

# Étude de la circulation du Kuroshio en période glaciaire à l'aide du modèle ROMS

OSU - Institut Pythéas

Master Océanographie physique et biogéochimique - 1<sup>ère</sup> année

OPB205: Projet modélisation de la circulation régionale 3D

Barbot Simon

17 mai 2016

## Introduction

Le Kuroshio ("Fleuve noir" en japonais) est un grand courant géostrophique qui passe au large de Taiwan, entre dans la dépression de Okinawa par le détroit de Okinawa (entre Taïwan et l'archipel des îles Ryukyu) pour se diviser en trois parties : une au sud du Japon, une entre la Corée et le Japon et une dernière qui reste en Mer de Chine (Fig. 1a). Notre étude a pour but d'étudier l'évolution de ce courant à l'aide d'un modèle 3D.

Lors d'une période de maximum glaciaire, comme celle il y a 20 000 ans, une grande partie des précipitations ont été stockée dans les calottes polaires et ce déséquilibre se traduit par une baisse significative du niveau des océans. Selon Diekmann et *al.*, 2008 [3] qui ont réalisé une étude des sédiments du détroit de Okinawa ont mis en évidence une baisse du niveau de la mer de Chine et des Philippines de 120 m. Ainsi, la mer de Chine devient presque entièrement émergée à l'exception de la dépression de Okinawa et le détroit de Okinawa se ressert sans se fermer complètement. L'étude sédimentaire a aussi témoigné d'une vitesse de dépôt supérieure à la normale dans cette dépression qui ont mené les auteurs à conclure que le Kuroshio avait été dévié de sa trajectoire et passait au Sud de l'archipel Ryukyu pendant cette période de maximum glaciaire (Fig. 1b).

Ainsi, avec l'aide du modèle ROMS (Regional Ocean Modeling System), nous étudierons la réponse du Kuroshio à un cadre bathymétrique de maximum glaciaire. Puis nous discuterons de la validité des simulations réalisées en les comparant aux conclusions avancées par Diekmann et *al.*, 2008.

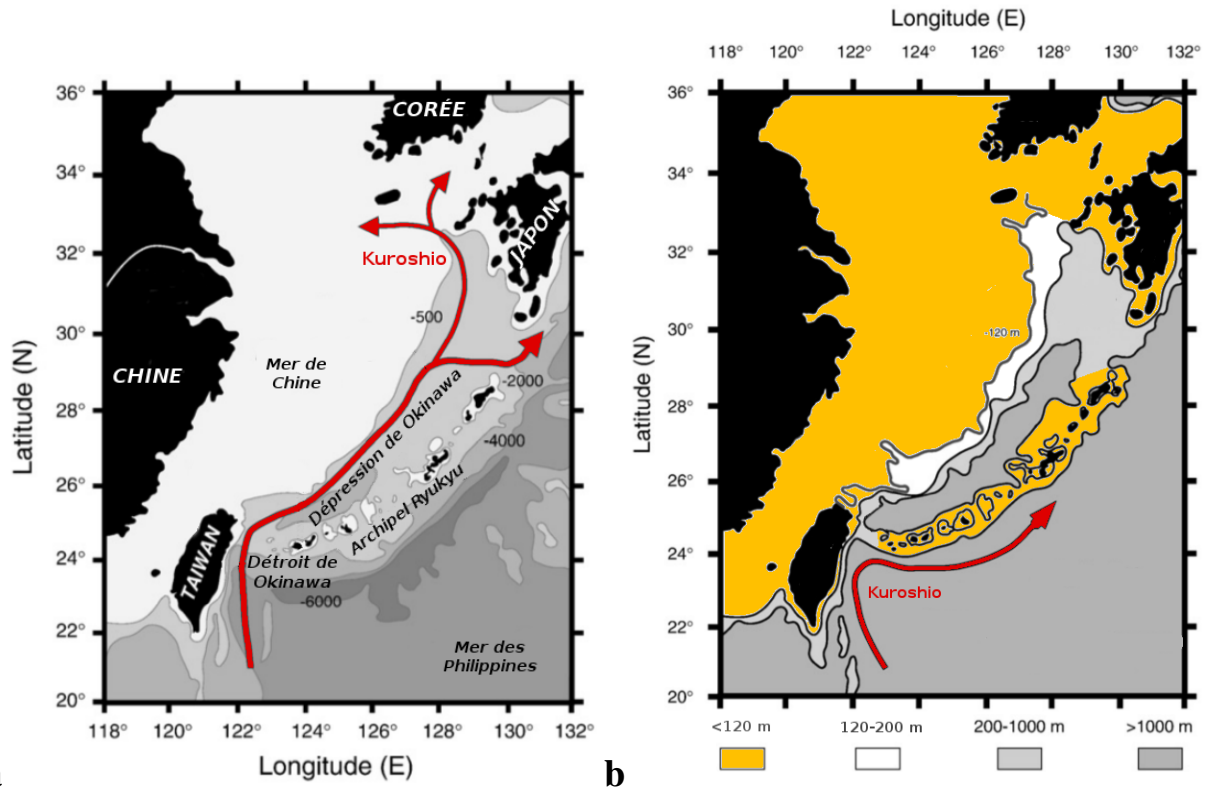


FIGURE 1 – Carte de localisation du site d'étude dans les conditions actuelles (a) et dans les conditions d'un maximum glaciaire (cartes modifiées de Diekmann et *al.*, 2008)

Les isolignes bathymétriques sont données en mètres. Les surfaces en jaune correspondent aux zones émergées dans le modèle utilisé.

## Modèle et hypothèses

### Le modèle ROMS

Le modèle ROMS est un modèle de circulation océanique à surface libre et aux équations primitives [1] : le système d'équation 1 correspond aux équations de quantité de mouvement, l'équation 2 est l'équation de continuité selon l'hypothèse d'un fluide incompressible, le système d'équation 3 correspond aux équations d'énergie (température) et de masse (salinité) et l'équation 4) calcul la masse volumique en fonction de la température ( $T$ ), de la salinité ( $S$ ) et de la profondeur ( $z$ ).

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial u}{\partial t} + u \nabla u = f v - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial x} + A_h \nabla_h^2 u + A_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \nabla v = -f u - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial y} + A_h \nabla_h^2 v + A_v \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \\ 0 = \frac{\partial P}{\partial z} + \rho g \end{array} \right. \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial T}{\partial t} + u \nabla T = K_h \nabla_h^2 T + K_v \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \\ \frac{\partial S}{\partial t} + u \nabla S = K_h \nabla_h^2 S + K_v \frac{\partial^2 S}{\partial z^2} \end{array} \right. \quad (3)$$

$$\rho = \rho(T, S, z) \quad (4)$$

Avec

$u, v, w$	—	vitesse selon $x, y$ et $z$
$f$	—	le facteur de Coriolis
$\rho, \rho_0$	—	la masse volumique et la masse volumique moyenne
$P$	—	la pression
$A_h, A_v$	—	les coefficients de viscosité turbulente horizontal ( $h$ ) et vertical ( $v$ )
$g$	—	l'accélération gravitationnelle
$K_h, K_v$	—	les coefficients de diffusion turbulente horizontal ( $h$ ) et vertical ( $v$ )

En utilisant ces équations, on fait l'approximation hydrostatique, l'approximation de Boussinesq (par exemple :  $\rho = \rho_0 + \rho'$ ) et la fermeture Newtonienne de la turbulence. On néglige également l'action de la viscosité moléculaire par rapport à la viscosité turbulente.

Les pas de temps sont définis comme semi-explicites. Les forçages de surface sont le vent (affecte  $u, v$  et  $w$ ), l'irradiance solaire (affecte  $T$ ) ainsi que l'évaporation et les précipitation (affectent  $S$ ). Au fond, n'est considéré que le forçage de la friction des courants sur le fond (affecte  $u, v$  et  $w$ ). Les conditions au limites sont définis à la surface par :  $\frac{d\eta}{dt} = w$  et au fond par :  $w = -u\nabla H$ . ROMS utilise une grille Arakawa-C pour les dimensions horizontales et une grille verticale S suivant la bathymétrie. Ces deux grilles sont représentées dans la figure 2.

### Étude du Kuroshio et paramétrisation de ROMS

Pour étudier le Kuroshio, nous avons réaliser deux simulations : une dans l'état actuel du courant (Present Simulation : PS) et une dans une situation de maximum glacière (Glacial Maximum Simulation : GMS). Pour pouvoir les comparer nous avons changer le moins de paramètre et c'est pourquoi nous avons garder les mêmes grilles.

Simuler un contexte climatique de maximum glacière n'est pas une chose simple. Cependant notre intérêt est surtout porté sur la sensibilité du Kurushio à la baisse du niveau marin. Ainsi, pour modéliser cette situation, nous avons décidé de ne modifier que la grille d'étude en faisant passer toutes les mailles correspondante à une niveau supérieur à 120 m en temps que mailles émergées. La carte de la figure 2b représente les mailles qui on été changées.

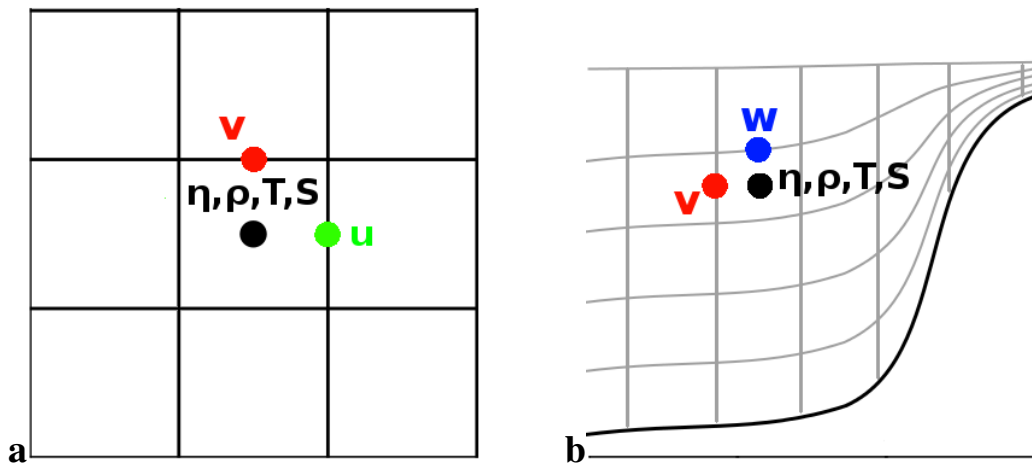


FIGURE 2 – Grille horizontale (a) et verticale (b) utilisées par le modèle ROMS.

TABLE 1 – Tableau récapitulatif des paramètres de simulations avec le modèle ROMS

Variable :	Longitude	Longitude	Latitude	Latitude	Pas d'espace
Unité :	°E	°E	°N	°N	°
Nom :	lonmin	lonmax	latmin	latmax	dl
Valeur :	117	138	20	38	1/3

---

Variable :	# mailles verticales	# itérations	Pas de temps	# itérations rapide par itération
Unité :	-	-	s	-
Nom :	N	NTIMES	dt	NDTFAST
Valeur :	32	900	2880	60

#### *Cadre d'étude et caractéristique de la grille :*

Nous avons repris le même cadre que dans la publication de référence [3], c'est à dire de 20°N à 38°N en latitude et de 117°E à 138°E de longitude. La résolution (dl) de la grille a été fixée tel que  $dx = dy = \frac{1}{3}^\circ$ . Cette résolution très large est justifié car nous cherchons à visualiser un grand courant géostrophique ce qui ne demande pas une très grande précision. Ainsi nous gagnons du temps de calcul. Le nombre de mailles verticales n'étant pas non plus l'objet de notre étude, il a été fixé à 32. Pour résumer, la grille d'étude est de dimension  $62 \times 62 \times 32$  et possède donc 123 008 mailles.

Les pas de temps ont été calculés par rapport aux conditions CFL [2] (Eq. 5) et ont donc été fixés à  $dt = 2880$  s. Les simulations durent chacune 5 ans.

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} > \sqrt{gH} \quad \Leftrightarrow \quad \Delta t < \frac{\Delta x}{\sqrt{gH}} \quad (5)$$

#### *Forçages, climat et conditions aux frontières :*

Les forçages atmosphériques et le climat que ce soit pour la PS ou la GMS sont les même. Ces conditions sont tirées de la base de données WOA2009. Ce sont des données moyennes réalisées sur plusieurs années afin d'obtenir une année "type". Les frontières de la PS sont toutes ouvertes alors que dans le cas de la GMS seule les frontière Est et Sur sont ouvertes.

## Résultats

La figure 4 est l'un des diagnostics réalisés après chaque étude pour vérifier le bon déroulement de la simulation. On observe que la première année n'est pas toute à fait en équilibre par rapport aux autres. Pour être sûr d'être dans le cas d'une année stable, nous nous placerons pour la comparaison de la PS et la GMS pendant la troisième année.

Pour observer le Kuroshio, nous avons choisi le proxy de la norme de la vitesse car étant donné la vitesse du courant (entre 0.6 et 1.2 m/s), cela nous semblait une indication très contrastée. Sur la figure 3, on observe que le Kuroshio actuel (PS) passe dans la dépression de Okinawa et que la majeure partie du courant passe dans la Mer du Japon. On remarque tout de même qu'une branche conséquente du courant passe au Sud du Japon et alimente un tourbillon anticyclonique. Seule une très faible partie du courant reste en Mer de Chine à l'Ouest de la Corée. Le courant moyen à une vitesse d'environ 0.7 m/s et on observe de très forte accélération (vitesse du courant entre 1 et 1.5 m/s) au niveau du

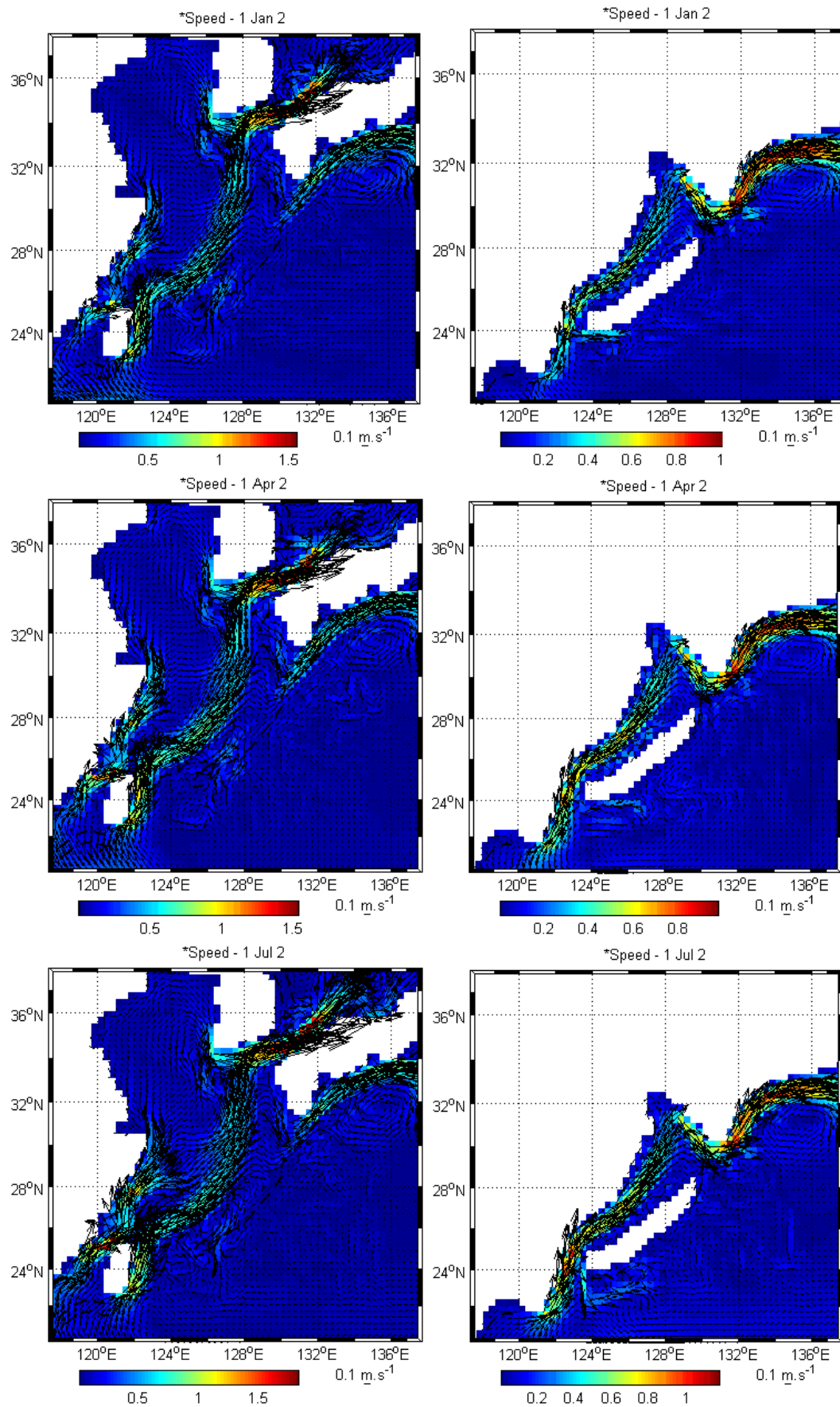


FIGURE 3 – Évolution de la norme de la vitesse en hiver, printemps et été (de haut en bas) de la troisième année de simulation : (à gauche) situation présente et (à droite) situation lors d'un maximum glacière

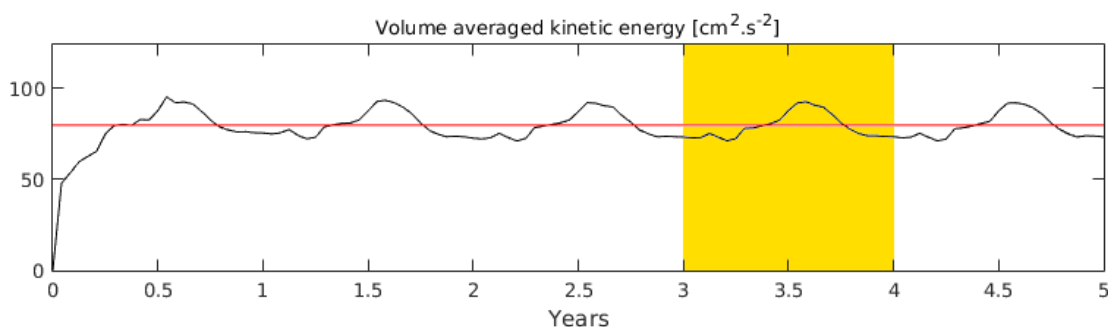


FIGURE 4 – Évolution de la moyenne sur le volume de l'énergie cinétique  
La partie surligné en jaune correspond à la période d'étude.

Sud de Taïwan et au détroit de Corée. On note également que la variabilité saisonnière n'est pas très marquée, la largeur du courant est un peu plus grande en été mais pas de changement quant à la forme et la localisation du courant.

Pour le cas de la GMS, le Kuroshio passe également dans la dépression de Okinawa pour ensuite suivre la côte japonaise par le Sud (la Mer du Japon étant émergée). Dans cette configuration, la totalité du courant viens alimenter le tourbillon anticyclonique du Sud Japon mais qui n'est pas pour autant plus important. La vitesse moyenne du courant est d'environ 0.5 m/s et on remarque de très forte accélération (vitesse du courant entre 1 et 1.2 m/s) au niveau du détroit de Okinawa ainsi que le long de la côte Sud du Japon. On note également qu'en hiver et qu'en été, une très faible portion du courant ne passe pas le détroit de Okinawa et passe au Sud de l'archipel des îles Ryukyu. Ce courant est très fortement turbulent en été.

Bien que le Kurushio soit bien plus canalisé dans la GMS que dans la PS, nous observons que celui-ci est moins rapide que dans une configuration actuelle.

## Discussions et conclusions

Au regard de la simulation GMS, le Kuroshio passe toujours dans la dépression de Okinawa. Celui-ci ne réagit donc pas comme attendu à la modification des mailles émergées. Cependant nous avons observer qu'une faible partie du courant n'y passait pas et contourne l'archipel des îles Ryukyu par le Sud. Ce résultat est comparable à la situation décrite par Diekmann et *al.*, 2008 (Fig. 1b) mais la présence du courant dans la dépression n'est pas compatible avec les données sédimentaires des carottes du détroit que les auteurs ont réalisées.

Nous pouvons émettre plusieurs suppositions quant aux causes de cette écart. Tout d'abord, le niveau de l'océan du modèle n'a pas été modifié, nous nous retrouvons donc dans un cas où le détroit est plus étroit mais pas moins profond. La bathymétrie du détroit est au alentour de 1500 m dans les données que le modèle ROMS utilise, cependant cette zone possède une bathymétrie réelle d'environ 600 m à 700 m. Cet écart, loin d'être négligeable, modifie complètement les conditions de passage d'un grand courant géostrophique comme le Kuroshio. De plus, si une variation de 120 m n'est pas très significatif sur un fond à 1500 m, faire varier le niveau de la mer du modèle avec des conditions de bathymétrie corrigée pourrait être une solution suffisante pour observer ce contournement. Finalement, les conditions de climats ne sont pas celles d'un maximum glacière, même si nous doutons de l'influence réel de ce facteur, il faudrait réunir les différents facteurs climatiques ce ce maximum glacière afin de réaliser une simulation dans ces conditions pour et ainsi vérifier cette hypothèse.

## Références

- [1] ROMS. <https://www.myroms.org/>. Consulté en Mai 2016.
- [2] R. Courant, K. Friedrichs, and H. Lewy. Über die partiellen differenzengleichungen der mathematischen physik. *Mathematische Annalen*, 100(1) :32–74, 1928.
- [3] B. Diekmann, J. Hofmann, R. Henrich, D.K. Fütterer, U. Röhl, and K. Wei. Detrital sediment supply in the southern okinawa trough and its relation to sea-level and kuroshio dynamics during the late quaternary. *Marine Geology*, 255(1) :83–95, 2008.