



Aix-Marseille Université
Institut Méditerranéen d'Océanologie (MIO)
Master d'Océanographie Physique et Biogéochimique

OPB 205 - Modélisation de la circulation océanique
1er année
Responsable : M. DOGLIOLI Andrea

Etude de la circulation océanique autour des îles Malouines en fonction de
différents modes de calculs du mélange vertical.

Par Sébastien LE CLEC'H

<sebastien.le-clec-h@etu.univ-amu.fr>

Résumé

La modélisation des courants océaniques est devenue possible grâce au développement d'outils mathématiques et informatiques puissants qui sont capables de résoudre les principales équations de la dynamique des fluides (Equation de Navier-Stokes, équation de continuité, etc.). Différents modèles existent, cette étude utilise le modèle ROMS-AGRIF (Regional Ocean Modeling System) mis au points par des chercheurs de l'IRD et de l'INRIA. La paramétrisation du modèle passe par l'implémentation de conditions initiales et de facteurs externes tels que la température, la salinité, la vitesse du vent, etc. Ces données sont issues d'atlas mondial de qualité. A ceci s'ajoute des conditions aux frontières paramétrables et ajustables à la zone d'étude choisie par l'utilisateur. En plus des courants océaniques et grâce aux multiple variable que le modèle peut produire il est possible d'étudier la complexité du fonctionnement du milieu océanique, de la formation des systèmes tourbillonnaires à la répartition des sels nutritifs. Ce choix conséquent de possibilité permet aussi à l'utilisateur de tester l'influence d'un seul paramètre sur l'ensemble des variables calculées par le modèle.

Dans cette étude, la zone des îles Malouines qui se trouve dans la partie sud ouest du Pacifique sud (au large des côtes de l'Argentine), est modélisé en modifiant uniquement le paramètre représentant le mélange vertical ("vertical mixing") selon deux méthodes de calculs différents, méthode utilisant la fréquence de Brunt Väisälä et méthode selon le profil KPP. Ce paramètre à une influence majeur sur de nombreuses variables océaniques. Les résultats des modélisations et la comparaison avec d'autres études confirme que le modèle ROMS produit des données de qualités. Cependant, la complexité de l'estimation du paramètre de mélange vertical engendre des différences entre les méthodes de calculs. Les résultats issus de la méthode utilisant la fréquence de BV semble plus turbulente au niveau de l'estimation des courants et plus intense dans l'estimation paramètres physico-chimiques (température, salinité, etc.) que les résultats obtenus avec l'utilisation de la méthode KPP. Enfin une autre étude effectuée dans la région océanique d'Indonésie montre que l'utilisation de la méthode de la fréquence de Brunt Väisälä dans la détermination du mélange vertical produit des résultats plus proche des valeurs in situ, ce qui semble corrélé avec les résultats du modèle ROMS sur la région des îles des Malouines.

Abstract

Modeling of ocean currents became possible thanks to the mathematical tools and powerful computer. Those model are capable to solve the principal equations of fluid dynamics (Navier-Stokes equation, equation of continuity, etc.). Many models exist, this study uses the ROMS-AGRIF model (Regional Ocean Modeling System) developed by IRD and INRIA researchers. The parameterization of the model through the implementation of initials conditions and external factors such as temperature, salinity, wind speed, etc. These data are extract from World Atlas with high resolution. To this parameter is add the boundary conditions wich are configurable and adjustable to the study area selected by user. In addition to the calculation of ocean currents, multiple variables can be produced, so it is possible to study the complex functioning of the ocean environment like eddies or distribution of nutrient for exemple. Therefore, important choice of parameters allows user to test the influence of a single parameter to all variables computed by the model.

In this study, the area of the Falkland Islands, which is located in the southwestern part of the South Pacific (off the coast of Argentina), is modeled by changing only the parameter representing the vertical mixing. Two different methods of calculation are used, using the method of Brunt Väisälä frequency and method according to the KPP profil. This parameter have a major influence on many oceanic variables. The modeling results and parallel with other studies confirm that the quality of ROMS model data. The complexity of the parameter estimation of vertical mixing generates differences between calculation methods of vertical mixing. The results from the method using the frequency of BV seems produce current more turbulent and estimating of physico-chemical parameters (temperature, salinity, etc..) are more intense that the results obtained with the use of the KPP method. Finally, an other study made in Indonesian oceanic region shows results more similar with in situ measurements with BVF method. This conclusion correlate with ROMS result for Malvinas IIsand.

Key Words : Modélisation, ROMS, Mélange vertical, Fréquence de Brunt Väisälä, Profil KPP.

Table des matières

1	Introduction	4
2	Méthodes	5
2.1	Le modèle ROMS	5
2.1.1	Equations primitives	5
2.1.2	Les hypothèses	5
2.1.3	Fermeture de la turbulence	6
2.1.4	Discrétisation	6
2.1.5	Conditions initiales et conditions aux frontières	6
2.2	Implémentation du modèle ROMS à la zone d'étude.	7
3	Résultats	8
3.1	Caractéristiques des îles Malouines.	8
3.2	Diagnostic du modèle.	10
3.3	Comparaisons des résultats du modèle face au changement de mélange vertical.	10
4	Discussion.	10
4.1	ROMS VS POM VS <i>In situ</i>	10
4.2	KPP vs BVF.	13
4.3	Conclusion	13
5	Annexe	14

1 Introduction

Dans la région de l'Atlantique sud ouest et plus précisément dans le bassin Argentin se trouve la présence d'un plateau continental étendue plus que la moyenne mondiale. Ce plateau continental se termine au large des côtes de feu par la présence des îles Malouines (Malvinas Island ou encore Falkland Island). Cette zone est réduite et est délimitée entre la latitude 45° S et 57° S dans le cadre de ce travail. La limite au large se situe sur la longitude 70° W. Cette zone subit l'influence de nombreux courants, notamment l'influence du Courant Circumpolaire Antarctique au sud et l'influence du courant du Brésil au nord. En provenance du sud se trouve la présence d'un courant longeant et pénétrant sur le plateau continental entre les îles malouines et l'Amérique du sud en direction du nord, ce courant est appelé courant des Malouines (figure 1). Ce travail consiste à la modélisation, grâce à l'outil ROMS, de la circulation de ce courant des Malouines dans la zone limitée et décrite précédemment. Pour se faire deux modélisations sont réalisées avec deux types différents de mélange turbulent. Le mélange turbulent, ou "vertical mixing" en anglais est le phénomène qui permet le mélange des masses d'eau profonde avec celle de surface. Ce mélange, turbulent, forme des tourbillons à une très petite échelle qui sont actuellement impossible à modéliser. Pourtant ce processus est une composante majeure des modèles actuels car il permet d'obtenir les répartitions spatiales des paramètres chimiques dans la colonne d'eau. L'exactitude de ce paramètre peut donc remettre en cause la validité des résultats obtenus par les modèles, d'où l'importance du choix du mode de calcul de celui-ci. Dans le cadre de ce travail il sera donc utilisé deux modes de calculs différents, premièrement, le mélange vertical selon le schéma de la fréquence de Brunt-Väisälä (BVF) et deuxièmement selon la paramétrisation K-Profil de Large et al., 1994 (KPP) [Large et al., 1994]. En ce qui concerne les autres paramètres de modélisation ils resteront inchangés dans chaque cas, afin d'étudier précisément l'influence de chaque mode de calcul.

En plus de cette modélisation il sera réalisé une comparaison des résultats ici du modèle avec des études similaires réalisées dans une même zone océanographique [Palma et al., 2008]. Une autre étude du même type (comparaison BVF vs KPP) a été réalisée dans la zone archipélagique d'Indonésie [Nurweda et al., 2009], une comparaison des conclusions avec cette article sera faite.

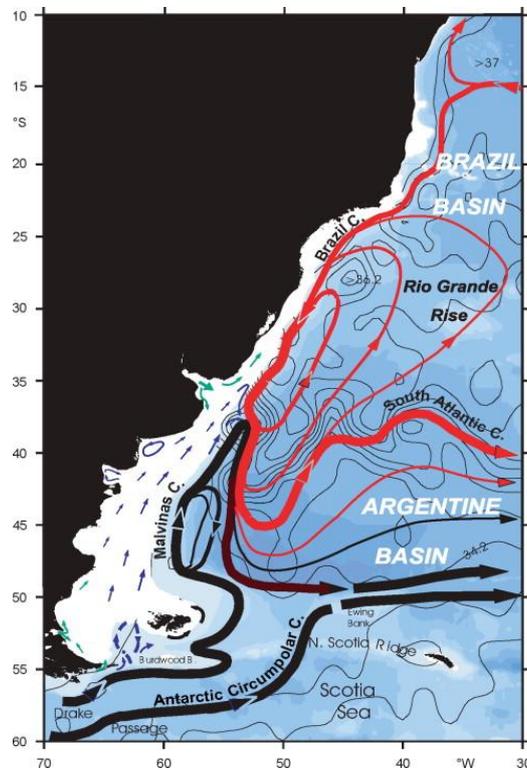


FIGURE 1 – Carte des courants de la zone des Malouines. (D'après Palma et al. 2008)

2 Méthodes

Il existe trois versions du modèle ROMS (Regional Ocean Modeling System) : deux américaines, et une française. La modélisation de la zone d'étude a été réalisée grâce à l'outil ROMS-AGRIF (Version française IRD/INRIA) [Cambon et al., 2013] [Penven et al., 2006].

2.1 Le modèle ROMS

Le modèle numérique d'hydrodynamique côtière ROMS est un modèle tridimensionnel qui permet le calcul des variables physiques de l'océan telles que la température, la salinité, les vitesses de déplacement, l'élévation de la surface libre, etc. Mais aussi des variables dérivées comme l'énergie cinétique, la densité, la vortacité, etc. Ce modèle fait partie des modèles numériques "nouvelle génération" utilisant des schémas numériques ainsi que des paramétrisations de qualité grâce à des relevés météorologiques précis, des observations satellitales de la surface des océans à haute résolution et des campagnes océanographiques déduisant les paramètres in situ. Ce modèle regroupe donc un ensemble de données important et sa manipulation est complexe. De plus il demande un besoin informatique conséquent ayant une puissance de calcul importante et un espace de stockage des résultats adapté.

2.1.1 Equations primitives

Le modèle ROMS résout les équations primitives de Navier-Stokes (1) couplées avec des équations d'advection/diffusion pour la température (2) et la salinité (3), l'équation de continuité (4) et l'équation d'état de l'eau de mer de l'UNESCO (5).

$$\frac{\delta u}{\delta t} + \vec{U}\nabla u - fv = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\delta P}{\delta x} + A_h \nabla_h^2 u + A_v \frac{\delta^2 u}{\delta z^2} \quad (1)$$

$$\frac{\delta v}{\delta t} + \vec{U}\nabla v - fu = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\delta P}{\delta y} + A_h \nabla_h^2 v + A_v \frac{\delta^2 v}{\delta z^2}$$

$$\frac{\delta T}{\delta t} + \vec{U}\nabla T = A_h \nabla_h^2 T + A_v \frac{\delta^2 u}{\delta z^2} + \frac{\delta^2 T}{\delta z^2} \frac{\delta I}{\delta z} \quad (2)$$

$$\frac{\delta S}{\delta t} + \vec{U}\nabla S = A_h \nabla_h^2 S + A_v \frac{\delta^2 S}{\delta z^2} \quad (3)$$

$$\frac{\delta u}{\delta x} + \frac{\delta v}{\delta y} + \frac{\delta w}{\delta z} = 0 \quad (4)$$

$$\rho = \rho(T, S, z) \quad (5)$$

Avec u et v les vitesses horizontales, P la pression, A_h et A_v les coefficients de viscosité turbulente horizontale et verticale, T la température et S la salinité.

2.1.2 Les hypothèses

Toutes les équations précédentes sont basées sur les approximations et hypothèses suivantes :

L'hypothèse hydrostatique Implique que la pression en un point dépend de l'épaisseur de la colonne d'eau qui se trouve au-dessus.

L'approximation de Boussinesq Permet de supposer une densité constante, généralement la plus grande densité de la colonne d'eau, ce ρ_0 est valable partout dans les équations sauf là où le terme d'accélération de pesanteur joue un rôle.

L'approche de Reynolds Permet la fermeture de la turbulence par l'introduction des concepts d'écoulement moyen et de coefficients de viscosité turbulente A_x, A_y, A_z .

L'hypothèse de turbulence horizontale isotrope Affirme que les coefficients de viscosité turbulente horizontaux sont égaux

2.1.3 Fermeture de la turbulence

Les termes de flux turbulent dans les équations primitives sont indéterminables et empêchent donc la résolution des équations. Il est nécessaire de rajouter des équations dite de “fermetures” qui permettent de déterminer ces termes manquant en fonction de variables calculé par le modèle. L’utilisation des équations de l’écoulement moyen de Reynolds permet de faire apparaitre des termes de turbulence dans les équation primitives de Navier-Stokes. Les équations ainsi obtenues sont aussi appelés en anglais RANS equation (Reynolds-averaged Navier-Stokes équations). Il ne manque alors plus qu’a calculer ces coefficients de turbulence.

Les coefficients horizontaux Le modèle ROMS-AGRIF permet la possibilité de choisir entre le schéma de Smagorinski et un coefficient constant pour déterminer ces coefficients. C’est la formule de Smargorinski (1963) qui est choisi ici.

les coefficients verticaux Le modèle ROMS-AGRIF laisse la possibilité à l’utilisateur de choisir la méthode qu’il souhaite. Ici on propose la paramétrisation des coefficients de viscosité de deux façons :

- Méthode de Large et al.(1994) [Large et al., 1994], nommé KPP (K-Profile Parametrization),qui est utilisé par défaut dans le modèle. Cette méthode propose une paramétrisation des coefficients selon plusieurs couches qui suivent un profil vertical appelé profil K. Des conditions aux limites pour la surface libre et pour le fond sont appliquées pour paramétriser les coefficients verticaux de ces couches et représenter fidèlement les processus physiques qui y sont liés (cisaillement au fond, forçage atmosphériques de surface).
- Méthode de Brunt-Väisälä Frequency mixing (BVF), où les coefficients sont déterminés sur la base de la fréquence de Brunt- Väisälä qui correspond à la fréquence d’oscillation verticale d’une particule dans un fluide.

2.1.4 Discrétisation

La discrétisation spatiale sur la verticale utilise les coordonnées sigma généralisées. Ces coordonnées épousent les variations de la topographie des fonds marins et se transforment en coordonnées géopotentielles dans les couches de surface. Sur l’horizontale, le modèle est écrit en coordonnées curvilignes, ce qui permet de traiter les frontières irrégulières et d’utiliser de meilleures résolutions dans les zones d’intérêt. L’horizontale et la verticale utilisent des schémas aux différences finies sur des grilles décalées. Sur l’horizontale, la grille C d’Arakawa est adoptée.

La discrétisation temporelle utilise une méthode de séparation explicite des modes barotropes liés à la variation de la surface libre (rapides) et baroclines liés a la variation de la masse volumique (lents) : un modèle 2D de surface est couplé au modèle 3D afin de considérer séparément les ondes de gravité de surface et les ondes internes qui n’ont pas le même pas de temps.

Résolution spatiale et résolution temporelle sont liées par le critère de stabilité CFL (Courant-Friedrichs-Levy) de façon à ce que les processus (ici onde) ne se propagent pas de plus d’une maille à chaque pas de temps. On décide d’abord de la résolution spatiale et ensuite on fixe le pas de temps qui doit respecter la condition suivante (6) :

$$\Delta T \leq \frac{1}{\sqrt{gh_{max}}} \left[\frac{1}{\delta x^2} + \frac{1}{\delta y^2} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (6)$$

2.1.5 Conditions initiales et conditions aux frontières

Le modèle prend en compte les phénomènes physiques (mécanismes de forçage et de dissipation) agissant sur la circulation des masses d’eau ; soit directement dans les équations, soit dans les conditions initiales ou aux limites. Ces conditions concernent : la surface, le fond, ainsi que les frontières latérales fermées à la côte et celles ouvertes sur l’océan.

Les conditions initiales La grille est calculée en fonction de la zone d’études choisie et de la résolution de celle-ci. Ensuite la bathymétrie utilisé est fourni grâce aux données de ETOPO (Global Bathymetric Prediction for Ocean Modelling and Marine Geophysics). Les données concernant les forçages en surface tels que les flux de chaleurs, la températures de surface, les vitesses du vents, etc. sont issues de l’ICOADS (The International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data

Set Project) qui regroupe des données allant de 1784 à 2004, de Pathfinder SST et de World Ocean Atlas de 2005.

Les conditions aux limites Les conditions sont fixées pour chaque variables (température, salinité, vitesse de courant, surélévation) à la surface, au fond et aux frontières de la zone.

– condition en surface : $z = \eta$

La vitesse de courant est proportionnelle à la tension de surface calculé a partir de la masse volumique de l'air, du coefficient de trainé et de la vitesse du vent à 10 m.

Le flux de chaleur en fonction de la chaleur massique et du transfert thermique.

La salinité en fonction de l'évaporation et de la précipitation.

– Condition au fond : $z = -h$

La vitesse de courant est calculé à partir de la masse volumique de l'eau et de la vitesse du courant le plus proche du fond.

Les flux de chaleurs et la salinité sont considérés comme nuls.

Les conditions aux frontières Si il y a présence d'une côte sur une frontières alors il y a une condition de nullité pour le flux normal à la côte. Si par contre il y a absence de côte, le modèle ROMS utilise une méthode de radiation couplée à un terme de relaxation qui est calculé tous les 15 jours.

2.2 Implémentation du modèle ROMS à la zone d'étude.

Le tableau 1 regroupe les données qui ont été utilisé pour implémenter le modèle à la zone d'études des iles Malouines.

TABLE 1 – Paramètres d'implémentations pour les iles Malouines.

Paramètres	Implémentation iles Malouines
Longitude (° E) Min ; Max	-71 ; -50
Latitude (° N) Min ; Max	-57 ; -45
Résolution en °	1/3
LLm - MMm	62 - 57
Nombre de couches verticales	32
Prof. Min à la côte - Prof. Max	75 m - 5000 m
Frontières latérales ouvertes	N - S - E - O
Durée de la simulation	10 ans

Le tableau 2 donne les informations concernant l'intégration temporelle du modèle où NTIMES est le nombre de boucle temporelle pour les équations 3D, Dt le pas de temps en seconde pour les équations 3D et NDTFEAST le nombre de boucle 2D dans chaque boucle 3D. Le pas de temps Dt est déterminé de façon à respecter le critère CFL vue précédemment.

TABLE 2 – Paramètres d'intégrations temporel.

Paramètres temporels		
NTIMES	Dt	NDTFEAST
1200	2160 sec	60

La durée de la simulation est de 30 jours répétée sur 12 mois et répétée sur 10 ans. Des valeurs moyennes des différentes variables sont calculées et enregistrées sur une période de 3 jours durant toute la modélisation.

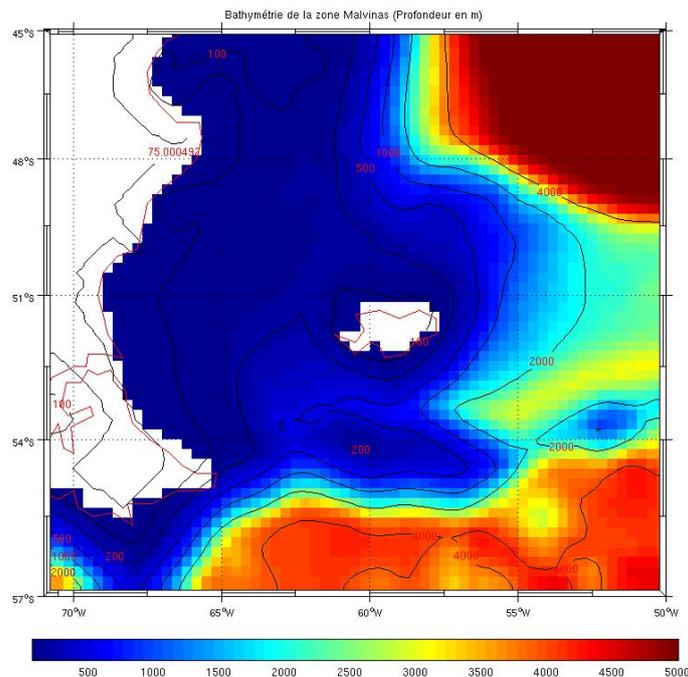


FIGURE 2 – Carte bathymétrique des la zones des iles Malouines.

3 Résultats

3.1 Caractéristiques des iles Malouines.

La carte bathymétrique (figure 2) montre en bleu la prolongation du plateau continental jusqu’au large des iles Malouines représentées par la tache blanche au milieu de la carte. La profondeur moyenne sur ce plateau est de 200 m. Au delà, la profondeur augmente rapidement jusqu’a 5000 m (couleur orange - rouge).

Les figures 3 et 4 montrent les conditions initiales en surface de la zone des Malouines durant la période d’été. La salinité de cette zone est plus faible au niveau du plateau continental qu’au niveau de la plaine abyssal. Il se distingue même la présence d’apport d’eau plus douce au niveau du détroit de Magellan (tache bleu) le long de la cote de l’Amérique du sud. La vitesse du vent à 10 m de la surface est en moyenne entre 0.06 et 0.08 $N.m^{-2}$ sur toute la région avec un maximum deux fois plus intense au niveau du passage de Drake. Les vents sont orientés vers l’Est. Les flux de chaleur sont plus important au nord de l’Iles des Malouines qu’au sud, ce qui se correlle avec une évaporation plus forte au nord qu’au sud. La variation de température de surface est aussi bien marqué entre la période d’été et d’hiver, avec des eaux logiquement plus chaude au nord qu’au sud en été et en hiver des températures plus faible mais toujours marqué avec ce gradient nord - sud. Ces cartes de températures sont tout de même marquées par une langue d’eau froide de surface en provenance des régions sud qui remonte jusqu’au nord au niveau de la longitude 60 ° W (courant des Malouines provenant des basses latitudes de l’océan Austral).

La figure 5 montre une stratification importante en été avec une répartition des eaux chaudes en surface sur toute la largeur du profil. Par contre en hiver, la masse d’eau est nettement moins stratifié avec un mélange vertical des températures plus important que le mélange horizontal de la période estivale. En profondeur, au delà de 1000 m, aucune variation n’a lieu en fonction des périodes de l’année.

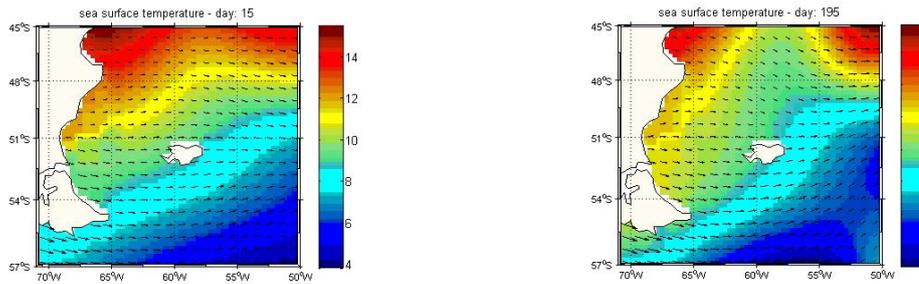


FIGURE 3 – Températures initiales de surface en été à gauche et en hiver à droite.

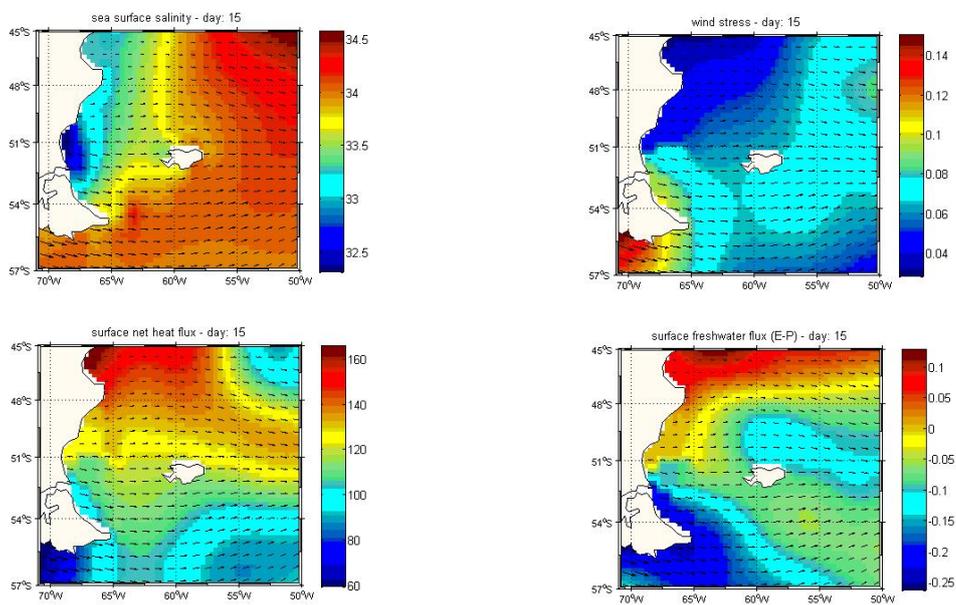


FIGURE 4 – Exemples de conditions initiales en surface au 15^{ème} jours de l'année (été). Avec en haut à gauche la salinité (PSU), en haut à droite les vitesses ($m.s^{-1}$) et l'orientation du vent , en bas à gauche le flux de chaleur et en bas a droite les flux d'évaporation - précipitation.

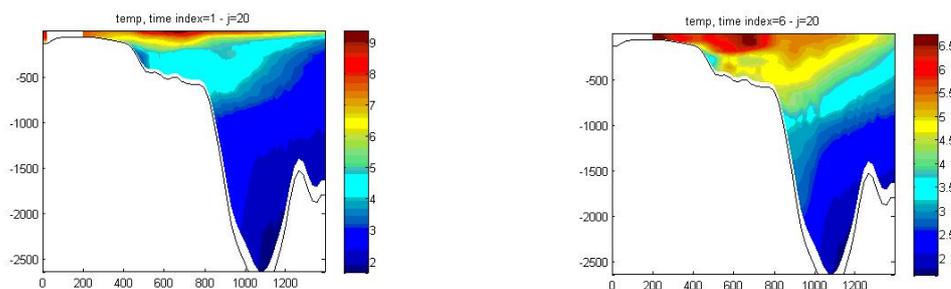


FIGURE 5 – Profil de température en été à gauche et en hiver a droite à la latitude 51 ° S.

3.2 Diagnostique du modèle.

Grâce au diagnostic des valeurs moyennées (voir annexe) il est possible de savoir à partir de quelle année le modèle se stabilise. Ici, la plupart des valeurs se stabilisent à partir de la première année sauf pour la salinité ou les valeurs se stabilisent à partir de la troisième années. Ce diagnostic permet aussi de remarquer que le modèle respecte bien la saisonnalité (oscillations saisonnières). La modification du type de mélange vertical ne change en rien à la stabilité du modèle. Les deux diagnostics sont similaires.

Dans cette études le modèle est considéré stable à partir de la 4^{ème} années.

3.3 Comparaisons des résultats du modèle face au changement de mélange vertical.

La figure 7 montre dans un premier temps une similitude dans les grands axes des courants entre les différentes méthodes de calculs et entre les différentes années. Notamment la présence du courant des Malouines qui longe le plateau continental en direction du nord (comme le montre la figure 1). Concernant la variation entre les résultats sur une même année la méthode BVF engendre un courant des Malouines plus turbulent ce qui accentue les effets tourbillonnaire de part et d'autre de ce courant. De plus certaine branche du courant sont nettement plus marqué avec la méthode BVF qu'avec la méthode KPP. Par exemple : le courant pénétrant sur la plateau continental à gauche des îles Malouines est plus marqué dans le cas BVF que dans le cas KPP.

En ce qui concerne les températures, il y a une grande différence entre les méthodes. Dans le cas du mélange vertical selon la méthode BVF, les températures semblent plus lissées que dans le cas de la méthode KPP. Secondairement les températures obtenues sont plus forte dans le cas BVF que KPP. Troisièmement, le gradient méridien de température est plus marqué dans le cas BVF alors que dans le cas KPP les températures semblent plus homogénéisées et donc le gradient méridien est moins contrasté. L'observation des vitesses de courant selon le mode de calcul du mélange vertical montre une différence. Le courant des Malouines est plus large et plus profond avec la méthode BVF qu'avec la méthode KPP. Les vitesses maximales sont similaires dans les deux méthodes, seule la taille du courant semble varier. L'observation du même profil horizontal à d'autre période de l'année montre toujours cette différence et peut être beaucoup plus marquée. Le courant des Malouines modélisé en fonction de la méthode BVF est plus puissant que modélisé par la méthode KPP.

4 Discussion.

4.1 ROMS VS POM VS *In situ*.

E [Palma et al., 2008] ont modélisés la région océanique allant de 55° S à 20° S et de 70° W à 40° W. Le modèle utilisé est le modèle POM décrit en détail par [Blumberg and Mellor, 1987]. La modélisation de la vitesse des courants de la même zone que celle étudiée ici est comparée avec les résultats obtenus par le modèle POM. La modélisation grâce au modèle POM montre clairement une similitude des résultats avec les valeurs obtenues *in situ* (figure 8). La comparaison avec le modèle ROMS montre aussi une similitude. Les valeurs obtenues de vitesse maximales de courant pour le même transect est de l'ordre de 0.22 $m.s^{-1}$ avec le modèle ROMS. Cette vitesse est donc du même ordre de grandeur que les résultats *in situ* et les résultats du modèle POM qui sont de l'ordre de 0.5 $m.s^{-1}$. La différence observée entre les valeurs est premièrement, probablement du à des saisons différentes de modélisation et secondairement, probablement du au fait qu'il s'agit peut être de valeurs moyennées sur une grande période de temps, ce qui n'est pas le cas pour la valeur du modèle ROMS qui sont des valeurs moyennées sur 3 jours seulement.

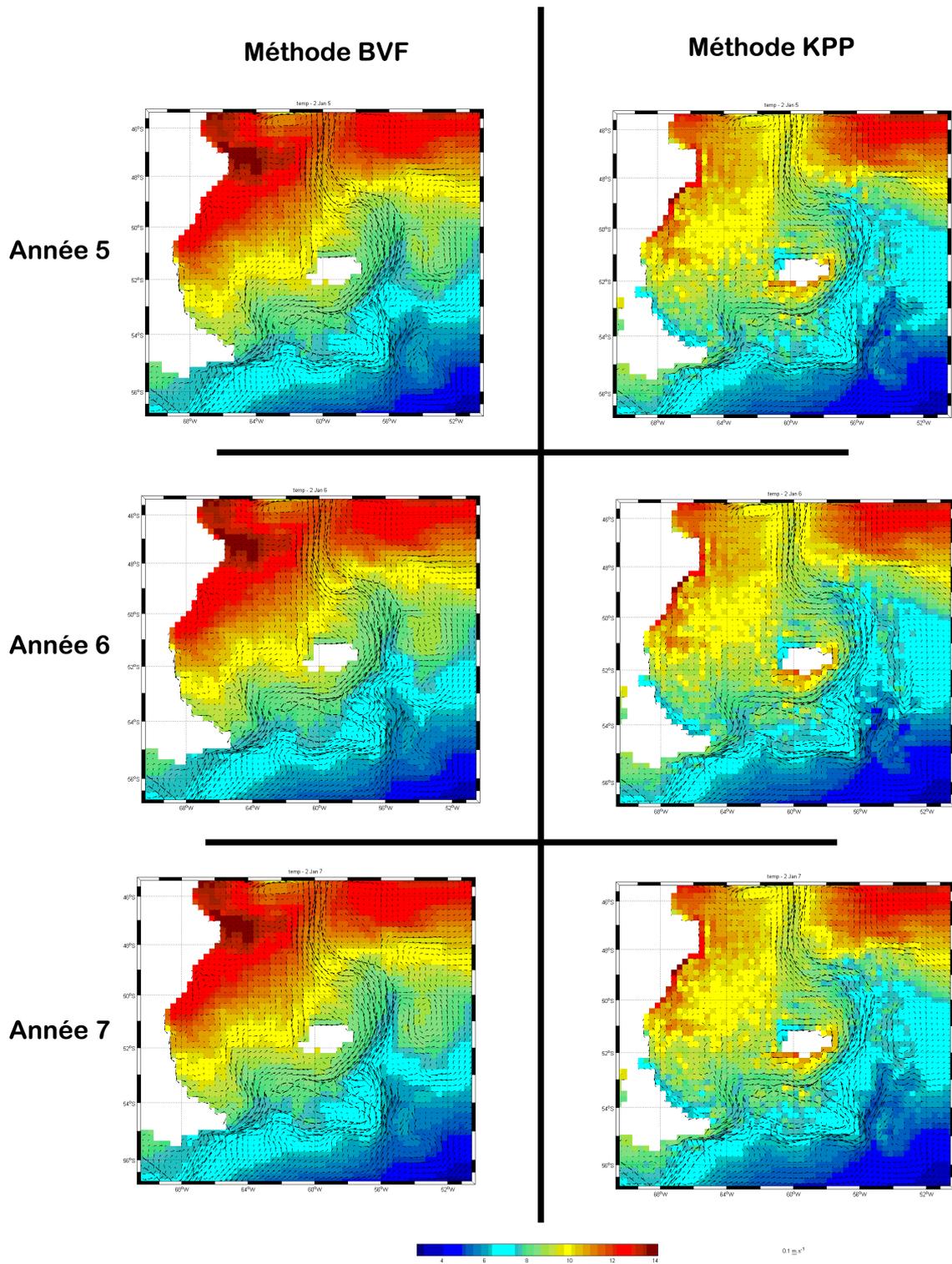


FIGURE 6 – Température et courant en fonction du mode de calcul du mélange vertical du 2 Janvier des années 5, 6 et 7.

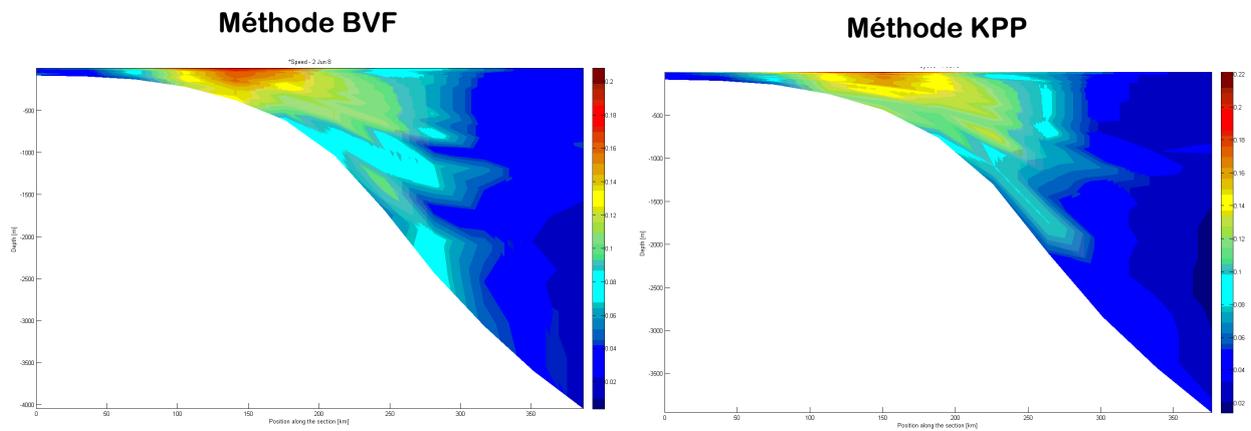


FIGURE 7 – Vitesse du courant des Malouines à la latitude 46° S et entre 62 et 57° de longitude durant la période hivernale.

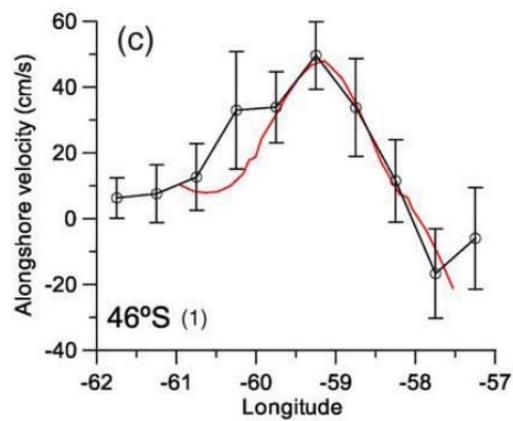


FIGURE 8 – Vitesse de courant à la latitude 46° S obtenu par le modèle POM en rouge et des données in situ en noir. [Palma et al., 2008]

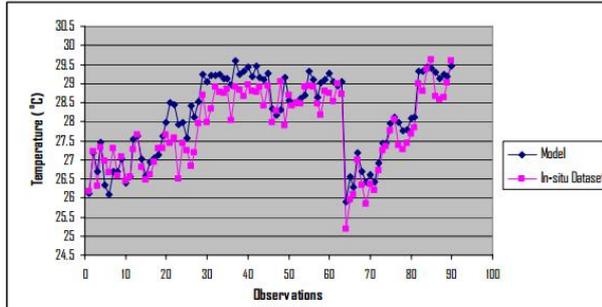


Figure 3. SST Comparison between In-situ Dataset and Model Based on BVF Vertical Mixing

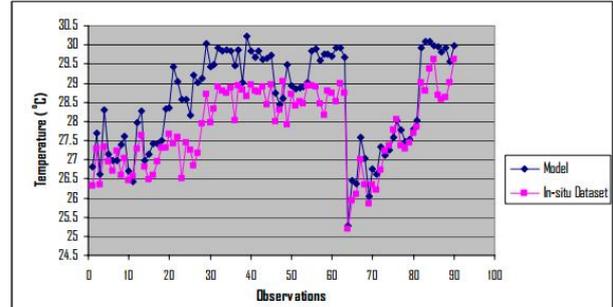


Figure 2. SST Comparison between In-situ Dataset and Model Based on KPP Vertical Mixing

FIGURE 9 – Comparaison entre les valeurs de températures modélisées selon les différentes méthode et des valeurs de températures in situ (STT) pendant la saison de la mousson du nord. [Nurweda et al., 2009]

4.2 KPP vs BVF.

Nurweda et al. [2009] utilisent le modèle ROMS pour modéliser la circulation à travers les îles de la Micronésie. Dans cette étude l’auteur à lui aussi comparer les effets de l’utilisation de la méthode BVF ou de la méthode KPP pour calculer le mélange vertical. Une fois les deux modélisations réalisés, il compare les résultats avec des valeurs obtenues in situ (figure 9). L’observation de ces résultats montrent que la modélisation de la température par la méthode BVF est beaucoup plus proche de la température mesurée in situ. L’écart entre les température réelles est celles calculées avec la méthode KPP est plus importante. L’erreur quadratique moyenne est de $0.51\text{ }^{\circ}\text{C}$ avec la méthode BVF alors qu’elle est de $0.91\text{ }^{\circ}\text{C}$ avec la méthode KPP. Enfin le coefficient de corrélation est plus important avec la méthode BVF (0.925) qu’avec la méthode KPP (0.900).

La même simulation à été réalisé mais cette fois durant une saison différente, dans ce cas, la méthode KPP est plus proche des valeurs in situ de SST (écart moyen de $0.57\text{ }^{\circ}\text{C}$) qu’avec la méthode BVF (écart moyen de $0.74\text{ }^{\circ}\text{C}$). Cependant pour cette expérience, le coefficient de corrélation est plus important pour la méthode KPP (0.91) que pour la méthode BVF (0.87). Le coefficient de corrélation permet de déterminer l’intensité de liaison qui peut exister entre des variables à comparer, il varie de 0 à 1, 1 étant synonyme de la plus forte similitude entre les variables comparées.

L’auteur conclut donc que la modélisation à partir du mélange vertical calculé avec la méthode BVF est meilleur que la méthode KPP au regard de la régulation de la distribution de la SST dans la mer des archipels Indonésiennes. Car l’erreur quadratique moyenne des valeurs de température avec la méthode BVF s’accorde mieux avec les valeurs in situ de SST.

4.3 Conclusion

La modélisation de la zone océanique autour des îles Malouines grâce au modèle ROMS permet l’usage de différentes méthodes de calculs du mélange vertical afin d’obtenir des résultats différents. Il apparaît clairement que la modélisation selon la méthode de la fréquence de Brunt-Väsälä, les courants calculés sont plus intenses et les températures plus lissées. Contrairement, les résultats d’une modélisation avec un mélange vertical calculé selon le profil KPP montrent des courants moins intenses, des températures plus froides et variables spatialement.

Au regard des études de modélisation réalisé dans la même région océanique mais avec un modèle différent (POM) et par comparaisons avec des valeurs in situ, il s’avère que les résultats obtenus dans ce travail par le modèle ROMS sont du même ordre de grandeur que les résultats obtenus dans l’étude de Palma et al. [2008]. Cette corrélation valide donc la pertinence du modèle ROMS face aux valeurs obtenues in situ.

La comparaison de l’influence du choix de la méthode de calcul du mélange vertical à déjà été réalisé et montre que la méthode selon la BVF est plus proche des valeurs in situ. Dans la région des Malouines, la méthode BVF simule des courants plus intenses, en considérant les valeurs élevées de vitesse de courant obtenues par Palma et al. [2008] il semblerais que le modèle selon la méthode BVF est le plus pertinent. Ce qui confirme donc les conclusions de Nurweda et al. [2009] qui considère les simulations avec la méthode BVF plus proche des valeurs in situ que la méthode KPP. Cependant, dans la

continuité de cette étude, il serait intéressant de comparer l'influence du choix de la méthode du calcul du mélange vertical, sur un maximum de variables calculé par le modèle ROMS, afin de pouvoir conclure précisément sur la méthode qui engendre le moins d'écart avec les valeurs obtenues in situ. Cette comparaison ultime permettra aux modélisateurs de choisir avec conviction et preuve qu'elle méthode permet la meilleur simulation du milieu océanique afin d'avoir une base fiable et solide pour la modélisation des processus physique et biologique à la base de nombreux cycles biogéochimiques.

5 Annexe



FIGURE 10 – Diagnostic des deux modèles superposé, avec en couleur bleu la modèle selon la méthode KPP et en rouge le modèle selon la méthode BVF. (A : volume totale ; B : énergie cinétique moyennée sur la surface ; C : énergie cinétique moyennée sur le volume ; D,E : anomalie de volume ; F : salinité moyennée sur le volume ; G : température moyennée sur le volume.)

Références

- Alan F Blumberg and George L Mellor. A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model. *Coastal and estuarine sciences*, 4 :1–16, 1987.
- G. Cambon, K. Goubanova, P. Marchesiello, B. Dewitte, S. Illig, and V. Echevin. Assessing the impact of downscaled winds on a regional ocean model simulation of the Humboldt system. *Ocean Modelling*, 65 :11–24, May 2013. doi : 10.1016/j.ocemod.2013.01.007.
- W. G. Large, J. C. McWilliams, and S. C. Doney. Oceanic vertical mixing : A review and a model with a nonlocal boundary layer parameterization. *Reviews of Geophysics*, 32(4) :363–403, 1994. ISSN 1944-9208. doi : 10.1029/94RG01872. URL <http://dx.doi.org/10.1029/94RG01872>.
- P Nurweda, I Dewa Nym, Takahiro Osawa, I Wayan Arthana, et al. Study of ocean circulation in indonesian archipelago sea using three dimensional ocean model. *Ecotrophic, Journal of Environmental Science*, 4(2), 2009.
- Elbio D. Palma, Ricardo P. Matano, and Alberto R. Piola. A numerical study of the southwestern atlantic shelf circulation : Stratified ocean response to local and offshore forcing. *Journal of Geophysical Research : Oceans*, 113(C11) :n/a–n/a, 2008. ISSN 2156-2202. doi : 10.1029/2007JC004720. URL <http://dx.doi.org/10.1029/2007JC004720>.
- Pierrick Penven, L. Debreu, Patrick Marchesiello, and J. C. McWilliams. Evaluation and application of the ROMS 1-way embedding procedure to the central california upwelling system. *Ocean Modelling*, 12 :157–187, 2006. ISSN 1463-5003. doi : 10.1016/j.ocemod.2005.05.002. URL <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010035848>.