

Rapport sur le thème EMD (Empirical Mode Decomposition) GDR Turbulence, Aussois, 7–10 décembre 2009

Par **Patrick Flandrin** et **François Schmitt**

Patrick Flandrin (Laboratoire de Physique, ENS Lyon) a présenté la méthode EMD, méthode de traitement du signal introduite par Norden Huang en 1998. Sa présentation s'est largement appuyée sur les résultats obtenus lors de la thèse de Gabriel Rilling soutenue en décembre 2007.

L'objectif de l'EMD est de décomposer tout signal oscillant en une partie « rapide » superposée à une partie « lente », cette dernière pouvant à son tour être décomposée de la même manière. L'originalité de la méthode, par rapport par exemple à une transformation en ondelettes, est de ne pas reposer sur un choix de filtres fréquentiels fixés a priori, mais d'être directement pilotée par les données, l'identification de la composante rapide se faisant localement et relativement à une échelle de temps fixée par l'intervalle entre extrema successifs. L'avantage de l'EMD est son caractère intuitif, mais son inconvénient est que la méthode se prête difficilement à une analyse théorique dans la mesure où la décomposition n'est pas donnée par une définition univoque mais seulement comme la sortie d'un algorithme dépendant d'un certain nombre de paramètres laissés à la discrétion de l'utilisateur.

L'exposé a présenté et illustré le principe de la méthode ainsi que ses principales propriétés, en particulier celles relatives à son pouvoir de séparation fréquentielle et à l'organisation spontanée qu'elle offre sous la forme d'un banc de filtres quasi-dyadique dans le cas de bruits large bande. Deux types d'utilisation ont été mentionnés et illustrés sur des exemples de signaux de convection turbulente (séparation fluctuations/tendance) et de suivi de traceur (extension bivariée).

Un algorithme Matlab est disponible en libre accès à
<http://perso.ens-lyon.fr/patrick.flandrin/emd.html>

Les publications sur lesquelles l'exposé s'est basé et la thèse de Gabriel Rilling sont accessibles à
<http://perso.ens-lyon.fr/patrick.flandrin/publis.html>
<http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00442634/fr/>

François Schmitt (Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences, Wimereux) a présenté des résultats obtenus dans le cadre de la thèse de Yongxiang Huang, soutenue à Shanghai en juillet 2009. Il s'agit d'un côté d'une application de la méthode EMD, combinée à un autre aspect, la transformée de Hilbert Huang, à des données de turbulence développée. D'un autre côté, il s'agit également d'une extension de la méthode, permettant d'effectuer dans l'espace spectral, une caractérisation des exposants multifractals pour un processus invariant d'échelle 1D.

(1) Analyse EMD–transformation de Hilbert–Huang de séries temporelles de turbulence. La transformation de Hilbert–Huang a été présentée (il s'agit de la seconde partie de l'approche EMD–HHT proposée en 1998). Ceci permet d'estimer la densité d'énergie d'une série temporelle dans l'espace des fréquences à l'aide de la transformation de Hilbert. Une illustration sur des données de turbulence développée (canal plan) a permis de montrer un spectre en $-5/3$ dans l'espace de Hilbert. La méthode EMD appliquée à ces séries montre également que cette méthode est un banc de filtre dyadique pour la turbulence.

(2) Extension: introduction de l'analyse spectrale de Hilbert–Huang d'ordre arbitraire. L'approche préconisée par Norden Huang consiste à prendre le moment d'ordre 2 de l'amplitude, en fonction de la fréquence. Nous avons généralisé ceci en considérant le moment d'ordre q . Ceci permet d'extraire une fonction $\xi(q)=1+\zeta(q)$, qui est reliée à l'exposant des fonctions de structure. Ceci permet donc d'estimer les exposants multifractals dans l'espace des fréquences. Nous avons testé la méthode à l'aide de séries de mouvement Brownien fractionnaire, et de séries multifractales lognormales simulées. Nous montrons également que, pour un processus invariant d'échelle perturbé par un forçage périodique, la méthode des fonctions de structure est fortement en défaut, tandis que l'approche utilisant l'analyse spectrale de Hilbert d'ordre arbitraire est beaucoup moins perturbée.

Ceci fournit une nouvelle méthode d'analyse des données invariantes d'échelle. Nous avons appliqué cette méthode aux données de turbulence de vitesse, retrouvant les exposants multifractals usuels. Nous avons aussi analysé une série temporelle de température (scalaire passif) possédant un effet de rampe marqué (ramp–cliff). Pour ces données, l'approche traditionnelle utilisant les fonctions de structure ne fonctionne pas. Mais la nouvelle méthode fournit un net régime invariant d'échelle jusqu'au moment $q=8$.

Page web consacrée à ces résultats (avec articles disponibles en téléchargement):

http://web.me.com/fg.schmitt/Site/EMD_and_intermittency.html

Pour la thèse de Yongxiang Huang: <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00439605/en/>

Fabrice Foucher (Laboratoire de Mécanique et Energétique, Université d'Orléans) a présenté une application de la méthode EMD pour une décomposition triple de la turbulence de grille soumise à la fois à une excitation périodique et turbulente. L'application de cette approche est la compréhension de l'aérodynamique interne dans un moteur à combustion interne. Dans ce type de moteur, la décomposition usuelle de Reynolds ne fonctionne pas, il faut tenir compte également des fluctuations cycle à cycle, qui sont superposées aux fluctuations turbulentes. Dans cette étude la méthode EMD a été utilisée pour considérer ces fluctuations cycle à cycle, et

réaliser une décomposition triple, permettant de filtrer les attaques basses fréquences et aléatoires.

Contact: <http://www.univ-orleans.fr/lme/user/foucher/>