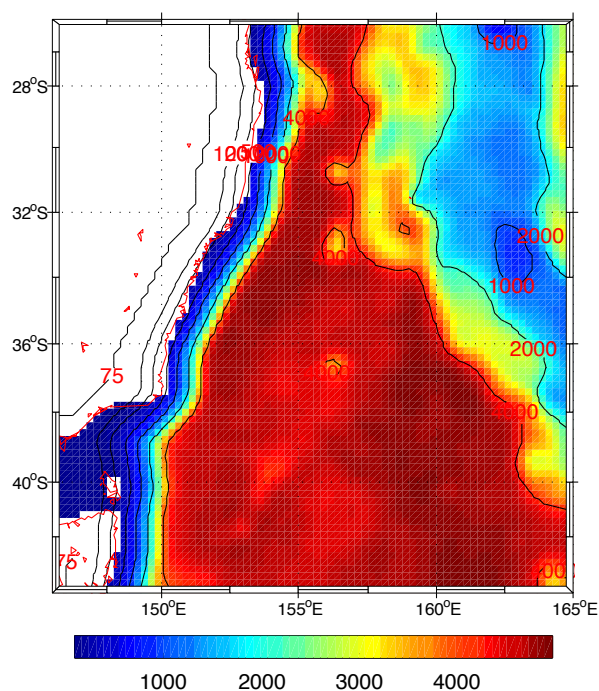


MASTER D'OCÉANOGRAPHIE DE L'INSTITUT PYTHEAS

ANNÉE 2015 - 2016

Rapport d'OPB 205 - Modélisation de la circulation océanique

Modélisation du Courant Est Australien (CEA) à l'aide de ROMS - Suivi des tourbillons chauds distribués en Mer de Tasman



Bathymétrie de la zone d'étude du CEA réalisé avec le modèle ROMS

Rapport écrit par : Anna RIGHI

Dernière révision le : 12 Mai 2016

Résumé

Le Courant Est Australien (CEA) est la composante de bord ouest du gyre subtropical du Pacifique Sud, et d'après Jayne S.R. et Marotzke J. (2002) la distribution de chaleur par les tourbillons est d'autant plus forte dans les courants de bords ouest. La Mer de Tasman est une mer relativement froide (14°C en surface en moyenne) contrairement aux eaux des basses latitudes du CEA issues de la Mer de Corail, dont les températures avoisinent les 24°C en surface. À partir du modèle ROMS (Regional Ocean Modelling System), le CEA sera représentée sur une grille définie entre les latitudes 26°S et 43°S et les longitudes 146° et 160°. La modélisation sur 10 ans permettra d'étudier la trajectoire d'un tourbillon se séparant à 31°S de latitude du CEA, et se déplaçant en Mer de Tasman (MT) jusqu'à 41°S. Tous les 3 mois environ un nouveau tourbillon se forme et quitte le CEA vers la MT, ce cycle des tourbillons est confirmé par McDonald et al., (2012) qui détermine la variabilité des tourbillons à des tourbillons se détachant du CEA tous les 90 à 180 jours.

Le mois d'avril représente le mois où le tourbillon est le plus longuement présent au dessus de 40°S de latitude. En avril le tourbillon se détache du CEA au début du mois, avec une température au centre de 23°C, longe la côte australienne et arrive au NE de la Tasmanie avec une température au centre de 19.5°C. Cela représente donc un apport considérable de chaleur pour les eaux de la MT.

Mots clés : Courant Est Australien, CEA, Mer de Tasman, MT, Tourbillons chauds, Modélisation, ROMS

Abstract

The East Australian Current (EAC) is the western boundary of the South Pacific subtropical gyre, and the heat distribution by eddy is stronger in western boundary current (Jayne S.R. and Marotzke J., 2002). The Tasman Sea (TS) is a relative cold sea, with a mean at 14°C in surface, contrary to the Coral Sea (CS) with temperatures near 24°C at surface.

The EAC will be modelised with ROMS model (Regional Ocean Modelling System) in a grid define between 26°S and 43°S of latitudes and 146° and 160° of longitudes. The modelisation will be on 10 years, and will allow to study eddy trajectories that separates from the EAC at 31°S and their moving to the TS. The eddy cycle was confirmed by McDonald et al., (2012), who determines the eddy variability between 90 and 180 days before that the eddy leave the EAC.

The April month shows the month where eddy is the longest present above 40°S. In april it leaves EAC in the begining of the month, with a core temperature of 23°C, runs along the Australian coast and arrives in the north east of Tasmania with a core temperature of 19.5°C. This represents a big contribution of heat for the TS waters.

Keywords : East Australian Current, EAC, Tasman Sea, TS, Warm eddy, Modelisation, ROMS

Table des matières

1	Introduction	1
2	Matériel et méthodes	2
2.1	Les équations du modèle	2
2.1.1	Les équations primitives	2
2.1.2	Les hypothèses et approximations	2
2.2	Initialisation du modèle et mise en place de la zone d'étude	3
2.2.1	Mise en place de la grille de calcul	3
2.2.2	Implantation du modèle	3
2.2.3	Le critère CFL (Courant Friedrichs Levy)	4
3	Résultats et discussion	5
3.1	Diagnostic du modèle	5
3.2	Le Courant Est Australien (CEA) et la Mer de Tasman (MT)	5
3.3	Les tourbillons chauds du CEA	6
3.3.1	Suivi d'un tourbillon chaud sur 6 mois	6
3.3.2	Suivi d'un tourbillon chaud sur 30 jours	7
3.4	Importance des tourbillons dans la régulation du climat	8
4	Conclusion	9

1 Introduction

Le Courant Est Australien (CEA) est la composante de bord ouest du gyre subtropical du Pacifique Sud, c'est à dire que les masses d'eaux sont déportées vers le bord ouest du bassin du à la rotation de la Terre. D'après Jayne S.R. et Marotzke J. (2002) la distribution de chaleur par les tourbillons est d'autant plus forte dans les courants de bords ouest, il est donc intéressant de s'intéresser à la dispersion des tourbillons chauds issus du CEA vers la Mer de Tasman (MT), et d'observer l'apport de chaleur et son impact sur le climat régional.

La Mer de Tasman est une mer relativement froide, avec une température moyenne de 14°C en surface, du à un apport d'eau constant de l'Océan Austral. Les eaux des basses latitudes du courant Est Australien sont quant à elles des eaux chaudes, avec des températures moyennes de 24°C en surface, se situant à proximité de la Mer de Corail. Le courant se forme à 15°S, puis bifurque au large des côtes australiennes vers 30°S, avec un volume de transport augmentant atteignant 22 Sv à 30°S (Mata et *al.*, 2000). Trois branches de courant se détachent par la suite, une branche centrale qui est le front Tasman, une branche sud associé à la convergence subtropicale et une branche nord étant un faible courant nord Tasman (Ridgway et Dunn, 2003). Dans l'étude suivante, la trajectoire des tourbillons issues du CEA vers la MT est étudiée, ainsi que l'apport de chaleur par ces tourbillons des basses latitudes du CEA (30°S) vers les plus hautes latitudes (41°S).

2 Matériel et méthodes

2.1 Les équations du modèle

2.1.1 Les équations primitives

Le modèle utilisé dans cette étude est celui développé par l'Institut de la Recherche pour le développement (IRD), appelé ROMS_TOOLS AGRIF, il permet la représentation pluriannuelle de courants océaniques à partir de différents forçages climatiques et topographiques prédéfinis. Le modèle ROMS (Regional Ocean Modelling System) utilise le système d'équations suivant pour résoudre le modèle : les équations de Navier-Stokes simplifiées (RANS) (eq.2.1, eq.2.2, eq.2.3), les équations de conservation de la chaleur (eq.2.4), de la salinité (eq.2.5), l'équation de continuité (eq.2.6) et l'équation d'état de l'eau de mer.

$$\frac{\delta u}{\delta t} + \vec{U} \nabla u - f v = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\delta P}{\delta x} + A_h \nabla_h^2 u + A_v \frac{\delta^2 u}{\delta z^2} \quad (2.1)$$

$$\frac{\delta v}{\delta t} + \vec{U} \nabla v - f u = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\delta P}{\delta y} + A_h \nabla_h^2 v + A_v \frac{\delta^2 v}{\delta z^2} \quad (2.2)$$

$$0 = \frac{\delta P}{\delta z} + \rho \quad (2.3)$$

$$\frac{\delta T}{\delta t} + \vec{U} \nabla T = A_h \nabla_h^2 T + A_v \frac{\delta^2 T}{\delta z^2} + \frac{\delta^2 T}{\delta z^2} \frac{\delta I}{\delta z} \quad (2.4)$$

$$\frac{\delta S}{\delta t} + \vec{U} \nabla S = A_h \nabla_h^2 S + A_v \frac{\delta^2 S}{\delta z^2} \quad (2.5)$$

$$\frac{\delta u}{\delta x} + \frac{\delta v}{\delta y} + \frac{\delta w}{\delta z} = 0 \quad (2.6)$$

$$\rho = \rho(T, S, z) \quad (2.7)$$

Avec u , v et w les composantes horizontales et verticale non turbulentes ou « moyennes » de la vitesse du mouvement, f le paramètre de Coriolis, P est la pression, ρ est la densité de l'eau de mer selon l'hypothèse de Boussinesq. A le coefficient de viscosité turbulente, permettant la fermeture du système (équations RANS simplifiées). S la salinité et T la température.

2.1.2 Les hypothèses et approximations

Pour les conditions aux frontières, les hypothèses de ROMS se basent sur l'approximation de Boussinesq : la densité est constante dans toutes les équations et peut être décomposé tel que $\rho(t) = \rho_0 + \rho_t$.

L'hypothèse hydrostatique : L'équation de mouvement sur la verticale dépend de l'équilibre entre le gradient vertical de pression et la force de pesanteur (eq.2.3).

L'hypothèse d'incompressibilité : La masse volumique du fluide ne varie pas avec la pression (eq.2.7).

Le modèle ROMS utilise, pour la discrétisation de l'équation, une grille-C d'Arakawa, permettant une résolution spatiale fine.

2.2 Initialisation du modèle et mise en place de la zone d'étude

2.2.1 Mise en place de la grille de calcul

L'implantation du modèle se fait en fonction de la zone étudiée. Ici les dimensions de la grille de la zone étudiée sont répertoriées dans le Tab.2.1, la résolution de la grille est de $R = \frac{1}{4}$ de degré et le nombre de niveau sigma est fixé à $N=32$.

TABLE 2.1 – Tableau des longitudes et latitudes prises pour la zone d'étude du Courant Est Australien.

	Longitude	Latitude (°S)
Minimum	146	26
Maximum	165	43

2.2.2 Implantation du modèle

À partir de la zone définie précédemment, la grille d'étude (Fig.2.1) peut être représentée. Sur cette zone les 4 frontières sont ouvertes, car chaque frontière a une ouverture sur un océan. La bathymétrie et la grille sont modélisées à partir du script *make_grid.m*, qui crée une grille orthogonale. La grille obtenue est donc de 32 niveaux verticaux, de 75 mailles en direction méridienne (LLm), de 83 mailles en direction zonale (MMm).

Après la mise en place de la grille, les scripts *make_clim.m* et *make_forcing.m* sont exécutés, afin d'initialiser les conditions climatiques du modèle. Deux fichiers sont alors créés, un définissant les conditions aux frontières et l'autre les conditions initiales. La climatologie utilisée dans ce modèle est la WOA2009, permettant de donner un champ de données initial de température, de salinité et de champs de courant.

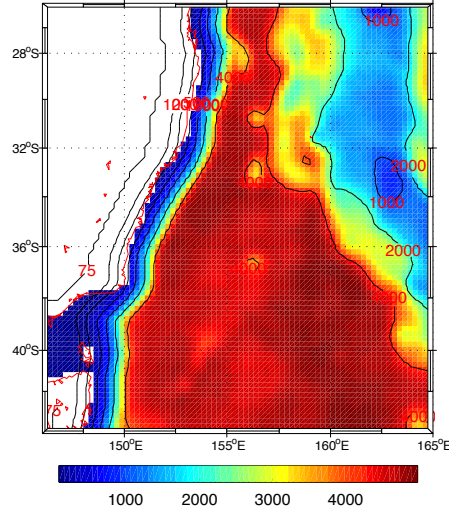


FIGURE 2.1 – Grille de résolution du modèle et sa bathymétrie : Courant Est Australien

2.2.3 Le critère CFL (Courant Friedrichs Levy)

Le critère CFL du modèle est un critère permettant de déterminer la stabilité de la propagation d'un processus à travers le temps et l'espace, afin qu'il ne dépasse pas une maille de calcul par pas de temps. Ce critère doit être inférieur à 10^{-5} . Cette valeur représente le temps de propagation des ondes de gravité, ces ondes étant les ondes se propageant le plus rapidement dans l'océan. Le pas de temps est noté Δt , le pas d'espace Δx et la célérité c .

$$\Delta t \leq \frac{1}{c} \left[\frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (2.8)$$

À partir de l'eq.2.8 et du script *ad_cfl.m*, les pas de temps externe et interne peuvent être déterminés (NDTFAST et dt) ainsi que la durée de simulation (NTIMES) et définis dans les script *roms.in*, *roms.csh* et *roms - inter.in*. Les valeurs sont répertoriées dans le Tab.2.2.

TABLE 2.2 – Mise en place des valeurs des pas de temps à partir du critère CFL

NTIMES	1800
dt (s)	1440
NDTFAST	60
NINFO	1

Une fois toutes ces initialisations terminées, le modèle est lancé pour une simulation de 10 ans sur le cluster du MIO (Mediterranean Institute of Oceanography).

3 Résultats et discussion

3.1 Diagnostique du modèle

Pour connaître la stabilité du modèle, un programme matlab est lancé dans la console afin de visualiser la stabilisation des différents paramètres (Salinité, température, anomalie de volume et d'autres) au cours des 10 années. La Fig.3.1 montre que le modèle est stable dès les premières années (deuxième ou troisième) pour tout les paramètres, à l'exception de la salinité. Ce paramètre ne se stabilise qu'à la septième année. Les paramètres de températures et salinité ne sont pas totalement stables dans le temps, au fil des ans l'écart à la moyenne augmente faiblement à partir de la septième année. Ces deux paramètres étant très sensible, cette instabilité est négligée. Par la suite les analyses seront faites sur la dixième année, pour s'assurer que le modèle soit le plus stable possible.

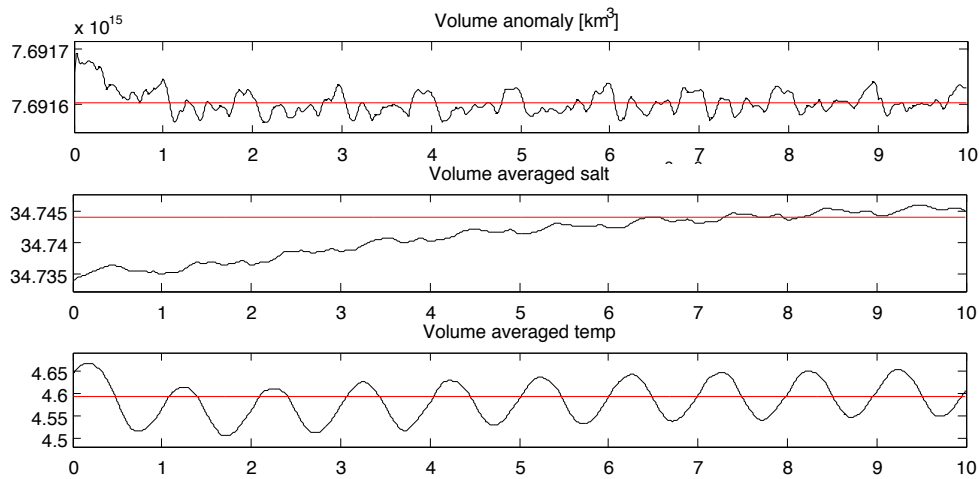


FIGURE 3.1 – Diagnostique du modèle ROMS modélisant le Courant Est Australien (CEA) sur 10 ans, de l'anomalie de volume (km^3), de température ($^{\circ}\text{C}$) et de salinité (PSU)

3.2 Le Courant Est Australien (CEA) et la Mer de Tasman (MT)

Le CEA est un courant s'écoulant entre la Tasmanie et la Nouvelle-Zélande, longeant les côtes Est Australiennes et descendant en MT. Ce courant, connu pour sa représentation dans le film "Le monde de Némó" (2003), apporte des eaux chaudes tropicales (25°C en moyenne) de la mer de Corail vers la mer de Tasman, dont les températures sont plus tempérées (14 à 15°C en moyenne). Sa taille varie entre 15 et 100 km et ce courant se détache en 3 branches principales ; le Front Tasman, une branche sud et une branche nord. Dans l'étude du modèle la branche étudiée sera le Front Tasman. Le CEA représente un possible apport important de chaleur des basses latitudes vers les hautes latitudes.

3.3 Les tourbillons chauds du CEA

3.3.1 Suivi d'un tourbillon chaud sur 6 mois

À partir des résultats du modèle, la trajectoire d'un tourbillon chaud issu du CEA sera suivie afin d'étudier la transmission de chaleur en mer de MT. Le tourbillon est suivi pendant la dixième année de simulation depuis la fin de l'été austral jusqu'au début de l'hiver (janvier à juin). Afin de suivre le tourbillon, le script *roms_gui.m* est utilisé, et le suivi se fait en regardant les graphiques de l'élévation de surface (zeta), puis de la température pour observer le transfert de chaleur.

À partir de la Fig.3.2, il peut être observé un tourbillon, avec une élévation de surface de 0.4m au centre, se déplacer des côtes Australiennes vers la Tasmanie. Tous les 3 mois environ un nouveau tourbillon se forme et quitte le CEA vers la MT, et s'estompe après 40°S de latitude, ce cycle des tourbillons est confirmé par McDonald et *al.*, (2012) qui détermine la variabilité des tourbillons à des tourbillons se détachant du CEA tous les 90 à 180 jours. Sur la Fig.3.3, il peut être observé que le mois où la différence de température entre le tourbillon et la MT est la plus marquée est le mois d'avril, sur la durée étudiée (Janvier à Juin). La différence est de 2°C pour le tourbillon à plus de 40°S de latitude, c'est pour cela que le mois où la trajectoire du tourbillon est étudiée est le mois d'avril.

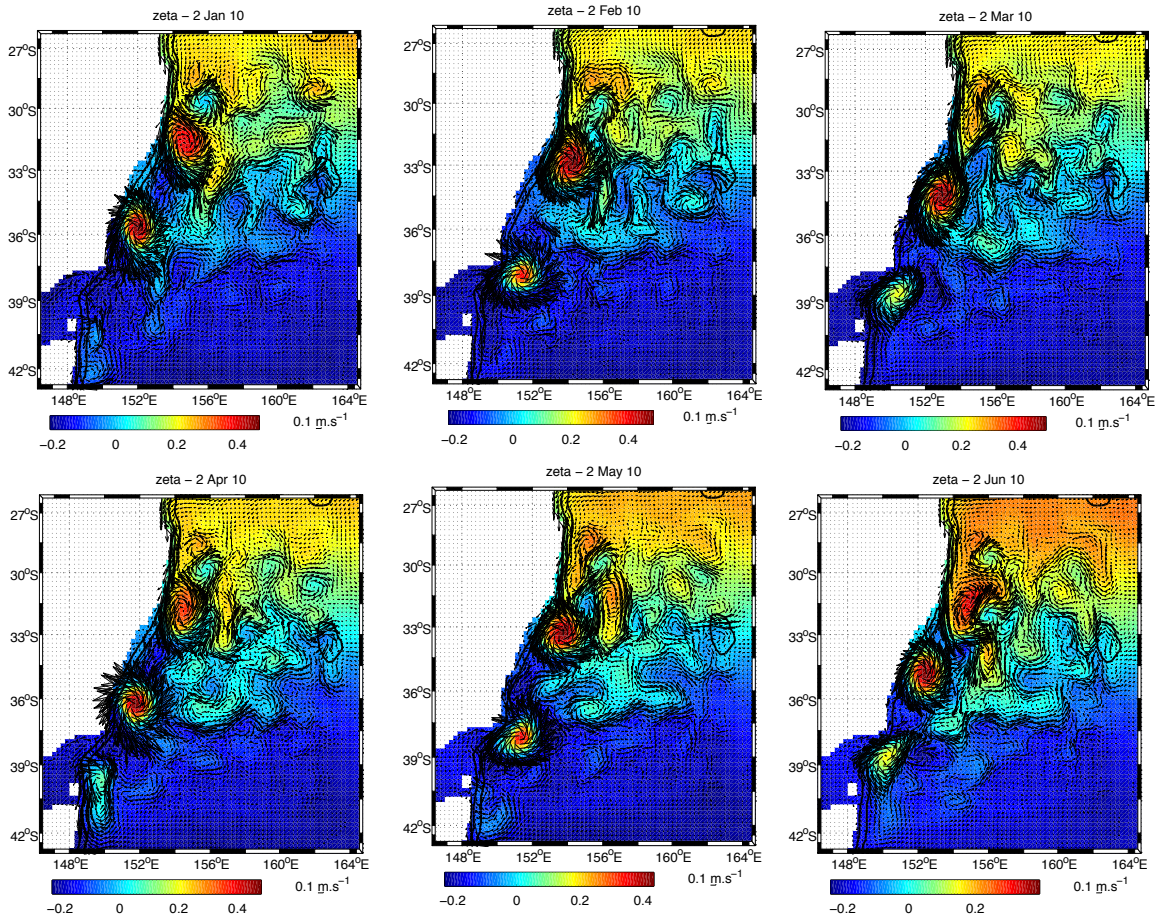


FIGURE 3.2 – Évolution de l'élévation de surface (m) d'un tourbillon chaud du CEA sur 6 mois, de Janvier à Juin de la dixième année de simulation. La taille des vecteurs est de 0.1 m.s^{-1}

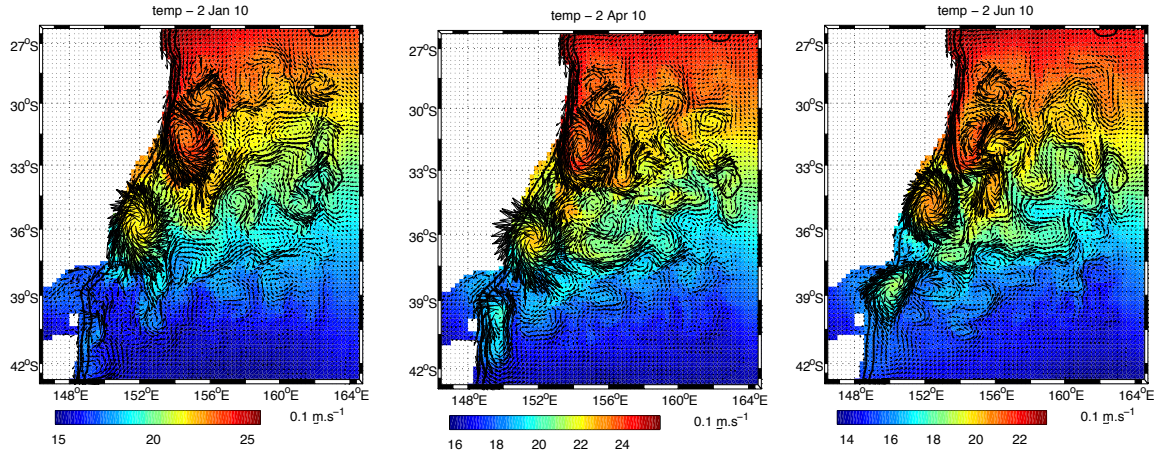
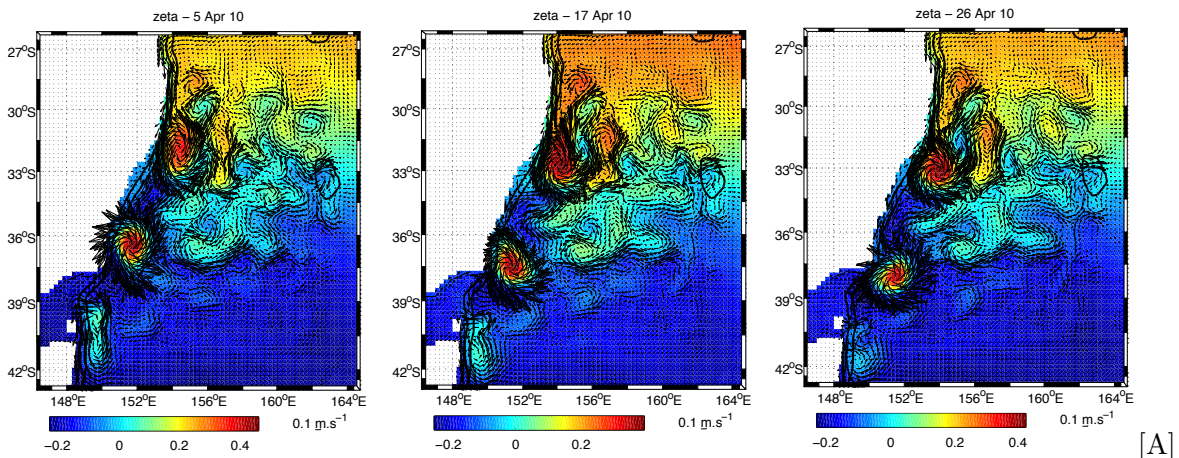


FIGURE 3.3 – Évolution de la température de surface ($^{\circ}\text{C}$) d'un tourbillon chaud du CEA sur 3 mois, Janvier, Avril et Juin de la dixième année de simulation. La taille des vecteurs est de 0.1 m.s^{-1}

3.3.2 Suivi d'un tourbillon chaud sur 30 jours

Il a été vu précédemment que le tourbillon se déplace cycliquement, à chaque début de mois le tourbillon se détache du CEA et se dirige vers la MT, le script *roms_gui.m* permet alors de suivre l'évolution jours par jours de ce tourbillon. D'après la Fig.3.2, il est intéressant de regarder l'évolution du tourbillon entre le mois de mars et le mois d'avril, représentant le mois où l'apport de chaleur peut être le plus intense en Tasmanie Nord-Est (NE). De plus, comme vu dans le paragraphe précédent, la différence de température entre le tourbillon et la MT est la plus grande pendant cette période (Fig.3.3).

Le mois d'avril représente le mois où le tourbillon est le plus longuement présent au dessus de 40°S de latitude (Fig.3.4.A). En effet les autres mois le tourbillon disparaît à la fin du mois aux alentours de 39°S alors qu'en avril il disparaît à plus de 41°S . En avril, le tourbillon se détache du CEA au début du mois, avec une température au centre de 23°C , longe la côte australienne et arrive au NE de la Tasmanie avec une température au centre de 19.5°C , la MT étant à 16°C en moyenne au voisinage de la Tasmanie NE. Le tourbillon représente donc un apport de masses chaudes près des côtes NE de la Tasmanie, avec des différences de 3°C entre le tourbillon et la MT.



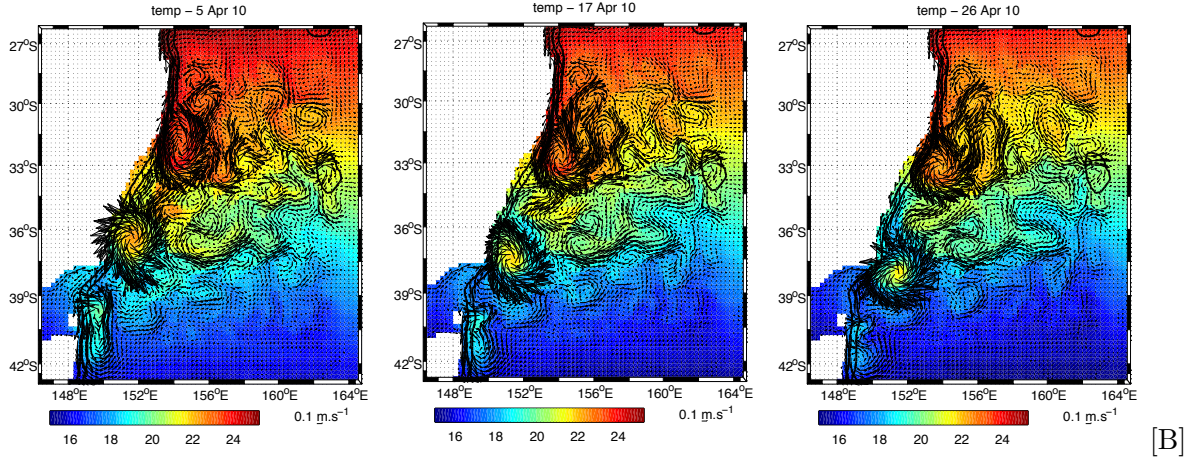


FIGURE 3.4 – Évolution de l’élévation de surface (m) [A] et de la température ($^{\circ}\text{C}$) [B] d’un tourbillon chaud du CEA sur le mois d’avril de la dixième année de simulation. Les simulations sont pour le 05, le 17 et le 26 avril. La taille des vecteurs est de 0.1 m.s^{-1}

3.4 Importance des tourbillons dans la régulation du climat

Les mouvements des masses d’eaux océaniques sont connus pour être des régulateurs de climat et les principaux moteurs de la dispersion de la chaleur des basses vers les hautes latitudes. De nombreuses études à travers les océans ont montré que le transport de chaleur par les tourbillons pouvaient jouer des rôles importants dans la régulation du climat. D’après Roemmich D et Gilson J (1999), la variabilité des tourbillons à travers l’océan Atlantique Nord était le mécanisme dominant dans le changement inter-annuel du transports de chaleur vers l’équateur.

Afin de comparer les données issues de la modélisation de ROMS, l’article de Pilo G.S et *al.* (2015) sera utilisé. L’étude utilise le modèle OFAM3 (Oke et *al.*, 2013) pour étudier les tourbillons anticyclonique du CEA et leurs trajectoires. Elle montre ainsi que 30% des tourbillons se propagent vers le sud, longent la pente continentale, et descendent jusqu’au sud de la Tasmanie. L’article va plus loin, après avoir traversé le sud de la Tasmanie, les tourbillons continuent de se propager au nord-ouest, et se désintègre au sud de la grande baie australienne. À partir de la modélisation de ROMS, es mêmes résultats sont montrés, avec un tourbillon descendant à plus de 41°S . La modélisation effectué sur 1 ans ne montre pas de variations dans les tourbillons au fil des années, de plus les tourbillons disparaissent en Mer de Tasman à des latitudes plus hautes que dans l’article de Pilo G.S et *al* (2015). Peut être cela est du au domaine d’étude de notre modèle, la grille n’étant pas assez grande ou à assez haute résolution. D’autres simulations sur de plus grandes surfaces pourraient être réalisées pour confirmer cette hypothèse.

4 Conclusion

La modélisation de différents courants océaniques par ROMS permet de prédire les mouvements océaniques sur une longue période, et donc de pouvoir anticiper les changements. La modélisation se base sur des données de campagnes océanographiques, et a besoin d'être confirmée par des données expérimentales. Il est donc important de s'assurer de la stabilité du modèle et des différentes prédictions obtenues.

Dans cette étude, l'importance de l'apport de chaleur par les tourbillons du CEA en MT ont été observés. Il a été montré que des tourbillons chauds se détachent du CEA cycliquement, tous les 3 mois, pour se diriger vers la MT. Ces tourbillons s'intensifient selon la période, représentant des différences plus importantes entre leurs centres et les eaux les entourants, avec une intensité plus forte après la fin de l'été austral. Les tourbillons se détachent aux environs de 33°S, et se déplacent jusqu'à 41°S au mois d'avril, en se refroidissant. Arrivé au NE de la Tasmanie les centres des tourbillons ont perdu 6°C en moyenne, mais représente toujours une différence de 3°C avec les eaux environnantes. Cette différence représente donc un apport de chaleur conséquent pour les côtes de Tasmanie.

Bibliographie

Doglioli, A. "Cours de modélisation de la circulation océanique", (2016). p17-18, p21-22, p47.
Jayne, S. R., Marotzke, J. (2002). "The oceanic eddy heat transport". Journal of Physical Oceanography, 32(12), 3328-3345.

Macdonald, H. S., Roughan, M., Baird, M. E., et al. (2013) "A numerical modeling study of the East Australian Current encircling and overwashing a warm core eddy". Journal of Geophysical Research : Oceans, vol. 118, no 1, p. 301-315.MLA

Oke, P. R., et al. (2013). "Evaluation of a near-global eddy-resolving ocean model" Geosci. Model Dev., 6, 591-615, doi :10.5194/gmd-6-591-2013.

Pilo, G. S., Oke, P. R., Rykova, T., Coleman, R., Ridgway, K. (2015). "Do East Australian Current anticyclonic eddies leave the Tasman Sea?". Journal of Geophysical Research : Oceans.

Roemmich, D., Gilson, J. (2001). "Eddy transport of heat and thermocline waters in the North Pacific : A key to interannual/decadal climate variability?". Journal of Physical Oceanography, 31(3), 675-687.

Ridgway, K. R. et Dunn, J. R. (2003). "Mesoscale structure of the mean East Australian Current System and its relationship with topography". Progress in Oceanography, vol. 56, no 2, p. 189-222.