo-spectral, conditions aux limites pseudopériodiques). Nous y incorporons une dissipation qui est soit la dissipation linéaire mesurée dans les expériences, soit une dissipation idéalisée compatible avec la phénoménologie de la théorie de turbulence faible ([13], voir aussi [14]).

Ces deux outils combinés, nous permettent ainsi d'obtenir de nombreux résultats complémentaires très originaux dans le cadre de l'étude de la turbulence d'onde.

Nous avons ainsi mis en évidence l'existence de deux régimes de turbulence d'onde [13, 15, 16]. Un premier régime correspond réellement à une turbulence faiblement non linéaire, en accord avec la phénoménologie de la théorie mais avec des désaccords quantitatifs sur les propriétés de similarité des spectres de déformations observés dans les expériences. Des études poussées de la dynamique des ondes nous ont permis de montrer que ces différences sont dues à la dissipation qui est présente à toutes les échelles dans les expériences contrairement à la situation idéale prise en compte dans la théorie.

La figure 1 montre la différence entre la situation de forçage faible et celle de forçage très intense. On observe que la morphologie est très différente. On observe la domination de structures très localisées telles que des crêtes qui connectent des singularités quasi ponctuelles qui sont des cônes développables.

Au cours de cette présentation, je caractériserai rapidement ces deux régimes en insistant spécialement sur le cas de la turbulence fortement non linéaire.

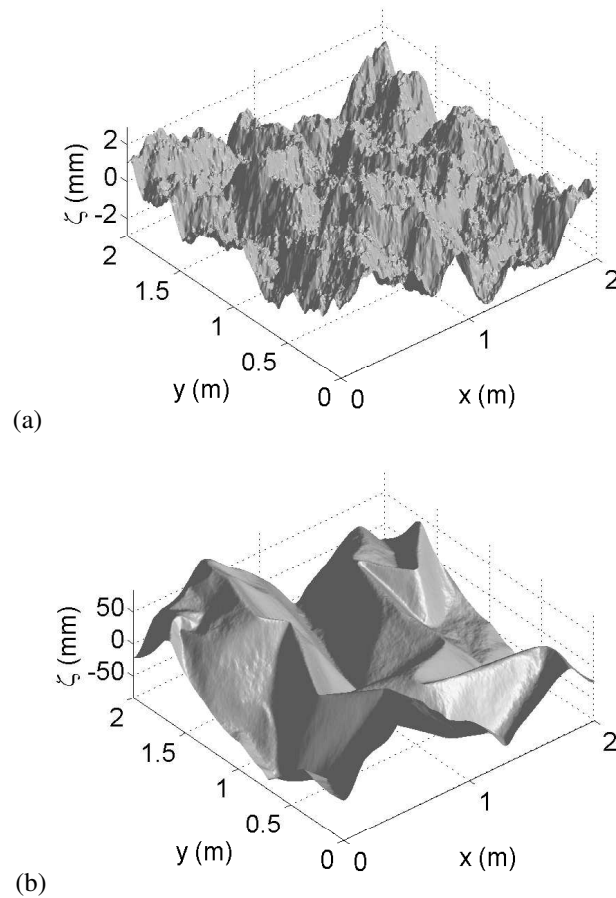


FIGURE 1 – (a) Déformation observée dans la simulation numérique pour un cas de forçage faible et de turbulence compatible avec la théorie. (b) Cas d'un forçage intense dans lequel on observe des structures singulières, notamment des cônes développables [16].

Références

- [1] V. E. Zakharov, V. S. L'vov and G. Falkovich, *Kolmogorov Spectra of Turbulence*, Springer, Berlin, 1992.
- [2] S. Nazarenko, *Wave Turbulence*, Springer, Berlin, 2011.
- [3] A. C. Newell and B. Rumpf, *Wave turbulence*, Ann. Rev. Fluid Mech., 2011.
- [4] K. Hasselmann, *On the non-linear energy transfer in gravity-wave spectrum. Part 1. General theory*, J. Fluid Mech. 12, 1962.
- [5] S. Galtier and E. Buchlin, *Multi-Scale Hall-MHD Turbulence in the Solar Wind*, Astrophys. J. 656, 2007.

- [6] S. Dyachenko, A. C. Newell, A. Pushkarev and V. E. Zakharov, *Optical turbulence ? Weak turbulence, condensate and collapsing filaments in the nonlinear Schrödinger equation*, Physica D 57, 1992.
- [7] L. Boué, R. Dasgupta, J. Laurie, V. L'vov, S. Nazarenko and I. Procaccia, *Exact solution for the energy spectrum of Kelvin-wave turbulence in superfluids*, Phys. Rev. B 84, 2011.
- [8] G. Düring, C. Josserand and S. Rica, *Weak turbulence for a vibrating plate : can one hear a Kolmogorov spectrum ?*, Phys. Rev. Lett. 97, 2006.
- [9] A. Boudaoud, O. Cadot, B. Odille and C. Touzé, *Observation of wave turbulence in vibrating plates*, Phys. Rev. Lett. 100, 2008.
- [10] N. Mordant, *Are there waves in elastic wave turbulence ?*, Phys. Rev. Lett. 100, 2008.
- [11] P. J. Cobelli, A. Maurel, V. Pagneux and P. Petitjeans, *Global measurement of water waves by Fourier transform profilometry*, Exp. Fluids 46, 2009.
- [12] A. Maurel, P. Cobelli, V. Pagneux and P. Petitjeans, *Experimental and theoretical inspection of the phase-to-height relation in Fourier transform profilometry*, Appl. Optics 48, 2009.
- [13] B. Miquel, A. Alexakis and N. Mordant, *Role of dissipation in flexural wave turbulence : from experimental spectrum to Kolmogorov-Zakharov spectrum*, Phys. Rev. E 89, 2014.
- [14] T. Humbert, O. Cadot, G. Düring, C. Josserand, S. Rica and C. Touzé, *Wave turbulence in vibrating plates : the effect of damping*, EPL 102, 2013.
- [15] B. Miquel and N. Mordant, *Nonlinear dynamics of flexural wave turbulence*, Phys. Rev. E 84, 2011.
- [16] B. Miquel, A. Alexakis, C. Josserand and N. Mordant, *Transition from Wave Turbulence to Dynamical Crumpling in Vibrated Elastic Plates*, Phys. Rev. Lett. 111, 2013.