

Variations inter-annuelles en mer du Japon



Kévin CRAMPOND

Master 1 Océanographie Physique et Biogéochimique

OPB 205 - Modélisation de la circulation océanique

Responsable : Andrea DOGLIOLI

Année 2015-2016

Abstract

Le modèle ROMS est un modèle simulant la circulation océanique à l'échelle régionale. La mer du Japon présente un intérêt à être simulé par son caractère semi-fermé mais aussi par la variabilité saisonnière qui a lieu au cours de l'année et qui affecte entre autres les températures de surface et de salinité. Le modèle ROMS reproduit cette variabilité avec des imprécisions dans les valeurs qu'il donne avec des sous-estimations ou des sur-estimations sur ces valeurs. Il a aussi des difficultés à reproduire les bonnes directions des gradients de température près des côtes Sud de la mer du Japon. Le centre de la mer du Japon est le meilleur endroit pour étudier les phénomènes avec ROMS avec une bonne représentation de la variabilité saisonnière et même l'apparition de phénomènes à l'échelle locale conforme à la littérature.

ROMS model is a model which simulate oceanic circulation with an regional scale. Japan Sea is interesting to be simulated because it's a semi-closed sea and suffer from a seasonality which affect sea surface temperature and salinity. ROMS model reproduce that variabilty with some imprecisions in the values that it give with overestimates and underestimates on these values. It have difficulties to reproduce the right direction of temperature and salinity gradient near the South coasts of the Japan Sea. The middle of Japan Sea is the best place to study physic phenomenons with ROMS witg a good representation of the seasonality and even the appearance of phenomenons at a local scale.

1. Introduction

La mer du Japon est une mer semi-fermée entourée par le Japon, les Corée du Nord et du Sud, la Chine et la Russie. Elle s'étend latitudinalement entre 34°N et 51°N alors que longitudinalement, elle s'étend de 127°E à 142°E. Pour comparaison, la France se situe aux alentours de 45°N. Le Japon se situe donc à des latitudes où on ressent des variabilités saisonnières (zone tempérée). Cette saisonnalité du climat a des répercussions sur la mer du Japon où on va retrouver des marques de cette saisonnalité. On s'intéressera donc dans cette étude aux paramètres de surface, essentiellement à la température et à la salinité de surface, afin d'étudier cette saisonnalité. On regardera aussi la cohérence du modèle avec la réalité, avec notamment une comparaison entre température et de salinité obtenues par des données satellitaires et par le modèle. Enfin, la variabilité saisonnière aux latitudes de la mer du Japon induit aussi des phénomènes locaux au sein de celle-ci. Nous verrons ainsi si le modèle arrive à détecter ces phénomènes et à les reproduire fidèlement à la réalité.

2. Présentation de la zone d'étude

La mer du Japon est une zone intéressante à étudier. En effet, elle présente des similarités avec l'océan ouvert, tout comme la Méditerranée. Cette mer peut donc être considérée comme un océan ouvert à plus petite échelle.

Dans cette étude, nous travaillons sur les variabilités saisonnières en mer du Japon à l'aide des données en surface et plus particulièrement les données de température. En effet, ces données peuvent être mises en corrélation avec deux phénomènes : les courants marins dans la mer du Japon et le régime des vents.

2.1 Courants de surface de la mer du Japon

La mer du Japon est caractérisée par des courants chauds remontant vers le Nord à l'Est et des courants froids descendants le long des côtes Ouest (Figure 1).

Le courant entrant par le détroit de Corée/Tsushima et qui longe les côtes Est de la mer du Japon se nomme Tsushima Warm Current (TWC). Comme son nom l'indique, il s'agit d'un apport extérieur d'eau chaude. Cependant, cette apport est sujet à des variations saisonnières puisque le transport lié à ce courant est minimal en hiver (You, 2010) alors qu'il est plus important en été (Takikawa and Yoon, 2005).

Le Subpolar Front est un phénomène qui se situe le long du Subpolar Jet. Il s'agit de l'apparition d'un gradient de température fort à cet endroit. Ce front est considérée comme une frontière biogéographique et climatique entre une zone froide subpolaire et une zone chaude et relativement salin. Ce front a cependant aussi une variabilité saisonnière (Figure 2) puisqu'elle apparaît essentiellement en hiver et est encore visible au printemps (Park, 2007).

2.2 Régime des vents

La mer du Japon est soumise aux phénomènes de mousson. Lors de l'hiver, l'intense mousson apporte de l'air froid asiatique provenant du Nord (Dorman, 2004). L'air devient alors plus froide que l'océan. Les flux de chaleur s'effectuant des sources chaudes aux sources froides, l'océan perd donc de la chaleur du fait qu'elle soit la source froide dans le système atmosphère-océan.

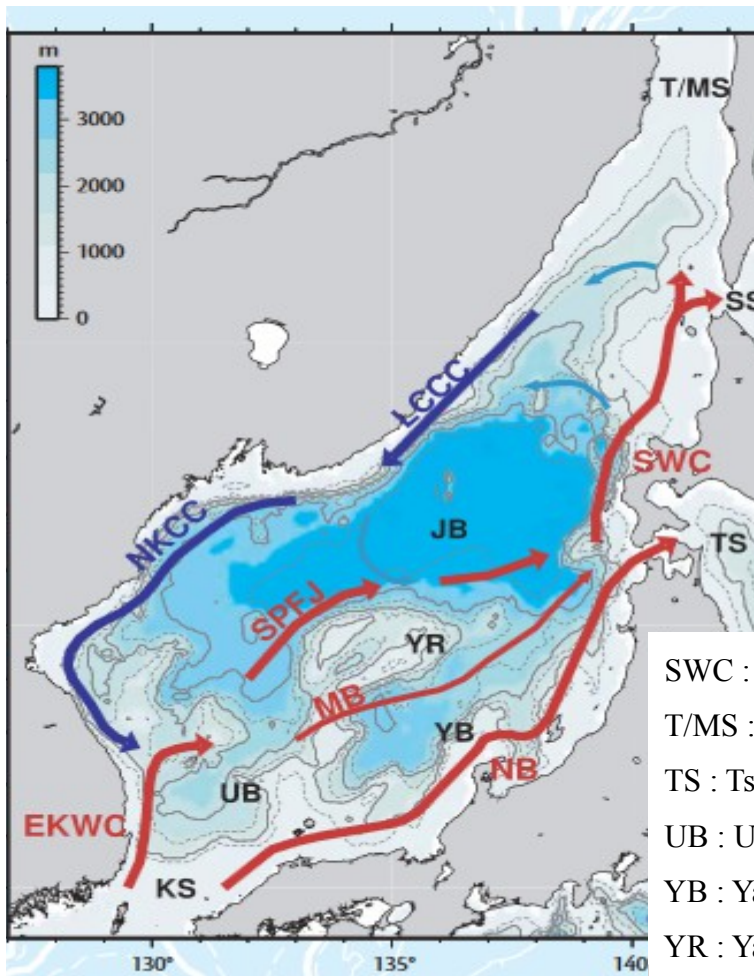


Figure 1. Représentation schématique des courants de surface de la mer du Japon (Mooers, 2006)

EKWC : East Korea Warm Current

JB : Japan Basin

KS : Korea/Tsushima Strait

LCCC : Liman Coastal Cool Current

MB : Middle Branch

NB : Nearshore Branch

NKCC : North Korea Cool Current

SS : Soya Strait

SPJF : Subpolar Jet and Front

SWC : Soya Warm Current

T/MS : Tatar/Mamlya Strait

TS : Tsushima Strait

UB : Ulleung Basin

YB : Yamato Basin

YR : Yamato Rise

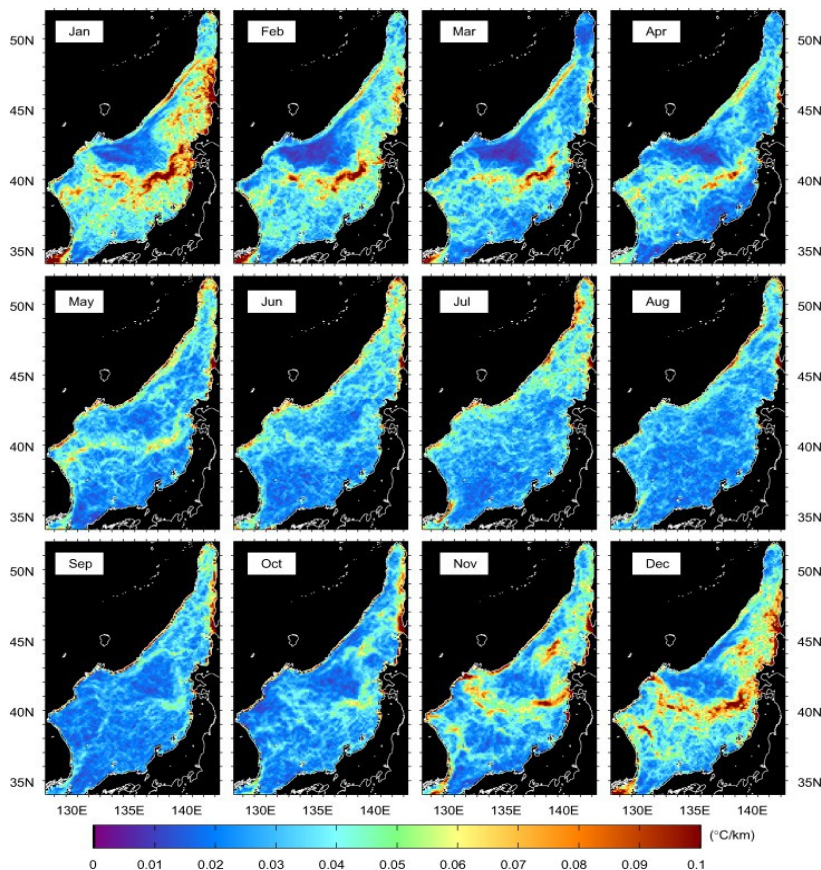


Figure 2. Carte des gradients de température de surface ($^{\circ}\text{C}/\text{km}$) (Park, 2007)

En été, la mousson d'été, plus faible que celle d'hiver, apporte de l'air chaud provenant du Sud (Dorman, 2005).

3. Objectifs

L'objectif de ce rapport est de déterminer la validité du modèle ROMS pour l'observation des variations saisonnières apparaissant en mer du Japon à l'aide des données de température et de salinité de surface. Plus précisément, il s'agira de comparer les valeurs des deux paramètres citées entre celles obtenues réellement et celles obtenues par le modèle. On profitera aussi de la description des courants faite précédemment pour vérifier si le modèle semble reproduire les grands courants de la mer du Japon.

La saisonnalité du front subpolaire a aussi été mis en avant. Il sera donc vérifié si le fort gradient de température résultant de ce front polaire apparaît bien avec le modèle ROMS et durant la bonne période.

4. Modèle ROMS

4.1 Rapide description du modèle

Le modèle ROMS est un modèle de circulation océanique basé sur les équations primitives. Il est donc basé sur les équations du mouvement provenant des équations de Navier-Stokes et sur les équations de conservation de la chaleur et du sel. L'approximation de Boussinesq est appliqué pour ce modèle, de même que l'hypothèse hydrostatique.

Le modèle discrétise ces équations en utilisant une grille d'Arakawa de type C. Il s'agit d'une grille qui se comporte bien pour les fines résolutions spatiales. Étant donné que la mer du Japon est un espace relativement restreint et que l'un des objectif est d'observer un fort gradient de température, une faible résolution spatiale semble être indispensable. La grille d'Arakawa de type C du modèle ROMS semble donc être adapté à l'étude.

Pour pouvoir être lancé, le modèle a besoin de plusieurs éléments. Il doit connaître les différents forçages qui mettent en mouvement les masses d'eau de la zone d'étude comme l'action du vent, mais aussi les conditions climatiques initiales ainsi que les conditions aux bords.

4.2 Choix des différents paramètres du modèle

Connaissant la zone à étudier et les objectifs à remplir, il faut donner toutes les informations nécessaires au modèle afin qu'on puisse le lancer.

Tout d'abord, il faut imposer les frontières du modèle, c'est à dire délimiter la zone d'étude. Pour cela, on rentre les paramètres de longitude et latitude dans le fichier *romstools-param* (Tableau 1).

Longitude minimale	Longitude maximale	Latitude minimale	Latitude maximale
125	143	33	52

Tableau 1: Paramètres longitudinaux et latitudinaux délimitant la zone d'étude dans ROMS

Dans ce même fichier *romstools-param*, on renseigne aussi le pas de grille. On le définit dans notre étude à 1/5. Ceci permet d'avoir une maille de grille assez fine afin d'observer des phénomènes de petite échelle.

Connaissant les paramètres spatiaux de la simulation, les paramètres temporels doivent être déduits à partir du critère CFL. Ces paramètres sont présents dans les fichiers *roms.in*, *roms_inter.in* et *run_roms.csh*. Ils correspondent au pas de temps interne (DT), au rapport du pas de temps interne et le pas de temps externe (NDTFAST) et le nombre d'itérations (NTIMES). Ces paramètres se déterminent grâce au critère CFL dépendant des critères spatiaux que nous avons déterminé précédemment. Ce critère est basé sur le fait que le pas de temps doit permettre d'observer les phénomènes voulus en ne permettant pas au phénomène de se propager de plus d'une maille à chaque pas de temps. La formule de critère est donnée par la relation suivante :

$$\Delta T \leq \frac{1}{c} \cdot \left(\frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right)^{1/2}$$

avec Δx et Δy les distances longitudinale et latitudianles minimales d'une maille et c la vitesse de propagation du phénomène qu'on souhaite étudier.

Le programme *ad_cfl.m* permet de calculer ces paramètres qui sont alors affichées après avoir renseigné les paramètres spatiaux au programme (Tableau 2).

NDTFAST	NTIMES	DT
60	3600	720

Tableau 2: Paramètres temporels imposés au modèle ROMS

Après avoir choisi judicieusement les paramètres spatiaux et temporels désirés pour lancer le modèle et après avoir donné un nom à la simulation et l'avoir noté dans les différents fichiers où ce nom apparaît, la simulation est alors prête à être lancée.

4.3 Diagnostic de la simulation

Le modèle ROMS ne donne pas des figures correctes dès les premières années. En effet, il a besoin d'un temps d'adaptation avant de se stabiliser. Les énergies cinétiques moyennées sur la surface et sur le volume, la vitesse verticale et la température sont rapidement stabilisés (au bout d'une année pour les trois premiers paramètres cités et trois années pour la température) tandis que la salinité et l'anomalie de volume se stabilisent beaucoup moins facilement (5 années pour la salinité et 8 années pour l'anomalie de volume) (Figure 3).

Ce diagnostic est important car il permet de pouvoir choisir une année parmi les 10 années modélisées où la simulation est stable. On observe que la salinité se stabilise au bout de 5 années en diminuant globalement durant ces 5 premières années mais continue de diminuer légèrement et passer en dessous de la valeur de stabilité. Cependant, l'échelle représentant le diagnostique de la salinité est de 0,2 alors que celle repésentant l'anomalie de volume est de l'ordre de 10^{15} . Ainsi, on va privilégier la stabilité de l'anomalie de volume plutôt que celle de la salinité. On choisira donc d'étudier les variations saisonnières de la mer du Japon lors de la dixième année de simulation du modèle ROMS.

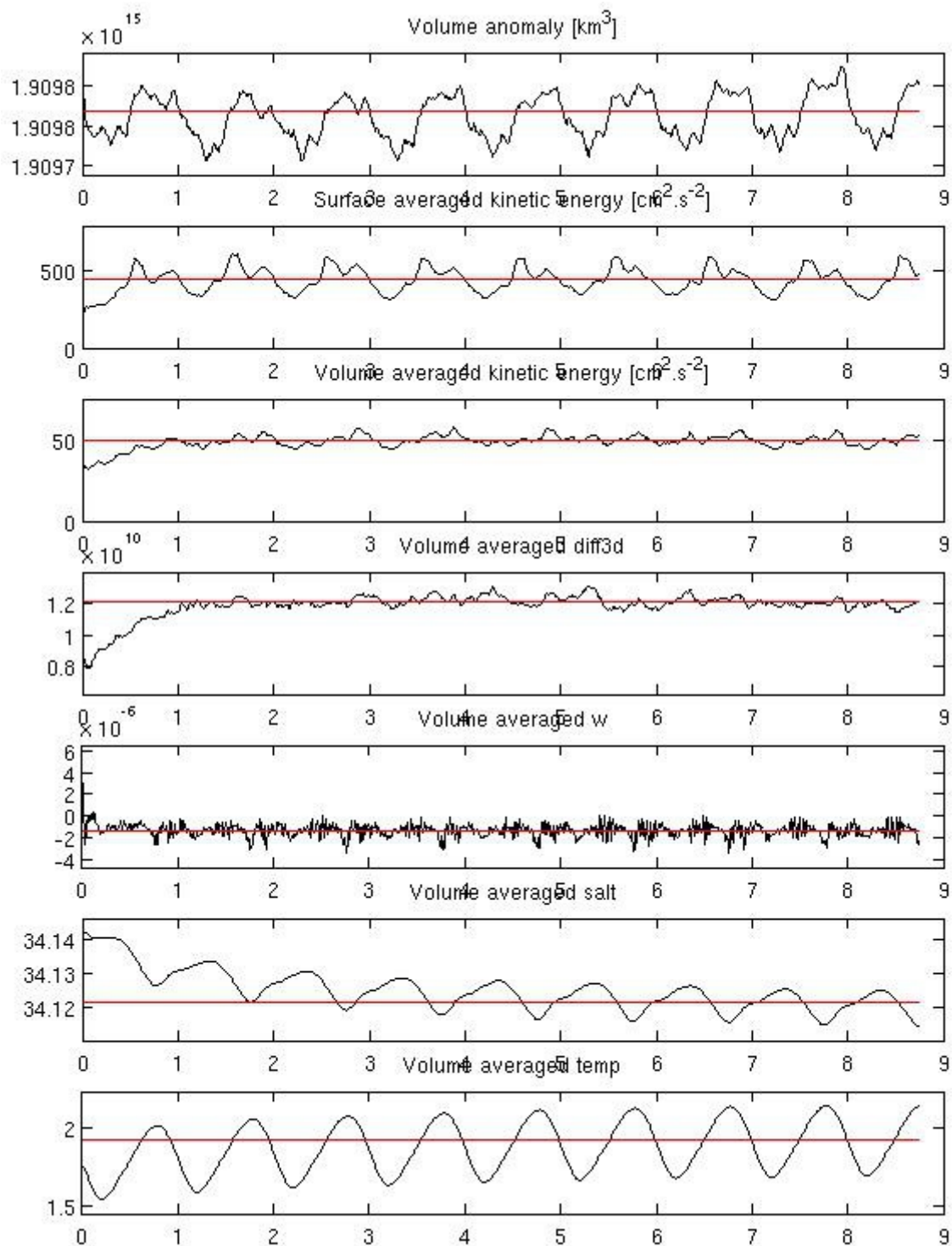
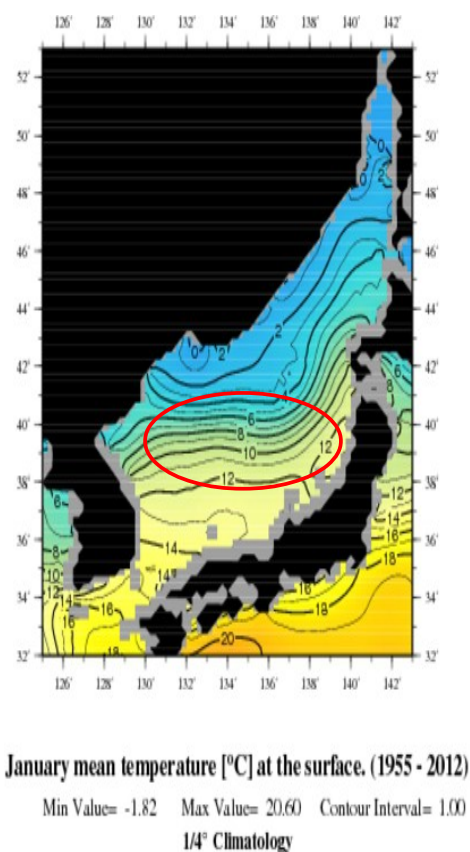


Figure 3 : Diagnostic du modèle ROMS pour la simulation de la mer du Japon

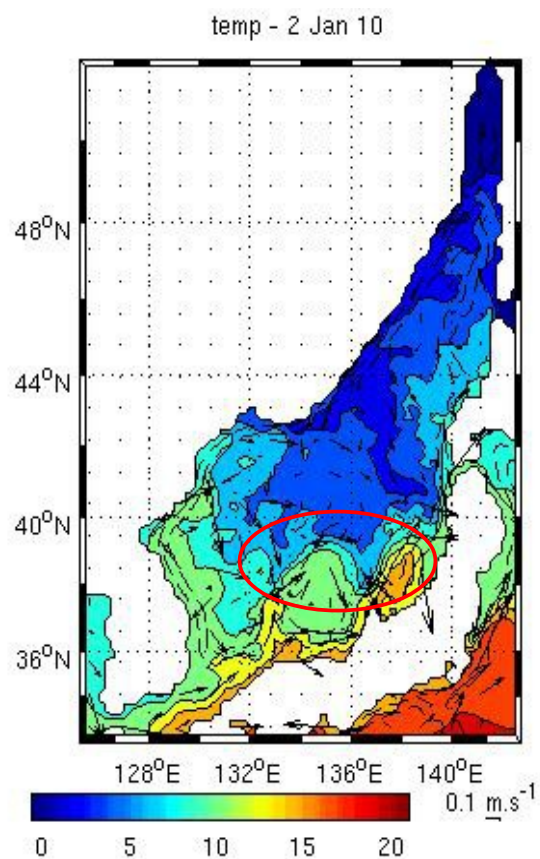
5. Étude des variations saisonnières en mer du Japon

5.1 La température

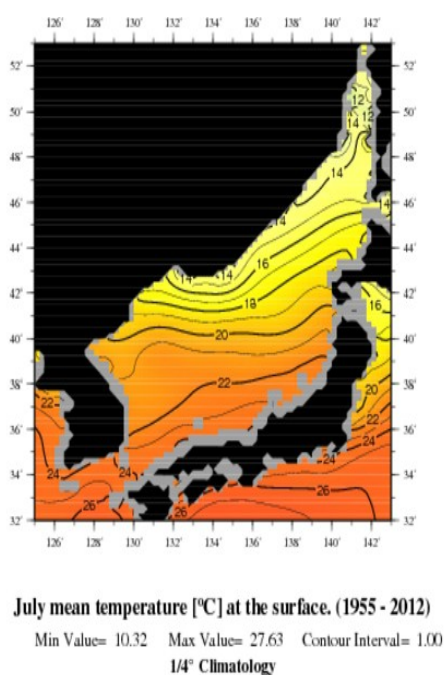
Nous allons comparer les figures de température de surface en mer du Japon obtenues avec la dixième année de simulation de la mer du Japon par le modèle ROMS avec les cartes obtenues avec les données du World Ocean Atlas (Figure 4).



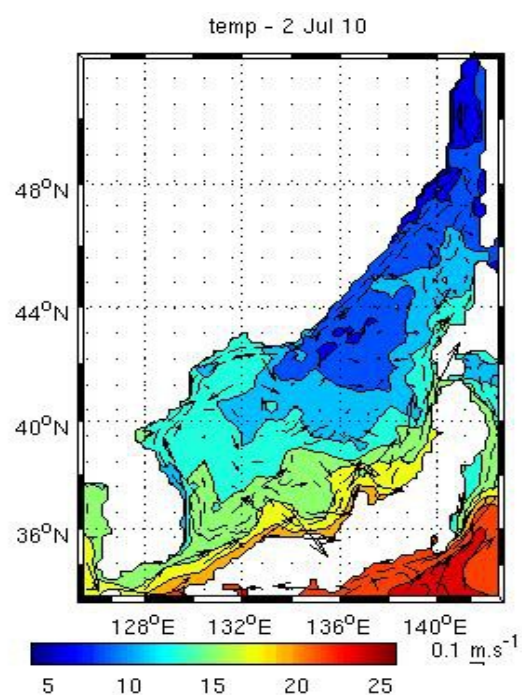
a



b



c



d

Figure 4 : Cartes de température de surface de la mer du Japon moyenné entre 1955 et 2012 en Janvier (a) et en Juillet (c) provenant du World Ocean Atlas et cartes de température de surface obtenus par le modèle ROMS en Janvier (b) et en Juillet (d)

Le choix de comparer les données de simulation avec les cartes du World Ocean Atlas provient du fait qu'aucune étude faite jusqu'à présent ne donnait des figures satisfaisantes pour effectuer une comparaison avec les figures que nous obtenons avec le modèle ROMS. De plus, ces figures des différents articles ne proposent que des cartes de température de surface moyennées sur une courte échelle de temps alors que le forçage du modèle effectué avec les données du Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set (COADS). Ces données proviennent de différentes mesures et observations faites entre 1857 et 1979.

Le modèle ROMS semble bien retracer la variabilité saisonnière de la température de surface de la mer du Japon. En effet, la température varie selon la saison avec des températures globalement plus chaudes de 5°C en Juillet par rapport à Janvier (Figure 4b et 4d). De plus, au delà de la variation temporelle saisonnière de la température, on retrouve en Janvier un fort gradient de pression au Nord de la ride de Yamato (mis en valeur par un cercle rouge sur la figure 3). Ce gradient de température sur la figure du modèle ROMS sépare bien la partie Nord de la mer du Japon globalement froide (moins de 5°C) et une partie Sud de cette mer plus chaude (Figure 4b). Ce gradient de température correspond au Front Subpolaire qui varie saisonnièrement en apparaissant en hiver et en disparaissant en été, comme nous l'avons décrit précédemment à partir des travaux de Park réalisés en 2007. D'ailleurs, le modèle ROMS nous montre un gradient Nord-Sud de la température beaucoup moins important en Juillet ce qui marque bien la disparition du Front Subpolaire en été dans le modèle ROMS.

En comparant les figures obtenues avec ROMS avec celles obtenues avec le World Ocean Atlas, on se rend compte que les gradients de pression semblent correspondre entre les deux cartes, à quelques exemptions près, notamment l'apparition d'un gradient de température orienté du Nord-Est vers le Sud-Ouest pour ROMS dans le Sud-Ouest de la mer du Japon (Figure 4b) alors qu'il est orienté du Nord-Ouest vers le Sud-Est pour la carte du World Ocean Atlas toujours dans le Sud-Ouest de la mer du Japon (Figure 4a). Ceci constitue une des différences que l'on peut observer entre les données in-situ et les données de ROMS. De plus, la température est sous évaluée dans le modèle ROMS. En effet, même si on retrouve avec ROMS les tendances que nous attendions, il reste néanmoins des écarts de température entre réalité et modèle. Tout d'abord, les côtes Sud-Est du Japon ont des températures sur évaluées en hiver (Figure 4b) où au lieu de trouver des températures de 12°C (Figure 4a), on trouve des températures de 15°C. Ensuite, pour la même zone, les températures en été sont sous évaluées dans le modèle ROMS (Figure 4d) où au lieu de trouver des températures de l'ordre de 22°C (Figure 4c), on trouve des températures de 20°C.

5.2 La salinité

Nous allons maintenant effectuer le même procédé de comparaison que nous avons fait pour la température mais cette fois pour la salinité.

Sur les cartes du World Ocean Atlas, on observe bien une variation saisonnière de la salinité qui évolue globalement de 33,5 en été à 34,5 en hiver. Le modèle ROMS retrace plutôt bien la salinité de la mer du Japon en été où on observe des salinités proches entre 33,5 et 34 dans la plupart du bassin sauf dans le Bassin du Yamato où la salinité augmente au dessus de 34. Ceci s'observe aussi sur la carte du World Ocean Atlas. Cependant, les valeurs de salinité restent entre 33,5 et 34 dans la plupart de la mer du Japon en Janvier et pour le modèle ROMS, ce qui ne permet pas de montrer la variabilité saisonnière du sel dans la mer du Japon par la simulation du sel par ROMS. Seul le Bassin de Yamato présente bien une variabilité saisonnière puisqu'il présente des valeurs de salinité supérieures à celles du reste de la mer du Japon en été alors qu'elles sont inférieures au reste du Bassin en hiver. Cette démarcation que l'on peut observer dans la salinité du Bassin de Yamato et du reste de la mer en hiver n'apparaît pas sur les cartes de salinité du World Ocean Atlas pour la période de Janvier.

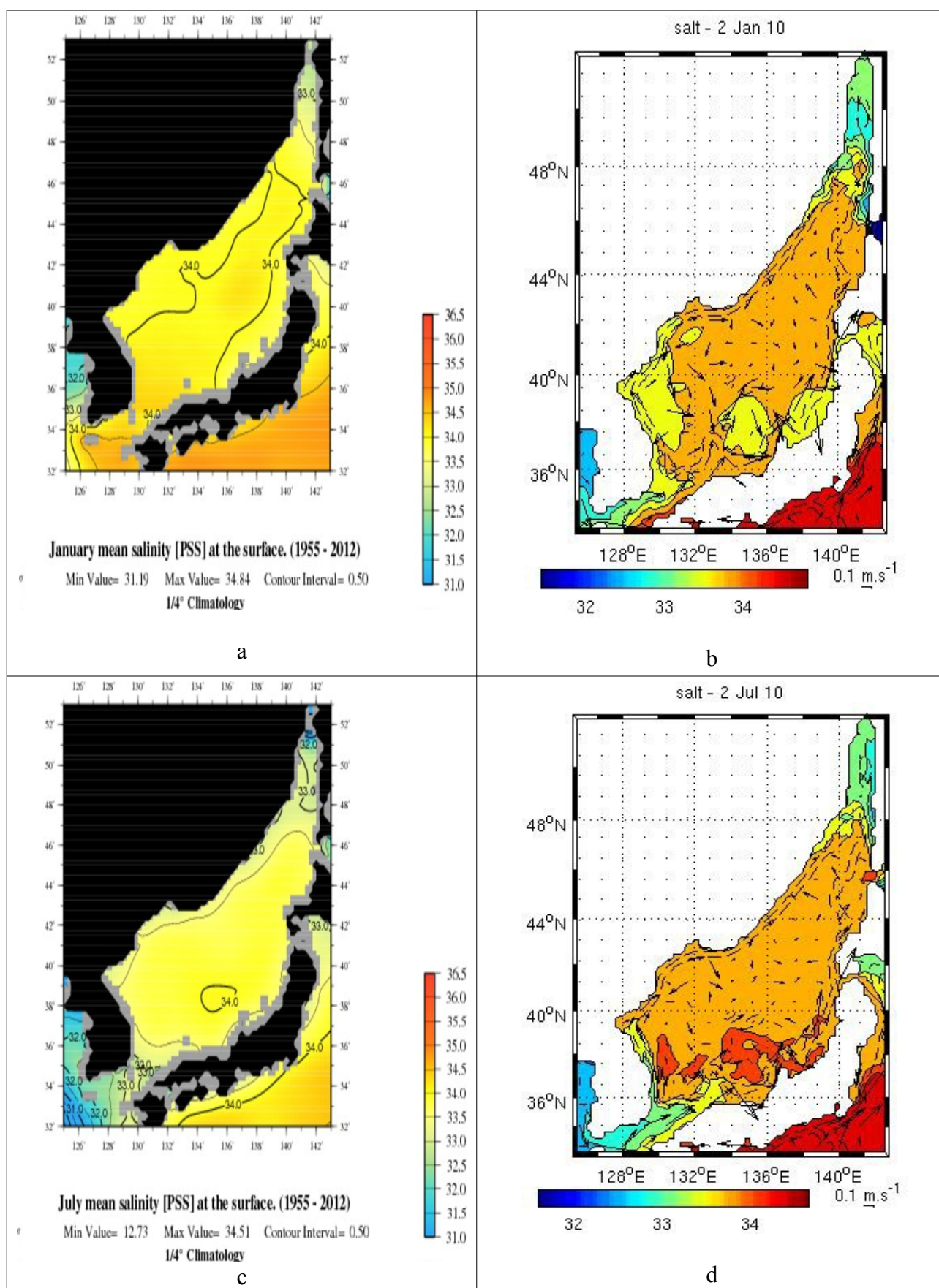


Figure 5 : Cartes de salinité de surface de la mer du Japon moyenné entre 1955 et 2012 en Janvier (a) et en Juillet (c) provenant du World Ocean Atlas et cartes de salinité de surface obtenus par le modèle ROMS en Janvier (b) et en Juillet (d)

Il est possible d'émettre une hypothèse sur le fait que le modèle ROMS ne soit pas fidèle aux observations lors du mois de Janvier (Figure 5a et 5b). Cette hypothèse serait que les détroits ne seraient pas correctement modélisés et viendrait rendre la salinité dans le modèle ROMS moins importante que ce qu'elle devrait être. En effet, lorsqu'on regarde le modèle ROMS pour le mois de Juillet (Figure 5d), on observe un gradient de salinité lorsqu'on rentre en mer du Japon par le détroit de Corée. Ceci se retrouve sur les données réelles (Figure 5c) même si les données réelles donnent des salinités dans le détroit un petit peu plus importantes que celles obtenues dans ROMS. Mais lorsqu'on regarde les données réelles en Janvier, on observe une masse d'eau provenant de l'Est du Japon et qui vient quasiment recouvrir toute l'entrée du détroit de Corée (Figure 3a). Ceci a pour conséquence d'avoir une absence de gradient de salinité à l'entrée de Corée comme on pouvait l'observer en Juillet. Or on observe sur le modèle ROMS pour Janvier (Figure 5d) un apport d'eau salée sur la rive Est du détroit de Corée mais la masse d'eau plus salée provenant de l'Est et qu'on observe sur les données du World Ocean Atlas ne vient pas bloquer l'entrée complète du détroit et on a sur le c[^]té Ouest du détroit de l'eau plus douce qui apparaît. Ceci permettrait d'apporter de l'eau douce à la mer du Japon ce qui expliquerait les valeurs de salinité moins importantes que ce qu'on devrait observer. De plus, si on regarde dans le détroit de Tatar/Mamlya (détroit au Nord de la mer du Japon), on observe une diminution de la salinité en dessous de 32 qui n'est pas représenté sur les données réelles (Figure 5a). Ceci viendrait aussi contribuer à la baisse de salinité dans la mer du Japon. Le même phénomène est aussi simulé dans le détroit de Soya où on trouve des eaux avec une salinité inférieure à 32, ce qui n'est pas en accord avec la réalité car c'est une salinité trop faible.

ROMS aurait donc un problème au niveau des détroits. Pourtant, il s'agit d'un des éléments essentiels de la saisonnalité des paramètres des eaux dans la mer du Japon. C'est justement pour cela qu'il a été choisi de laisser les frontières ouvertes et ainsi de permettre les échanges entre l'océan Pacifique et la Mer du Japon. Peut être qu'une zone d'étude plus étendue aurait été judicieux pour mieux modéliser les apports de détroit.

Pour revenir à cette différence de salinité au détroit de Corée, on observe que la masse d'eau plus salée qui vient se placer à l'entrée du détroit est présente dans ROMS mais est seulement présente à l'extrême Est du détroit (partie en rouge sur la figure 5b). Ceci pourrait nous faire penser en fait que ROMS est en décalé par rapport à la réalité, c'est à dire qu'il est censé nous montrer une situation de Janvier mais qu'il a un décalage temporel.

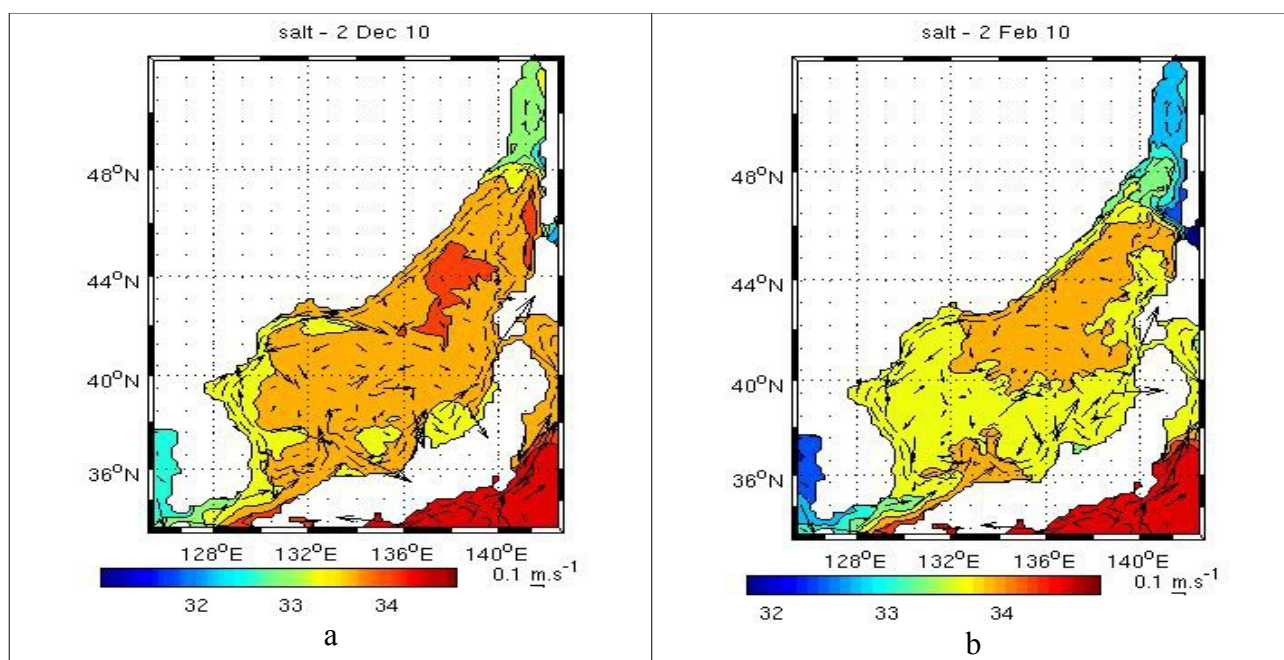


Figure 6 : Salinité de surface par le modèle ROMS en Décembre (a) et en Février (b)

La figure 6 semble corroborer cette hypothèse. En effet, on observe que le gradient fort de salinité que l'on retrouve perpendiculairement au détroit de Corée en Janvier sur le modèle ROMS (Figure 5b) est beaucoup moins fort en Décembre sur la carte du modèle ROMS (Figure 6a). Par contre, le fort gradient est toujours présent en Février sur la carte du modèle ROMS (Figure 6b). De plus, la salinité est globalement plus forte en décembre qu'en Janvier en mer du Japon selon le modèle. Ceci ressemble donc plus à ce qu'on a en Janvier réellement.

La salinité de surface relativement forte en Janvier dans la réalité s'observe donc un mois en avance sur ROMS et ne s'observe plus le mois suivant (Janvier) alors qu'on devrait. Et il ne s'agit pas d'une divergence isolée puisque le mois de Février sur le modèle ROMS semble faire tendre la salinité moins faible qu'on observe en été. Comme nous l'avons dit précédemment, c'est au niveau des détroits et de l'apport d'eau moins salée par ceux-ci que la salinité baisse dans la mer du Japon au mois de Janvier dans le modèle ROMS. Ainsi, on est en droit de se demander si la situation en mer du Japon au niveau de salinité serait plus fidèle en élargissant la zone d'étude afin que les masses d'eau autour de la mer du Japon et qui influent sur les paramètres de la mer du Japon puisse être mieux observées et peut être mieux modélisées (le fait qu'elles soient au bord du modèle change peut être leur circulation).

6. CONCLUSION

L'objectif de cette étude était de voir si le modèle ROMS pouvait représenter les caractéristiques basiques de la saisonnalité en mer du Japon. Globalement, on peut dire que le modèle ROMS est satisfaisant dans la représentation de la saisonnalité des deux paramètres principaux à savoir la température et la salinité. Cependant, même s'il reproduit cette variabilité, il ne le fait pas avec les bonnes valeurs. Ceci limite donc ROMS à une utilisation plutôt simple dans le cadre de la mer du Japon. On ne va donc pouvoir étudier que les impacts et les tendances en mer du Japon avec le modèle ROMS. Il semble donc exclu d'utiliser les valeurs données par le modèle. De plus, le modèle n'a pas l'air de reproduire correctement les conditions de température et de salinité sur les côtes Sud de la mer du Japon. Les gradients près de ces côtes ne sont pas représentés selon le bon axe à certains endroits. Le modèle ROMS ne peut donc pas être pris sérieusement en compte sur les côtes Sud de la mer. Le milieu de la mer du Japon est l'endroit le plus fidèlement représenté avec une variabilité saisonnière de la température fidèle aux observations satellitaires moyennées et on y observe même la variabilité saisonnière du Front Subpolaire.

Pas mal d'articles de la littérature traitent des sujets de variabilité saisonnière. On aurait pu tenter d'observer les phénomènes observées et relatées dans ces articles. Mais l'étude plutôt simpliste que l'on vient d'effectuer permet de se faire une idée de ce qu'on peut faire ou non dans la mer du Japon avec le modèle ROMS. Cette étude est bien entendu incomplète car elle ne vérifie qu les données en surface. Il aurait été par exemple possible d'étudier les données sur des colonnes d'eau pour observer les différents tourbillons qu'on peut trouver dans la mer du Japon.

Bibliographie

S.-W. Yeh et al., Analysis of characteristics in the sea surface temperature variability in the East/Japan Sea, Progress in Oceanography 85 (2010) 213–223

Mooers, JES Circulation, Oceanography Vol. 19, No. 3, Sept. 2006

Kyung-Ae Park, Sea surface temperature fronts in the East (Japan) Sea and temporal variations, GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 31, L07304

Kyung-Ae Park, Spatial and temporal variability of satellite-observed Subpolar Front in the East/Japan Sea, Deep-Sea Research I 54 (2007) 453–470

Ning Zhao, Frontogenesis and frontolysis of the subpolar front in the mixed layer of the Japan Sea, Journal of Geophysical Research:Ocean February 2014

Ning Zhao, Frontogenesis and frontolysis of the subpolar front in the mixed layer of the Japan, Journal of Geophysical Research:Ocean February 2014

Cartes de température et de salinité moyennes , site de la noaa :***<https://www.nodc.noaa.gov/woce/>***