



HAL
open science

**Analyse multirésolution opérée sur des exposants de
singularité en formalisme microcanonique:
détermination de la dynamique océanique et des
échanges océan/atmosphère submésoséchelle**

J. Sudre, Hussein Yahia, Veronique Garcon

► **To cite this version:**

J. Sudre, Hussein Yahia, Veronique Garcon. Analyse multirésolution opérée sur des exposants de singularité en formalisme microcanonique: détermination de la dynamique océanique et des échanges océan/atmosphère submésoséchelle. XXIVe Colloque Gretsi - Traitement du Signal et des Images, Gretsi 2013, Sep 2013, Brest, France. hal-00823579v1

HAL Id: hal-00823579

<https://inria.hal.science/hal-00823579v1>

Submitted on 17 May 2013 (v1), last revised 24 Jun 2013 (v2)

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Analyse multirésolution opérée sur des exposants de singularité en formalisme microcanonique: détermination de la dynamique océanique et des échanges océan/atmosphère à submésoséchelle

Joel SUDRE¹, Hussein YAHIA², Véronique GARÇON¹

¹Équipe DYNBIO, LEGOS CNRS UMRR 5566, Observatoire Midi-Pyrénées, 14 avenue E. Belin, F-31400 Toulouse, France.

²INRIA, 200 rue de la Vieille Tour, 31405 Talence Cedex, France.

joel.sudre@legos-obs-mip.fr, hussein.yahia@inria.fr
veronique.garcon@legos.obs-mip.fr

Thème – SS3 Signaux et images en océanographie

Problème traité – Définition d’une méthodologie générale permettant la génération à haute résolution spatiale de données physiques à partir de données basse résolution et d’inférence le long des échelles d’une analyse multirésolution appropriée.

Originalité – L’idée principale présentée dans cet article concerne la définition d’une analyse multirésolution déterminée sur les exposants de singularité d’un signal turbulent calculés dans un formalisme microcanonique.

Résultats – Calcul de la dynamique océanique à submésoséchelle sur des données réelles et sans utiliser de multiples occurrences temporelles, calcul à haute résolution spatiale de la pression partielle océanique de CO_2 , pCO_2 , entre l’océan et l’atmosphère à partir de données de simulation à basse résolution spatiale.

1 Introduction

Dans cet article, nous introduisons une méthode radicalement nouvelle pour la détermination à haute résolution spatiale (sub-mésoséchelle [1]) de la dynamique océanique de surface. La méthode s’applique à la génération à haute résolution d’un signal complexe à partir de données basse résolution par inférence, le long des échelles, d’informations propagées par une analyse multirésolution [2] associée à la hiérarchie multiéchelles naturellement présente dans les acquisitions de systèmes complexes [3]. Nous montrons le caractère général de l’approche en calculant des cartes de pression partielle océanique pCO_2 [4] à haute résolution spatiale à partir de données basse résolution. L’idée fondamentale repose sur la détermination d’une analyse multirésolution calculée sur des exposants de singularité à haute précision numérique, et dans un cadre microcanonique [2][5].

2 Exposants de singularité en formulation microcanonique et analyse multirésolution associée

Etant donné un signal (bidimensionnel) s correspondant à l’acquisition d’un phénomène turbulent, des exposants de singularité peuvent être calculés de diverses manières, soit en considérant l’analogie de ”fonctions de structure” sur un grand ensemble [6], ou d’un point de vue ”microcanonique”, en examinant le comportement local d’une mesure dont la densité est la norme du gradient du signal :

$$\mathcal{T}_\psi \mu(\mathbf{x}, \mathbf{r}) \sim \mathbf{r}^{h(\mathbf{x})} \quad \mathbf{r} \rightarrow 0 \quad (1)$$

expression dans laquelle \mathbf{x} et \mathbf{r} dénotent respectivement la position et l’échelle dans le domaine du signal, μ est la mesure de densité donnée par la norme du gradient : $d\mu = \|\nabla s\|d\mathbf{x}$, \mathcal{T}_ψ est la projection en ondelettes de la mesure μ pour une ondelette mère ψ et $h(\mathbf{x})$ est l’exposant de singularité localisé en \mathbf{x} . La détermination numérique peut être implémentée sous la forme d’une régression log-log sur les échelles \mathbf{r} . La cascade multiplicative associée à la dissipation d’énergie entre les échelles possède également une

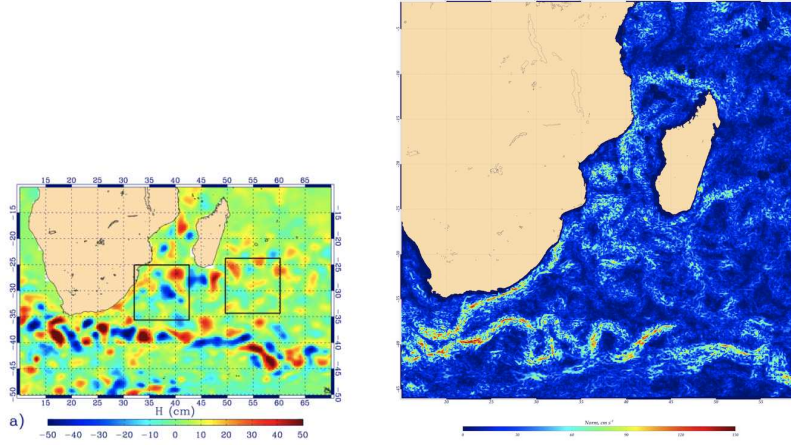


FIGURE 1 – **Gauche** : donnée d’altimétrie à basse résolution spatiale ($1/4^\circ$) sur laquelle la partie géostrophique de la dynamique est extraite. **Droite** : résultat du calcul de la dynamique océanique obtenue en propageant le champ de vitesse à basse résolution issu de l’altimétrie (image de gauche) et de la diffusiométrie par une analyse multirésolution calculée sur les exposants de singularité d’un signal température de surface acquis au même moment (données SST : OSTIA et MODIS, l’image de droite est une représentation du flot du champ de vitesses instantané).

formulation microcanonique [7] :

$$\mathcal{T}_\psi(s)(\mathbf{x}, \mathbf{r}_1) = \xi_{\mathbf{r}_1/\mathbf{r}_2}(\mathbf{x})\mathcal{T}_\psi(s)(\mathbf{x}, \mathbf{r}_2) \quad (2)$$

avec $\mathcal{T}_\psi(s)(\mathbf{x}, \mathbf{r}) = \int s(\mathbf{y})\psi(\mathbf{x} - \mathbf{y}/\mathbf{r})d\mathbf{y}$, ψ est l’ondelette mère, et le processus d’injection $\xi_{\mathbf{r}_1/\mathbf{r}_2}(\mathbf{x})$ entre les échelles est indépendant de $\mathcal{T}_\psi(s)(\mathbf{x}, \mathbf{r})$. En outre, l’injection d’énergie ou, d’un point de vue signal, d’information entre les échelles s’opère dans la hiérarchie multiéchelles qui est ici accessible par les exposants de singularité localisés calculés dans un cadre microcanonique [3] :

$$\mathcal{F}_h = \{\mathbf{x} : h(\mathbf{x}) = h\} \quad (3)$$

et, en particulier, l’ensemble des points les plus imprédictibles s’obtient en considérant les points du signal dont l’exposant de singularité est le plus petit, correspondant au lieu géométrique, dans le domaine du signal, où les transitions sont les plus fortes :

$$\mathcal{F}_\infty = \{\mathbf{x} : h(\mathbf{x}) = h_\infty = \min(h(\mathbf{x}))\}. \quad (4)$$

Puisque les exposants de singularité localisés et calculés dans un cadre microcanonique donnent accès à la hiérarchie multiéchelle des signaux complexes et turbulents prévue par la théorie, et que ces exposants ont, au contraire des détecteurs de bord habituellement utilisés en traitement d’image, des valeurs non binaires et situées dans un continuum, il est possible de les utiliser pour construire une analyse multirésolution [2] : $\{0\} \cdots \subset V_0 \subset \cdots \subset V_n \subset V_{n+1} \subset \cdots \subset L^2(\mathbb{R}^2)$ calculée sur ces exposants pour approximer les phénomènes de cascade multiplicative présents dans les systèmes et inférer des informations entre les échelles. L’analyse multirésolution que nous avons testée est implémentée de façon classique par une trame dyadique, des bancs de filtre et une ondelette mère de Battle-Lemarié 3-41 [2]. Nous appliquons cette idée à deux exemples.

La dynamique submésoscale complète peut être obtenue à la résolution des données MODIS de température de surface (SST) d’une manière qui généralise l’étude initialement restreinte à l’orientation d’un champ unitaire présentée dans [7]. A basse résolution ($1/4^\circ$, ici 28 kms), nous utilisons une combinaison des données de courants d’Ekman à 15 m, obtenues à partir de données de vent QuikSCAT, et de données de topographie dynamique absolue dont on déduit des courants géostrophiques [8]. Ces données combinées sont journalières et constituent les données de dynamique océanique à basse résolution. L’analyse multirésolution est calculée sur les exposants de singularité des données SST haute résolution submésoscale (taille du pixel : 4 kms), obtenue par combinaison de données OSTIA (produits SST fusion de SST IR et MW à la résolution $1/20^\circ$) et de données MODIS AQUA SST (IR) au $1/24^\circ$. Les champs de vecteurs sont propagés le long des échelles de l’analyse multirésolution composante par composante (données scalaires). Nous présentons un résultat sur la figure 1.

Dans un deuxième exemple, nous effectuons une régression linéaire calculée sur les exposants de singularité microcanoniques des signaux SST et chlorophylle a (Chl_a) et conduite sur 10 années de données issues du modèle de simulation ROMS (ROMS Benguela, configuration SAFE AGRIF 2 ways, $1/12^\circ$ et $1/4^\circ$). Ensuite nous générons un signal pCO_2 haute résolution de la manière suivante : le signal basse résolution pCO_2 est généré par ROMS, puis nous calculons un signal haute résolution d’exposants de singularité $\mathcal{S}(pCO_2)$ utilisant la régression linéaire et les données haute résolution SST et Chl_a disponibles par ROMS. Le signal $\mathcal{S}(pCO_2)$ d’exposants de singularité ainsi obtenu génère une analyse multirésolution, et un signal reconstruit pCO_2 est obtenu en remontant cette analyse multirésolution dans laquelle la donnée basse résolution a été substituée par le signal ROMS pCO_2 basse résolution. Voir figure 2.

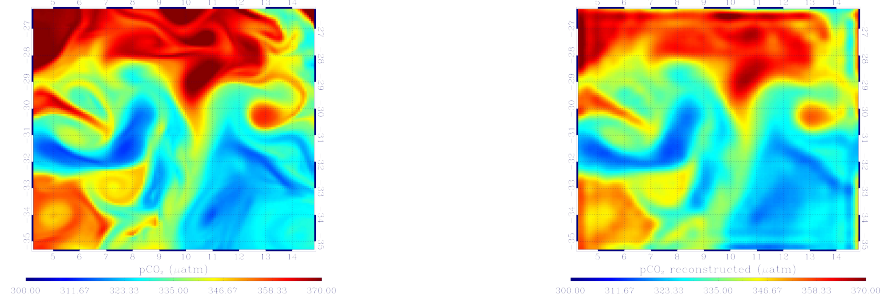


FIGURE 2 – Reconstruction d’un signal pCO_2 haute résolution par inférence de la donnée pCO_2 basse résolution, le long d’une analyse multirésolution conduite sur les exposants de singularités en formulation microcanonique et interpolés linéairement à partir des données d’exposants de singularité $\mathcal{S}(SST)$ et $\mathcal{S}(Chl_a)$. **Gauche** : donnée haute résolution pCO_2 générée par ROMS et utilisée ici pour vérifier la qualité de la reconstruction obtenue. **Droite** : pCO_2 haute résolution reconstruit par l’analyse multirésolution. Comparer ces deux images.

3 Conclusion

Dans cette étude, nous avons voulu montrer qu’une analyse multirésolution calculée non pas sur les signaux eux-mêmes, mais sur des quantités qui encodent à haute précision numérique les transitions d’un signal complexe, est d’un intérêt considérable pour l’inférence le long des échelles, et donc pour le calcul d’un signal physique à haute résolution spatiale à partir de données acquises en basse résolution. Nous avons également montré expérimentalement que les exposants de singularité calculés en formulation microcanonique constituent un signal privilégié pour effectuer une telle analyse. La raison provient du fait que ces exposants permettent d’accéder à la structuration multiéchelles existante dans un signal complexe -en particulier un signal turbulent-, cette dernière étant le lieu de réalisation d’une cascade multiplicative (en mode microcanonique) : par conséquent les inférences sont optimisées le long des échelles d’une analyse multirésolution associée aux exposants de singularité. Les deux applications que nous avons envisagées dans cette étude, la dynamique océanique submésoschelle et les échanges de flux entre l’océan et l’atmosphère, démontrent le potentiel considérable de cette approche en Sciences de l’Univers.

Remerciements

Ces recherches sont financées par les contrats CNES-OSTST : ICARODE, HIRESUBCOLOR, et le contrat ESA : OCEAN-FLUX (Esrin/AO/1-6668/11-I-AM).

Références

- [1] L. N. Thomas, A. Tandon, A. Mahadevan, "Submesoscale processes and dynamics", *Ocean Modeling in an Eddy Regime, Geophysical Monograph Series 177*, American Geophysical Union, doi : 10.1029/177GM04, 2008.
- [2] S. Mallat, "A wavelet tour of signal processing, Third edition : The sparse way", *Academic Press*, 2008.
- [3] A. Turiel, H. Yahia, C. Perez-Vicente, "Microcanonical multiscale formalism : a geometrical approach to multifractal systems. Part I : singularity analysis", *Journal of Physics A : Math. Theor.*, 41, doi : 10.1088/1751-8113/41/1/015501, 2008.
- [4] C. S. Garbe, R. A. Handler, B. Jahne, "Transport at the Air-Sea Interface - Measurements, Models and Parameterizations", *Heidelberg : Springer Verlag*, doi : 10.1007/978-3-540-36906-6, 2007.
- [5] J. F. Muzy, E. bacry, A. Arneodo, "Wavelets and multifractal formalism for singular signals : application to turbulence data", *Physical Review Letters*, 67, 3515, doi : 10.1103/PhysRevLett67.3515, 1991.
- [6] A. Turiel, C. Perez-Vicente, J. Grazzini, "Numerical methods for the estimation of multifractal singularity spectra on sampled data : a comparative study", *Journal of Computational Physics*, 216, 362–390, doi : 10.1016/j.jcp.2005.12.004, 2005.
- [7] H. Yahia, J. Sudre, C. Pottier, V. Garçon, "Motion analysis in oceanographic satellite images using multiscale methods and the energy cascade", *Pattern Recognition*, Elsevier, 43 (10), 3591–3604, doi : 10.1016/j.patcog.2010.04.011, 2010.
- [8] J. Sudre, C. Maes, V. Garçon, "On the global estimates of geostrophic and Ekman surface currents", *Limnology and Oceanography : Fluids and Environments*, in press, 2012.