

ASSIMAGE

Compte-Rendu de la visite du Professeur Korotaev

Etienne Huot

8 Novembre 2004

1 Participants

- Gennady Korotaev,
- Etienne Huot,
- Jean-Paul Berroir.

2 Présentation du Pr. Korotaev

Le MHI (*Marine Hydrophysic Institute*) est un institut affilié à l'*Ukrainian Academy of Science*, il est voué à la recherche océanographique. Il a été fondé en 1948 et est situé au bord de la Mer Noire. Parmi les treize départements scientifiques qui le composent, il y a le département des processus océaniques dynamiques (*DOPD: Dynamics of Oceanic Process Department*). Dès les années 80, ce département s'est investi dans la recherche en télédétection océanographique en utilisant les premiers satellites océanographiques soviétiques (tels COSMOS 1151 et INTERCOSMOS 21). Le DOPD s'est intéressé à la création de bases de données et à l'étude de modèles de circulations avec le développement d'algorithmes et de logiciels dédiés.

Le Professeur Gennady Korotaev, *Deputy Director*, est le responsable du DOPD. Il est spécialiste de la Mer Noire et a participé à la conception de plusieurs modèles de circulation océanographiques.

3 Modèle de circulation

Le modèle que nous a fourni le Professeur Korotaev est un modèle simple. Bidimensionnel, il s'appuie sur une représentation de l'océan dite *1.5 layer*, c'est-à-dire que la surface de la mer est représentée par une couche de mélange interfacée avec l'atmosphère et une couche au-dessous. Cette simplification permet de modéliser la circulation dans la couche de mélange par les équations de Saint-Venant appelées également *shallow-water model*.

Les équations gouvernant la circulation sont :

$$\begin{cases} \frac{\partial(h\mathbf{v})}{\partial t} + \nabla \cdot (h\mathbf{v}\mathbf{v}) + f \times \mathbf{k}(h\mathbf{v}) = -g'h\Delta h + \frac{\vec{\tau}}{\rho_0} + A_h\nabla^2(h\mathbf{v}) \\ \frac{\partial h}{\partial t} + \nabla(h\mathbf{v}) = 0. \end{cases} \quad (1)$$

où $\mathbf{v} = \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix}$ est la vitesse horizontale, $\nabla = \begin{pmatrix} \partial/\partial x \\ \partial/\partial y \end{pmatrix}$ le gradient horizontal, h est l'épaisseur de la couche de mélange, h_0 est sa valeur à l'équilibre, $\vec{\tau} = (\tau^{(x)}, \tau^{(y)})$ correspond à la tension du vent, $f = f_0 + \beta y$ est le paramètre de Coriolis, A_h est le coefficient du laplacien pour le mélange, ρ_0 est la densité de référence, $g' = g(\rho_0 - \rho_1)/\rho_0$ est appelé gravité réduite où ρ_1 correspond à la densité moyenne de la couche de mélange, \mathbf{k} est le vecteur vertical unitaire.

On peut simplifier l'écriture de l'équation (1) en écrivant le système sous la forme :

$$\begin{cases} \frac{du}{dt} - fv = g' \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\tau^{(x)}}{\rho_0 h} + A_h \Delta u \\ \frac{dv}{dt} + fu = g' \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\tau^{(y)}}{\rho_0 h} + A_h \Delta v \\ \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Les variables d'état du modèle sont donc h , u et v . Les paramètres de forçage correspondent au vent et à la bathymétrie. Le programme implémentant ce modèle est prévu pour fonctionner selon deux modes : prévision et assimilation. En mode prévision, ceux sont exactement les équations précédentes qui sont implémentées. En mode assimilation, les observations sont fournies par les altimètres de plusieurs satellites (TOPEX/Poseidon, ERS), et on remplace la partie droite dans la dernière équation du système par un terme de *nudging*, cette équation devient alors :

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = \lambda[\xi_d - \xi_m], \quad (3)$$

où $\xi_m = h_{mod} - h_0$ correspond à l'anomalie d'interface prédite par le modèle et ξ_d est la valeur observée par l'altimètre qui est reliée à l'anomalie d'interface observée $\eta = h_{obs} - h_0$ par $\xi_d = \frac{g'}{g}\eta$; λ est l'inverse du pas de temps de relaxation. On a $\lambda[\xi_d - \xi_m] = \lambda[h_{obs} - h_{mod}]$.

4 Données images

Les images qui nous ont été fournies sont des images au format BMP correspondant à une portion (qui diffère selon les séquences) de la Mer Noire. Elles correspondent à des données

NOAA de température de brillance. Ces données directement réceptionnées par le MHI, ont subi des corrections de recalage géométrique et des corrections radiométriques. Nous disposons d'images pour les années 1997 (mois de mai, juillet, août, septembre et octobre) et 1998 (mois de juin, juillet, août et septembre).

Parmi ces images nous avons sélectionné deux séquences selon les critères suivants:

- Les mois d'été sont les plus à même de vérifier l'équation de conservation de la température : $dT/dt \simeq 0$.
- Minimum de nuages.
- Structures océanographiques d'intérêts facilement identifiables.

Les deux séquences correspondant à ces critères correspondent à:

- 7 images du 13 au 15 juillet 1998,
- 21 images du 18 au 24 juillet 1998.

Premières constatations concernant les images :

- Il ne s'agit pas d'images de SST donc on diminue le bruit mais on ne corrige pas des effets atmosphériques. D'après Gennady Korotaev il est mieux d'essayer nos traitement sur des images les plus simples possible.
- Les images présentent plusieurs artefacts qui doivent être corrigés avant de tenter une estimation des vitesses. Ces artefacts sont dus :
 1. aux problèmes atmosphériques (les nuages étant les moins graves car facilement identifiables),
 2. à des problèmes de réchauffement ou de refroidissement ponctuels dus au stress de vent (peu de vent implique un réchauffement de la surface tandis qu'un vent soutenu peu générer un flux froid remontant des couches inférieures),
 3. à une variation globale de la température d'une image à l'autre avec de larges variations spatiales.

La figure 1 permet de visualiser deux images consécutives parmi celles sélectionnées.

Notons que les données SST existent et nous ont été fournies sous la forme de fichiers ASCII. Malheureusement, la personne qui a transformé les données pour les mettre en ASCII a tronqué ces fichiers à une latitude donnée. Or les structures qui nous intéressent sont dans la partie tronquée.

Notons enfin que des trajectoires de bouées dérivantes sur la Mer Noire existent depuis 2001. Nous ne possédons pas ces données, les données utilisables par le modèle n'étant pas traitées jusqu'à ces dates. Il est possible de récupérer les données mais cela nécessite un pré-traitement pour les données de vent et d'altimétrie qui n'a pas encore été réalisé au MHI.

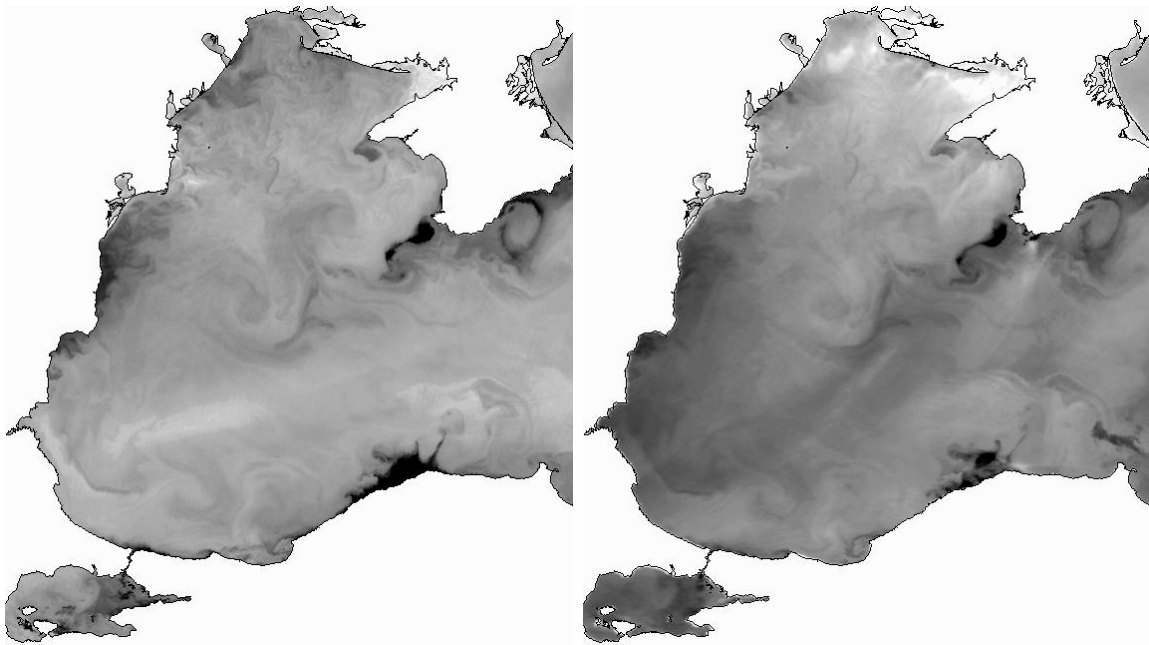


FIG. 1 – *Exemples de données images disponibles: images de température de brillance de la partie occidentale de la Mer Noire correspondant au 22 juillet 1998 à 8 heure (gauche) et à 15 heure (droite).*

5 Plan de travail envisagé

1. Récupération des données manquantes pour pouvoir faire marcher le modèle au moins jusqu'en 1998.
2. Pré-traitement des données pour compenser l'effet des divers artefacts. Un des artefact important est celui lié à la rapide variation temporelle de la température tandis qu'on constate de large variations spatiales. La figure 1 permet de visualiser les variations spatiales tandis que la figure 2 permet de visualiser l'évolution de la température d'un pixel au cours du temps à comparer avec le cycle solaire.
3. Estimation des vitesses par traitement des images.
4. Assimilation des vitesses avec filtre de Kalman simplifié (même type d'approche que l'assimilation de l'altimétrie). Le Professeur Korotaev propose de réaliser cette partie au MHI. On peut également utiliser le même type d'approche que celle développée par German Torrès au CERMICS.
5. Assimilation variationnelle des vitesses. Il est nécessaire pour cela de générer l'adjoint du modèle.
6. Une autre idée proposée par Gennady Korotaev est d'envisager de façon différente l'assimilation de la vitesse dans le modèle, il s'agit de contraindre l'équation de conservation de la température non pas par une contrainte de régularité mais par le modèle

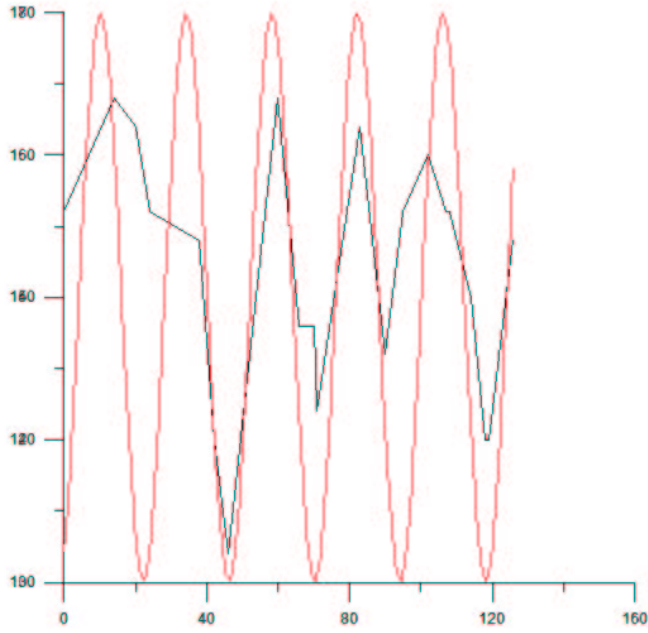


FIG. 2 – Evolution de la température d'un pixel au cours du temps (courbe noire) et cycle solaire (courbe rouge).

de circulation lui-même. On aurait ainsi:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{du}{dt} - fv = g' \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\tau^{(x)}}{\rho_0 h} + A_h \Delta u \\ \frac{dv}{dt} + fu = g' \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\tau^{(y)}}{\rho_0 h} + A_h \Delta v \\ \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = \lambda[\xi_d - \xi_m] \\ \frac{\partial T}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla T = A \sin(\omega t) + B \cos(\omega t) \end{array} \right. \quad (4)$$

où A et B seraient des constantes qui pourraient être estimées lors d'une procédure de minimisation adéquate afin de réduire les oscillations de la température de brillance, et ω est la fréquence correspondant à une période de 24 heures.