

Équilibre thermodynamique en turbulence d'ondes capillaires

G. Michel, F. Pétrélis & S. Fauve

Laboratoire de Physique Statistique, École Normale Supérieure, Paris
 guillaume.michel@ens.fr

Près d'un siècle après l'approche de Richardson, la phénoménologie de la turbulence est aujourd'hui établie : la puissance injectée est transférée aux petites échelles où elle est alors dissipée par viscosité [1]. Pour un nombre d'onde k de cette cascade, le spectre d'énergie est en pratique proche de la loi en $k^{-5/3}$ de Kolmogorov [2]. La turbulence d'ondes, c'est-à-dire l'étude statistique d'un grand nombre d'ondes en interaction, suit le même schéma. C'est par exemple le cas des ondes capillaires [3], où un régime autosimilaire décrit par un spectre d'énergie en loi de puissance en k est prédit entre les échelles de forçage et dissipative.

La cascade de Richardson concerne les échelles plus petites que celles du forçage, et cette approche doit être complétée par une description des grandes échelles. Dans un état turbulent stationnaire [4], on a parfois suggéré des statistiques d'équilibre thermique [2], impliquant en particulier que tous les modes partagent la même énergie moyenne. Cela s'obtient par exemple en supposant, en moyenne, un transfert d'énergie nul entre échelles. En turbulence hydrodynamique tridimensionnelle, une étude numérique récente a confirmé cette prédiction [7], mais des expériences manquent toujours. En turbulence d'ondes, il est possible de démontrer ces statistiques d'équilibre dans le formalisme de la turbulence faible [8]. Les ondes capillaires sont le système le plus simple concerné par ces prédictions et les grandes échelles furent étudiées expérimentalement dans une couche mince d'hélium liquide [9]. Cependant, à cause d'une dissipation trop importante, une seconde cascade d'énergie fut observée à la place de la zone d'équilibre thermique, et fut par la suite expliquée théoriquement [10].

Le travail que nous présentons ici rend compte de notre observation d'une zone d'équilibre thermique en turbulence d'ondes capillaires. Cela montre que les grandes échelles d'un système hors-équilibre vérifient l'équipartition de l'énergie et peuvent être décrites par des statistiques d'équilibre. Pour cela, nous avons utilisé une hauteur conséquente d'un fluide de faible viscosité cinématique (du mercure), réduisant à la fois la dissipation en volume et au fond. Nous mesurons les propriétés statistiques de cet état (spectre d'énergie et fonction de distribution de l'élévation de surface) et montrons comment la température effective est reliée à la puissance injectée maintenant ce système hors-équilibre.

Références

1. Ici, nous ne nous intéressons pas aux systèmes présentant une cascade inverse, telles la turbulence bidimensionnelle ou la turbulence d'ondes de gravité.
2. U. Frish, Cambridge University Press, Turbulence : The Legacy of A. N. Kolmogorov (Cambridge, England) (1963).
3. S. Nazarenko, Wave Turbulence (2011).
4. Pour de la turbulence en déclin, les grandes échelles ont été modélisées par Batchelor et Saffman [5,6].
5. G. K. Batchelor et G. K. Proudman Trans. R. Soc. A **248**, 369 (1956).
6. P. J. Saffman, J. Fluid Mech. **27**, 581 (1967).
7. V. Dalls, S. Fauve et A. Alexakis, Phys. Rev. Lett. **115**, 204501 (2015).
8. E. Balkovsky, G. Falkovich, V. Lebedec et I. Ya Shapiro, Phys. Rev. E **52**, 4537 (1995).
9. L. V. Abdurakhimov, M. Arefin, G. V. Kolmakov, A. A. Levchenko, Yu. V. Lvov et I. A. Remizov, Phys. Rev. E **91**, 023021 (2015).
10. Yu. V. Lvov, H. Andy and G. V. Kolmakov, EPL **112**, 24004 (2015).