Observation de la cascade de Kolmogorov

Le Berre Martine[1], Josserand Christophe[2], Lehner Thierry[3] & Pomeau Yves[4]

[1] ISMO-CNRS, Université Paris-Sud, 91400 Orsay, France.
[2] Sorbonne Universités, CNRS & UPMC Univ Paris 06, UMR 7190, Institut Jean Le Rond d'Alembert, 75005, Paris, France.
[3] LUTH, UMR 8102 CNRS, Observatoire de Paris- Meudon, 5 Place J. Janssen, 92195 Meudon, France
[4] Department of Mathematics University of ArizonaTucson AZ 85721, USA
martine.le-berre@u-psud.fr

La théorie de la turbulence de Kolmogorov [1] est basée sur l'idée qu'à très grand nombre de Reynolds l'énergie est transportée depuis la grande échelle ℓ_0 où elle est injectée jusqu'aux plus petites échelles, ℓ_ν où elle est dissipée par la viscosité. Le transport est supposé se produire par étapes, sans dissipation d'énergie entre ces deux échelles (dans le domaine inertiel) pour un milieu turbulent incompressible, 3D, stationnaire et isotrope. A partir de cette hypothèse Kolmogorov a dérivé des lois d'échelles qui ont été très étudiées expérimentalement et numériquement, vérifiées, corrigées[2], etc..mais l'hypothèse de base, qui implique que l'énergie cascade, étape par étape, d'une échelle donnée vers une échelle plus petite, n'a jamais été vérifiée directement.

C'est cette hypothèse que nous testons en analysant les fluctuations de la vitesse du vent (vitesse Eulérienne de moyenne $v_0 = 20m/s$) sur des données enregistrées il y a 30 ans dans la soufflerie du tunnel de Modane [3]. Nous montrons que l'énergie présente aux grandes échelles est effectivement transférée vers les échelles plus petites, étape par étape, sur un domaine inertiel couvrant 3 decades, par un processus dynamique fondamentalement irréversible.

Nous utilisons des fonctions "test" introduites par Y. Pomeau[4] pour étudier l'irréversibilité dans les phénomènes hors d'équilibre. Elles prouvent ici l'irréversibilité du transfert d'énergie. De plus elles permettent de mesurer le temps de transfert de l'énergie de la fréquence k_1 à une fréquence k_2 quelconque. Nous observons que le transfert d'énergie de k_1 à k_2 est plus rapide que le transfert de k_1 à k_2', si $k_1 < k_2 < k_2'$. De plus nous observons un comportement inattendu de la fonction test d'irréversibilité aux temps petits, qui est du à des périodes de forte accélération du vent turbulent. Ces fortes accélérations pourraient être liées à l'existence de solutions singulières, un problème irrésolu à ce jour.

Enfin nous étudions les propriétés d'irréversibilité et de cascade sur les solutions d'une équation modèle (PDE en 1D d'espace), prototype pour la faible turbulence d'ondes [5]. Nous avons découvert que si les spectres de masse et d'énergie cinétique pris séparément montrent un signal d'irréversibilité très faible (voir nul), en revanche ces deux quantités sont irréversiblement corrélées : la masse et l'énergie sont toutes les deux injectées à grande échelle, mais elles évoluent différemment. La masse subit un bref aller-retour vers les grandes échelles, $k = 0$, tandis que la partie de l'énergie liée à cette masse cascade lentement vers les petites échelles.

Références

1. A. N. Kolmogorov "The local structure of turbulence in uncompressible viscous fluid for very large Reynolds number", Dod. Akad. Nauk SSR, **30**, 301-305 (1941)
2. A. N. Kolmogorov "A refinement of previous hypotheses concerning the local structure of turbulence in a viscous incompressible fluid at high Reynolds number", J. Fluid Mech. **13**, 82 (1962)
3. Y. Gagne, "Etude expérimentale de l'intermittence et des singularités dans le plan complexe en turbulence développée, Université de Grenoble 1 (1987) ; voir aussi H. Kahalerras, Y. Malécot, Y. Gagne, and B. Castaing, "Intermittency and Reynold number" Phys. of Fluids **10**, 910 (1998) ; doi : 10.1063/1.869613.
4. Y. Pomeau "Symétrie des fluctuations dans le renversement du temps", J. de Physique (Paris), **43**, 859 (1982)
5. A.J. Majda, D.W. McLaughlin and E.G. Tabak, "A one-dimensional model for dispersion wave turbulence", J. Nonlinear Sci. (1997), **7** p. 9-44.