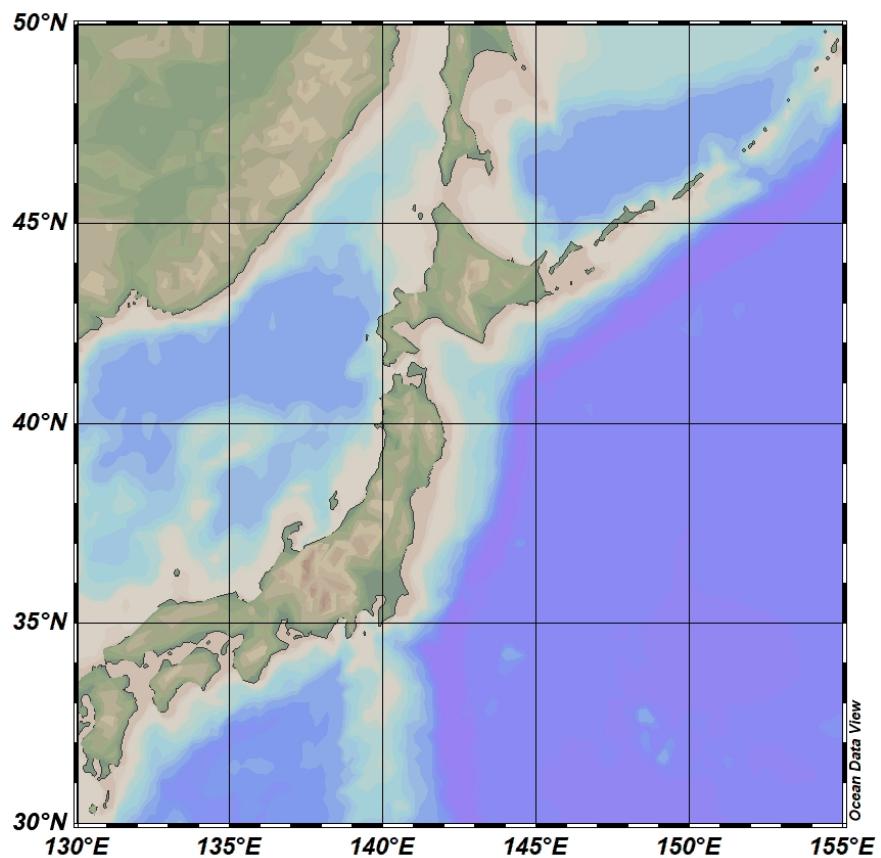

Modélisation 3D océanique

Sujet : Modélisation de la région Kuroshio-Oyashio



Yutong Zhang
2021-2022 M1-Sciences de la mer
Tuteur : DOGLIOLI Andrea

Table des matières

| | | |
|-------|---|----|
| 1. | Introduction..... | 1 |
| 1.1 | Région d'étude | 1 |
| 1.2 | Objectif de la simulation | 2 |
| 2. | Matériel et Méthode..... | 2 |
| 2.1 | Présentation du Modèle ROMS..... | 2 |
| 2.1.1 | L'équations primitives principales | 2 |
| 2.1.2 | Discrétisation spatiale et temporelle..... | 2 |
| 2.1.3 | Critère CFL..... | 3 |
| 2.1.4 | Les bases de données | 3 |
| 2.2 | Configuration du modèle..... | 3 |
| 2.2.1 | Paramétrisation | 4 |
| 2.2.2 | Diagnostic du modèle | 4 |
| 3. | Résultat | 5 |
| 3.1 | La trajectoire du Kuroshio et l'Oyashio | 5 |
| 3.2 | La hauteur de la surface (SSH)..... | 6 |
| 3.3 | L'écart type de la hauteur de surface..... | 6 |
| 3.4 | Analyse des séries temporelles de la région KE..... | 7 |
| 4. | Discussion | 8 |
| 4.1 | La fermeture de la frontière | 8 |
| 4.2 | La simulation de la trajectoire du Kuroshio raccourci | 9 |
| 5. | Conclusion | 10 |
| 6. | Bibliographie..... | 10 |
| 7. | Annexe (Scripts du Matlab) | 11 |

1. Introduction

1.1 Région d'étude

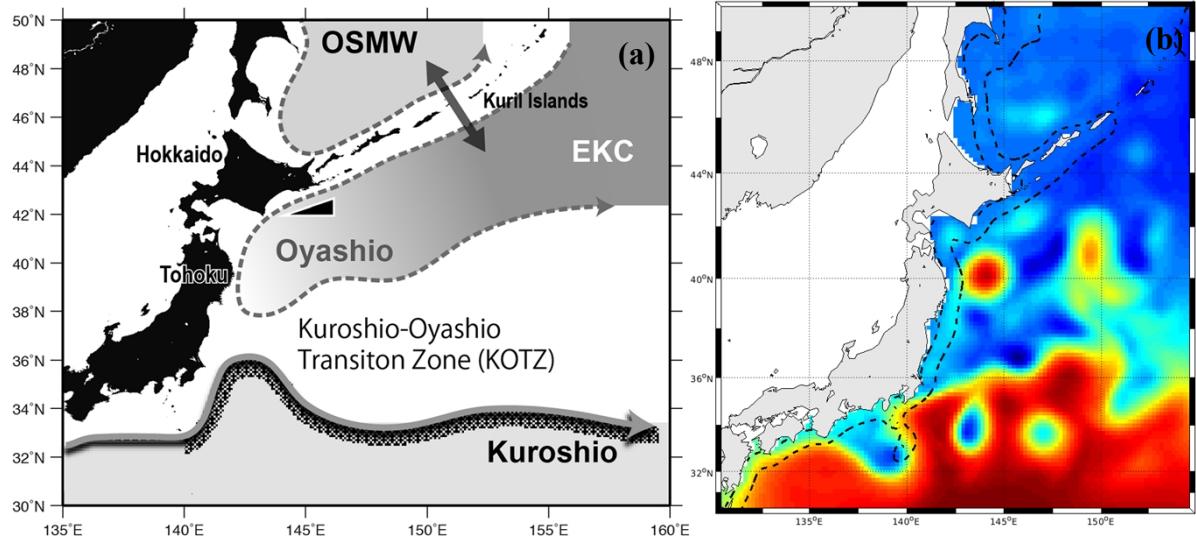


Figure 1 Représentation schématique de la région d'étude (Nishikawa H et al. 2020), les courants principaux sont indiqués par des flèches (a), un exemple de la formation des tourbillons dans la région d'étude (b).

Dans le nord-ouest du Pacifique, il existe deux courants importants, le Kuroshio et l'Oyashio (Fig. 1a), qui s'écoulent respectivement du sud-ouest et du nord-est. Le Kuroshio est caractérisé par des eaux chaudes, salines et oligotrophes et il transporte une énorme quantité d'énergie. Il peut s'étendre sur plus de 1000 m en profondeur et transporter des quantités substantielles d'eau (~ 42 Sv) en excluant la recirculation locale, et aussi d'énergie dans la région des latitudes moyennes. En revanche, l'Oyashio se caractérise par sa basse température, sa faible salinité et sa forte teneur en nutriments dans l'eau (les eaux riches en nutriments depuis le gyre subarctique), ce qui favorise la croissance du phytoplancton. Les trajectoires de l'eau d'Oyashio se forment à proximité de la côte japonaise, où les anneaux chauds (Fig. 1b) et l'intrusion d'Oyashio sont évidents. La zone de transition Kuroshio-Oyashio (KOTZ) située entre le front Oyashio-Kuroshio, est connue pour être un lieu de pêche très productif.

Les deux courants convergent à l'est du Japon, et la confluence s'écoule vers l'est, où elle est ainsi appelée l'extension du Kuroshio (KE, *Kuroshio extension*). La région du Kuroshio est caractérisée par un gradient important de la hauteur de la surface de la mer (SSH, *sea surface height*). En raison de la convergence des deux grands courants, une instabilité importante est introduite, et l'énergie cinétique de tourbillon (EKE, *eddy kinétique energy*) est l'une des plus importantes au monde dans cette région. En particulier, les processus méso-échelles jouent un rôle significatif dans cette régionale, donc, il est important d'étudier, par exemple, les formations des tourbillons méso-échelles (Fig. 1b) pour mieux comprendre la dynamique des écosystèmes dans cette région.

Dans cette étude, on focalise sur l'aval du KE (32° - 37° N, 141° - 155° E) pour voir l'énergie cinétique du Kuroshio simulé, et la zone de transition Kuroshio-Oyashio (KOTZ) pour voir la formation des tourbillons méso-échelles, ainsi que la trajectoire des deux courants.

1.2 Objectif de la simulation

L'objectif de cette simulation est de présenter les principales caractéristiques du Kuroshio et de l'Oyashio, par exemple, la hauteur de la surface de la mer (SSH), la trajectoire des courants, l'énergie cinétique des courants, et la formation du tourbillon méso-échelle dans cette zone, etc.

Dans un premier temps, on va vérifier les résultats obtenus du modèle ROMS en les comparant avec les littératures, et puis on va chercher les inconsistances du modèle par rapport à la situation réelle, enfin quelques hypothèses sont proposées pour améliorer la simulation.

2. Matériel et Méthode

2.1 Présentation du Modèle ROMS

Le modèle ROMS (*Regional Oceanic Modeling System*) est un modèle de circulation océanique basé sur les équations primitives. Il a été développé par l'Université Rutgers (ROMS), UCLA (ROMS-UCLA) et l'Académie des sciences française (CROCO). Il est basé sur les équations du mouvement provenant des équations de Navier-Stokes et sur les équations de conservation de la chaleur et du sel ([cf 2.1.1](#)). L'approximation de Boussinesq est appliquée pour ce modèle, de même que l'hypothèse hydrostatique.

2.1.1 L'équations primitives principales

A. Équation du mouvement:

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial t} + V \cdot \nabla u - fv &= -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial x} + A_h \nabla_h^2 u + A_z \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \\ \frac{\partial v}{\partial t} + V \cdot \nabla v + fu &= -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial y} + A_h \nabla_h^2 v + A_z \frac{\partial^2 v}{\partial z^2}\end{aligned}$$

B. Équation de continuité :

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

C. Équations de conservation de la chaleur et du sel :

$$\begin{aligned}\frac{\partial T}{\partial t} + V \cdot \nabla T &= K_{Th} \nabla_h^2 T + K_{Tz} \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{H_C}{\rho_0 C_p} \frac{\partial l}{\partial z} \\ \frac{\partial S}{\partial t} + V \cdot \nabla s &= K_{Sh} \nabla_h^2 S + K_{Sz} \frac{\partial^2 S}{\partial z^2}\end{aligned}$$

D. Équation d'état de l'eau de mer :

$$\text{TEOS 10} : \rho \equiv \rho (T, S, P)$$

2.1.2 Discréétisation spatiale et temporelle

Le modèle discréétisé spatialement sur l'horizontal et le vertical l'aide de schémas à différences finies. Sur l'horizontal, la grille utilisée est une grille Arakawa de type C (Fig. 2). Il s'agit d'une grille qui se comporte bien pour les fines résolutions spatiales, étant donné que dans notre simulation de Kuroshio fonctionne mieux sous une fine résolution spatiale. De plus, cette grille est décentrée et permet de ne pas définir les variables d'état et de vitesse au même endroit, ce qui est judicieux pour un modèle tridimensionnel.

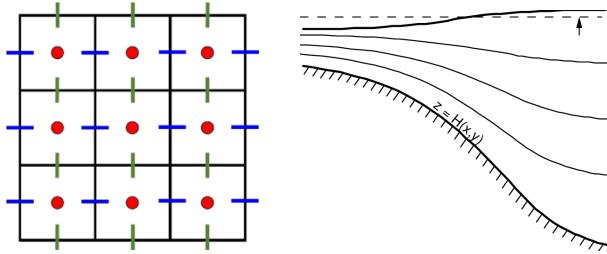


Figure 2. Schéma de la grille Arakawa C (gauche), et de la coordonnée- σ (droite). [Source : google image](#)

Dans la direction verticale, le modèle ROMS est discrétisé sur la grille en utilisant la coordonnée- σ (Fig. 2). Cette coordonnée présente un certain nombre d'avantages : la coordonnée- σ suit bien le terrain du fond, affine la résolution verticale près de l'interface et conserve un nombre constant de maille sur la verticale en tout point du domaine.

Le modèle ROMS adapte le schéma *Leapfrog* et *Asselin filter* pour la discrétisation temporelle, de plus, il utilise un schéma explicite du *time splitting* dans un mode externe.

2.1.3 Critère CFL

Le critère CFL (abréviations des noms : Courant, Friedrichs et Lewy) est un concept très important dans l'analyse de la stabilité et de la convergence dans les méthodes de différences finies et de volumes finis. L'idée de base du critère est de construire d'abord une séquence de solutions approximatives aux équations de différence de l'EDP pour obtenir une séquence de solutions approximatives, et tant que l'on sait que cette séquence d'approximations converge pour un système de grille donné, il est facile de prouver que cette solution convergente est la solution de l'équation différentielle originale.

Dans le cadre du CFL, un processus (par exemple : courant, onde...) ne se propage pas de plus d'une maille à chaque pas de temps, la formule du critère CFL est suivante :

$$\Delta t \leq \frac{1}{c} \times \left(\frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right)^{-\frac{1}{2}}$$

dont, Δx et Δy représentent les écarts longitudinaux et latitudinaux, $c = \sqrt{gh_{max}}$ (h_{max} : la valeur maximale de la bathymétrie du domaine) indique la vitesse de propagation.

2.1.4 Les bases de données

Les données initiales (le forçage de l'atmosphère, la température, la salinité, les courants, etc.) sont fournies pour effectuer la simulation. Toutes ces données sont mesurées par satellite (moyenne d'un mois) et collectées dans une base de données afin d'établir un champ initial pour la simulation.

2.2 Configuration du modèle

Les idées principales (Fig. 3) de faire une simulation simple dans le modèle est de donner les conditions initiales (état de l'océan à l'instant t , le forçage atmosphérique ainsi que les conditions frontières), les équations primitives discrétisées permettent l'ordinateur de calculer un état de l'océan dans un pas de temps suivant (l'instant $t + \Delta t$). Les sorties sont au fur et à mesure sauvegardées sous la forme *netcdf*.

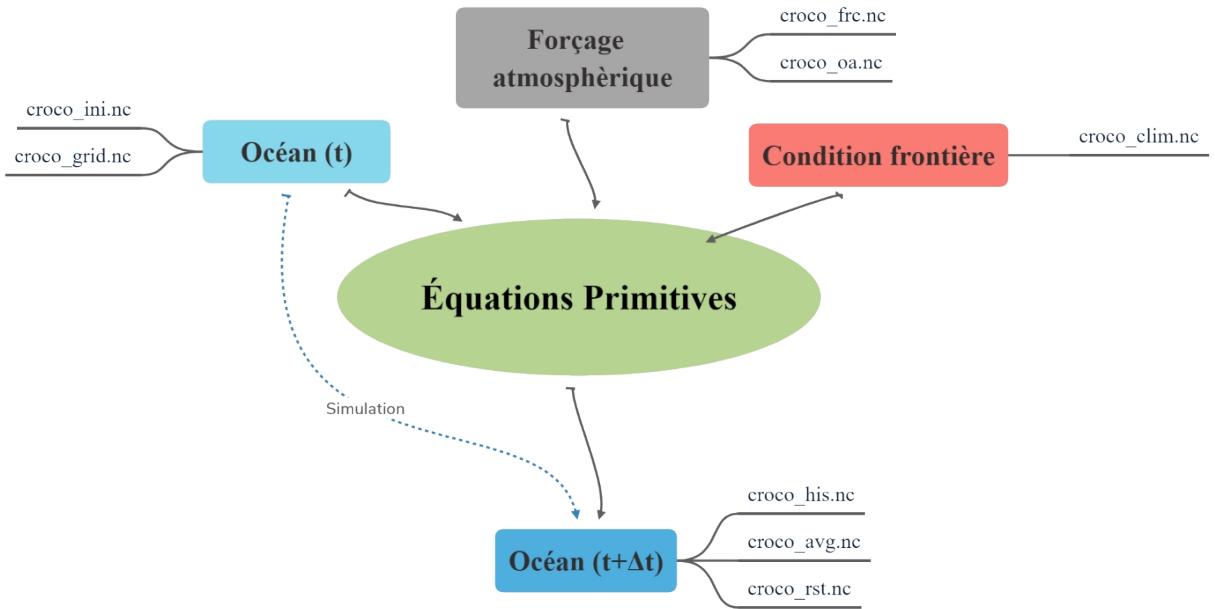


Figure 3. Un schéma montrant les idées principales de la simulation du ROMS

2.2.1 Paramétrisation

Le modèle ROMS va être utilisé pour modéliser la région Kuroshio-Oyashio. Les paramètres suivants (Tableau 1 et 2) sont entrés pour l'initiation de la simulation. Les paramètres de grille sont sauvegardés dans le fichier *memo.mat*, et doivent être rentrés dans le fichier *param.h*, et sont aussi pour déterminer le critère du CFL par la suite. Le programme Matlab *ad_cfl.m* nous permet de calculer le critère du CFL avec ces paramètres (Tableau 3).

Tableau 1 Les paramètres de l'initiation du modèle ROMS dans le fichier *crocotools_param.m*

| Coordonnée | Frontière | Résolution |
|--|--|------------|
| lonmin = 130; lonmax = 155; latmin = 30; latmax = 50; | Fermeture: Ouest Ouverture : Est, Nord, Sud | dl=1/5° |

Tableau 2 Les paramètres de grille

| LLm | MMm | dx | dy | N | Hmax |
|-----|-----|--------------------------------------|--------------------------------------|----|-------------|
| 124 | 132 | dxmin=14.2497 km dxmax=19.2488 km | dymin=14.3071 km dymax=19.2319 km | 32 | 7579.6079 m |

Tableau 3 Configuration du pas de temps.

| NTIMES | NDTFAST | NRST | NAVG | NWRT | dt [sec] |
|--------|---------|------|------|------|----------|
| 1800 | 60 | 1800 | 180 | 180 | 1440 |

Les paramètres du pas de temps doivent être rentrés dans le fichier *croco.in* et puis la compilation ainsi que la simulation devrait être effectuée sur le cluster de l'Institut Pythéas.

2.2.2 Diagnostic du modèle

Après avoir terminé les exécutions du modèle, nous effectuons d'abord un diagnostic des variables, cela nous permettra de mieux analyser l'évolution et la stabilité du modèle.

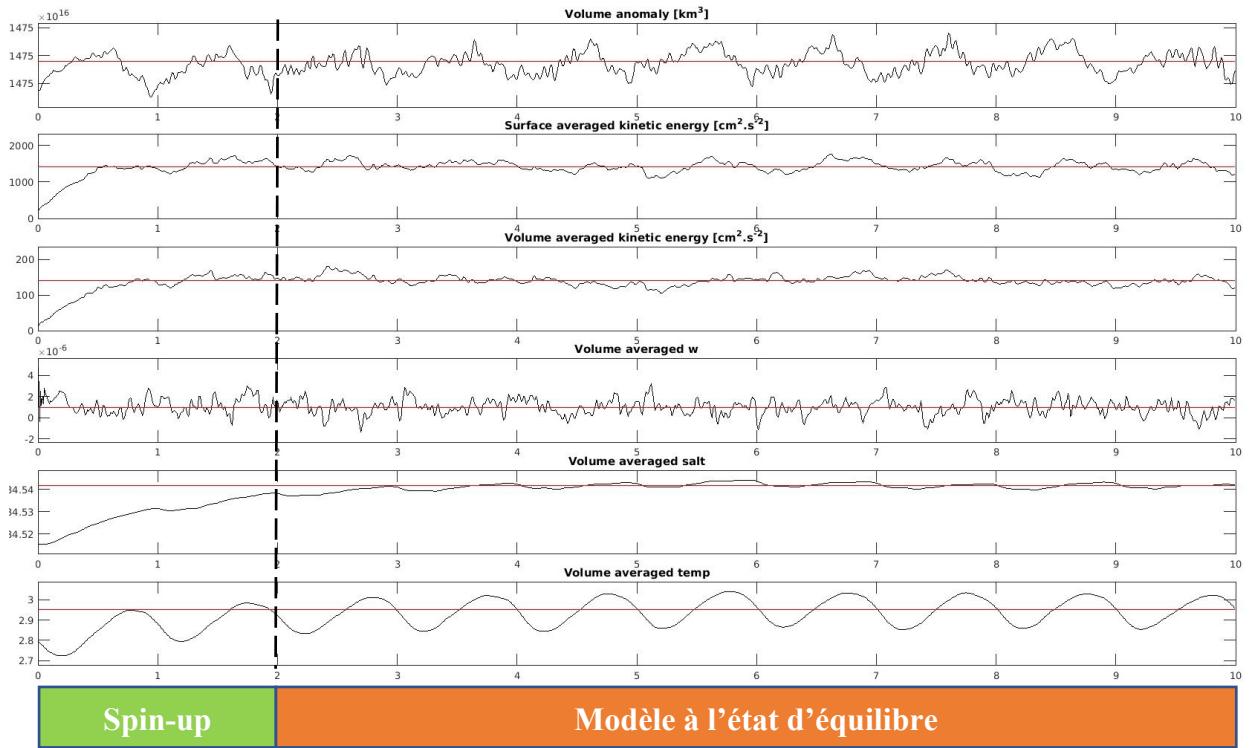


Figure 4. Un schéma montrant les idées principales de la simulation du ROMS

Pour cette simulation (Fig. 4), les variables sont stabilisées à partir de la deuxième année, donc, les sorties à partir de la troisième année seront étudiées dans cette étude.

3. Résultat

3.1 La trajectoire du Kuroshio et l’Oyashio

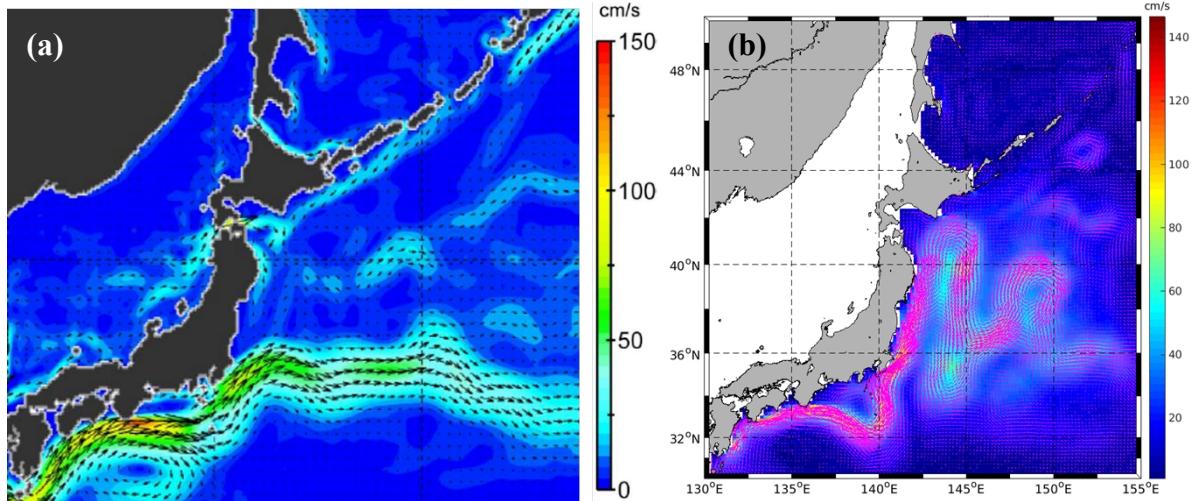


Figure 5 Climatologie du champ de la circulation de surface, (a) Données réanalyses (Kuroda H. et al. 2017), (b) Résultat de la simulation du ROMS.

En comparant la distribution du champ de vitesse obtenue à partir du modèle ROMS avec les résultats de données réanalyses, nous pouvons constater que la trajectoire ainsi que la magnitude de la vitesse du Kuroshio est bien accordée avec la situation réelle dans la zone située au large des côtes du Japon, et la zone de l’extension du Kuroshio (KE) peut être observée à environs 36°N.

Cependant, il existe un champ d'écoulement fort à 36°-40°N, mais ce phénomène n'existe pas dans la situation réelle. D'après le champ d'écoulement réel à 36°-40°N (Fig. 1a), il est probable que, dans cette simulation, l'inconsistance du champ d'écoulement est associée à l'invasion d'Oyashio vers le sud.

3.2 La hauteur de la surface (SSH)

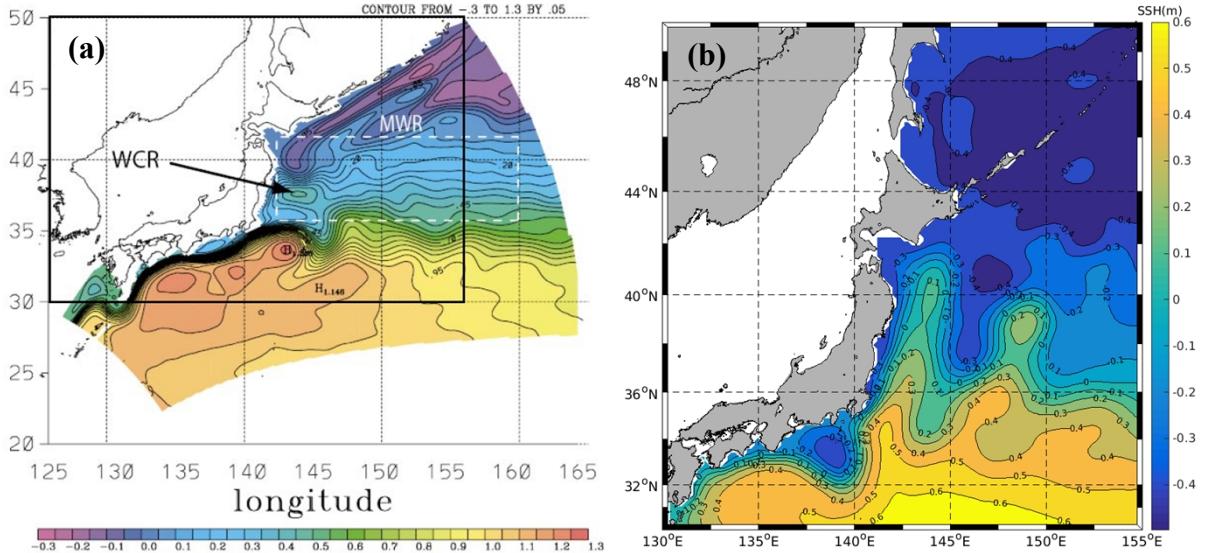


Figure 6 Climatologie de la hauteur de surface (SSH) moyennée de modélisation , (a) Résultat du POM (Mitsudera H et al. 2004), (b) Résultat de la simulation du ROMS.

Généralement, lorsque les eaux chaudes du Kuroshio envahissent les eaux plus froides de l'Oyashio, un anneau noyau chaud se forme progressivement et une valeur positive de SSH est un indicateur des anneaux noyau chauds. En revanche, la formation d'un anneau noyau froid peut lier à l'envahissement de l'eau froide de l'Oyashio vers le Kuroshio.

La figure 6 montre qu'il existe un anneau noyau froid éternel dans la zone (135°-140°E, 32°-36°N) et que la SSH est toujours élevée dans la région de l'extension du Kuroshio. Ces deux phénomènes sont conformes à la situation réelle. Toutefois, les résultats du modèle sont différents par rapport aux situations réelles dans les régions nord, surtout vers 40°N, les résultats du modèle ROMS montrent qu'il y a des anneaux noyau chaud à cette latitude, ce phénomène pourrait être également associé à l'intrusion de l'Oyashio vers le sud.

3.3 L'écart type de la hauteur de surface

L'écart type (*std dev*) est une mesure de la dispersion d'une distribution de données, la mesure dans laquelle les valeurs des données s'écartent de la moyenne arithmétique. La formule générale de l'écart type des échantillons est suivante :

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

dont, $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$, n représente le nombre d'observation et X est l'ensemble des données.

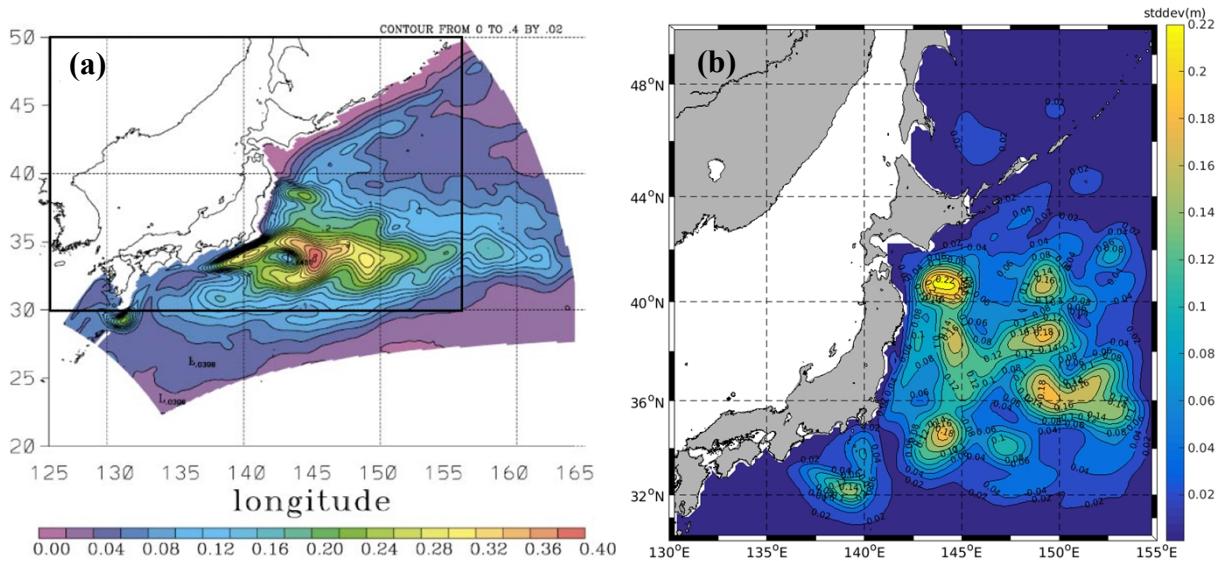


Figure 7 Climatologie de l'écart type de la hauteur de surface (SSH std dev) de modélisation , (a) Résultat du POM (Mitsudera H et al. 2004), (b) Résultat de la simulation du ROMS.

L'écart type du SSH nous permet de distinguer les zones où les tourbillons de méso-échelle se produisent le plus fréquentes. En plus de l'extension du Kuroshio (KE), il existe également une écart type significative entre le front de l'Oyashio-Kuroshio. En particulier, la formation de tourbillons méso-échelles sont plus fréquentes dans la position (40°N , 143°E) de Fig. 7b, mais cette position correspond dans le cas de la littérature se situe en (35°N , 143°E), c'est-à-dire environ 5° plus sud par rapport à la situation simulée. Ceci suggère que l'étude de cette zone est importante pour mieux analyser des anomalies qui se produisent dans le modèle (*cf 4.1*).

3.4 Analyse des séries temporelles de la région KE

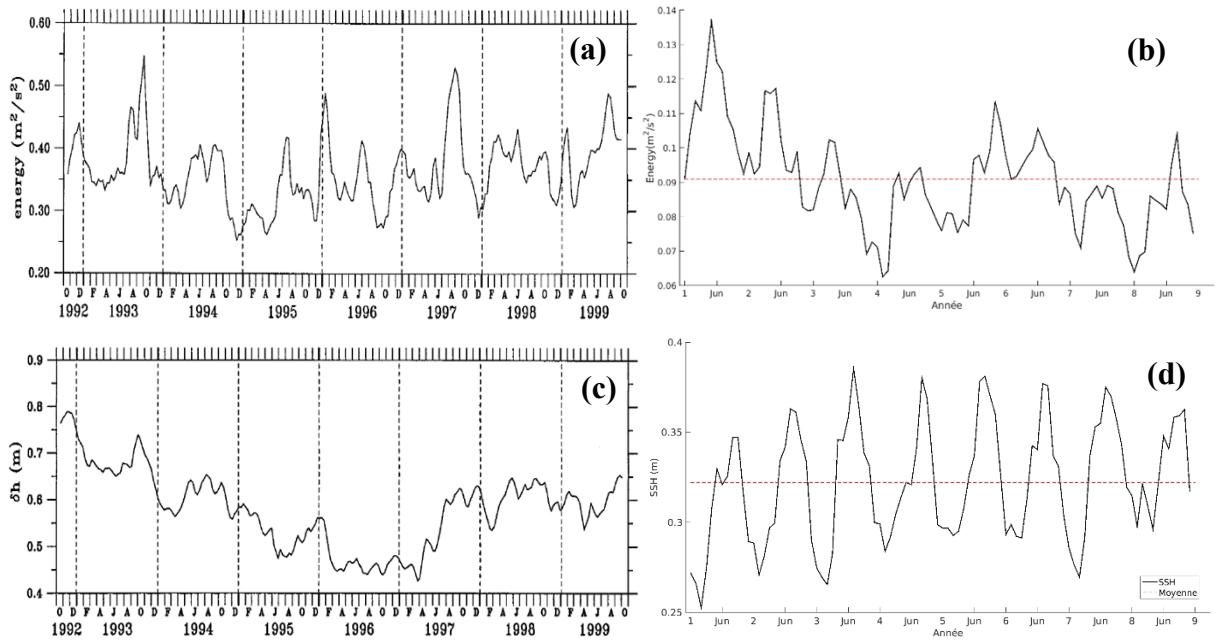


Figure 8 Série temporelle de l'énergie cinétique moyennée (a et b) et la hauteur de surface (c et d) dans la région amont de l'extension du Kuroshio (32° - 37°N , 141° - 155°E). (a et c) Archive des données de satellite (BO QIU. 2000), (b et d) Résultat de la simulation du ROMS.

D'après les Fig. 8a et 8b, on peut voir que l'énergie cinétique de l' amont de la zone d'extension du Kuroshio est plus faible, seulement 1/5 du cas réel, ce qui peut être lié à l'invasion de l'Oyashio vers le sud. Vu que l'écart de la température est important, le Kuroshio aura tendance de se déplacer plus nord pour se rencontrer l'Oyashio (*cf 3.3*), ce qui entraînerait une réduction significative de l'énergie cinétique dans la zone d'extension du Kuroshio.

Une comparaison des Fig. 8c et 8d montre que la magnitude de la SSH du modèle ROMS est inférieure à la valeur réelle, ce qui est cohérent avec l'analyse de la section 3.2 (*cf 3.2*). Nous pouvons également constater que la SSH du modèle ne montre qu'une forte variation du cycle saisonnier, ce qui ne correspond pas à la situation réelle.

4. Discussion

En comparant les résultats de cette simulation ci-dessus avec les littératures, nous pouvons constater qu'il existe des inconsistances entre les résultats simulés et la situation réelle. Afin de mieux analyser les sources de ces inconsistances, nous proposons les hypothèses suivantes.

4.1 La fermeture de la frontière

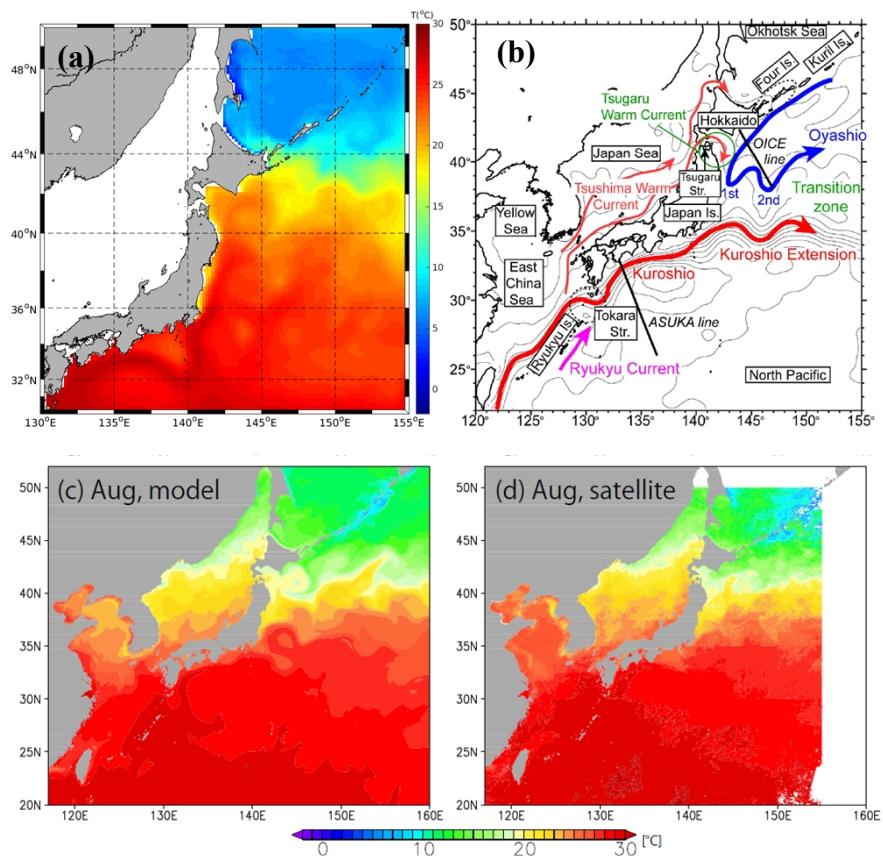


Figure 9 Figures composantes pour illustrer la région d'étude, (a) la climatologie de la température de la surface en août simulée par le modèle ROMS. (b) Vue schématique de la région Kuroshio-Oyashio (Kuroda H, et al. 2017), les courants principaux sont indiqués par des flèches. (c et d) Moyenne mensuelle de la SST en août 2009 par le modèle et l'observation du satellite (Sakamoto K, et al. 2019).

Tout d'abord, à partir de la carte de distribution des courants (Fig. 9b), nous pouvons constater qu'en raison de la fermeture de la frontière ouest, le courant chaud de Tsugaru près de

l'île d'Hokkaido (40°N , 142°E) ne peut pas passer le détroit (cercle vert), et la branche de ce courant ne pourrait pas d'accéder à l'île Four. Cela conduit à des anomalies de SST dans les deux régions. Par exemple, la température climatologique en août du modèle ROMS dans les deux régions est supérieure/inférieure respectivement par rapport à la situation normale.

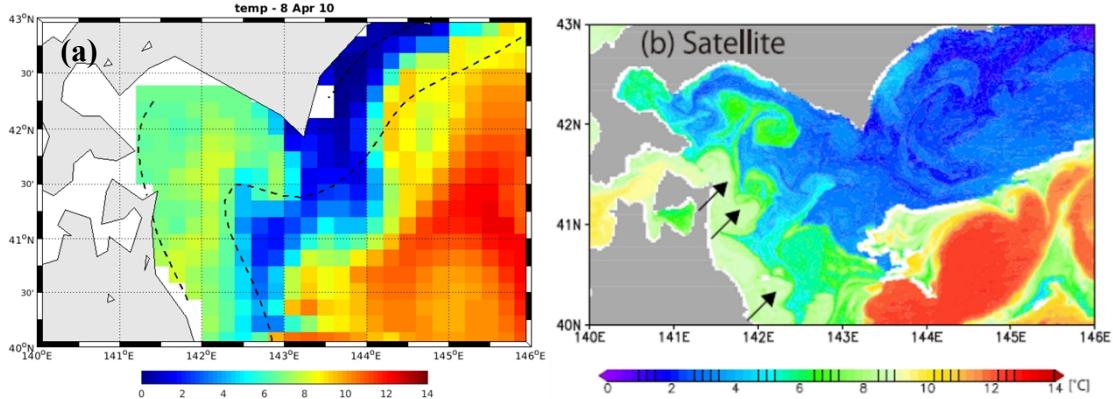


Figure 10 La température de surface (SST) au sud de l'île d'Hokkaido (Fig. 9b) en avril, (a) représente le résultat de 8^{ème} année du modèle ROMS et (b) est l'observation par satellite (Sakamoto K, et al. 2019), Les flèches en (b) montrent une structure de vagues sur le front offshore du courant chaud de Tsugaru.

Comme l'a montré la Fig. 10b, dans la région près de l'île d'Hokkaido, on peut noter que l'eau froide d'Oyashio en dessous de 2°C , l'eau chaude de Kuroshio au-dessus de 8°C , et l'eau chaude du courant Tsugaru (Fig. 9b), les trois types de courants se confrontent et ce qui entraîne des structures complexes de la SST, surtout une structure de vagues de dizaines de kilomètres a été observée sur le front du courant chaud de Tsugaru par l'observation du satellite.

Cependant, dans la simulation de ROMS (Fig. 10a), en raison de la fermeture de la frontière d'ouest, il y a une formation du front d'Oyashio et de Kuroshio au fil du temps (143° - 144°E) et il est difficile de voir l'effet du courant de Tsugaru dans cette région (aucune structure complexe n'a été observée sur les fronts par rapport à celle du satellite dans la région 143° - 144°E , 40° - 41°N). L'Oyashio est donc devenu plus facile à traverser le front (40°N) et se déplacer vers le sud. Cela pourrait être une autre explication sur l'intrusion d'Oyashio vers le sud.

4.2 La simulation de la trajectoire du Kuroshio raccourci

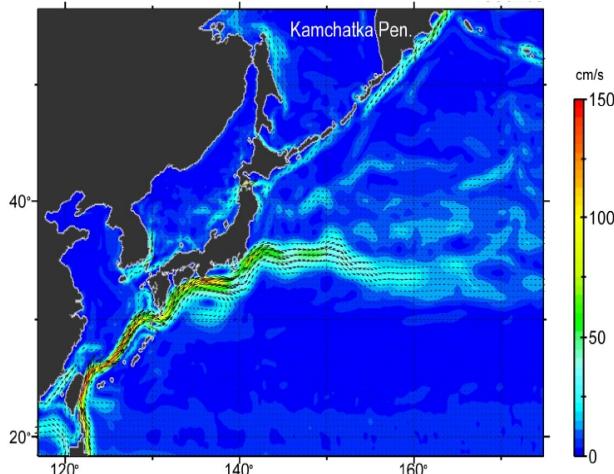


Figure 11 Climatologie de la vitesse du courant en utilisant les données réanalysées (Kuroda H, et al. 2017).

Comme on peut le voir sur la Fig. 11, le Kuroshio commence approximativement dans la région des Philippines et de l'île de Taiwan, l'ensemble du courant présente une très grande vitesse d'écoulement (forte énergie cinétique) et s'affaiblit progressivement après avoir traversé les régions côtières du Japon, le Kuroshio disparaît graduellement dans le Pacifique central.

Par conséquent, une autre hypothèse pourrait être que l'énergie cinétique du Kuroshio dans la zone d'étude est faible par rapport à la situation réelle en raison du fait que toute la région du Kuroshio n'a pas été sélectionnée dans la simulation.

5. Conclusion

Dans cette étude, le modèle ROMS a été utilisé pour simuler deux courants majeurs de la côte est du Japon , le Kuroshio et Oyashio. La comparaison des résultats de la simulation avec celle du cas réel, montre que les résultats de la simulation sont relativement bons dans la zone située au sud de 36°N, et qu'il y aurait une intrusion de l'Oyashio vers le sud. L'énergie cinétique moyenne et la SSH moyenne dans la région de l'extension du Kuroshio sont inférieures à la situation réelle.

Ces phénomènes pourraient être liés d'une part à la fermeture de la frontière ouest. En raison de la fermeture de la frontière ouest, le courant chaud de Tsugaru près de l'île d'Hokkaido ne peut pas passer le détroit, et la branche de ce courant ne pourrait pas accéder à l'île Four. Tout cela va impacter l'ensemble de l'environnement cinétique dans cette région. D'autre part, la région simulée par rapport à l'ensemble de la région du Kuroshio est petite, cela pourrait changer l'énergie cinétique du Kuroshio. Par conséquent, afin d'améliorer la simulation, il peut être nécessaire d'étendre la zone d'étude et d'augmenter la résolution du modèle.

6. Bibliographie

Qiu B. Interannual variability of the Kuroshio Extension system and its impact on the wintertime SST field[J]. Journal of Physical Oceanography, 2000, 30(6): 1486-1502.

Mitsudera H, Taguchi B, Yoshikawa Y, et al. Numerical study on the Oyashio water pathways in the Kuroshio–Oyashio confluence[J]. Journal of physical oceanography, 2004, 34(5): 1174-1196.

Kuroda H, Setou T, Kakehi S, et al. Recent advances in Japanese fisheries science in the Kuroshio-Oyashio region through development of the FRA-ROMS ocean forecast system: Overview of the reproducibility of reanalysis products[J]. Open Journal of Marine Science, 2017, 7(01): 62.

Sakamoto K, Tsujino H, Nakano H, et al. Development of a 2-km resolution ocean model covering the coastal seas around Japan for operational application[J]. Ocean Dynamics, 2019, 69(10): 1181-1202.

Nishikawa H, Nishikawa S, Ishizaki H, et al. Detection of the Oyashio and Kuroshio fronts under the projected climate change in the 21st century[J]. Progress in Earth and Planetary Science, 2020, 7(1): 1-12.

CROCO and CROCO_TOOLS are provided by <http://www.croco-ocea>

7. Annexe (Scripts du Matlab)

Calcul de la température moyenne (Fig. 9a)

```
%%%% même méthodes pour les autres variables
clear;close all;
gridfile='CROCO_FILES/croco_grd.nc'; vlevel=-
15; %%%niveau de surface
coef=1; [lat,lon,mask]=read_latlonmask(gridfile,'r');
temp_ave=mask.*0; %%%initiation de variable
t_nb=0; %%%compteur du calcul
for j= 3:10
for i= 1:12
hisfile= strcat('SCRATCH/croco_avg_Y',num2str(j),'M',num2str(i),
'.nc');
for tindex=1:10
t_nb=t_nb+1;
temp= get_hslice(hisfile,gridfile,'temp',tindex,vlevel,'temp');
temp_ave=temp+temp_ave;
end %%% tindex normalement on prend 10 vu que on fait une
simulation toutes les 3 jours
end %%%%i 3 jours par un pas
end %%%%j les nb du mois, on commence par la 3eme a
temp_ave=temp_ave./t_nb; figure(1);hold on;
m_proj('mercator','lat',[30 50],'lon',[130 155]);
m_pc(m,lon,lat,temp_ave); shading flat;
m_gshhs_h('patch',[.7 .7 .7],'edgecolor','k');
m_grid('box','fancy','linestyle','--',
['gridcolor','none','backcolor','w','FontSize',15];
h=colorbar; set(get(h,'title'),'string',T(^oC)); colormap(jet);
caxis([0 30])
```

Série temporelle du SSH moyen (Fig. 7d)

```
clear; close all;
load ('ssh_aveclim.mat');
gridfile='CROCO_FILES/croco_grd.nc';
vlevel=-15; coef=1; %%%dans la région KE
[lat,lon,mask]=read_latlonmask(gridfile,'r'); latn=lat(:,1);
lonn=lon(1,:);
indexlat=find(latn>=32&latn<=37);
indexlon=find(lonn>=141&lonn<=155);
ssh_ave=zeros(length(indexlat),length(indexlon)); ssh_mois=[];
ssh_anom=mask.*0;
t_nb=0; %%%compteur du calcul
for j= 3:10
for i= 1:12
hisfile= strcat('SCRATCH/croco_avg_Y',num2str(j),'M',num2str(i),
'.nc'); nc=netcdf(hisfile);
```

```
for tindex=1:10
t_nb=t_nb+1;
zeta=squeeze(nc{'zeta'}(tindex,:,:,:));
z1=zeta(indexlat,indexlon,1); ssh_ave=z1+ssh_ave;
end
moy=ssh_ave./t_nb; indexnan=find(~isnan(moy));
ssh_mois=[ssh_mois;mean(moy(indexnan))]; t_nb=0;
ssh_ave=zeros(length(indexlat),length(indexlon));
end %%%%i 3 jours par un pas
end %%%%j les nb du mois, on commence par la 3eme an
figure(1); plot(ssh_mois,'k','LineWidth',2);hold on;
mm=1:6:97;ss=['Jun'];
plot(mm,ones(length(mm)).*mean(ssh_mois),'r-','LineWidth',1);
set(gca,'xtick',mm,'xticklabel',{'1',ss,'2',ss,'3',ss,'4',ss,'5',ss,'6',ss,'7',
',ss,'8',ss,'9'});
xlabel('Année','FontSize',20); ylabel('SSH (m)','FontSize',20);
legend('SSH','Moyenne');
```

Série temporelle du SSH stddev (Fig. 8b)

```
load ('ssh_aveclim.mat');
gridfile='CROCO_FILES/croco_grd.nc';
[lat,lon,mask]=read_latlonmask(gridfile,'r');
ssh_std=mask.*0; ssh_ave=mask.*0; ssh_avean=mask.*0;
ssh_anom=mask.*0;
S=mask.*0; %%%dans la statistique
t_nb=0; %%%compteur du calcul
for j= 3:10
for i= 1:12
hisfile= strcat('SCRATCH/croco_avg_Y',num2str(j),'M',num2str(i),
'.nc');
nc=netcdf(hisfile);
for tindex=1:10
t_nb=t_nb+1;
zeta=squeeze(nc{'zeta'}(tindex,:,:,:)); z1=zeta(:, :, 1);
ssh_ave=z1+ssh_ave; ssh_avean=z1+ssh_avean;
end %%%
end %%%%i 3 jours par un pas
ssh_anom=(ssh_avean./t_nb)-ssh_aveclim;
S=ssh_anom.^2+S; %%%d'apres la formule de stddev
t_nb=0; ssh_avean=mask.*0;
end %%%%j les nb du mois
ssh_stddev=sqrt(1/7.*S); %%%calcul du stddev
```