

Propriétés multifractales dans l'espace de Hilbert : analyse de séries temporelles non linéaires et invariantes d'échelle utilisant la décomposition modale empirique et transformation de Hilbert

F.G. Schmitt¹, Y. Huang², Z. Lu², & Y. Liu²

¹ CNRS, Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences, UMR 8187, F-62930 Wimereux

² Shanghai Institute of Applied Mathematics and Mechanics, Shanghai University, 200072 Shanghai China

francois.schmitt@univ-lille1.fr

La méthode de décomposition modale empirique (EMD) a été développée il y a une dizaine d'années pour décomposer des séries temporelles non-linéaires et non-stationnaires en une somme de modes, c'est-à-dire une somme de signaux ayant chacun des fréquences caractéristiques bien localisées dans l'espace des fréquences. Cette décomposition est associée à une transformation de Hilbert-Huang (HHT) visant à extraire localement une fréquence instantanée et une amplitude. Cette nouvelle méthode d'analyse, baptisée EMD-HHT [1], a rencontré un grand succès dans de nombreux domaines des sciences de la nature de la société : une recherche sur le Web of Science donne plus de 1600 articles ayant empirical mode decomposition ou Hilbert Huang transform dans leur titre ou leurs mots clés.

Ici nous présentons une généralisation, que nous avons développée récemment [2-3] et appliquée en turbulence [2,6] et dans le domaine de l'environnement [4-5]. Cette généralisation permet d'extraire les exposants multifractals de séries temporelles non stationnaires invariantes d'échelle; ceci fournit une méthode alternative, utilisant l'espace de Hilbert, pour la caractérisation multifractale, qui peut être comparée à d'autres méthodes comme les fonctions de structure, les transformées en ondelette ou la méthode MFDA (Multifractal detrended fluctuation analysis). Nous montrons sur des simulations de mouvements Brownien fractionnaire et des simulations multifractales, la précision de cette nouvelle méthode. Nous montrons également son point fort par rapport à d'autres méthodes : elle est moins perturbée par l'existence d'échelles caractéristiques dans la série temporelle analysée, provenant par exemple d'un forçage déterministe superposé aux fluctuations stochastiques invariantes d'échelle.

En tant qu'illustration, nous appliquons la méthode à des données de turbulence (vitesse et scalaire passif), et des données de finance, de débit fluvial et données environnementales océanographiques.

Références

- [1] Huang, N. E., et al.. 1998. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis. *Proc. R. Soc. London*, **454**, 903–995.
- [2] Huang, Y., Schmitt, F. G., Lu, Z., & Liu, Y. 2008. An amplitude-frequency study of turbulent scaling intermittency using Hilbert spectral analysis. *EPL*, **84**, 40010.
- [3] Huang, Y. X., Schmitt, F. G., Lu, Z. M., Liu, Y. L., 2008. Analyse de l'invariance d'échelle de séries temporelles par la décomposition modale empirique et l'analyse spectrale de Hilbert, *Traitement du Signal*, **25**, 481–492.
- [4] Schmitt FG, Y Huang, Z. Lu, Y. Liu, N. Fernandez, Analysis of turbulent fluctuations and their intermittency properties in the surf zone using empirical mode decomposition, *Journal of Marine Systems*, **77**, 473–481.
- [5] Huang Y.X., Schmitt FG, Lu, ZM, Liu YL, 2009. Analysis of daily river flow fluctuations using empirical mode decomposition and arbitrary order Hilbert spectral analysis, *Journal of Hydrology*, **373**, 103–111.
- [6] Huang YX, Schmitt FG, Lu, ZM, Fougairolles, P., Gagne, Y., Liu YL, 2010. Second order structure functions in fully developed turbulence, *Physical Review E*, **82**, 026319.