

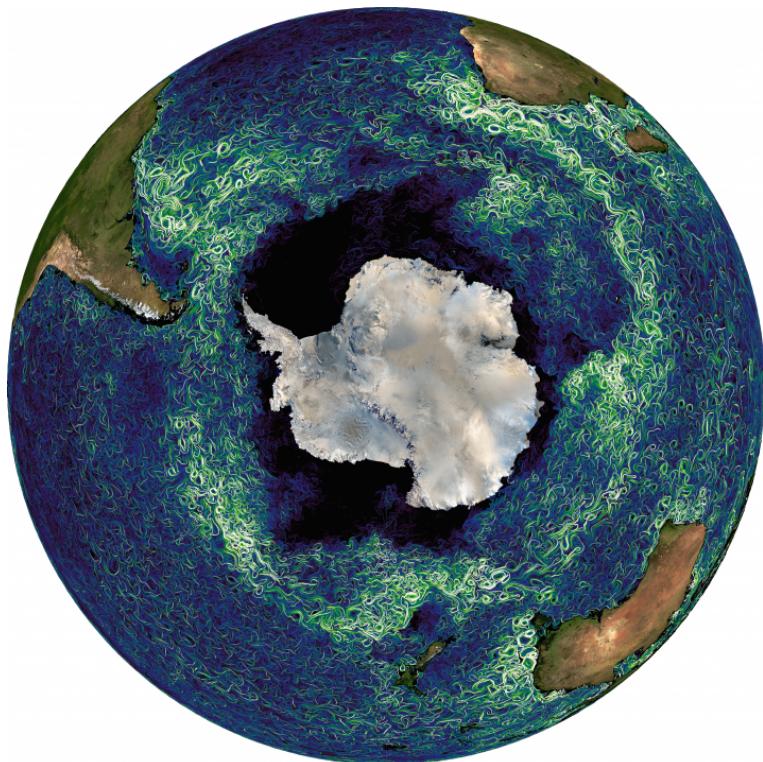
APPLICATION DU MODÈLE ROMS AU COURANT CIRCUMPOLAIRE EN MER DE SCOTIA

BERTIN Clément

M1 Océanographie Physique et Biogéochimique
OPB 205: Modélisation de la circulation océanique

Responsable: DOGLIOLI Andrea

Année universitaire 2016/2017



Abstract

The modeling became essential in the modern society in order to do weather or oceanographic forecasts. The project, stemming from the Oceanic modeling courses lavish by M. Doglioli in Master's Degree of Physical and Biogeochemical Oceangraphy at Aix-Marseille University, aimed to learn the use of the primitive équations calculating model, ROMS. The study below centre around the comprehension of the Circumpolar current evolution in the Scotia Sea. A comparison between the current maps outputs of the ROMS model with different resolution is done so as to understand the impact of this parameter on the results. As well as a comparison between the ROMS outputs and a simulation - of the same area - with an other model find in the literature, in order to observe the différence between this two models and confirm the results obtained on the Circumpolar curent evolution.

Key words

ROMS, Cirucmpolar current, Scotia Sea, Drake Passage, modeling

Résumé

Récemment la modélisation numérique est devenue indispensable afin d'effectuer des prévisions météorologiques mais aussi océanographiques. Ce projet, issu de l'unité d'enseignement modélisation océanique dispensé par M. Doglioli en master 1 d'océanographie physique et biogéochimique de Marseille, vise à apprendre les bases de l'utilisation du modèle de calcul des équations primitives ROMS. L'étude suivante s'articule autour de la compréhension de l'évolution du courant circumpolaire en mer de Scotia après son passage dans la passe de Drake. Une comparaison des simulations sur ROMS des champs de courant pour différentes résolutions à deux profondeurs est faite afin de comprendre l'impact de ce paramètre sur les résultats obtenus. Puis une comparaison avec les résultats d'une modélisation de la même zone issue de la littérature est également effectuée afin d'observer les différences entre modèles et de valider l'évolution du courant circumpolaire en mer de Scotia.

Mots clefs

ROMS, courant Circumpolaire, Mer de Scotia, Passage de Drake, modelisation

Table des matières

Introduction	1
Matériel et méthode	1
Les approximations	2
Les équations	2
Discrétisation	2
Conditions aux limites	3
Implémentation du modèle ROMS	4
Introduction de la zone d'étude	5
Résultats	5
Diagnostique du modèle	5
Résultats de la simulation	7
Discussion et conclusion	12
Bibliographie	15
Annexes	16

Introduction

La résolution des processus physiques et biogéochimiques de méso-échelle nécessite des capacités de calcul très grandes. Il est donc obligatoire de mettre en œuvre des modèles de calcul et de prévision très puissants pour les résoudre. Richardson est le premier, en 1922, à imaginer un tel système de calcul, à partir de 64 000 personnes regroupées afin d'effectuer les calculs (équivalent à 1 Flops). Puis les premiers calculateurs apparaissent en 1946, lançant les bases de la résolution numérique des équations hydrodynamiques appliquées à la météorologie et l'océanographie. L'évolution de la puissance de calcul suivant la loi exponentielle de Moore, permet de créer des modèles résolvant ces équations en très peu de temps. Le présent rapport porte sur l'utilisation du modèle "Regional Oceanic Modeling System" (ROMS) et son application à la zone océanique située au niveau de la pointe sud américaine, dans le passage de Drake. La version utilisée ici est la version développée par l'IRD : ROMS_AGRIF.

Le passage de Drake situé entre le cap Horn en Amérique du Sud et les îles Shetland du Sud en Antarctique, constitue la plus courte distance entre les deux continents (830 km). Le courant circumpolaire faisant le tour de l'Antarctique se retrouve alors accéléré dans cette zone. Cette zone abrite notamment le front polaire où les conditions climatiques sont particulièrement rudes, avec des vents pouvant atteindre les 200 km.h^{-1} . Ainsi, le courant de surface au niveau de la Patagonie est un des plus rapides courants de surface au monde avec le Gulf Stream. Cette zone constitue donc une zone d'étude particulièrement intéressante en ce qui concerne la physique mais aussi la biogéochimie.

Dans ce rapport la zone de simulation est fixée pour des longitudes entre 60° W et 80° W et des latitudes entre 51° S et 66° S , afin de pouvoir observer dans le détail le courant de surface près de la pointe sud américaine.

Matériel et méthode

ROMS est un modèle de prévision de l'océan basé sur la résolution des équations primitives. Ce modèle résout les équations primitives grâce à l'approximation de Boussinesq et l'hypothèse de l'équilibre hydrostatique, dans un référentiel géocentrique. Un tel modèle ne peut résoudre les équations primitives qu'à l'aide de schémas numériques discrétisés. ROMS utilise donc un schéma "upwind" d'ordre 3 pour la résolution des équations du mouvement et un schéma "Leapfrog" pour la résolution temporelle couplée avec le processus de Time splitting. Pour finir, la discréttisation se fait à l'aide d'une grille d'Arakawa C curviligne sur l'horizontale et à l'aide d'une grille σ généralisée sur la verticale.

Les forçages aux conditions initiales et aux frontières sont fixés à l'aide de données océanographiques de référence tel que The Word Ocean Atlas (WOA), The International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set (ICOADS) ou The Global Inverse Tide Model (TPXO6.2).

L'Institut de Recherche et Développement (IRD) a développé un ensemble de scripts complémentaires utilisables sur Matlab[©] afin de visualiser correctement les résultats retournés par le modèle.

Les approximations

La première approximation utilisée par le modèle est l'hypothèse hydrostatique sur la verticale. Selon cette hypothèse la pression en un point de la colonne d'eau est égale au poids de la colonne d'eau présente au dessus de la particule :

$$P(z) = P_a + g \int_z^\eta \rho dz$$

La seconde approximation utilisée par le modèle est l'approximation de Boussinesq. Selon cette approximation les variations de masse volumique sont négligeables : $\rho_0 = cte$.

Les équations

L'évolution de la vitesse horizontale moyenne des particules du fluide géophysique est décrite par les équations de Navier-Stokes :

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial x} + fv - \frac{\partial \bar{u}'u'}{\partial x} - \frac{\partial \bar{u}'v'}{\partial y} - \frac{\partial \bar{u}'w'}{\partial z} \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial y} - fu - \frac{\partial \bar{v}'u'}{\partial x} - \frac{\partial \bar{v}'v'}{\partial y} - \frac{\partial \bar{v}'w'}{\partial z} \end{cases}$$

Pour résoudre les équations de Navier-Stokes, 4 équations doivent être résolues en parallèle :

→ l'équation de continuité :

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

→ l'équation de conservation de la chaleur :

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{v} \cdot \vec{\nabla} T = \frac{\partial \bar{T}'u'}{\partial x} - \frac{\partial \bar{T}'v'}{\partial y} - \frac{\partial \bar{T}'w'}{\partial z} + \frac{H_c}{\rho_0 C_p} \frac{\partial I}{\partial z}$$

→ l'équation de conservation du sel :

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \vec{v} \cdot \vec{\nabla} S = \frac{\partial \bar{S}'u'}{\partial x} - \frac{\partial \bar{S}'v'}{\partial y} - \frac{\partial \bar{S}'w'}{\partial z}$$

→ l'équation d'état de l'eau de mer (IES80) :

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

Avec u et v les vitesses horizontales, S la salinité, T la température, ρ la masse volumique, ρ_0 la masse volumique à pression atmosphérique et f la force de Coriolis.

Discrétisation

La discrétisation des équations du mouvement se fait à l'aide d'une grille d'Arakawa C (Fig 1) et du schéma upwind d'ordre 3 (équation 1) :

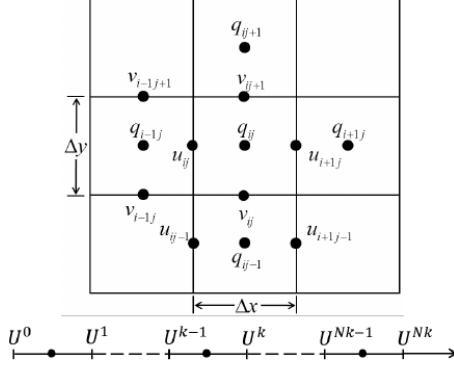


FIGURE 1 – Grille d'Arakawa C

$$\frac{\partial U}{\partial x} \iff \frac{2U_{i+1} + 3U_i - 6U_{i-1} + U_{i-2}}{6\Delta x} \quad (1)$$

La discrétisation temporelle se fait à l'aide du schéma "Leapfrog" couplé au procédé de "Time Splitting" qui sépare les modes de dynamique rapide (barotrope) et de dynamique lente (barocline) pour limiter les coups de calculs :

$$\frac{\partial U}{\partial t} \iff \frac{U^{n+1} - U^{n-1}}{2\Delta t}$$

La discrétisation sur la verticale se fait à l'aide d'une grille σ généralisée décrite par l'équation suivante :

$$\sigma = \frac{z - \eta(x, y)}{H(x, y) + \eta(x, y)} = \frac{z - \eta(x, y)}{D(x, y)}$$

La coordonnées σ permet ainsi de bien suivre la topographie du fond, de raffiner la résolution verticale près de la surface et du fond et de conserver un nombre constant de mailles sur la verticale en tout point du domaine. On a donc : $\sigma = 0$ (pour $z = \eta$) et $\sigma = -1$ (pour $z = -H$).

Finalement, pour que le schéma numérique soit stable, il doit satisfaire les conditions de Courant-Friedrichs-Lowy (CFL). Cela signifie que le phénomène de propagation d'onde (ici ondes gravitationnelles) le plus rapide ne doit pas parcourir plus d'une grille de calcul sur un pas de temps :

$$\Delta t \leq \frac{1}{\sqrt{gh_{max}}} \left[\frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Conditions aux limites

Les conditions aux limites du modèle ROMS concernent la surface, le fond et les frontières latérales fermées et ouvertes à la côte. En ce qui concerne la surface : les forçages de vitesse, de température et de salinité se font à l'aide des coordonnées sigma et des paramètres atmosphériques et les flux de chaleur latente donnés par les modèles

atmosphériques. Les équations résolues aux frontières latérales dépassent quant à elles les objectifs de ce cours.

Implémentation du modèle ROMS

Afin de modéliser les différents paramètres choisis dans une région choisie le modèle ROMS nécessite l'implémentation de différents paramètres. Différents fichiers sont alors modifiés. Le tableau 1 présente les différents paramètres implémentés afin d'exécuter la modélisation du courant circumpolaire dans le passage de Drake et les fichiers modifiés correspondant à ces paramètres. Durant ce projet deux simulations ont été effectuées avec des résolutions différentes afin de comparer le rapport "précision des résultats - temps de calcul". Une première simulation basse résolution est fixée à $1/2^\circ$ et une seconde haute résolution est fixée à $1/4^\circ$.

TABLE 1 – Paramètres implémentés pour la simulation du passage de Drake avec le modèle ROMS et les fichiers correspondants

Paramètres	Modèle basse résolution	Modèle haute résolution	fichier modifier
Latitude (° N)	-62 → -54	-62 → -54	romstools_param.m
Longitude (° E)	-70 → -40	-70 → -40	romstools_param.m
Résolution (°)	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	romstools_param.m
Longueur de la grille (en nbe de mailles)	30	60	param.h
Largeur de la grille (en nbe de mailles)	59	119	param.h
Hauteur de la grille (en nbe de niveaux verticaux)	32	32	param.h
Frontières ouvertes	Nord/Sud Est/Ouest	Nord/Sud Est/Ouest	romstools_param.m cppdef.h
NTIMES	3600	7200	roms_inter.in roms.in
dt	720	360	roms.in roms_inter.in run_roms.csh
NTDFAST	60	60	roms_inter.in roms.in
Nombre d'itérations pour 1 jour	120	240	

Ces différents paramètres ont été choisis avec soin de telle sorte que les conditions CFL soient respectées afin que le modèle ne s'interrompe pas brusquement.

Introduction de la zone d'étude

La zone d'étude choisie dans cette étude, entre 54°S et 62°S et 40°W et 70°W, correspond à la zone de l'Atlantique Sud où se trouve la Mer de Scotia, le passage de Drake, la pointe Sud-Américaine et les îles Orcades du Sud à l'extrême nord de la péninsule Palmer (voir figure 2). Cette zone constitue notamment une zone de rencontre entre les plaques tectoniques de la lithosphère terrestre : Scotia, Shetland, Antarctique et Amérique du Sud. Ainsi plusieurs fractures sont présentes dans cette zone telles que la fracture Shakleton, la fracture Ouest et la fracture de l'endurance. La plaque tectonique de Scotia est délimitée par les ridges Sud de Scotia et Nord de Scotia. Trois bassins sont également présents dans la zone d'étude : le bassin Yaghan au large de la pointe sud-américaine, le bassin Ona près de la fracture Shakleton et le bassin de Powell situé en dessous de la ride Sud de Scotia.

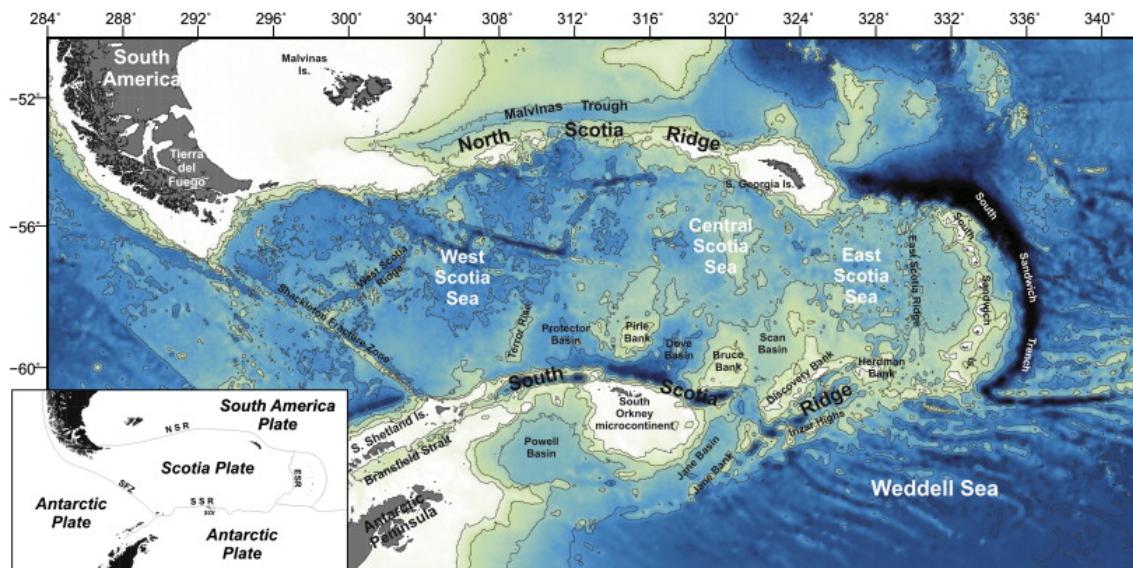


FIGURE 2 – Bathymétrie de la mer de Scotia avec les différents bassins et aspérités sous-marine. ©plate-tectonic

La zone choisie dans ce projet constitue donc une zone avec une bathymétrie complexe pouvant interférer vigoureusement avec les courants marins passant à travers.

Résultats

Diagnostique du modèle

Une fois la simulation effectuée, un programme appliqué à ROMS et utilisable sur Matlab[©] nommé "roms_diags" permet d'effectuer un diagnostique de la simulation. Ce diagnostique permet d'observer sur les différentes années simulées l'évolution de la stabilité de la simulation. En effet, très généralement le modèle ROMS met plusieurs années à se stabiliser et donc sortir des données exploitables. Ce diagnostique permet notamment

d'observer l'anomalie de volume (km^3), énergie cinétique moyenne en surface et du volume d'eau ($cm^2.s^{-2}$), la salinité moyenne du volume d'eau et la température moyenne du volume d'eau ($^{\circ}C$). Une attention particulière est portée aux cycles annuels effectués par la salinité et la température. La figure 3 montre les tracés de variables diagnostiques pour les deux simulations sur le passage de Drake et en mer de Scotia du projet.

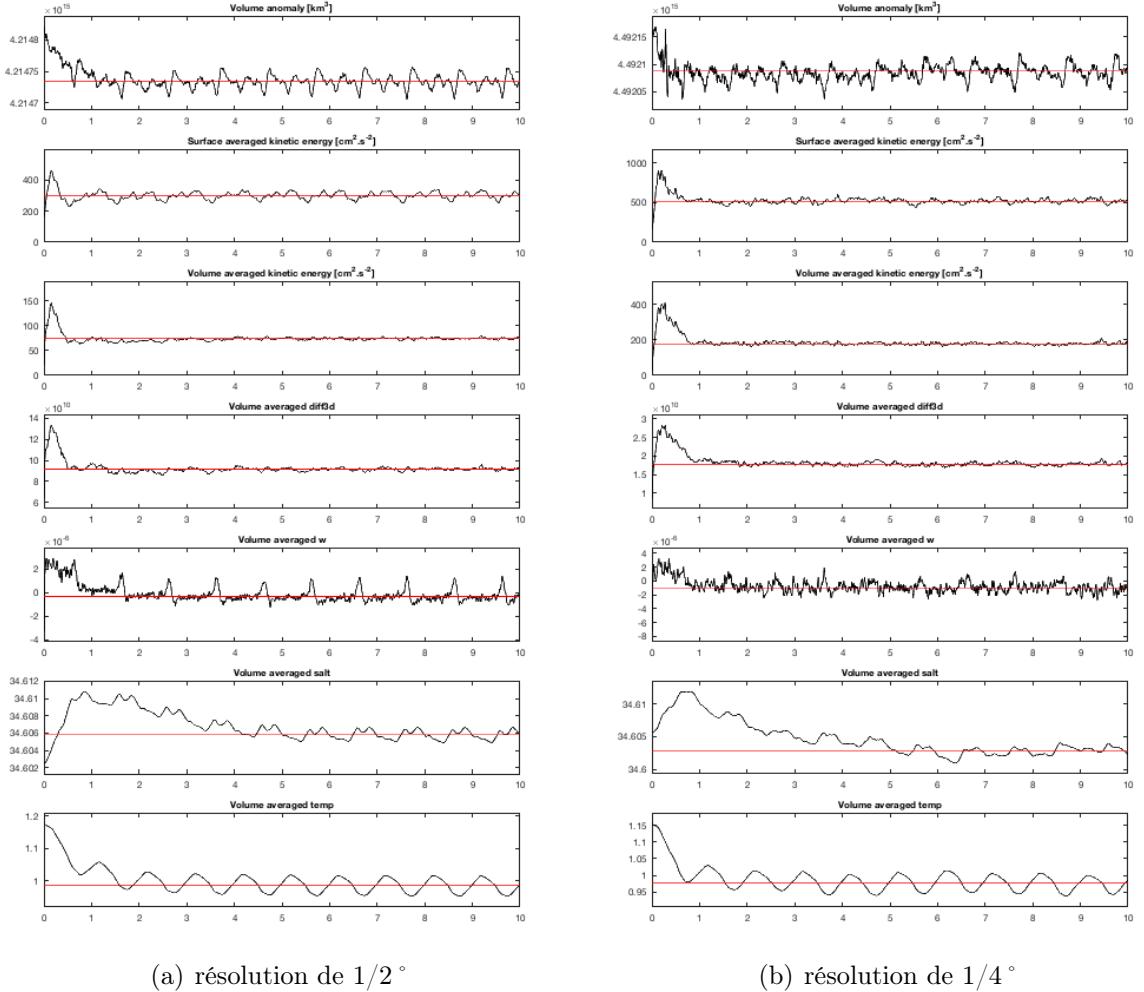


FIGURE 3 – Courbes de diagnostiques pour la simulation avec une résolution de $1/2^{\circ}$ (a) et $1/4^{\circ}$ (b). Les courbes de haut en bas représentent l'anomalie de volume, l'énergie cinétique moyenne en surface, l'énergie cinétique moyenne du volume d'eau, le diff3d moyen du volume d'eau, le flux de chaleur moyen du volume d'eau, la salinité moyenne du volume d'eau et la température moyenne du volume d'eau.

Les cycles saisonniers sont clairement visibles sur plusieurs figures telles que la salinité et la température moyenne du volume d'eau. Ce diagnostic est important pour la suite du projet car il permet de connaître le nombre d'années nécessaires au modèle pour se stabiliser et donc être fiable. Il est clairement observable que certains paramètres du modèle tels que l'énergie cinétique ou bien la température moyenne sont des paramètres

se stabilisant très rapidement (1 à 2 années). En revanche la salinité est un paramètre atteignant la stationnarité très lentement, ce qui en fait le paramètre le plus restrictif à prendre en compte pour la stabilité du modèle. Ainsi, la salinité mettant environ cinq ans pour se stabiliser, seulement les cinq dernières années de résultats ($Y5M1 \rightarrow Y10M12$) seront utilisées afin d'obtenir les données moyennées sur plusieurs années les plus fiables possibles.

Résultats de la simulation

Une fois les paramètres (vus précédemment) implémentés les différents calculs aux différentes résolutions ont pu être effectués. La modélisation choisie est une modélisation pluri-annuelle sur 10 ans afin d'obtenir assez de données stables pour effectuer les moyennes des champs de courants sur au moins 3 années. Le script matlab (disponible en annexe) écrit par mes soins permet de faire la moyenne des courants sur le nombre d'années choisies, afin de connaître la tendance du courant circumpolaire annuellement à différentes profondeurs.

Le courant circumpolaire est un courant froid (2°C à 14°C) circulant d'Ouest en Est le long du continent antarctique. Ce courant est notamment formé par la divergence antarctique et les forts vents présents dans cette zone du monde. Long de 20 000 km et large de 200 à 1 000 km, le courant circumpolaire transporte 130 Sv en moyenne au niveau du passage de Drake. Ce courant peut également s'étendre de la surface à 4 000 m de profondeur.

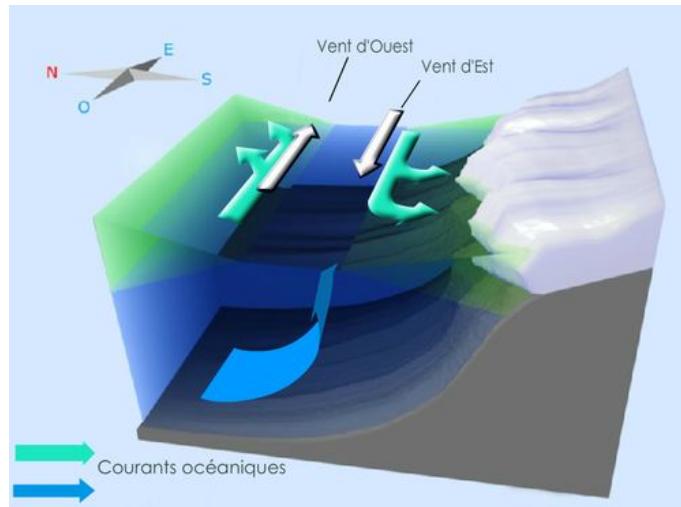


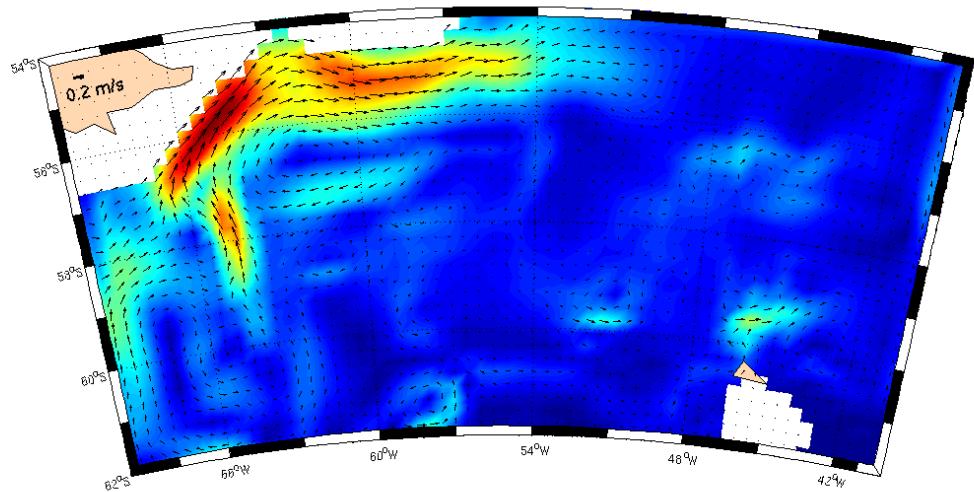
FIGURE 4 – schéma explicatif de la formation du courant circumpolaire. ©Météo-France

Le principe de formation du courant circumpolaire repose sur le principe du courant d'Eckman et de courant géostrophique. Les régimes de vents d'ouest présents dans cette zone du globe et parfois très violents (40° rugissants et 50° hurlants), impose un courant d'Eckman allant du continent Antarctique (sud) vers le reste de l'océan mondial (Nord). Ce courant d'Eckman provoque notamment un upwelling côtier (figure 4) le long du continent Antarctique et un transport des masses d'eau vers le nord appelé divergence

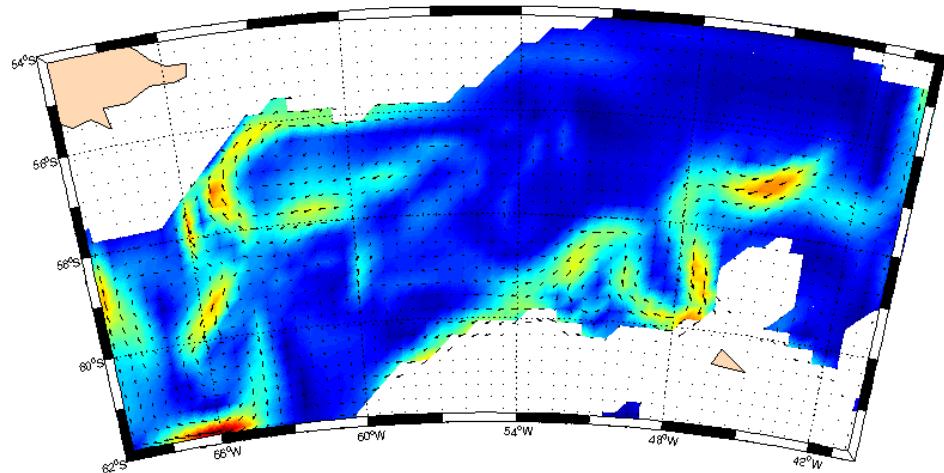
antarctique. C'est cette divergence antarctique qui va provoquer la formation du courant circumpolaire, du fait d'une pente ascendante de la surface de l'eau du sud vers le nord (courant géostrophique). Ce courant est notamment très important dans le fonctionnement de la circulation thermohaline car il permet la connexion entre les différents océans mondiaux. Ainsi, sa modélisation précise par le biais de calculateur tel que ROMS, permet d'améliorer la compréhension des phénomènes physiques et aussi biogéochimiques pouvant avoir lieu dans cette zone.

Finalement pour les deux résolutions, deux cartes de champs de courant à 500 m et à 2500 m de profondeur sont tracées.

Premièrement, pour la résolution à $1/2^\circ$, la carte des champs de courant à 500 m de profondeur (figure 5 (a)) montre la formation d'un fort courant le long du plateau continental près de la pointe Sud Américaine. Ce fort courant subit une rétroflexion créant un grand tourbillon cyclonique dans le bassin Yaghan puis continu sa route vers le nord le long du plateau continental. Un tourbillon étendu est également observable en bordure ouest de la zone d'étude, ce qui le rend difficilement exploitable du fait de sa localisation (conditions de bord). Quelques tourbillons de méso-échelle dispersés en mer de Scotia sont visibles néanmoins ces tourbillons restent moins puissants que le tourbillon nord, ce qui les rend difficiles à observer. En ce qui concerne la carte des champs de courant à 2500 m (figure 5 (b)), le tourbillon dans le bassin Yaghan est toujours présent à cette profondeur mais semble tout de même perdre en intensité. Le tourbillon présent en bordure Ouest semble plus stochastique à cette profondeur. Finalement, les tourbillons de méso-échelle en mer de Scotia laissent place à 2500 m de profondeur à deux tourbillons près du plateau continental de l'Antarctique. Le tourbillon positionné le plus à l'est est cyclonique et puissant et semble alimenté par de forts courants venant de l'est présents plus au nord. Ce tourbillon alimente ensuite le second tourbillon anticyclonique et moins intense ainsi qu'un courant orienté vers l'est en bord du plateau continental, le long de la ride sud de Scotia. Ce dernier résultat est surprenant car le courant circumpolaire est un courant orienté d'Ouest en Est comme le montre le courant au nord de la carte des courants à 500m de fond.



(a) champs de courant à 500m de profondeur

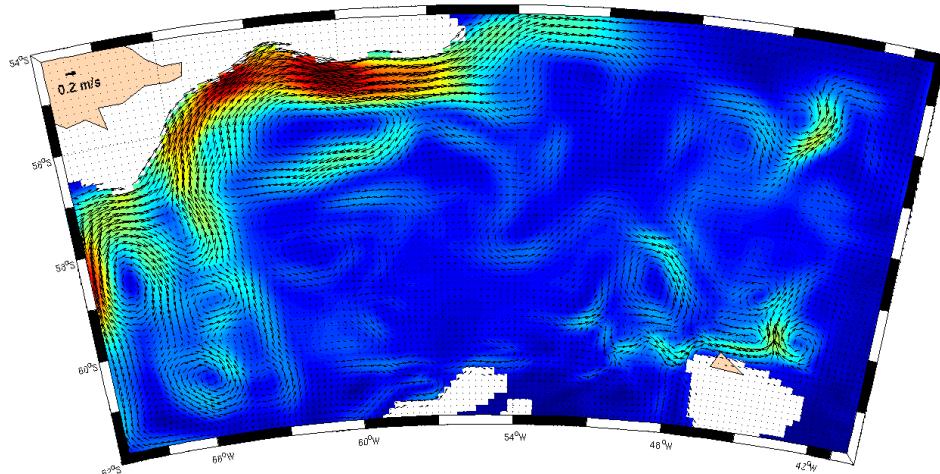


(b) champs de courant à 2500m de profondeur

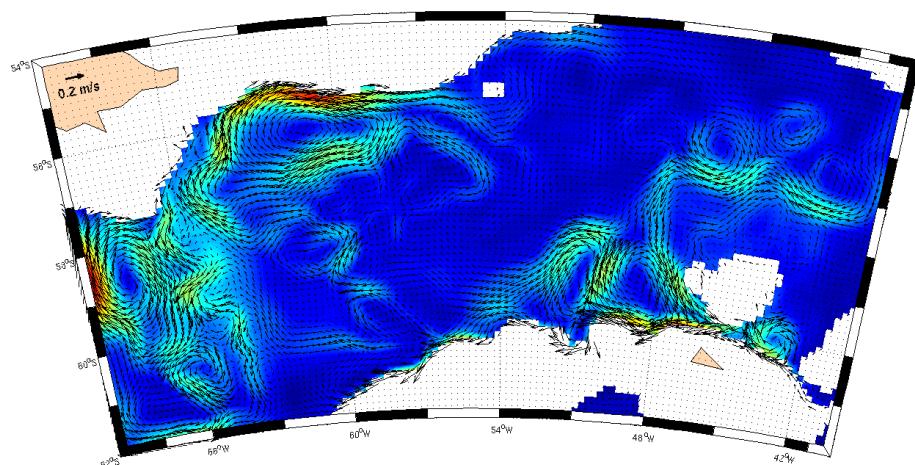
FIGURE 5 – Champ de courant moyen sur 5 années à 500m (a) et 2500m (b) de profondeur pour le modèle ROMS à basse résolution (1/2).

Deuxièmement, pour la résolution à $1/4^\circ$, les cartes de champs de courants ressortent plus précises afin d'étayer les observations faites précédemment. Les résultats obtenus à 500 m de profondeur (figure 6 (a)) avec cette résolution permettent de confirmer la présence du fort courant en nord de la zone au niveau de la pointe sud américaine, continuant vers l'océan Atlantique et dont la rétroflexion crée bien un grand tourbillon cyclonique ($\simeq 600\text{km}$) dans le bassin de Yaghan. La présence d'un tourbillon cyclonique en bordure ouest de la zone d'étude est également confirmée mais avec tout de même l'apparition de trois autres plus petits tourbillons étendus sur la largeur du passage. Les tourbillons de méso-échelle présents en mer de Scotia sont quant à eux plus visibles avec cette résolution. Un tourbillon anticyclonique assez fort est alors visible au nord-est de la zone d'étude et plusieurs tourbillons (anticyclonique et cycloniques) sont observables au large des îles Orcades du Sud. De plus, un fort courant longeant le plateau créé par ces îles apparaît. En ce qui concerne les courants présents à 2500 m de profondeurs (figure 6 (b)), l'augmentation de la précision permet de mettre en lumière la stochasticité des courants à cette profondeur. Plusieurs tourbillons puissants sont observables en bordure ouest de la zone d'étude et sont difficilement exploitables en raison des incertitudes dues aux conditions de bord. La prolongation vers le fond du grand tourbillon au niveau de la pointe sud-américaine est confirmée, malgré l'apparition de quelques dérives. A cette profondeur la précision de $1/4^\circ$ devient intéressante en ce qui concerne la partie des îles Orcades du Sud. En effet, l'augmentation de précision a permis l'ouverture de la mer entre le plateau créé par les îles Orcades du Sud et celui créé par le mont sous-marin Guevara. Ainsi, il apparaît toujours deux tourbillons puissants aux larges de ces deux plateaux mais le courant longeant la ride sud de Scotia quand à lui est moins visible bien que vraiment localisé le long de la ride. L'ouverture bathymétrique fait apparaître quant à elle une dérive du courant proche des îles Orcades du sud dans le canal créé par la séparation des deux plateaux. Cette dérive permet la création d'un tourbillon cyclonique, à l'est des îles Orcades du Sud, qui n'est pas présent dans la simulation précédente.

Pour ce qui est de la comparaison des deux modèles concernant le rapport "précision des résultats - temps de calcul", le modèle basse résolution permet l'obtention d'un premier aperçu de la circulation océanique avec un temps de calcul d'environ 1 jour alors que le modèle haute résolution permet une description assez approfondie de la circulation océanique bien que le temps de calcul s'allonge à environ 5 jours.



(a) champs de courant à 500m de profondeur



(b) champs de courant à 2500m de profondeur

FIGURE 6 – Champ de courant moyen sur 5 années à 500m (a) et 2500m (b) de profondeur pour le modèle ROMS à haute résolution (1/4).

Discussion et conclusion

Dans une première partie une comparaison est réalisée entre les deux simulations faites par le modèle ROMS à des résolutions différentes, puis la simulation avec une résolution de $1/4^\circ$ sur ROMS est comparée à une simulation à $1/12^\circ$ faite avec le modèle ORCA 12.

Tout d'abord une comparaison des deux résultats obtenus avec le modèle ROMS est effectuée. Il ressort de cette étude, que la simulation basse résolution du champ de courant dans le passage de Drake et en mer de Scotia permet de se faire une première idée de la circulation océanique dans cette zone. Ce modèle permet d'observer les phénomènes de grande échelle bien connus tels que la formation du courant des Malouines au large de la pointe sud-américaine et le passage du courant circumpolaire dans la zone. Le modèle basse résolution s'intéresse alors à des phénomènes dans leur globalité. De plus, étant peu fidèle au niveau bathymétrique, le modèle basse résolution peut amplifier ou même modifier quelques processus. En effet, ces modifications sont visibles au moment du passage au modèle haute résolution lorsqu'une ouverture se forme à 2 500 m de profondeur entre le plateau formé par les îles Orcades du Sud et le plateau formé par le mont sous-marin Guevara. Une dérive du courant dans le canal entre les deux plateaux se forme modifiant alors la forme du tourbillon à l'ouest des îles Orcades du Sud, atténuant le courant le long de la ride Sud de Scotia et créant un tourbillon cyclonique à l'est du plateau du mont Guevara. Le modèle haute résolution permet également de faire des observations plus précises sur les tourbillons qui se forment dans le bassin et notamment des dérives auxquelles sont sujets ces tourbillons.

Pour finir, si un projet s'intéresse à l'appréhension d'un courant étendu et puissant dans sa globalité afin de se faire une idée générale, mieux vaut choisir une simulation basse résolution qui permet d'obtenir ce type d'information très rapidement (moins d'un jour de calcul). En revanche si le projet s'intéresse à la compréhension fine d'un phénomène physique tel qu'un tourbillon de méso-échelle ou encore un jet, une simulation haute résolution est recommandée, mais demande un temps de calcul plus long (environ 1 semaine). Le choix de la résolution est un paramètre décisif en ce qui concerne la ligne directrice du projet. Dans un projet concernant la compréhension précise d'un phénomène physique de méso-échelle une simulation basse résolution d'une zone étendue peut être effectuée afin de repérer la zone précise où a lieu le phénomène puis ensuite réaliser une simulation haute résolution de la zone choisie.

Ensuite, à l'aide de simulations effectuées sur la même zone par Ferrari et al. (2014) une comparaison entre deux modèles de calculs peut être réalisée. Dans son article Ferrari et al. (2014) propose 2 cartes de champs de courants de la zone du passage de Drake et de la mer Scotia à 500 m et 2 500m de profondeur (figure 7). Dans cette étude le modèle ORCA 12 est utilisé avec une résolution de $1/12^\circ$, une résolution temporelle de trois jours (identique à la résolution temporelle utilisées dans le projet ROMS) et 50 niveaux verticaux. Ferrari et al. (2014) couple également sa modélisation avec le module de glace de mer LIM (Louvain Ice Model). A noter qu'un module de glace de mer est également disponible sur ROMS mais son utilisation dépasse le cadre de cette unité d'enseignement.

Les fichiers de forcing utilisés sont aussi différents car le modèle ORCA 12 est forcé à

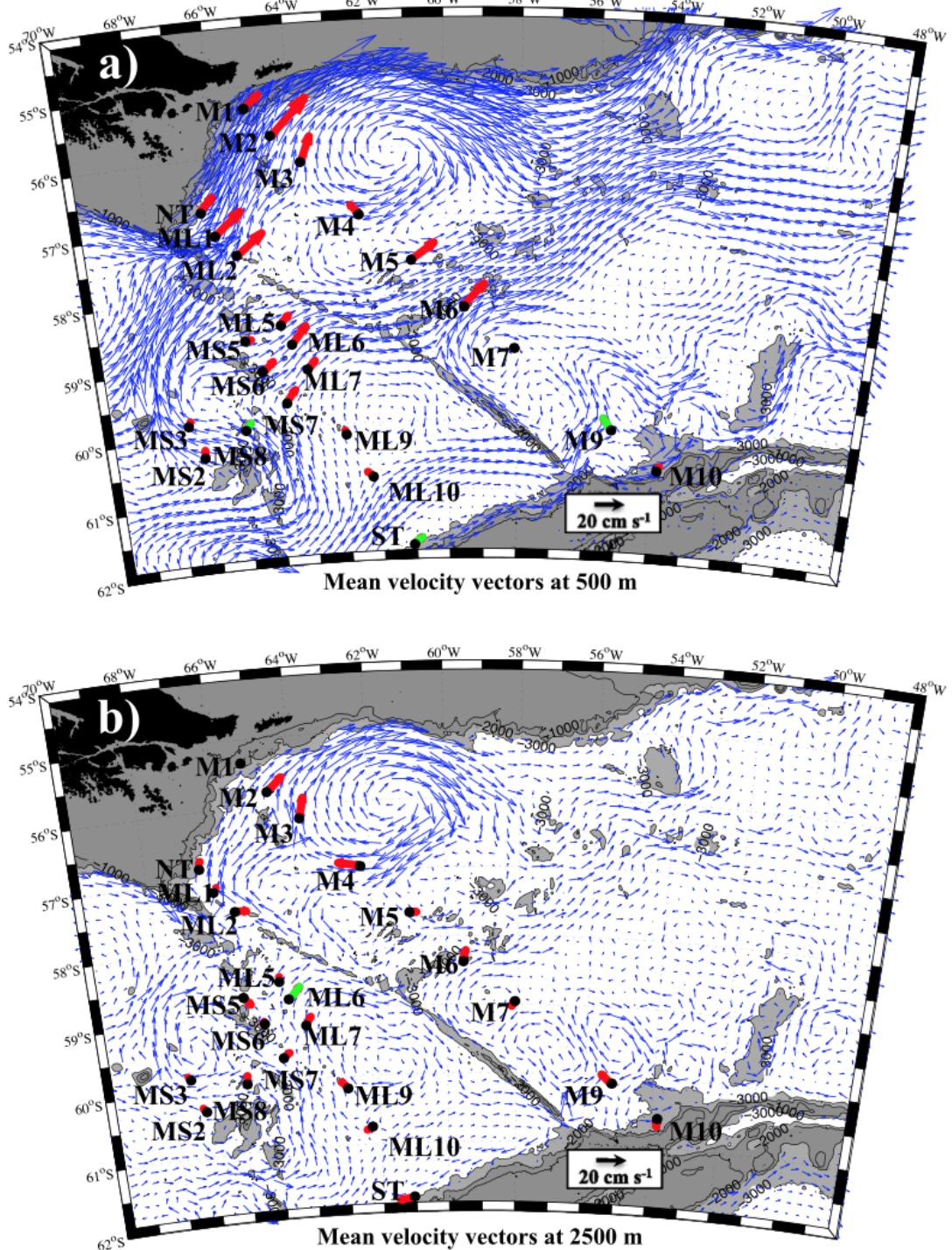


FIGURE 7 – champs de courant moyen à 500m (a) et 2500m (b) de profondeur simulés avec le modèle ORCA 12 - Ferrari et al. (2014).

l'aide des fichiers ERA-interim reanalysis alors que le modèle ROMS durant le projet est forcé à l'aide des fichiers de ICOADS.

La suite de cette discussion s'intéresse donc à comparer les cartes des champs de courant en sortie du modèle ORCA 12 dans les configurations vues précédemment et du modèle ROMS avec une résolution de $1/4^\circ$.

La première constatation faite dans cette comparaison se porte sur les différences dues à la résolution. En effet, le modèle de Ferrari et al. (2014) possède une résolution bien plus importante que celle utilisée dans le modèle haute résolution de ROMS. Cette différence permet ainsi l'apparition d'une multitude d'aspérités sous-marines présentes entre 2 000 m et 3 000 m de fond (figure 7) telles que la zone de la fracture de shakleton ou bien le mont sous-marin Sars, inexistantes dans le modèle de précision inférieure. Les champs de courants sont par conséquent inévitablement influencés par l'apparition de cette topographie sous-marine.

Ensuite, le courant des Mallouines et le tourbillon cyclonique présent en bassin de Yaghan sont quant à eux présents dans les mêmes proportions aux deux profondeurs et pour les deux modèles comparés. La différence notable entre les deux modèles se fait pour les tourbillons présents entre les îles Orcades du Sud et la fracture de Shakleton. L'apparition de la fracture impact grandement la formation des courants et des tourbillons dans cette zone. En effet, le courant présent à 2 500m de profondeur, le long de la ride Sud de Scotia et orienté vers l'Ouest (modèle ROMS), semble être bloqué par la fracture (modèle ORCA 12) et perd toute son intensité favorisant la formation d'une multitude de tourbillons de méso-échelle. Ces aspérités étant profondes ($\simeq 2\ 000$ m de profondeur), la carte des champs de courants à 500m varie quant à elle peu entre les deux modèles. A noter tout de même la mise en lumière plus évidente du passage du courant circumpolaire le long de la ride Sud de Scotia à 500 m de profondeur. La carte très haute résolution proposée par Ferrari et al. (2014) permet donc de marquer quelques différences avec le modèle ROMS proposé dans ce projet, notamment en ce qui concerne la circulation à 2 500 m de profondeur. Du fait de sa plus grande résolution, l'apparition des différentes aspérités présentes autour des 2 000 m de profondeur permet au modèle d'être plus précis en ce qui concerne la formation des courants dans cette zone. Néanmoins, les monts et les fractures étant présents à des profondeurs élevées, les cartes de champs de courant à 500 m de profondeur sont très similaires entre les deux modèles.

Les différences observées entre les deux modèles ROMS et ORCA 12, se font avec la différence de résolution, ainsi les deux modèles comparés ici semblent donner les même résultats, ce qui permet de valider avec certitude l'évolution du courant circumpolaire dans la mer de Scotia.

Pour conclure, ce projet a permis de mettre en lumière l'évolution du courant circumpolaire dans le passage de Drake et en mer de Scotia. Les comparaisons entre les différentes résolutions ($1/2^\circ$, $1/4^\circ$ et $1/12^\circ$) ont permis de comprendre l'intérêt d'utiliser un modèle basse résolution ou un modèle haute résolution durant une étude, en fonction des critères de précision de résultats et de temps de calcul. De plus, la comparaison entre les deux modèles ORCA 12 et ROMS ont permis de valider les observations faites sur l'évolution des champs de courants dans la zone choisie.

Bibliographie

Doglioli, A. M. (2015), Notes de Cours et Travaux Dirigés de Modélisation de la Circulation Océanique, Université d'Aix-Marseille, Marseille, France.

<http://education.meteofrance.fr/dossiers-thematiques/le-fonctionnement-de-l-atmosphere/les-mouvements-de-l-atmosphere#> (consulté le 22/04/2017)

Ferrari, R., C. Provost, Y.-H. Park, N. Senn echael, Z. Koenig, H. Sekma, G. Garric, and R. Bourdall e-Badie (2014), Heat fluxes across the Antarctic Circumpolar Current in Drake Passage : Mean flow and eddy contributions, *J. Geophys. Res. Oceans*, 119, doi :10.1002/ 2014JC010201.

<http://plate-tectonic.narod.ru/>

Annexes

```
1 %_
2 % Fonction de Calcul du courant moyen
3 % Clement BERTIN
4 % Avril 2017
5 %
6
7
8 %Initialisation des entrees :
9 gridfile='SCRATCH/roms_grd.nc';
10 vlevel=-500;
11 coef=1;
12 COMP=0;
13 spd_avg=0;
14 u_avg=0;
15 v_avg=0;
16 vname1='v';
17 vname2='u';
18 rempts=[0 0 0 0];
19
20 %calcul de la vitesse
21 for i=5:10
22     for j=1:12
23         hisfile=[ 'SCRATCH/roms_avg_Y' , num2str(i) , 'M' , num2str(j) , '.nc' ]
24         for tindex=1:10
25             COMP=COMP+1;
26             [lat,lon,mask,spd]=get_speed(hisfile,gridfile,tindex,vlevel,coef);
27             [lat_v,lon_v,mask,v]=get_var(hisfile,gridfile,vname1,tindex,vlevel,coef,rempts);
28             [lat_u,lon_u,mask,u]=get_var(hisfile,gridfile,vname2,tindex,vlevel,coef,rempts);
29             spd_avg=spd_avg+spd;
30             u_avg=u_avg+u;
31             v_avg=v_avg+v;
32         end
33     end
34 end
35
36 spd_avg=spd_avg /COMP;
37 u_avg=u_avg /COMP;
38 v_avg=v_avg /COMP;
39 v_avg(end+1,:)=v_avg(end,:);
40 u_avg(:,end+1)=u_avg(:,end);
41 save avg_current spd_avg u_avg v_avg lon lat
```