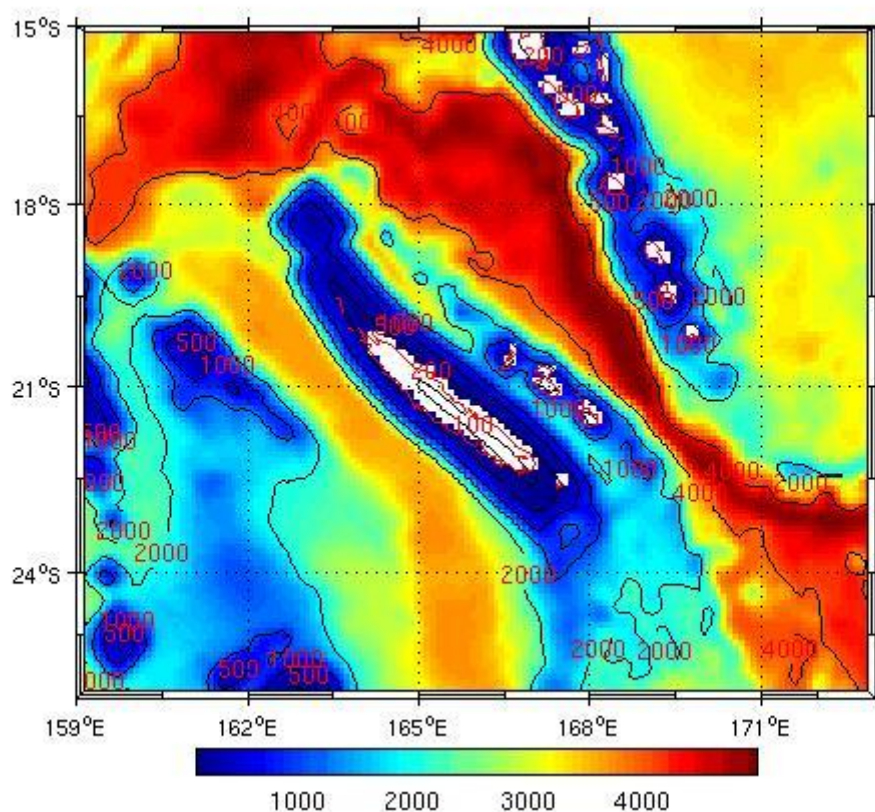


Master océanographie physique et biogéochimique  
OPB205: modélisation de la circulation océanique

## *Application du modèle ROMS sur la Nouvelle -Calédonie*



Jouini Arbia /2015-2016

# Sommaire

I.	Introduction .....	2
II.	Matériels et méthode : .....	3
2.1.	Les équations : .....	3
2.2.	Les Hypothèses : .....	4
2.3.	Approche de Reynolds, termes turbulents et fermeture newtonienne .....	4
2.4.	Conditions aux limites et aux frontières .....	4
2.5.	Discretisation .....	5
2.6.	Critères CFL .....	5
2.7.	Implémentation du modèle à la zone d'étude: .....	5
III.	Résultats et discussion .....	6
3.1.	Stabilité de modèle .....	6
3.2.	Caractéristiques des masses d'eau, variabilité saisonnière et variabilité spatiale : .....	7
3.3.	Étude de l'upwelling : .....	9
IV.	Conclusion : .....	11

## Résumé

Actuellement grâce à des moyens mathématiques utilisés moyennant des logiciels et des outils informatiques performants la modélisation des courants océaniques s'est énormément développée. Des modèles tels que le POM, SYMPHONIE, dans cette étude le modèle utilisé est ROMS (Regional Ocean Modeling System). Les modèles font appel à des atlas mondiaux tels que WOA pour la température et la salinité. Les outputs du modèle appliqués à la nouvelle Calédonie permettent de dégager des tendances générales des caractéristiques du domaine. Il en sort que des eaux chaudes faiblement salées existent au nord en contraste à des eaux nettement plus froides et salées au Sud avec des variations saisonnières notables de la température. Aussi, nous avons adapté le modèle pour l'étude de l'upwelling (phénomène qui entraîne la remontée d'eau) côtier sur la cote ouest de l'île : Ce phénomène est facilement observable dans les outputs du modèle. Enfin, ROMS est un outil efficace pour la détection et la prédiction de telles variations.

## Abstract

Currently using mathematical methods used by means of software and powerful computer tools modeling of ocean currents have grown. Models such as POM, SYMPHONIE, in the case of this study the model used is AGRIF-ROMS (Regional Ocean Modeling System) are used for modeling. The models use global atlas WOA such as for temperature and salinity. The outputs of the model applied to the new Caledonia allow general trends characteristic of the area. We concluded that low salt warm waters north exist in contrast to much more cold and salty waters in the South with significant seasonal variations in temperature. Also, we have adapted the model for the study of upwelling coast on the west coast of the island: This is easily observable in the outputs of the model. Finally, Roma is an effective tool for the detection

# **I. Introduction**

La modélisation océanique reste un outil incontournable pour la compréhension des processus physiques et biogéochimiques des mers et des océans. Appliqués sur une zone océanique bien définie, les modèles permettent d'approcher l'évolution probable et l'attitude des paramètres des processus physiques ou biogéochimiques de la zone à étudier.

L'objectif général de notre étude, était d'appliquer le modèle de circulation océanique régional réaliste ROMS (*Regional Oceanic Modeling System*) sur la Nouvelle Calédonie (zone d'étude).

La nouvelle Calédonie ( $165^{\circ}$  E,  $19^{\circ}$  S- $23^{\circ}$  S) est un archipel situé dans le Pacifique Sud Ouest dont la Grande Terre est entourée par un récif barrière s'étendant du Sud Est au Nord-Ouest sur plus de 800 km. Le vent d'Alizé est le principal régime de cet archipel soufflant de manière à la cote (particulièrement la cote Ouest) et responsable de l'upwelling surtout durant l'été austral.

La région décrite est sous l'influence de deux courants : Est Australien (EAC) et le Sub-équatorial (SEC) qui vont agir sur la variabilité saisonnière des caractéristiques des masses d'eau de surface.

Dans ce présent travail, le principal objectif est d'étudier la variabilité saisonnière de la température et de la salinité des eaux de surface ainsi que l'upwelling côtier le long de la côte ouest du domaine. Les résultats du modèle seront par la suite validés par des observations in situ et des images satellitaires.

## II. Matériels et méthode :

Plusieurs model numériques sont actuellement proposés à savoir le model unidimensionnels, le bidimensionnels et le tridimensionnelles. Le modèle ROMS est model tridimensionnel « Free Surface Models » permettant de simuler l'évolution des courants d'une région de l'océan en fonction de différents types de forçages. Afin de pouvoir simuler l'évolution de ces courants, le modèle résout les équations Reynolds Averaged Navier-Stokes equation (RANS), l'équation de continuité, les équations de conservation de la chaleur et du sel ainsi que l'équation d'état de l'eau de mer.

### 2.1. Les équations :

- Équations de mouvements :

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

- Équation de continuité :

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

- Équations de conservation de la chaleur et du sel :

$$\begin{aligned}\frac{\partial T}{\partial t} + U \cdot \nabla T &= A_h \nabla_h^2 T + A_v \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{Q_c}{\rho C_p} \frac{\partial I}{\partial z} \\ \frac{\partial S}{\partial t} + U \cdot \nabla S &= A_h \nabla_h^2 S + A_v \frac{\partial^2 S}{\partial z^2}\end{aligned}$$

- Équation d'état de l'eau de mer :

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

Avec :

- $u$ ,  $v$  et  $w$  les composantes horizontales et verticales de la vitesse (composantes moyennées).
- $f$  est le paramètre de Coriolis, dans notre cas nous ferons une **approximation de plan**  $f$  où  $f=f_0=2\Omega \sin \phi_0$

- $A_h$  et  $A_v$  les coefficients de viscosité horizontaux et verticaux

## 2.2. Les Hypothèses :

Les équations hydrodynamiques de ROMS sont déterminées par trois types d'hypothèses:

- **Hypothèse hydrostatique:** l'équation de mouvement sur la verticale est réduite à un équilibre entre force de gravité et gradient vertical de pression.
- **Hypothèse de Boussinesq :** si les variations de la densité sont petites, elle est considérée constante dans tous les termes des équations à l'exception du terme de gravitation
- **Hypothèse de l'incompressibilité :** le volume de fluide reste constant sous l'action d'une pression externe.

## 2.3. Approche de Reynolds, termes turbulents et fermeture newtonienne

Les trois derniers termes qui apparaissent dans les équations de Navier-stokes sont des termes associés à la turbulence de l'écoulement, qui sont des termes indéterminés et qui vont donc empêcher la résolution des équations. Ces termes seront réécrits pour introduire des coefficients de viscosité turbulente à partir des équations de "fermeture" en utilisant l'hypothèse de fermeture newtonienne (relation entre les flux turbulents et les gradients verticaux des paramètres non turbulents), et les équations ainsi obtenues sont donc les équations RANS discrétisées par le modèle ROMS.

## 2.4. Conditions aux limites et aux frontières

Les conditions aux limites sont fixées pour chaque variable (température, salinité, vitesse de courant, surélévation) à la surface libre, au fond et aux frontières.

*En surface ( $z = \eta$ ) :* La vitesse est calculée en considérant la tension de surface, dus aux forçages du vent. Le flux de chaleur sont déterminés en prenant en compte la chaleur massique et le transfert thermique. La salinité est déterminée en fonction de l'évaporation et les pluies.

*Au fond ( $z = -h$ ) :* La vitesse de courant est calculée à partir de la masse volumique de l'eau et de la vitesse du courant le plus proche du fond. Les flux de chaleur et de sel sont considérés comme nuls.

*Aux frontières :* les frontières sont considérées comme ouvertes si il y a de l'eau et fermées aux côtes. En effet en cas de frontières fermées le modèle considère un flux normal nul à la

cote, et si les frontières sont fermées, le modèle re-calcul des conditions à la frontière tous les 15 jours de simulation.

## 2.5. Discrétisation

*Discrétisation spatiale* : Des coordonnées curvilignes sont utilisés avec une grille décalée type Arakawa C, et sur la verticale, se sont les coordonnées  $\sigma$  qui sont utilisés. Ces coordonnées permettent de varier la résolution aux endroits voulus,

*Discrétisation temporelle* : la méthode de *splitting* a été choisie. En effet, le modèle décrit dans le temps la résolution sur l'horizontale qui est en 2D (rapide) et la résolution sur la verticale qui est en 3D (lent).

## 2.6. Critères CFL

Les critères CFL (Courant Friedrichs-Levy) , sont des critères de stabilité reliant la résolution spatiale et la résolution temporelle permettant ainsi de déterminer un pas de temps optimal et adapté au modèle et à la grille. Le pas de temps et le pas dans l'espace sont donc liés par la vitesse de l'évènement :

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

## 2.7. Implémentation du modèle à la zone d'étude:

L'application du modèle à la zone d'étude nécessite l'énumération les paramètres spatiaux et temporels appliqués au domaine. Le tableau 1 regroupe les données qui ont été utilisées :

**Tableau 1: Paramètres d'implémentations pour la Nouvelle-Calédonie**

Paramètres	Implémentation Nouvelle-Calédonie
Longitude (°E) Min ; Max	159 ; 171
Latitude (°S) Min ; Max	15 ; 24
Résolution en °	1/10
LLm - MMm	139 ; 117
Nombre de couches verticales	32
Frontières latérales ouvertes	N - S - E - O

Le Tableau 2 regroupe les paramètres d'incrémentation : NTIMES est le nombre de boucle temporelle pour les équations 3D, NDTFAST le nombre de boucle 2D dans chaque boucle 3D et dt représente le pas de temps en seconde pour les équations 3D. dt a été déterminé à partir des critères CFL vue précédemment.

**Tableau 2: Paramètres d'incrémentation**

NTIMES	dt (seconde)	NDTFAST
3600	720	60

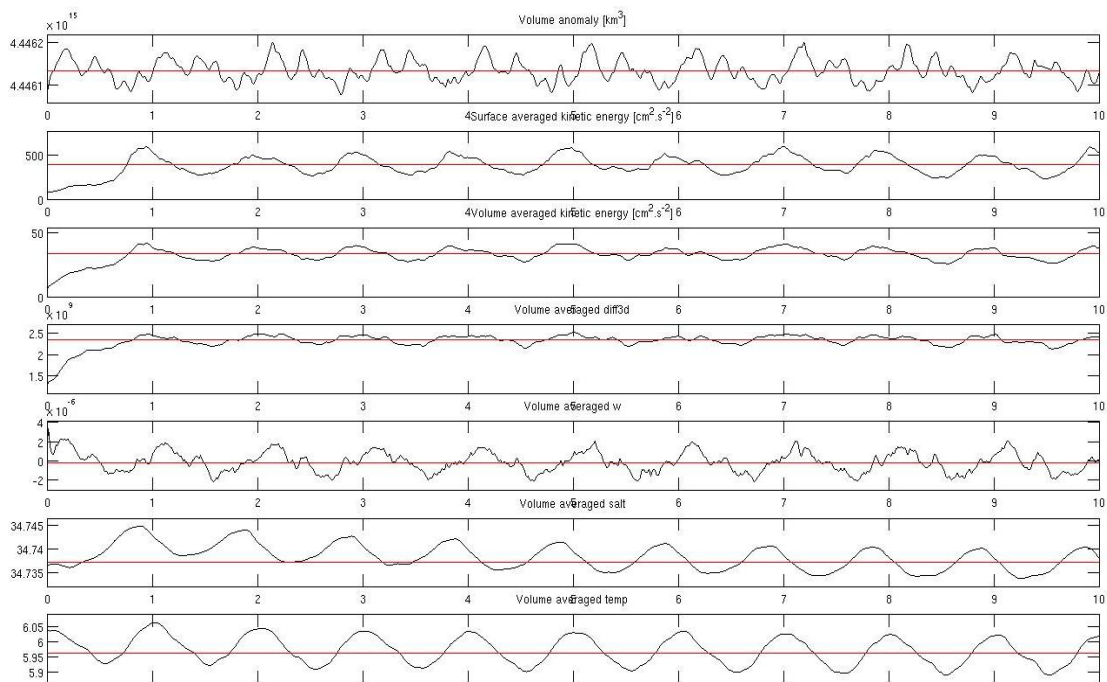
Après avoir adapté le modèle à notre zone d'étude, la simulation peut être pratiquée sur une ou plusieurs années. Dans notre cas , la durée de simulation a été fixée à 12 mois de 30 jours pendant 10 ans. Les sorties sont enregistrés tous les 3 jours durant toute la période de simulation.

### **III. Résultats et discussion**

#### **3.1. Stabilité de modèle**

Le diagnostic des paramètres moyennés permet de déterminer le moment à partir duquel le modèle est stabilisé. Ainsi le modèle est considéré comme stable si après une légère variation d'un paramètre celui ci va tendre vers sa valeur moyenne d'équilibre. Les variables diagnostiques ont été représentées sur la figure 1. L'énergie cinétique moyennée sur le volume montrait une évolution jusqu'à la 2ème année avant de présenter des variations constantes jusqu'à la fin de la simulation. Ainsi il sera considéré que le modèle est stable à partir de la 2ème année de simulation (Figure 1).





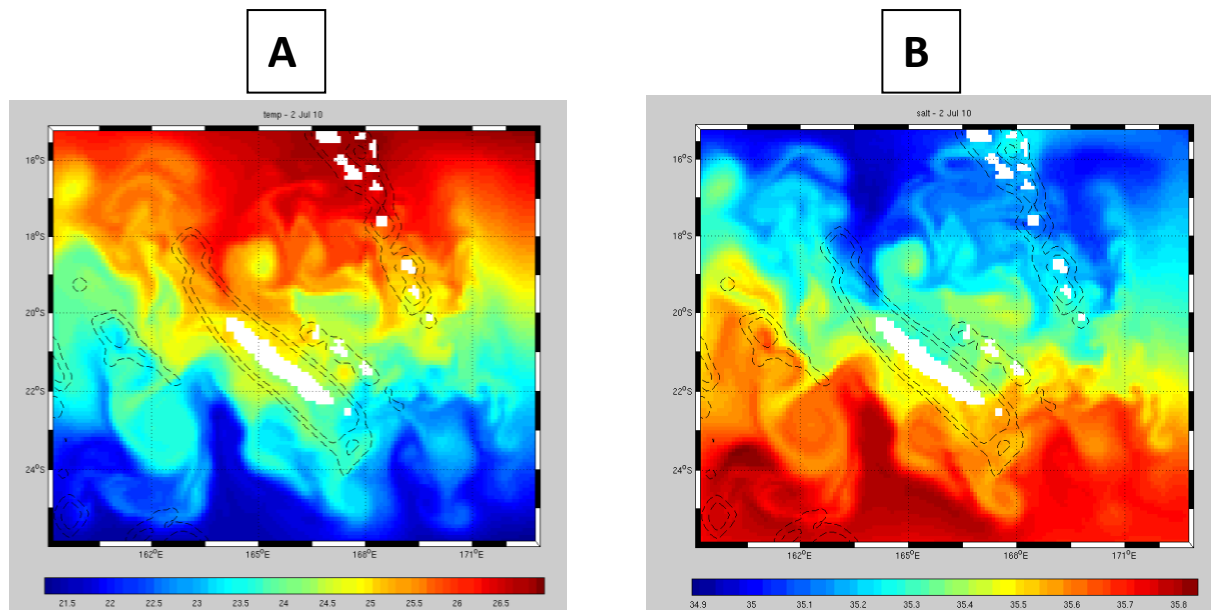
**Figure 1 : Diagnostic du modèle**

### **3.2. Caractéristiques des masses d'eau, variabilité saisonnière et variabilité spatiale :**

La représentation de la température et de la salinité sur des cartes permet de mettre en évidence les caractéristiques des masses d'eau dans cette région. D'après les résultats, il apparaît qu'une variation de la température de surface entre 28,5°C pour les eaux les plus au Nord et 24°C pour les régions les plus au Sud pour la saison d'été et de 26°C à 22.5°C respectivement pour les eaux du Nord et les eaux de Sud pour la saison Froide. Cependant la salinité des eaux de surface ne présente pas de variabilité saisonnière, le maximum et le minium sont respectivement de l'ordre de 35.8 et 34.8 quelque soit la saison. Cette différence de variabilité saisonnière entre les deux paramètres semble plutôt bien correspondre avec les observations citées dans la littérature notamment dans le travail de Hénin et al 1984. Nous pouvons noter que la gamme des valeurs de la salinité est la même entre ces deux études, en revanche la gamme de température en surface sont différentes des données satellitaires (satellite NOAA), en fait le modèle décrivait des températures d'été légèrement froides à celles obtenues par satellite.

D'une manière générale on peut bien voir que les eaux au nord sont chaudes et moins salées par rapport aux eaux de sud qui sont froide et plus salées dépendant de la variabilité saisonnière de deux grands systèmes de courant , au sud, Courant Sub-équatorial (SEC) qui amène de l'eau froide et saline et au nord du Courant Sub-équatorial (SEC), qui amène de l'eau d'origine équatoriale, chaude et peu saline .

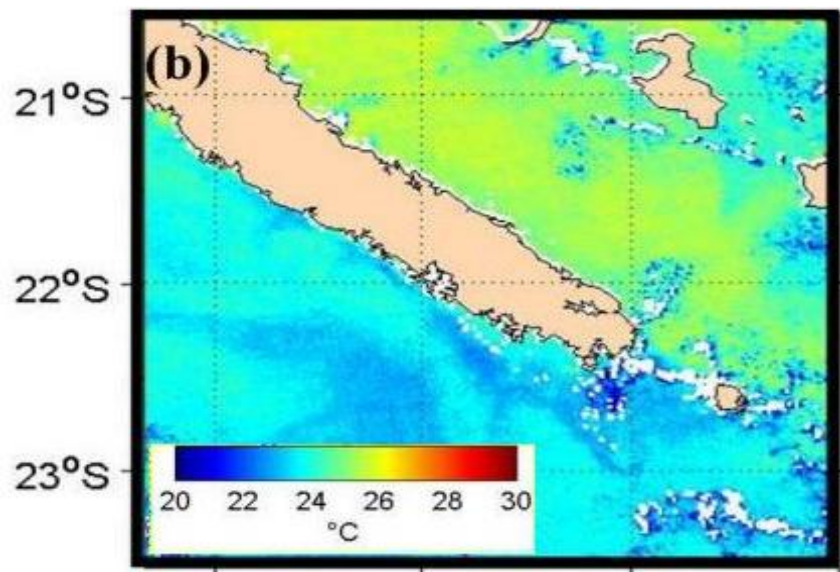
Les variations les plus notable de température et de salinité au niveau de la zone d'étude sont les variations le long des côtes Est et Ouest représentatives de la circulation de masses d'eau différentes entre ces deux régions. La salinité comme la température, montre bien ce contraste entre les côtes Est et Ouest. La côte Est représente des eaux moins salées que la côte Ouest. Pour représenter ces variations, la température et la salinité du mois de juillet de l'année 10 ont été prises comme exemple (Figure 2).



**Figure 2: Variation de la SST (a) et SSS (B) pour le mois de Juillet de l'année 10**

Dans des conditions de vents favorables à l'upwelling côtier de la cote Est, ce contraste devient plus remarquable. La côte Est reste entièrement tapissée par des eaux plus chaudes alors que la moitié de la côte Ouest devient tapissée par des eaux froides (figure4).

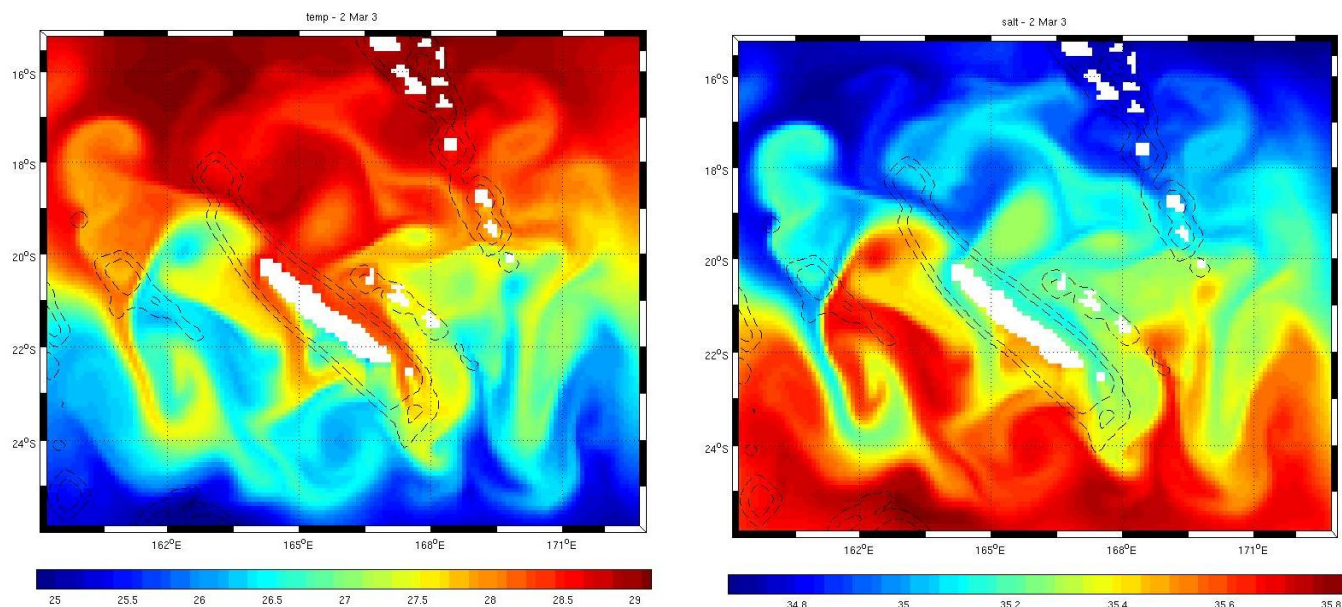
Les images satellitaires de température en surface (SST AVHRR) en condition d'absence d'upwelling provenant d'une étude de Alory et al (2006) (figure 3) viennent donc appuyer la fiabilité des sorties du modèle.



**Figure 3: Observation satellitaire de température en surface (SST AVHRR) en condition d'absence d'upwelling**

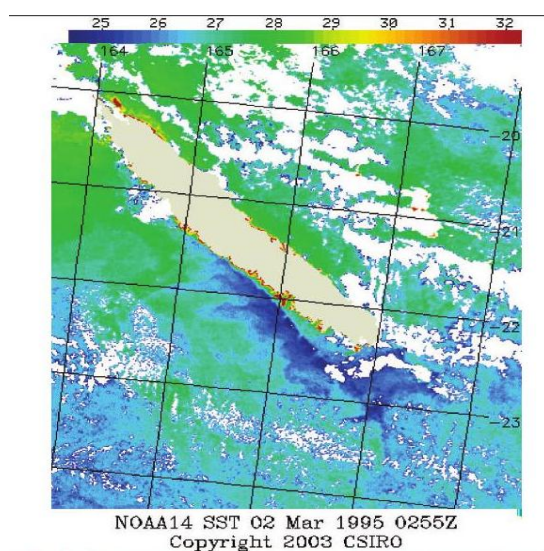
### **3.3. Étude de l'upwelling :**

Les cartes de températures obtenues par le modèle montraient la présence d'un upwelling au Sud-ouest de la nouvelle Calédonie. Cet upwelling est clairement observé durant la saison d'été et disparaît durant la saison froide. En effet, la distribution de la température en surface décrivait une diminution le long de la partie sud de la côte Ouest. Alors que la température atteignait des valeurs inférieures de l'ordre de 5°C par rapport aux températures des eaux qui l'entourent. Cette zone de refroidissement s'étend de la pointe sud de la côte ouest de l'île jusqu'à 21°S. Ce fait est aussi confirmé par une augmentation de la Salinité au même endroit. Pour représenter ces variations aussi bien de la température que de la salinité du mois de Mars de l'année 10 ont été prises comme exemple.(Figure 3)



**Figure 4: Variation de la SST (a) et SSS (B) pour le mois de Mars de l'année 10 (durant la période d'upwelling)**

Pour valider les résultats du modèle, ces derniers sont comparés à des images de SST du satellite NAOO pour le 02 Mars 1995 (Figure 4).



**Figure 5: Observation satellitaire de SST pour le 02 Mars 1995 durant l'upwelling**

Durant l'été 1995, les images satellite permettent d'observer un upwelling qui s'étendait jusqu'à 10 km de large et jusqu'à 100Km vers le large, longeant la partie Sud de la cote

Ouest de l'île et se fane vers le nord, pratiquement dans le même endroit que l'upwelling observé par les sorties de ROMS. Les images satellite viennent donc appuyer la fiabilité des sorties du modèle, de plus la valeur de température des deux sorties semble être la même environ 25°C. Selon Hénin et Cresswell 2005, ce refroidissement au niveau de la côte est formé suite à une période du vent fort (vent de Sud-est) dont l'intensité favorable est de entre 5 à 20 m/s . Ces images satellitaires de SST ont bien montré que l'upwelling ne se produit qu'entre Octobre et Mars et en dehors de cette période l'intensité du vent Sud-est s'affaiblit et donc il y aura une progression des eaux chaudes du nord vers le Sud.

#### **IV. Conclusion :**

Les paramètres obtenus avec ROMS comparés avec ceux présentés dans la littérature et obtenus par satellite concordent bien. Le modèle semble donc représenter de manière fiable les phénomènes observables sur la côte Ouest de la nouvelle Calédonie ainsi que la variabilité saisonnière de SST et SSS. Il a permis de mettre en évidence la présence de l'upwelling côtier, repérer de telles structures grâce à un modèle peut s'avérer très utile car les upwellings correspondent à une remontée de sel nutritif des couches profondes permettant un fort développement biologique.

## Référence :

G.Alory, A. Vega, A. Ganachaud, M. Despinoy, **Influence of upwelling, subsurface stratification, and heat fluxes on coastal sea surface temperature off southwestern New Caledonia**, J. Geophys. Res., (2006)

C. Hénin, G. Cresswell ,**Upwelling along the western barrier reef of New Caledonia** ,Mar. Freshw. Res., (2005)

C .Henin, J.-M. Guillerm et, L. Chabert, **Circulation superficielle autour de la Nouvelle-Calédonie** Oceanogr. Trop(1984)