

Modélisation de la circulation océanique: Bouches de Bonifacio

présentée par Delphine BERNIER



Le modèle ROMS

Le modèle ROMS est un modèle numérique régional tridimensionnel destiné à la représentation des paramètres hydrodynamiques et thermodynamique d'une zone océanique.

Il repose sur l'utilisation de plusieurs équations primitives décrites dans un système de coordonnées cartésiennes (O, x, y, z).

Nous retrouvons différentes équations:

$$\begin{array}{l}
 \text{Variation locale de la vitesse en fonction du temps} \quad \text{Advections horizontales} \quad \text{Gradient de pression} \quad \text{Terme de Coriolis} \quad \text{Termes de la turbulence} \\
 \begin{aligned}
 \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial x} + f v - \frac{\partial \overline{u'u'}}{\partial x} - \frac{\partial \overline{u'v'}}{\partial y} - \frac{\partial \overline{u'w'}}{\partial z} \\
 \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial y} - f u - \frac{\partial \overline{v'u'}}{\partial x} - \frac{\partial \overline{v'v'}}{\partial y} - \frac{\partial \overline{v'w'}}{\partial z}
 \end{aligned}
 \end{array}$$

$$\rho = \rho(S, T, z)$$

$$\begin{array}{l}
 \text{Flux turbulent de chaleur modélisé à l'aide du concept de diffusivité turbulente} \\
 \frac{\partial T}{\partial t} + \vec{v} \cdot \vec{\nabla} T = - \overbrace{\frac{\partial \overline{(T'u')}}{\partial x} + \frac{\partial \overline{(T'v')}}{\partial y} + \frac{\partial \overline{(T'w')}}{\partial z}}^{\text{Flux turbulent de chaleur}} + \frac{H_c}{\rho_0 C_p} \frac{\partial I}{\partial z} \\
 \frac{\partial S}{\partial t} + \vec{v} \cdot \vec{\nabla} S = - \underbrace{\frac{\partial \overline{(S'u')}}{\partial x} + \frac{\partial \overline{(S'v')}}{\partial y} + \frac{\partial \overline{(S'w')}}{\partial z}}_{\text{Flux turbulent de sel modélisé à l'aide du concept de diffusivité turbulente}}
 \end{array}$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

Les Bouches de Bonifacio

Les Bouches de Bonifacio sont situées dans la partie Nord-Ouest de la mer Méditerranée entre deux îles qui se font face : la Corse et la Sardaigne.

C'est à cet endroit que **le courant Liguro-Provençal et le bassin Tyrrhénien se rencontrent.**



Superficie: 80 000 hectares parsemés de nombreuses petites îles et îlots.

Les régimes des vents sont principalement le **vent d'ouest** (50 % du temps, toute l'année et vitesses jusqu'à 8 m.s^{-1}) mais nous retrouvons également le **vent d'est** en hivers seulement (vitesse allant de 5 à 8 m.s^{-1}).



Elles font à présent partie de **la Réserve Naturelle des Bouches de Bonifacio.**



Paramétrisation du modèle

- Coordonnées :

Longitude minimale: 7° E

Longitude maximale: 11° E

Latitude minimale: 41° N

Latitude maximale: 42° N

Résolution choisie: 1/20 (→ 6400 mailles de grille)

→ Uniquement des frontières ouvertes.

Les valeurs de la grille que nous avons obtenu étaient LLM=79 (taille de la grille en direction des x) et MMM=26 (taille de la grille en direction des y), celles-ci étaient nécessaires aux calculs du critère CFL.

→ Simulation réalisée sur 10 ans.

Dans cette étude, nous voulions comparer les températures obtenues avec le modèle ROMS à celles obtenues par le modèle SYMPHONIE et de manière in situ. Afin de pouvoir modéliser et représenter ces températures pour l'ensemble de l'année et pour les 10 années de simulations à 11 mètres de profondeur et à un endroit spécifique, nous avons utilisé un script matlab.

Dans un second temps, à l'aide du scripts MATLAB roms_diags.m, nous avons effectué plusieurs tests afin de diagnostiquer la stabilité du modèle sur la zone choisie. Puis avec le script plot_diags.m, nous avons obtenu un graphique contenant les variables de diagnostic moyennées permettant ainsi de déterminer à quel moment le modèle devient stable sur la simulation de dix années.

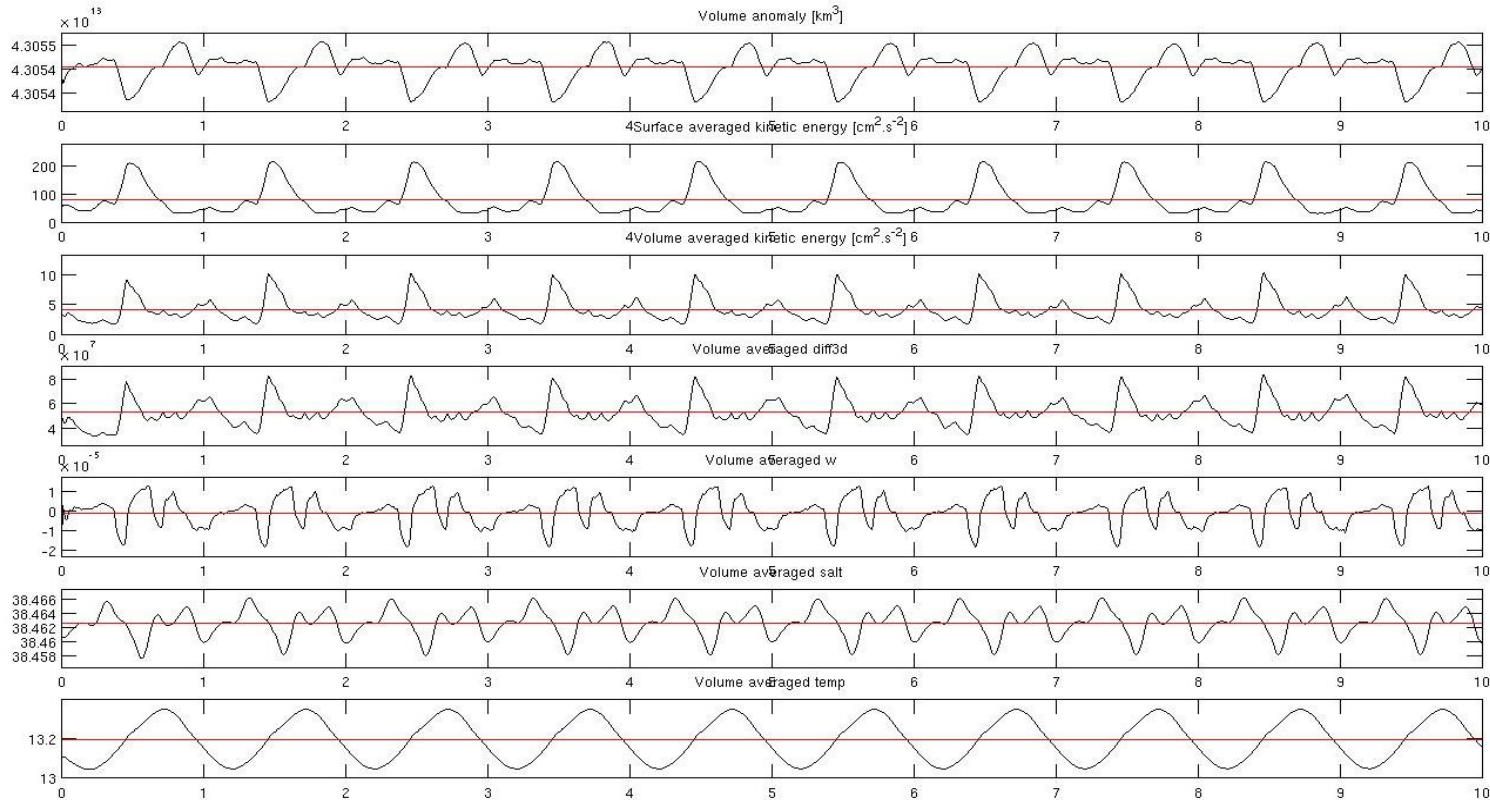


Figure 1:
Diagnostiques de stabilité du modèle appliqué aux Bouches de Bonifacio.

En général, il faut attendre entre deux à trois années de simulations pour que le modèle devienne stable, or dans notre cas la région océanique choisie est relativement petite, de ce fait nous pouvons observer que le modèle devient stable dès la première année en raison de la périodicité de manière constante des valeurs étudiées. Mais afin d'être certain de la fiabilité de nos résultats, nous avons fait le choix de considérer uniquement les résultats obtenus à partir de la deuxième année.

L'article que nous avons choisi est celui **GERIGNY, Olivia, DI MARTINO, Bernard, ROMANO, Jean Claude, et al. A one-year (2005) comparison of seawater temperature series between in situ and modelling data: Application to the Strait of Bonifacio (South Corsica). *Comptes Rendus Geoscience*, 2011, vol. 343, no 4, p. 278-283.**

→ Il effectue une comparaison entre les températures de surface obtenues à partir de mesure in situ et les résultats obtenus à partir de simulations réalisées avec le modèle SYMPHONIE.

Les données de température in situ utilisées dans l'article de GERIGNY et *al*, ont été fournies par la **Réserve naturelle des Bouches de Bonifacio** qui a installé quatre thermomètres ThermoTidbit (capteurs ST Pro) à différentes profondeurs (à 11, 25, 35 et 42 m de profondeur) au niveau de l'île Madonneta (41° 23' 07" N et 9° 08' 07" E) . La fréquence d'échantillonnage des mesures enregistrées était de l'ordre de 30 minutes et ceci fut réalisé pour l'ensemble de l'année 2005.

→ De ce fait, les simulations que nous avons effectuées avec le modèle ROMS ont été faites pour une localisation géographique similaire soit **41,5° N et 9,0° E**.

Le modèle **SYMPHONIE** est un modèle tridimensionnelle, il est également très utilisé pour modéliser des bassins océaniques à une échelle régionale.

Le forçage atmosphérique utilisé a été fourni par le modèle de prévision météo Aladin (Leredde et al., 2007).

La composante du courant, de l'élévation de surface, de la température et de la salinité ont été calculées avec une grille C en utilisant des méthodes de différences finies classiques (Leredde et al., 2007). Afin d'étudier les données de températures obtenues par les simulations pour les quatre profondeurs, ils ont essayé de choisir un point le plus proche possible de l'emplacement où les mesures in situ avaient été réalisées.

Les résultats de température qu'ils ont obtenu avec le modèle SYMPHONIE ont été tracé pour une profondeur de 11 mètres et ont été comparés, sur ce même graphique, avec les mesures de température in situ

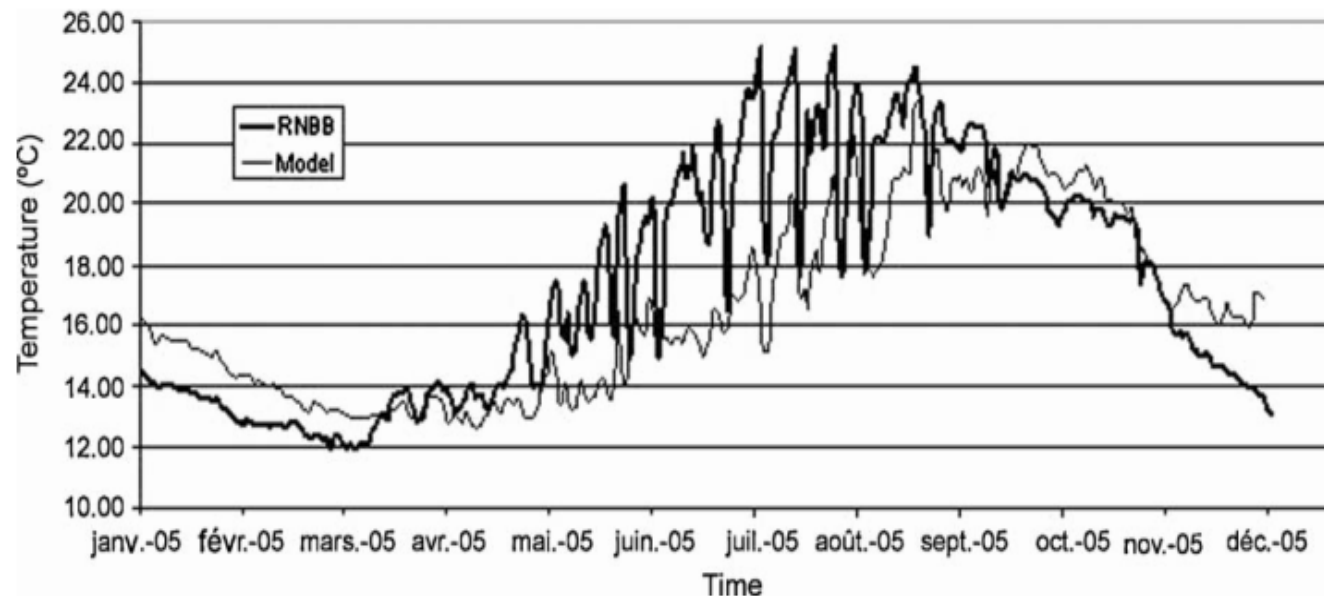


Fig. 2. Daily temperature averages recorded by the Réserve Naturelle des Bouches de Bonifacio and model during 2005 to a depth of -11 m.

Figure 3: Moyenne journalière des températures enregistrées par la Réserve Naturelle des Bouches de Bonifacio et le modèle au cours de l'année 2005 à -11m de profondeur (figure tirée de l'article de Gerigny et *al.*

Les températures de surface présentent une plus forte variabilité au cours de l'été au contraire de l'hivers. Les résultats obtenus avec le modèle SYMPHONIE montrent des différences significatives par rapport aux mesures in situ notamment de Mai à Septembre. En effet, les valeurs sont plus faibles jusqu'à quasiment -6°C et présentes une variabilité moins importante. En revanche pendant l'hivers, les valeurs du modèle ont été plus élevées que les valeurs in situ, atteignant jusqu'à 2 °C de différences.

Résultats

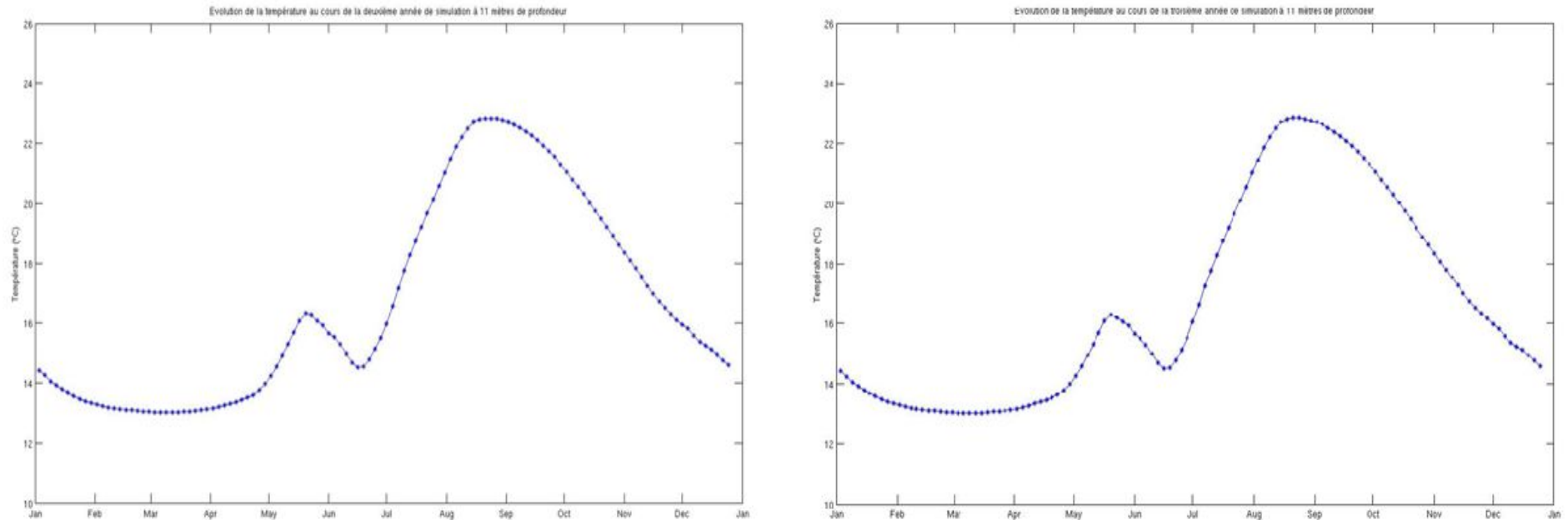


Figure 2: Evolution de la température à 11 m de profondeur pour la zone d'étude choisie dans les Bouches de Bonifacio pour la deuxième (à gauche) et troisième année (à droite) de simulation.

Tableau 1: Comparaison des différentes valeurs obtenues pour la température à 11 mètres de profondeur réalisées avec la modèle ROMS et SYMPHONIE

Mois	Données in situ (°C)	Valeurs prédites par le modèle SYMPHONIE (°C)	Différence par rapport à la température in situ (°C)	Valeurs prédites par le modèle ROMS (°C)	Différence par rapport à la température in situ (°C)
Janvier	13,8	15,3	+ 1,5	14,4	+ 0,6
Février	12,7	13,8	+ 1,1	13,2	+ 0,5
Mars	12,7	13,1	+ 0,4	12,9	+ 0,2
Avril	13,7	13,2	- 0,5	13,4	- 0,3
Mai	16,2	13,7	- 2,5	14,2	- 2,0
Juin	19,0	15,4	-3,6	15,7	- 3,3
Juillet	21,8	17,0	- 4,8	16,3	- 5,5
Août	21,8	18,9	- 2,9	21,2	- 0,6
Septembre	22,6	21,1	- 1,5	22,7	+ 0,1
Octobre	20,4	21,0	+ 0,6	21,3	+ 0,9
Novembre	18,6	19,2	+ 0,6	18,6	0
Décembre	14,5	16,6	+ 2,1	15,8	+ 1,3

D'après l'article de Gerigny et *al* :

- une mauvaise valeur du rayonnement solaire qui pénètre en profondeur
- des conditions aux limites ou de l'advection des courants
- imprécision dans les nombreux calculs qu'effectue le modèle entraînant ainsi des résultats éloignés des valeurs réelles
- certains phénomènes ne sont pas pris en compte comme la marée et les nombreux apports fluviaux.

Les données atmosphériques qui avaient été choisies peuvent également avoir un impact important sur les simulations réalisées.

→celles-ci ont été calculé avec l'aide du modèle météo de prévision Aladin, pour le modèle ce sont celles de WOA 2009 qui ont été utilisées (qui correspond à une année "type").

Etant donnée la faible profondeur, le forçage atmosphérique (notamment le rayonnement solaire et le vent) joue un rôle prépondérant dans la régulation de la température des eaux de surface, de ce fait, comme les deux modèles n'ont pas utilisé les mêmes données atmosphériques, l'efficacité d'un modèle par rapport à l'autre peut en être perturbé entraînant ainsi des différences dans les valeurs de température obtenues.

De plus la résolution choisie est également différente, ce qui peut aussi influencer les résultats des simulations.

Conclusion

- En zone côtières, les modèles peuvent être perturbés par de nombreux facteurs comme la bathymétrie, les lignes côtières, le vent et la marée (Lamouroux, 2006; MILLOT, 1989, 1999). Il est possible d'utiliser des données in situ recueillies lors de campagnes océanographique par exemple, permettant ainsi de pouvoir comparer les résultats obtenus par modélisation et ainsi vérifier la justesse et l'exactitude des valeurs obtenues pour la zone concernée.
- Les modèles numériques régionaux présentent les mêmes difficultés à reproduire les données in situ, mais ils restent assez proches de celles-ci.
- Les valeurs que nous avons obtenu avec le modèle ROMS étaient proches de la réalité. Le modèle SYMPHONIE présentait des écarts plus important, de ce fait nous pouvons conclure que malgré des différences de paramétrisation entre les deux modèles (ROMS et SYMPHONIE), le modèle ROMS semble plus apte à reproduire des valeurs de températures similaires à celles mesurées de manière in situ.
- Il aurait été intéressant de réaliser de nouvelles simulations avec le modèle ROMS mais en choisissant les données météorologiques et atmosphériques qu'utilisait le modèle SYMPHONIE, afin de pouvoir déterminer l'impact de celles-ci sur les calculs effectués par le modèle.

The background of the image is a piece of marbled paper. It features a complex, organic pattern of swirling, veined, and mottled colors. The primary colors are various shades of green, ranging from light, minty greens to deep, forest greens and even some dark, almost black, areas. Interspersed among the green are streaks and patches of a muted, dusty purple or lavender. The overall effect is reminiscent of natural stone or perhaps a microscopic view of certain minerals. The texture appears slightly grainy, typical of aged paper or a printed reproduction of a fine print.

Merci pour votre attention