

Turbulence d’ondes à la surface d’une tôle mince : régimes transitoires

Benjamin Miquel¹ & Nicolas Mordant¹

LPS ENS, 24 rue Lhomond, 75231 Paris
benjamin.miquel@lps.ens.fr

La théorie de la turbulence faible (TTF) décrit l’évolution statistique d’un ensemble d’ondes interagissant de façon faiblement non-linéaire, dans des systèmes variés (ondes de surface, ondes d’Alfven, ondes de flexion, etc.). L’hypothèse de faible non-linéarité, ajoutée à celle d’un système infini, permet de dériver une expression analytique pour le spectre (dit ”de Kolmogorov-Zakharov” [1]) transportant conservativement l’énergie des grandes échelles où elle est injectée, vers les petites échelles où elle est dissipée. Une séparation d’échelles temporelles entre la période des ondes, le temps non-linéaire d’interaction et le temps caractéristique de dissipation est nécessaire. Appliquée spécifiquement aux ondes de flexion se propageant à la surface d’une plaque métallique par Düring [2], la TTF prédit l’existence de transferts d’énergie entre quadruplets d’onde résonants, aboutissant à l’établissement d’un spectre stationnaire $E_k^{KZ} = P^{1/3} k \log^{1/3}(k^*/k)$ (où k^* est le vecteur d’onde de coupure UV). Notre système consiste en une plaque d’acier fine ($0.4 \text{ mm} \times 1 \text{ m} \times 2 \text{ m}$) suspendue sous son propre poids. Un vibreur fixé solidairement à la plaque impose une vibration à 30 Hz. L’étude est réalisée grâce à une technique de profilométrie optique développée par Cobelli *et al.* [3] utilisée pour mesurer au cours du temps la déformation de la plaque et obtenir ainsi le spectre spatio-temporel du mouvement [4]. La localisation dans le spectre spatio-temporel de l’énergie au voisinage immédiat d’une surface correspondant à la relation de dispersion $\omega = ck^2$ constitue une preuve expérimentale d’un mouvement composé d’ondes. Les spectres spatiaux et temporels mesurés dans le régime stationnaire hors équilibre sont en désaccord avec le spectre de Kolmogorov-Zakharov, tant pour le scaling en puissance injectée qu’en fréquence. Certaines prédictions de la TTF sont néanmoins vérifiées : d’une part, la distribution de probabilité des spectres est gaussienne, d’autre part la loi de puissance suivie par le spectre et par la correction à la relation de dispersion due aux non-linéarités est identique (bien qu’en désaccord avec la théorie). L’étude des régimes transitoires éclaire en partie ces désaccords. La mesure du spectre spatial au cours du temps lors du transitoire d’établissement est compatible avec un transfert d’énergie via des quadruplets résonants. L’observation de ces spectres semble indiquer que les désaccords des spectres stationnaires avec les prédictions proviennent du forçage. Une mesure identique lors du déclin de la turbulence, après arrêt du forçage, montre des spectres isotropes semblables aux prédictions. La fréquence de coupure ω^* décroît avec la quantité d’énergie présente dans la cascade et donc avec le temps, de sorte que la composante de Fourier d’un vecteur d’onde donné se situe successivement dans la cascade non-linéaire, puis dans la partie dissipative du spectre. Il y’a une séparation d’échelles claire entre le temps caractéristique de dissipation mesuré et la période des ondes. Nous avons par ailleurs entrepris une analyse en ondelettes du mouvement de la plaque pour déterminer le temps non-linéaire, et vérifier qu’il se situe bien entre le temps de dissipation et la période des ondes.

Références

1. V.E. Zakharov, V.S. L’vov, and G. Falkovich, *Kolmogorov Spectra of Turbulence I* (Springer, Berlin, 1992)
2. G. Düring, C. Josserand, S. Rica, *Weak turbulence for a vibrating plate : can one hear a Kolmogorov spectrum ?*, Phys. Rev. Lett. **97**, 025503 (2007)
3. P. Cobelli, P. Petitjeans, A. Maurel, V. Pagneux, *Experimental and theoretical inspection of the phase-to-height relation in Fourier transform profilometry*, Applied Optics **48**, 380 (2009)
4. N. Mordant, *Fourier analysis of wave turbulence in a thin elastic plate*, Eur. Phys. J. B **76**, 537-545 (2010)