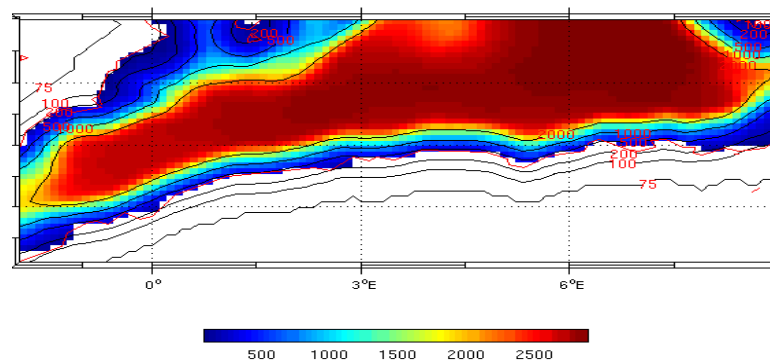


Modélisation de la méditerranée occidentale avec ROMS : Cas du bassin algérien

Master I Océanographie Physique et Biogéochimique

UE (OPB205) : Modélisation de la Circulation Océanique



Fait par :

NGABOL ETUM Freddy

Le 28/04/2017

Promotion:2016-2017

Encadré par :

Andrea M. Doglioli

## Résumé

Les modèles numériques sont d'une importante capitale en océanographie. Ils représentent de manière réaliste différents processus physiques et biogéochimiques de l'Océan. Pour cette étude, le modèle utilisé est le Regional Ocean Model System (ROMS). On l'a appliqué dans le bassin algérien pour la circulation générale des masses d'eau en méditerranée occidentale. Des simulations ont été faites sur une période de dix ans pour vérifier la stabilité du modèle ; l'intérêt a été porté sur la dixième année considérée comme la plus stable. Les résultats de ces simulations sont comparés à ceux trouvés dans la littérature. Ces résultats montrent la circulation anticyclonique au centre du bassin algérien dont les caractéristiques des eaux correspondent à celles des eaux levantines intermédiaire (LIW), l'instabilité du courant algérien le long de la côte algérienne où une grande partie est dominée par les tourbillons anticycloniques.

Mots clés : Tourbillon, courant, modèle, bassin algérien, ROMS

## Abstract

The Numerical models are an important capital in oceanography. They represent realistically different physical and biogeochemical processes of the ocean. For this study, the model used is the Regional Ocean Model System (ROMS). It has been applied in the Algerian basin for the general circulation of water bodies in the western Mediterranean in general. Simulations were carried out over a period of ten years to verify the stability of the model; The interest was placed on the tenth year considered to be the most stable. The results of these simulations are compared with those found in the literature. These results show the anticyclonic circulation in the center of the Algerian basin, the water characteristics of which correspond to those of intermediate levantine waters (LIW), the instability of the Algerian current along the Algerian coast where much of it is dominated by anticyclonic vortices.

Key Words: Tourbillon, current, model, Algerian basin, ROMS

## Sommaire

1	Introduction .....	4
2	Généralité sur la Méditerranée .....	5
2.1	Structure actuelle de la méditerranée .....	5
2.2	Description et circulation des masses d'eau dans la méditerranée Occidentale .....	5
2.2.1	Description .....	5
2.2.2	Circulation de l'eau atlantique modifié (MAW) .....	6
2.2.3	Circulation de l'eau levantine intermédiaire (LIW) .....	7
3	Matériels et Méthodes .....	8
3.1	Le modèle ROMS (Regional Ocean Model Sytem) .....	8
3.2	Les équations primitives du modèle.....	8
3.3	Les approximations du modèle .....	9
3.4	Utilisation du modèle dans le domaine d'étude .....	9
3.4.1	Mise en place et préparation du modèle.....	9
3.4.2	Implantation du modèle.....	10
3.4.2.1	La résolution spatiale.....	10
3.4.2.2	Résolution temporelle .....	11
3.4.3	Les forçages, conditions initiales et aux frontières.....	13
4	Résultats et Discussion.....	16
4.1	Diagnostic du modèle.....	16
4.2	Les tourbillons dans le bassin algériens. ....	17
4.3	Eau levantine intermédiaire dans le bassin algérien (LIW) .....	21
4.4	Variation saisonnière de la température et la salinité .....	22
5	Conclusion.....	25

## 1 Introduction

---

Au fil des années, le monde scientifique a connu d'énormes progrès en informatique grâce au super ordinateur mis à leur disposition. Ces progrès ont permis de développer différents modèles numériques de la circulation océanique pour la compréhension et la maîtrise des divers processus physico-chimiques de l'Océan. Ces modèles océaniques peuvent simuler d'une manière réelle différents phénomènes physiques de l'océan sur une zone bien définie et de prédire les comportements de certains paramètres physiques et biogéochimiques dans un intervalle de temps choisi.

Pour la réalisation de ce travail, le modèle utilisé est ROMS (Regional Ocean Model System). Il a été appliqué dans le bassin algérien qui occupe une grande partie du sud de la Méditerranée occidentale et qui représente une voie d'accès des eaux d'origine atlantique vers le bassin occidental.

En effet, à Gibraltar, les eaux de la Méditerranée et de l'Atlantique se croisent. Les eaux atlantiques entrent en surface dans la Méditerranée et les eaux Méditerranéennes, plus denses, sortent dans l'Atlantique par le fond du détroit en formant une veine d'eau méditerranéenne. Dans certaines conditions, cette veine donne naissance à des tourbillons qui vont ensuite se propager à travers l'Atlantique. Ce sont les Meddies -Méditerranéen Eddies, ou lentilles d'eau.

L'étude du tourbillon algérien dans sa partie occidentale (Milot, 1987) a permis de proposer des régimes revisités de la circulation des masses d'eau dans la Méditerranée occidentale. Au cours de cette étude, les tourbillons dans le bassin algérien sont censés d'être en mesure de modifier localement des chemins, et offrir une explication cohérente dans les observations in situ (Doglioli, 2010). Dix ans après, des observations supplémentaires ont permis de compléter les systèmes de circulation des masses d'eau mais en 2003, une nouvelle enquête dans le bassin algérien a été faite (Expérience ELISA) dans le but de préciser la structure des tourbillons algériens et leur rôle dans l'embarquement LIW loin de la veine.

L'objectif de ce travail est en premier lieu l'application d'un modèle numérique ROMS sur le bassin Algérien afin de visualiser plusieurs phénomènes physiques et biogéochimiques et en second lieu comparer les résultats obtenus par ROMS avec ceux de la littérature.

A cet effet, le travail sera présenté de la manière suivante :

2- Généralités : Ici, on parlera de la Méditerranée d'une manière globale et des notions de bases sur la circulation des masses d'eau.

3- Matériels et méthodes : On parlera du modèle et différentes manipulations effectuées pour notre zone d'étude.

4- Résultats et discussion : On présentera les résultats obtenus par le modèle, les interpréter et les comparer avec ceux obtenus dans d'autres campagne océanique

5- Conclusion : Donner un avis sur le modèle, et proposer d'autres perspectives.

## 2 Généralité sur la Méditerranée

### 2.1 Structure actuelle de la méditerranée

La méditerranée, du latin « Médius terrae », qui signifie « mer au milieu de terre », est bien une mer au sens défini par les océanographes qui veut dire : une étendue d'eau salée, profondément engagée dans l'intérieur du continent, et qui communique par un ou plusieurs détroits avec l'océan. En effet, elle est enserrée dans les reliefs tourmentés, dont les seules liaisons sont le détroit de Gibraltar (son ouverture avec l'océan atlantique est de 14km de large), les détroits de Dardanelles et du Bosphore, avec la mer Rouge. Sa longueur est de 3800 Km, sa largeur maximale est de 1600 Km, et sa surface est évaluée à 2511000 Km<sup>2</sup>, soit environ 5 fois la surface de France. La Méditerranée est une mer profonde ; Sa profondeur moyenne est de 1500 mètres. Elle est divisée en grands bassins, l'un situé à l'est appelé Méditerranée orientale et l'autre situé à l'ouest appelé Méditerranée Occidentale. Pour cette étude, on s'intéresse au bassin occidental, en particulier le bassin algérien.

### 2.2 Description et circulation des masses d'eau dans la méditerranée Occidentale

#### 2.2.1 Description

La mer Méditerranée occidentale s'étend sur environ 2000 km d'Est en Ouest entre le détroit de Gibraltar à 5 °W et le détroit de Sicile situé au-delà de 10 °E. Du sud au Nord, elle est comprise entre 35 °N et 45 °N, soit une largeur maximale de 900 km entre la France et l'Algérie (figure.1.). Ce bassin est couramment subdivisé en 5 sous bassins : à l'Ouest la mer d'Alboran puis le bassin algérien avec plus au nord la mer des Baléares et le bassin nord, composé lui-même de la mer Ligure, du golfe du Lion et de la mer catalane. Enfin, à l'est de la Corse et de la Sardaigne, se trouve la mer Tyrrhénienne.

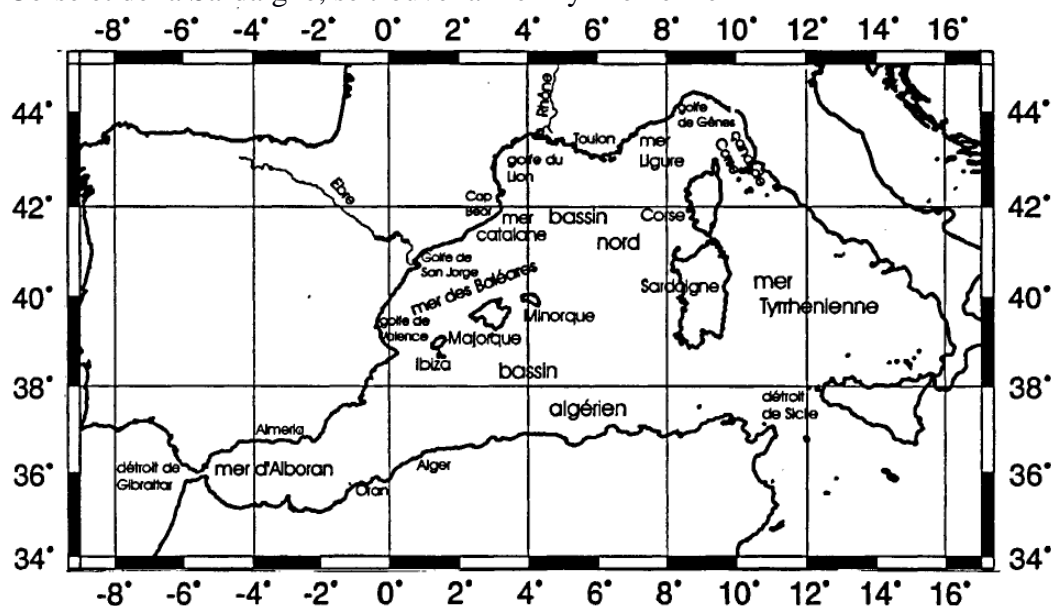


Figure.1. Situation du bassin méditerranéen occidental et position des différents lieux cités. Schéma tracé à l'aide de Generic Mapping Tools (Wessel et Smith, 1995).

La différence de densité entre le bassin méditerranéen occidental d'une part et les bassins atlantique et méditerranéen oriental d'autre part est responsable des transports moyens au travers des détroits de Gibraltar et de Sicile et contribue au forçage de la circulation cyclonique des masses d'eau superficielle et intermédiaire sur l'ensemble du bassin occidental (Lacombe et Tchernia, 1972 ; Millot, 1987, 1991).

C'est un des moteurs principaux de la circulation en Méditerranée dû au fait que les pertes d'eau douce par évaporation sont supérieures au gain d'eau douce obtenu par précipitation, débit des fleuves et échange avec la mer Noire très peu salée. Dans le bassin ouest, ce déficit en eau douce, ou autrement dit ce gain en salinité, conduit à une transformation de la masse d'eau atlantique en une masse d'eau plus salée et plus dense, l'eau méditerranéenne.

Le deuxième moteur responsable de la circulation et de la modification des masses d'eau en Méditerranée occidentale est le vent.

Il reste à noter que les courants de densité et vents n'entraînent pas l'ensemble de la colonne d'eau. La dynamique de la circulation est différente selon le lieu où l'on se trouve et la profondeur. Mais d'une manière générale, la Méditerranée occidentale est caractérisée par 3 masses d'eau d'origine variée et de comportements spécifiques qui sont :

- ✓ L'eau atlantique modifiée ou MAW (modified Atlantic water) : En surface
- ✓ L'eau levantine intermédiaire ou LIW (Levantine intermediate water) : A mi-profondeur
- ✓ L'eau méditerranéenne profonde ou WMDW (Western Mediterranean deep water) : Au fond

### 2.2.2 Circulation de l'eau atlantique modifié (MAW)

Cette eau, d'origine atlantique pénètre en surface dans le bassin méditerranéen par le détroit de Gibraltar. Les mécanismes de cette circulation sont davantage dus à la différence de salinité entre l'eau atlantique et l'eau méditerranéenne (Tintoré *et al.*, 1988 pour la mer d'Alboran ; Perkins et Pistek, 1990 pour le courant algérien) qu'aux effets du vent. Cette masse d'eau circule principalement dans les zones côtières d'Ouest en Est tout d'abord pour ensuite remonter vers le nord en un circuit cyclonique dans le bassin occidental (figure .2.). Tout au long de son parcours, elle se densifie dans le bassin par évaporation ou refroidissement entraînant ainsi l'augmentation de sa salinité, initialement à 36,6 psu pour atteindre 38,3 psu au détroit de Sicile. A cet effet, sa densité augmente aussi. L'écoulement de l'eau atlantique modifiée d'Ouest en Est, qui progressivement s'approfondit de 20 à 50 m, peut être repéré par un minimum de salinité, signature de son origine atlantique (Lacombe et Richez, 1982).

Après avoir franchi le détroit de Gibraltar, l'eau atlantique modifiée forme deux tourbillons anticycloniques dans la mer d'Alboran (Lanoix, 1974 ; Gascard et Richez, 1985). Le tourbillon occidental existe la plupart du temps tandis que le tourbillon oriental existe qu'occasionnellement (Millot, 1987).

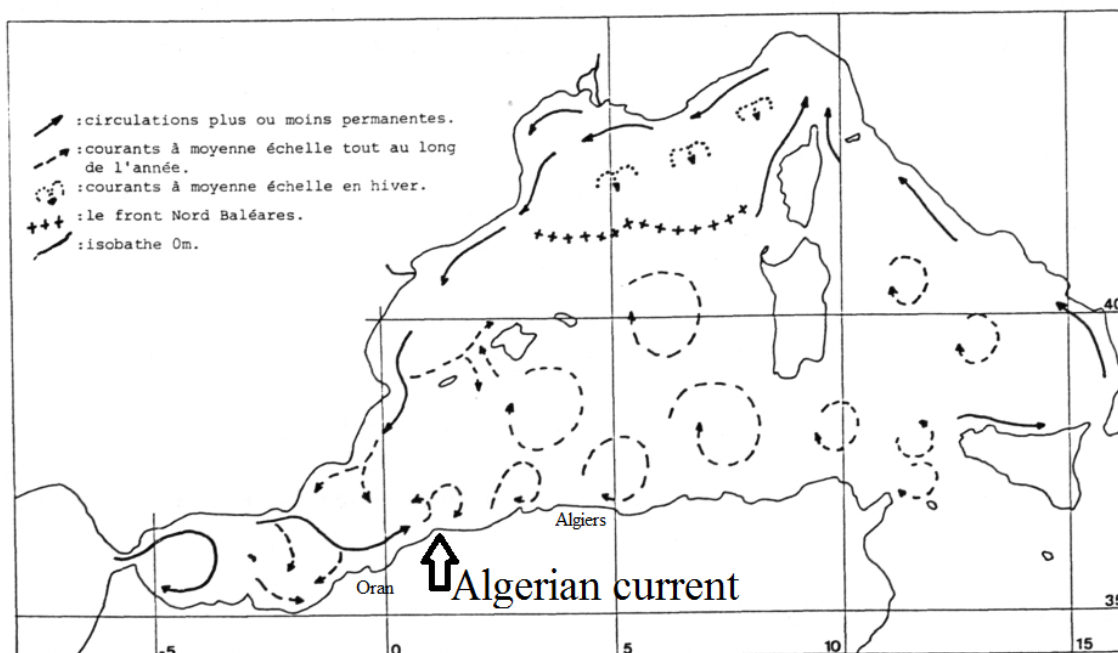


Figure.2. Circulation de l'eau atlantique modifiée (Millot, 1987).

### 2.2.3 Circulation de l'eau levantine intermédiaire (LIW)

Cette eau est le résultat de la convection hivernale aux alentours de Rhodes et de Chypre et probablement dans d'autres zones de la mer Levantine en Méditerranée orientale (Morcos, 1972). En effet, l'évaporation et le refroidissement qui se densifient dans certaines zones de la Méditerranée provoquent des mouvements verticaux de plongée d'eau, générant de nouvelle masse d'eau (Dufau-Julliand, 2004), d'où la formation de LIW. A sa source, la LIW se situe entre 150 et 400 m de profondeur, est caractérisée par une température comprise entre 15 et 16°C et une salinité s'étalant de 38,95 psu à 39,05 psu. Cette eau chaude et salée pénètre dans le bassin Ouest par le détroit de Sicile, suit un circuit cyclonique et en sort par le détroit de Gibraltar. Elle s'écoule alors entre 300 et 700-800 m de profondeur (La Violette, 1994). Ses limites en profondeur atteignent 1300 m en mer Tyrrhénienne ainsi que le long des côtes Ouest de la Sardaigne et de la Corse mais seulement 800 m au Nord de la Corse. Elle est ensuite repérable à 400-500 m de profondeur en mer d'Alboran (Miller, 1983).

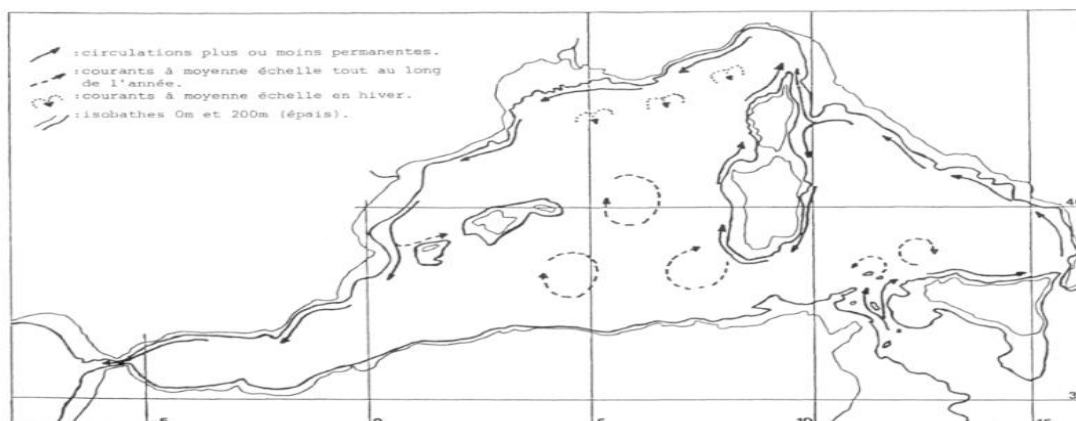


Figure.3. Circulation de l'eau levantine intermédiaire (Millot, 1987).



### 3 Matériels et Méthodes

#### 3.1 Le modèle ROMS (Regional Ocean Model Sytem)

Le modèle numérique d'hydrodynamique côtier ROMS (Regional Ocean Model System) est un modèle tridimensionnel qui permet le calcul des variables physiques de l'océan dont la température, la salinité, les vitesses de déplacement, l'élévation de la surface libre mais aussi de variables dérivées comme l'énergie cinétique, la densité, la vorticité, la fonction courant... Ce modèle fait partie des modèles numériques « nouvelle génération » utilisant des schémas numériques ainsi que des paramétrisations de qualité.

#### 3.2 Les équations primitives du modèle

Elles sont composées respectivement des équations de Navier Stokes, de conservation de la température et de la salinité, et de l'équation d'état de l'eau de mer proposée par l'UNESCO.

- Equation du mouvement horizontal

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial P}{\partial x} + f v - \frac{\partial \overline{u'u'}}{\partial x} - \frac{\partial \overline{u'v'}}{\partial y} - \frac{\partial \overline{u'w'}}{\partial z} \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial P}{\partial y} - f u - \frac{\partial \overline{v'u'}}{\partial x} - \frac{\partial \overline{v'v'}}{\partial y} - \frac{\partial \overline{v'w'}}{\partial z}\end{aligned}$$

- Equation de continuité :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{v}) = 0$$

Si le fluide est incompressible,  $\rho$  est constant, cette équation de continuité deviendra

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

- Equation de conservation de la température

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

- Equation de conservation de la salinité

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

- Equation d'état de l'eau de mer

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



u et v sont les vitesses horizontales et w la vitesse verticale,  $\rho_0$  et  $\rho$  la masse volumique à pression atmosphérique et la masse volumique, P la pression, T la température, S la salinité, f le paramètre de Coriolis, Cp capacité thermique massique.

### 3.3 Les approximations du modèle

La résolution des équations du modèle ROMS nécessite plusieurs hypothèses et approximations de la mécanique des fluides.

- L'approximation hydrostatique : Traduit l'équilibre vertical entre la pression et la pesanteur. Cette approximation réduit l'équation de la composante verticale du mouvement
- L'approximation de Boussinesq : Cette approximation suppose que les variations verticales de densité sont négligeables dans le temps. On considère que la densité est supposée constante et une densité de référence  $\rho_0$  est alors posée. Cependant, la variation horizontale de la densité n'est pas négligeable. Ainsi la masse volumique s'écrit :

$$\rho \equiv \rho_0 + \rho'(x, y, z, t) \text{ avec } \rho' \ll \rho_0 \quad O(10^{-3})$$

- L'hypothèse d'incompressibilité : Suppose que la masse volumique ne varie pas malgré les variations de pression. La relation de continuité pour un champ non

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

divergent sera d

- L'hypothèse de turbulence horizontale isotrope : Suppose que les coefficients d'échanges turbulents horizontaux sont égaux ( $A_x = A_y$  qui corresponde à  $A_h$ ).
- L'approche de Reynolds : Elle permet la fermeture de la turbulence avec les coefficients de Viscosité turbulente  $A_x, A_y, A_z$  de manière à ce que :

$$\begin{array}{lll} \overline{u'u'} = -A_x \frac{\partial u}{\partial x} & \overline{u'v'} = -A_y \frac{\partial u}{\partial y} & \overline{u'w'} = -A_z \frac{\partial u}{\partial z} \\ \overline{v'u'} = -A_x \frac{\partial v}{\partial x} & \overline{v'v'} = -A_y \frac{\partial v}{\partial y} & \overline{v'w'} = -A_z \frac{\partial v}{\partial z} \end{array}$$

Les calculs des coefficients de viscosité turbulente verticaux sont fait par l'approche de Large et al (1994) dite à K-profil, et les coefficients horizontaux par l'approche de Smagorinski

### 3.4 Utilisation du modèle dans le domaine d'étude

#### 3.4.1 Mise en place et préparation du modèle

C'est grâce à l'outil Roms\_Tools qui est un script matlab et permet de visualiser des configurations ROMS que nous avons pu faire tourner notre modèle. Ces principaux répertoires sont les suivants :

**Run:** Il représente le répertoire du travail. Les différents scripts utilisés sont :

- ✓ `romstools_param.m` : C'est dans ce script qu'on modifie le titre, la position, la résolution de la grille, les frontières ouvertes et fermées du domaine d'étude choisi.
- ✓ `param.h`: Intervient sur la définition du domaine de calcul et fixation des paramètres de la grille (LLm, MMm et N).
- ✓ `cppdefs.h`: Définir le domaine et activer / désactiver les clés des frontières ouvertes dans la nouvelle configuration

**Preprocessing\_Tools:** Ils contiennent les scripts suivants :

- ✓ `make_forcing.m`: fournit les données de condition aux limites.
- ✓ `make_clim.m`: fournit les données de condition initiales.
- ✓ `make_grid`: La préparation de la grille par le calcul du pas d'espace (horizontal: LLm et vertical: MMm) ainsi que: `dxmin`, `dymin`, `dxmax`, `dymax` et `Hmax`. Après avoir fixé la résolution dans `param.m`, le critère CFL est calculé, à partir duquel les pas de temps externes et internes (DTE, DTI) et le paramètre NTDFAST sont déterminés. L'exécution de `make_grid`, fournit la bathymétrie du domaine.

**Visualisation\_tools:** pour visualiser les résultats dans matlab, (par exemple la commande `roms_gui.m`).

### 3.4.2 Implantation du modèle

#### 3.4.2.1 La résolution spatiale

##### a. Grille horizontale

Avant de faire le choix de la résolution spatiale, il est important de déterminer les limites de notre zone d'étude. Dans notre cas, la zone de simulation est limitée entre  $-2$  et  $9^\circ$  des longitudes Est et entre  $35$  et  $39^\circ$  des latitudes Nord. Pour confirmer ce choix, une simulation d'un mois est faite avant de lancer celle de 10 ans.

Pour faire le choix de la résolution spatiale, une grille d'ARAKAWA C (figure.4.) est utilisée par défaut dans ROMS et cette dernière a comme principal avantage d'avoir le même nombre de mailles verticales quel que soit la bathymétrie.

Vu la puissance des machines mises à notre disposition (cluster), nous avons cherché à faire une grille correspondant au domaine de calcul, de l'ordre de  $10^5$  mailles et vu l'espacement de notre zone d'étude une résolution de  $1/9^\circ$  est la plus adéquat pour une meilleure présentation dans notre zone d'étude. Dans le cas du bassin algérien, on a 3 frontières ouvertes N, E, W et une frontière fermée S.

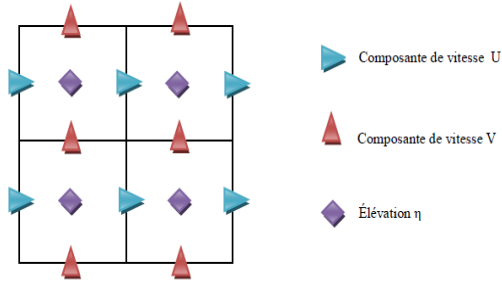


Figure.4. Grille d'ARAKAWA C

#### b. Grille verticale

Les coordonnées verticales utilisées par ROMS sont des coordonnées qui suivent la topographie dites " Les coordonnées sigma généralisées". Elles divisent la colonne d'eau en un nombre constant de couches verticales sigma (N=32) entre le fond et la surface libre. Le passage de la coordonnée Z à la coordonnée sigma généralisé s'écrit

$$\sigma = \frac{z + h}{\eta + h}$$

$\sigma$  vaut 1 à la surface et 0 sur le fond. La figure.5 montre ce passage

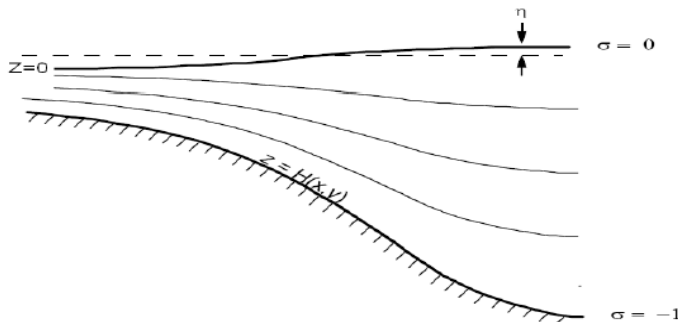


Figure. 5. Coordonnées sigma

#### 3.4.2.2 Résolution temporelle

Les choix de paramètres temporels se font avec le calcul du critère CFL (Courant-Friedrich-Levy). Ce critère relie le pas de temps spatial et temporel de façon à ce qu'un processus physique (courant, onde...) ne se propage pas de plus d'une maille à chaque pas de temps. C'est la vitesse de propagation  $C$  qui relie le pas de temps et le pas d'espace par une équation du type  $\Delta x > C \Delta t$ .

Pour garantir la stabilité de notre modèle, on vérifie la condition suivante :

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

Avec  $\Delta t$  le pas de temps externe,  $c$  la célérité des ondes externes et  $\Delta x$  et  $\Delta y$  les pas d'espace de la grille.

Les valeurs prises pour notre modèle sont les suivantes :

$\Delta t = 20$  sec, NDTFAST= 60, pour avoir un pas de temps interne  $\Delta t_i = \text{NDTFAST} * \Delta t = 1200$  sec. On va considérer par la suite ce pas de temps interne comme étant le pas de temps ( $\Delta t$ ) de notre modèle.

Les tableaux 1 et 2 nous résumeront les valeurs des différents paramètres de la grille et temporels obtenus à l'aide du critère CFL

Tableau 1 : Paramètre de la grille pour la zone d'étude

Paramètres	Valeurs	Définitions
dl	1/9	Résolution du modèle
N	32	Niveaux verticaux
LLm	98	Nombre des mailles horizontales
MMm	45	Nombre des mailles verticales
[S E N W]	[0 1 1 1]	Frontières du modèle

Tableau 2 : Paramètres temporels

Paramètres	Valeurs	Définitions
NDTFAST	60	Nombre de pas de temps 2D dans chaque pas de temps 3D
$\Delta t_i$	1200	Pas de temps
NTIMES	2160	Durée de la simulation
NWRT	2160	Fréquence de sauvegarde pour les sorties instantanées (jour)
NAVG	216	Fréquence de sauvegarde pour les sorties moyennées (jour)

Après avoir faire toutes ces étapes, on obtient ainsi la bathymétrie de notre modèle (figure.6.)

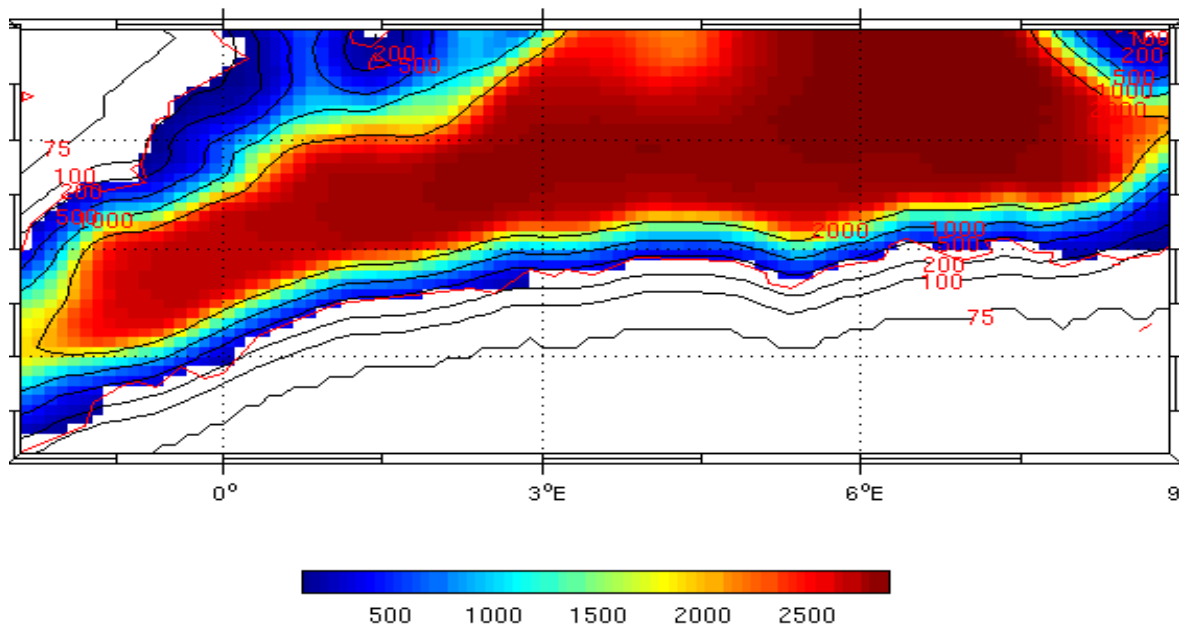


Figure .6. Bathymétrie du modèle.

On peut déjà remarquer pour ce cas, on a trois frontières ouvertes N, S, E et une frontière fermée S

#### 3.4.3 Les forçages, conditions initiales et aux frontières

Une fois le critère CFL calculé, on doit exécuter les scripts matlab `make_forcing` et `make-clim` pour le calcul des conditions aux frontières ainsi que les forçages. Pour le calcul des conditions initiales, ROMS cherche dans ses différentes bases de données World Ocean Atlas (WOA) les champs de température et de salinité. Ces données sont ensuite utilisées dans la méthode dynamique pour le calcul de vitesses géostrophiques qui servent des conditions initiales pour les champs de vitesse. Un exemple du forçage des vents est donné à la figure 2.

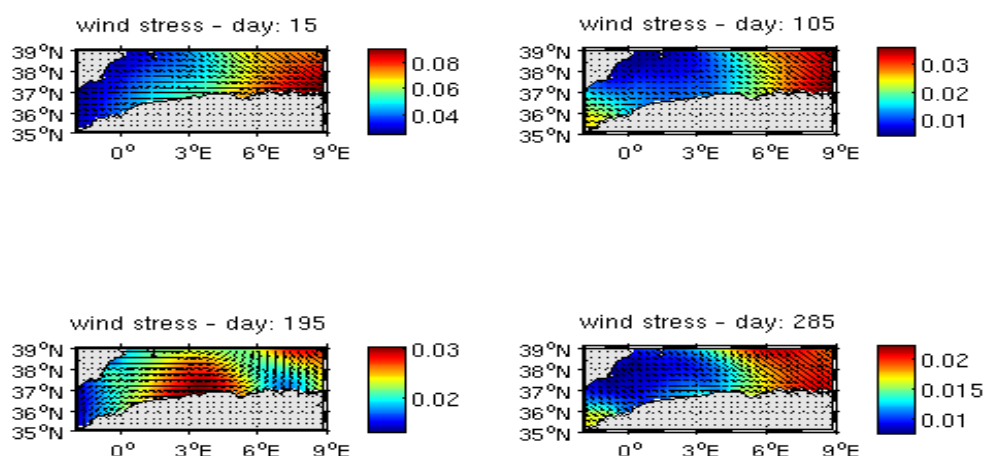


Figure.7. Forçage du vent pour les 4 saisons dans la zone d'étude avec make\_forcing.

Sur l'ensemble de ces quatre saisons, on remarque que les valeurs de la vitesse du vent valent de 1 cm/s à 8 cm/s et elles sont plus intenses à l'Est du bassin. De plus, ces vitesses sont plus intenses en période hivernale et varient entre 4 et 8 cm par contre les valeurs les plus faible sont observées en automne variant entre 1et 2 cm.

La figure 3 montre les profils de température de la zone d'étude

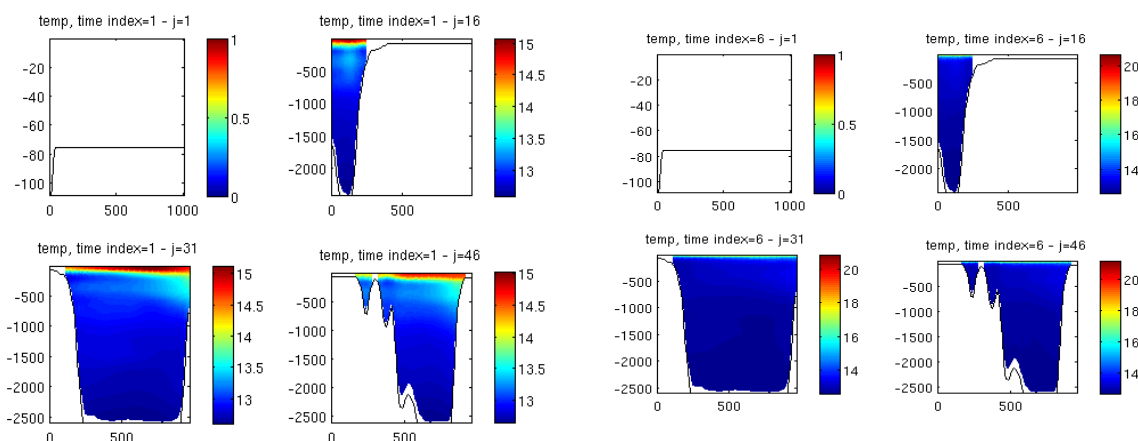


Figure.8. Profils des températures obtenues avec make\_clim : Index 1 : Janvier, Index 6 : Juin

Pour les conditions initiales de température, on remarque que pendant la période hivernale la température est de 15 °C à la surface contrairement en été où ces valeurs peuvent dépasser 21 °C. Elle est de l'ordre de 13 °C à 13.5 °C entre 500 m et 2500 m. On remarque aussi une thermocline à une profondeur inférieur à 1000 m pendant l'été.

Les différents processus pour l'implantation du modèle dans le bassin algérien vous seront donnés dans le tableau 3.

Tableau 3 : Opérations principales effectuées pour implanter ROMS dans le bassin algérien

Fichier et Emplacement	Modification
<b>romstools_param.m</b> (roms/Roms_tools/Run/ romstools_param.m)	# titre, position (latitude minimale et maximale : 35° à 39°N, longitude minimale et maximale : -2° à 9E°). # la résolution de la grille (on prend 1/9, cela veut dire qu'à chaque degré correspond à 9 mailles de grille). # les frontières ouvertes N, S, E et une frontière fermée S. (obc = [0 1 1 1] ; open boundaries (1=open, [S E N W])).
<b>param.h :</b> (roms/Roms_tools/Run/param.h)	# elif defined BENGUELA parameter (LLm0= 23, MMm0= 31, N= 32) # elif defined ALGERIA_LR parameter (LLm0= 98, MMm0= 45, N= 32) # endif
<b>cppdefs.h</b> (roms/Roms_tools/Run/cppdefs.h)	# undef BENGUELA # define ALGERIA_LR /* Open Boundary Conditions */ # undef TIDES # define OBC_EAST # define OBC_WEST # define OBC_NORTH # undef OBC_SOUTH
<b>roms.in</b> (roms/Roms_tools/Run/roms.in)	# vérification des valeurs de la grille verticale et le pas de temps interne et externe (variables dt [sec] et NDTFAST). #la durée de la simulation (variable NTIMES) et la fréquence de sauvegarde des sorties instantanées et moyennées (variables NWRT et NAVG)
<b>roms_inter.in et run_roms.csh</b>	Il faut modifier les pas de temps ; time_stepping: NTIMES dt[sec] NDTFAST NUMTIMES 1200 60



## 4 Résultats et Discussion

### 4.1 Diagnostique du modèle

Pour faire la diagnostique de notre modèle, on utilise le script matlab roms\_diags et plot\_diags, qui servent respectivement de vérifier le fonctionnement du modèle et de visualiser l'évolution de la stabilité des différentes grandeurs. Le modèle a tourné pendant 10 ans. Les scripts roms\_diags et plot\_diags, ont généré différents graphes (Figure.9.) sur les 10 ans de simulation, ce qui permet de suivre l'évolution et la stabilité du modèle.

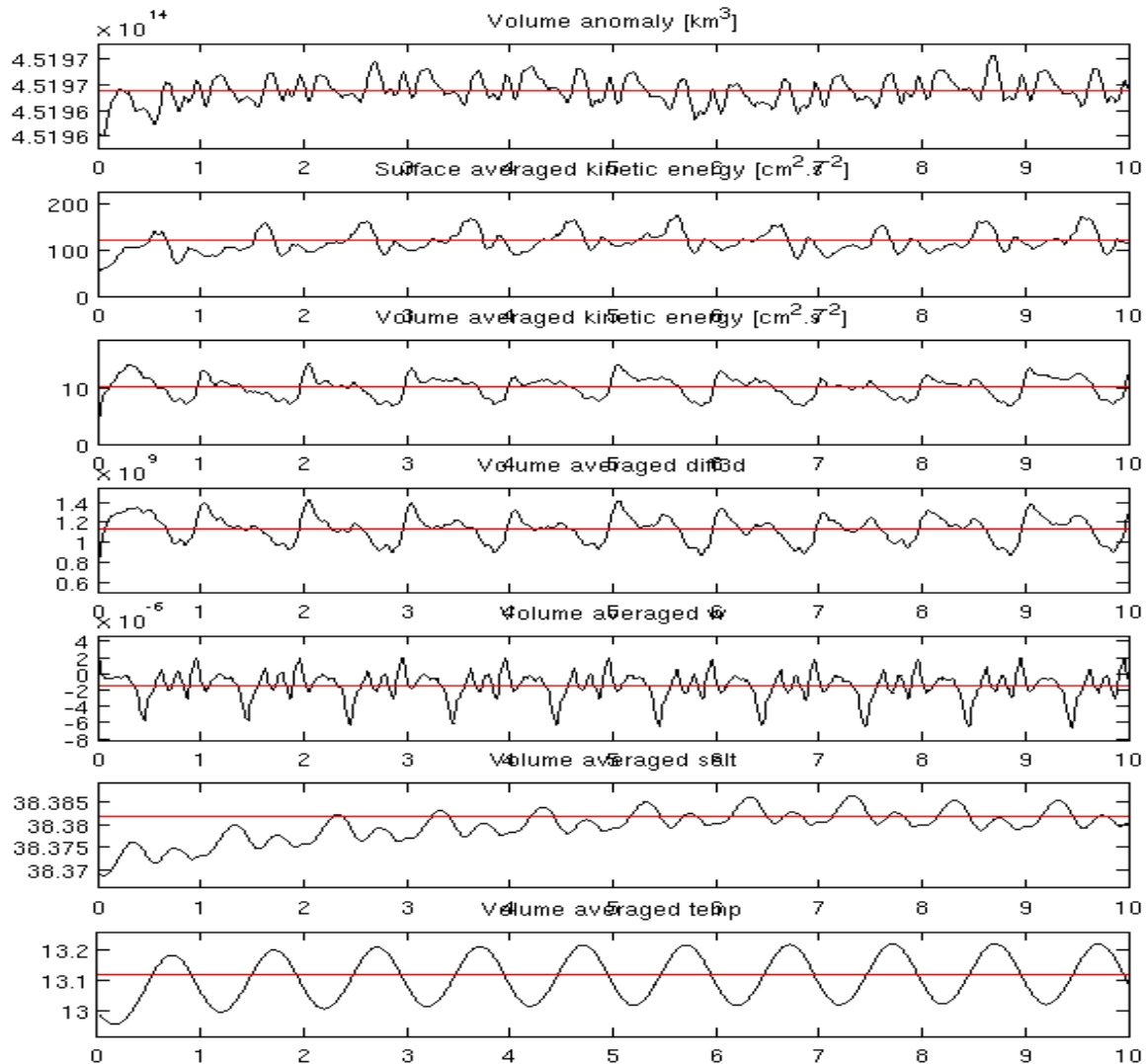


Figure.9. Diagnostique de la stabilité du modèle. De haut en bas : (a) anomalie du volume, (b) Energie cinétique moyenne en surface, (c) Energie cinétique moyennée sur le volume, (d) Moyenne volumique diff3d, (e) Moyenne volumique w, (f) Salinité moyennée sur le volume, (g) Température moyennée sur le volume.

D'une manière générale, le modèle met une année pour se stabiliser pour toutes les composantes exception faite pour la salinité qui se stabilise à partir de la cinquième année, même chose pour l'anomalie de volume qui présente un minimum à la sixième année. On

remarque aussi que le modèle respecte la saisonnalité (Oscillation saisonnière). Par la suite de cette étude, on s'intéressera à la dixième année considérée comme la plus stable pour éviter d'avoir les instabilités du début et de fin du modèle. De ce fait, les résultats ne seront pas impactés par une anomalie du modèle.

#### 4.2 Les tourbillons dans le bassin algériens.

Dans ces travaux, Millot (1985) a utilisé les images satellitaires infra rouge pour l'observation de la circulation des masses d'eau dans le bassin algérien (figure.10.). Ces images, lui ont permis de mettre en évidence le caractère instable du courant algérien.

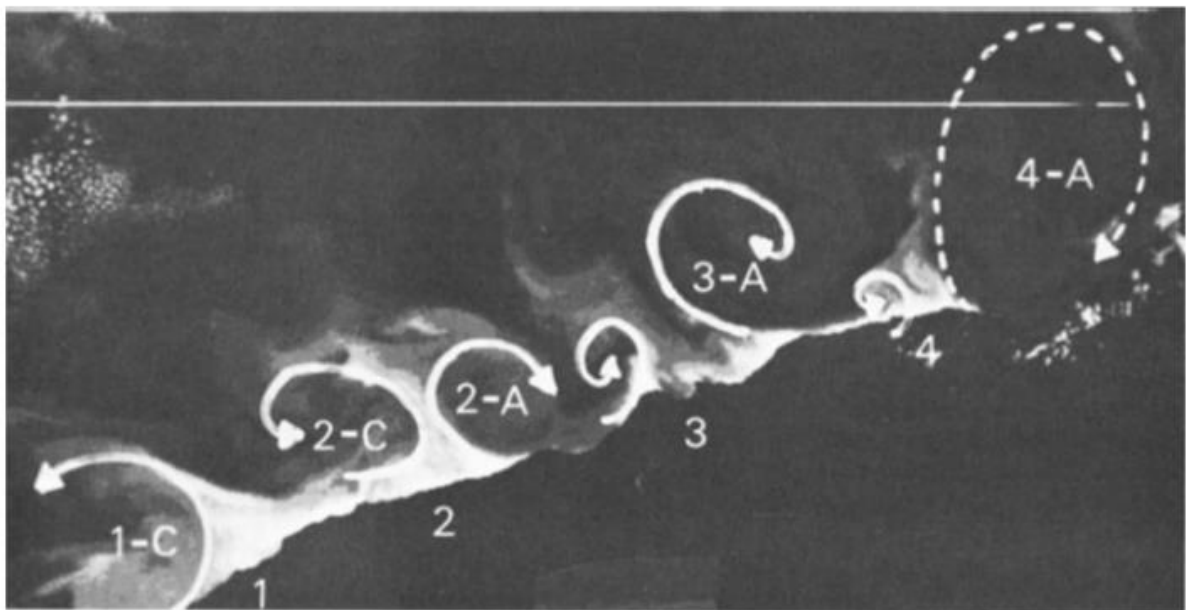


Figure.10. Image infrarouge AVHRR le 22 juillet 1980, montrant une série de tourbillons cycloniques et anticycloniques bien développés et de 50 km de diamètre (C-Philippe et Harang,1982).

Nous pouvons donc observer à partir de cette figure, la façon dont les tourbillons se développent dans l'ensemble du bassin algérien. Les tourbillons anticycloniques sont beaucoup plus développés dans la partie Est du bassin contrairement aux tourbillons cycloniques qui sont concentrés dans la partie Ouest. En les comparant avec les tourbillons obtenus par ROMS (figure.11.) à la même période, on voit bien que la majeure partie du bassin algérien est dominé par le tourbillon anticyclonique.

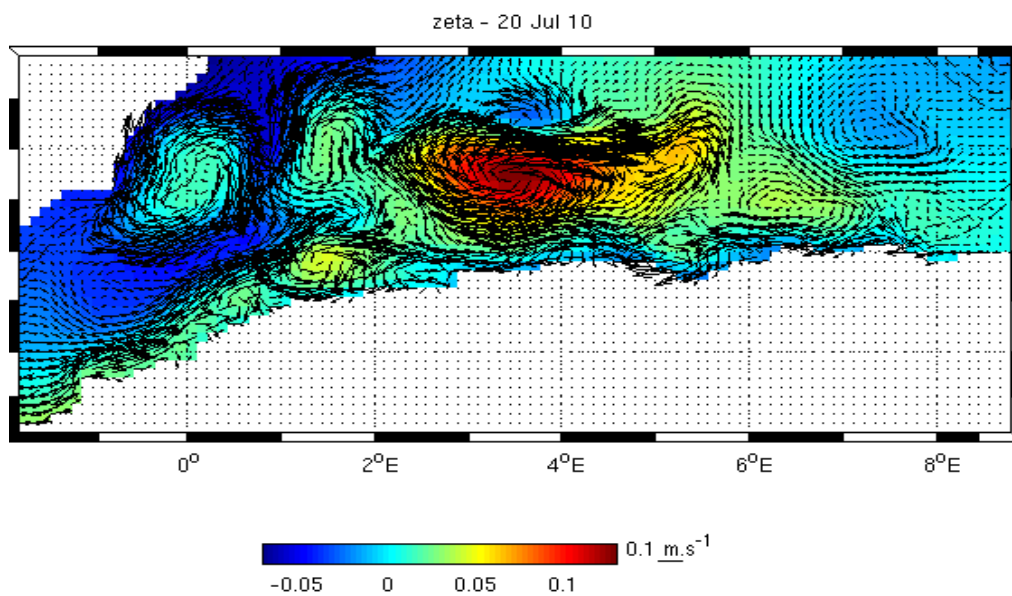


Figure.11. Simulation avec ROMS du tourbillon en fonction de l'élévation (20 juillet année :10)

De plus, l'expérience d'ELISA (C. Millot et I. Taupier-Letage 2005) menée à 1997 et 1998, à partir de mesure sur terrain (in situ) des mouillages, CTD, et XBT et des images infrarouges du satellite Mediproduct-5 de NOAA à instrument AVHRR (figure.12.) confirme le schéma de la circulation de masse d'eau dans le bassin algérien (Milot 1987) et l'importance des structures anticycloniques des tourbillons algériens jusqu'au fond avec une durée de vie supérieure à trois ans (C. Millot et I. Taupier-Letage 2005)

En effet, deux tourbillons ont été dominant durant toute l'expérience d'ELISA. Il s'agit du tourbillon 96-1 et 97-1. Par ailleurs, d'autres (96-2, 97-2, et 98-2) sont aussi observés mais temporairement.

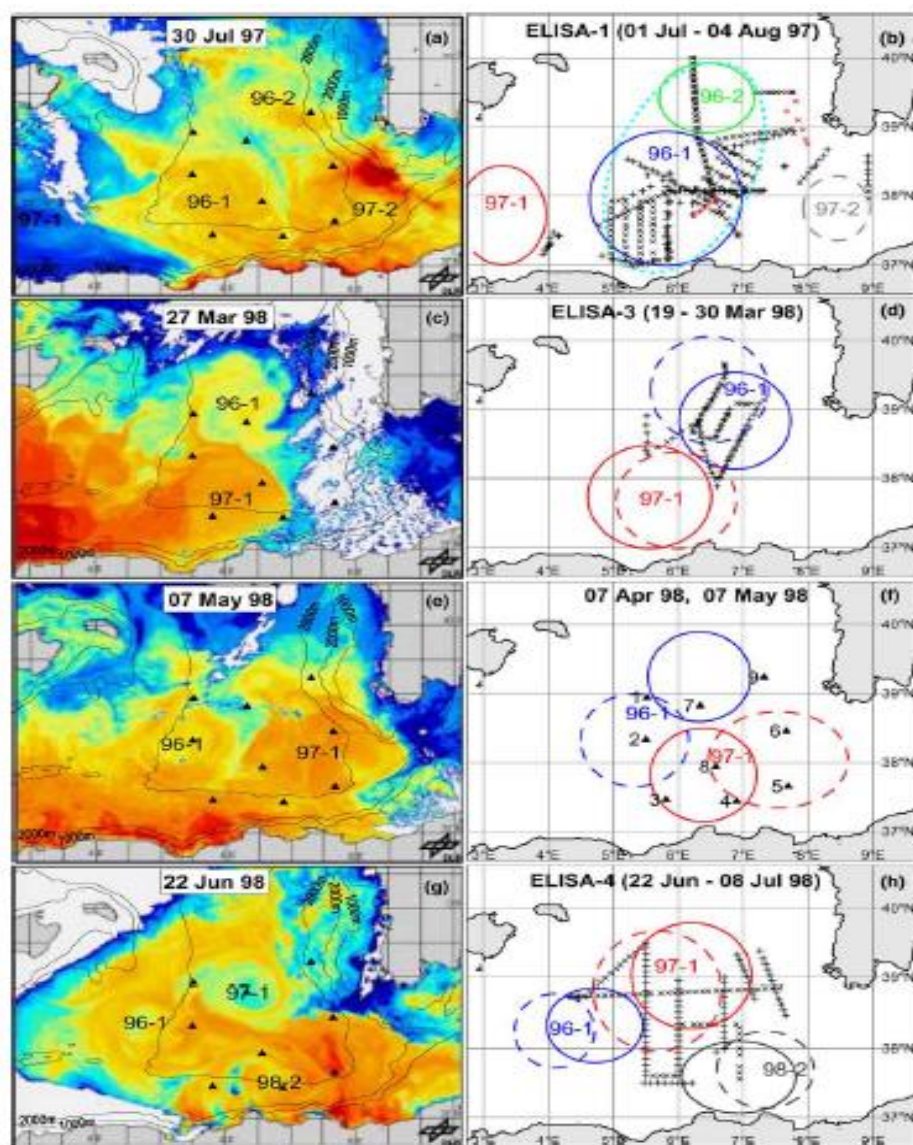


Figure.12. Tourbillons représentés au cours de l'expérience ELISA. NOAA–AVHRR images infrarouge. (C. Millot et I. Taupier-Letage 2005).

Ces résultats seront donc comparés avec ceux obtenus (figure.13.) par les simulations du modèle ROMS à la même période.



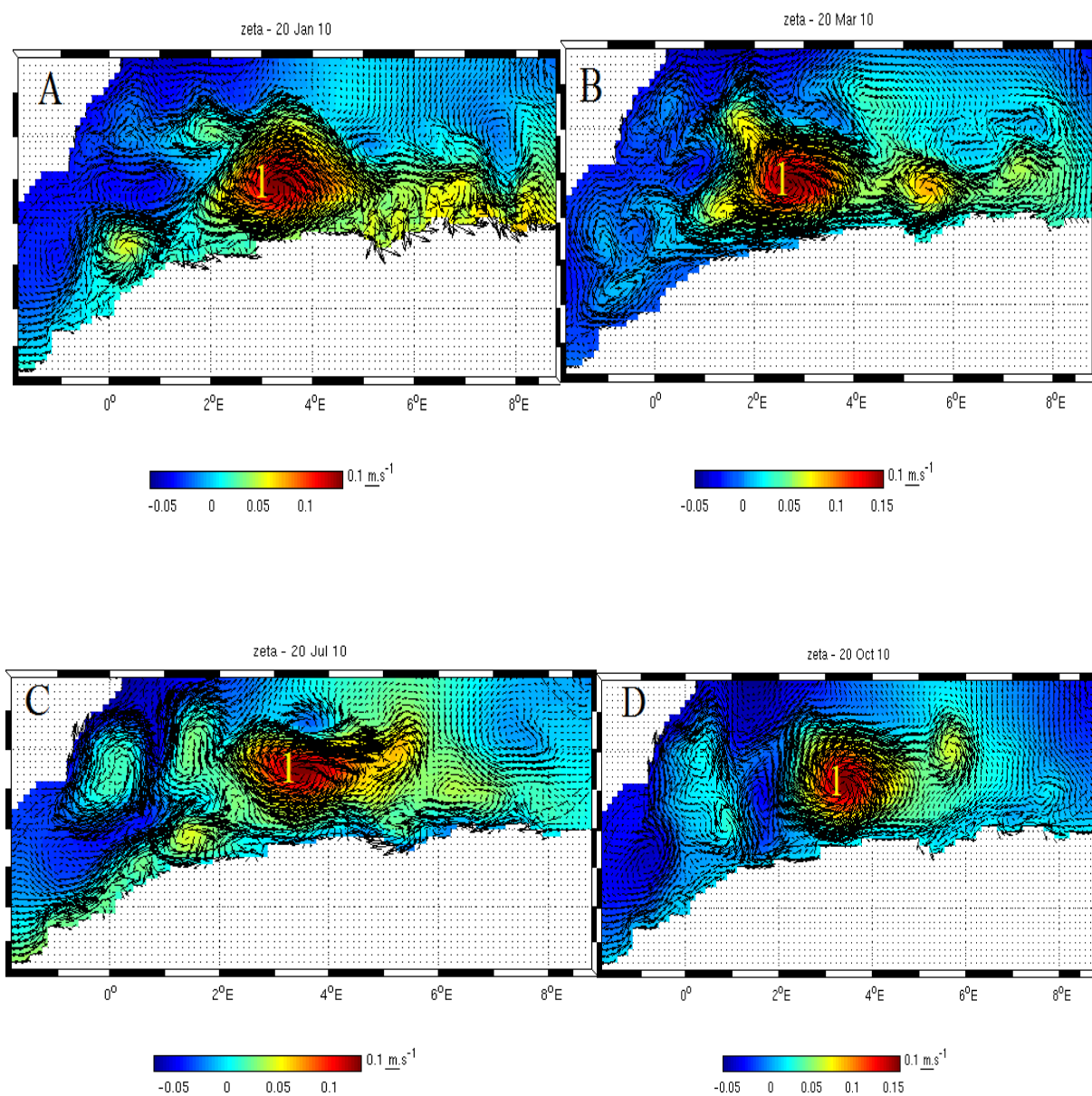


Figure.13. Représentation des tourbillons en fonction des élévations pour les 4 saisons avec le modèle ROMS (A :20 janvier, B :20mars, C :20 juillet et D : 20octobre).

Sur ces figures, on voit bien la représentation en crête du tourbillon anticyclonique et celle en creux du tourbillon cyclonique, ceci permet le suivi des tourbillons de ces quatre saisons avec le modèle ROMS.

On voit à partir de ces résultats que le tourbillon algérien 1 est observé durant toute l'année. Il s'agit du tourbillon anticyclonique. Sa taille et son emplacement changent d'une saison à une autre. On note aussi la présence d'autres tourbillons qui apparaissent que dans certaines périodes de l'année (voir figure.13.).

En général, dans le bassin algérien, les tourbillons anticycloniques sont beaucoup plus accrus à la partie Est du bassin et les tourbillons cycloniques à sa partie Ouest. Ce qui confirme les travaux les travaux de Millot (1985) en utilisant les images infrarouge AVHRR.

#### 4.3 Eau levantine intermédiaire dans le bassin algérien (LIW).

Pour faire cette étude, on va se servir des études faites lors de l'expérience ELISA et Mediprod-5,6. En effet, ces expériences montrent qu'une grande quantité de LIW se trouve dans le chenal de Sardaigne (figure.14.) et son absence le long de la pente algérienne, traduit un flux vers l'Ouest ; sauf quelques fragments de LIW apporter dans le sous bassin central à cause de la grande hétérogénéité des tourbillons algériens portant dans cette zone.

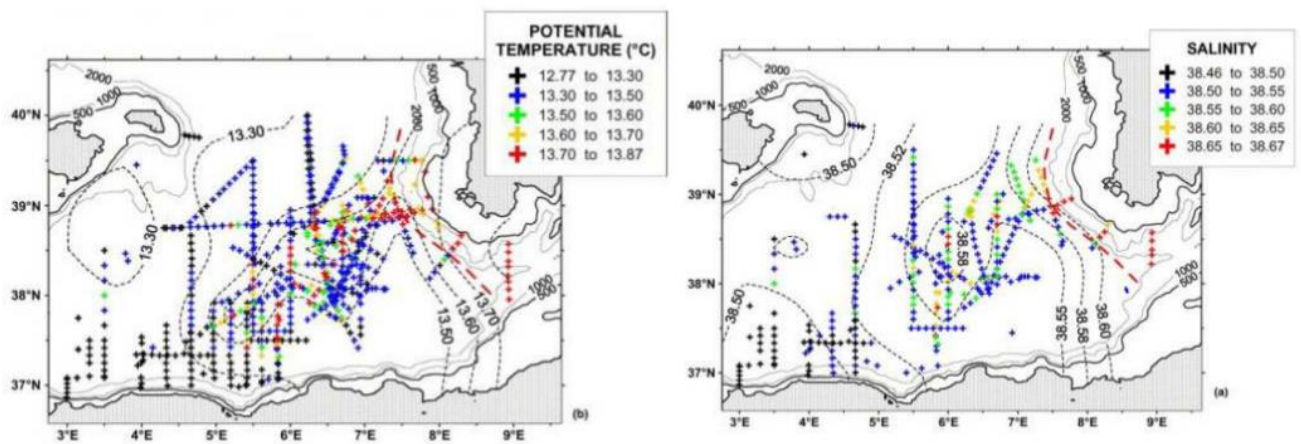


Figure.14. Distribution de température potentiel et salinité lors de l'expérience ELISA (Source : Millot et Taupier-Letage,2005).

Ces résultats (figure.14.) seront comparés avec ceux dans le modèle ROMS

Vu que ce travail était sur la dynamique de la circulation des masses d'eau en surface dans le bassin méditerranéen et sur sa partie côtière. Ceci ne nous permet pas de comparer les résultats de l'expérience de ELISA dans lequel une grande partie de LIW se trouve dans le chenal de Sardaigne avec les résultats issus du ROMS. Mais néanmoins, on peut observer la LIW dans l'Est du bassin en faisant une coupe verticale de salinité (figure.15.)

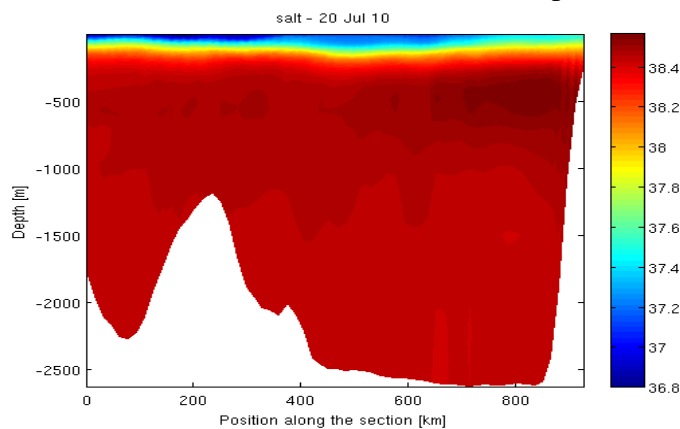


Figure.15. Coupe verticale de la salinité (juillet année 10)

#### 4.4 Variation saisonnière de la température et la salinité

En premier lieu, on s'intéresse à la variation saisonnière de la température avec le courant (Figure.16.).

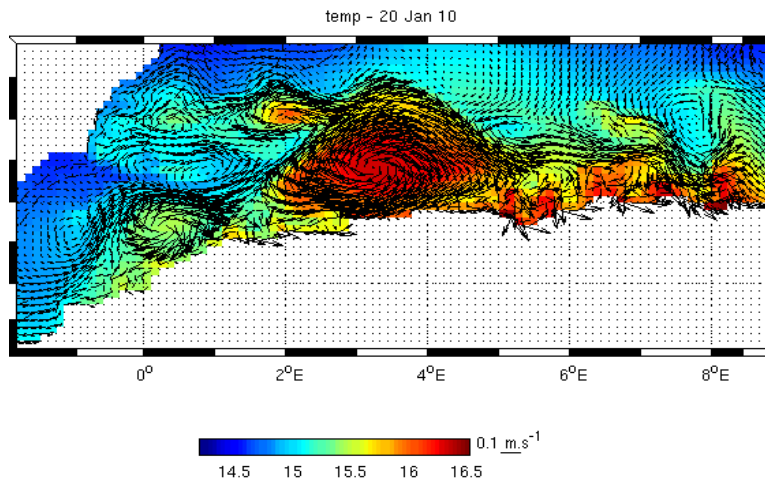


Figure.16. Température de surface avec les courants (20 janvier année 10).

Sur cette figure, On voit bien que les tourbillons anticycloniques sont associés aux fortes valeurs de températures contrairement aux tourbillons cycloniques qui sont associés aux faibles valeurs de la température. La figure 17 nous donnera des plus amples explications

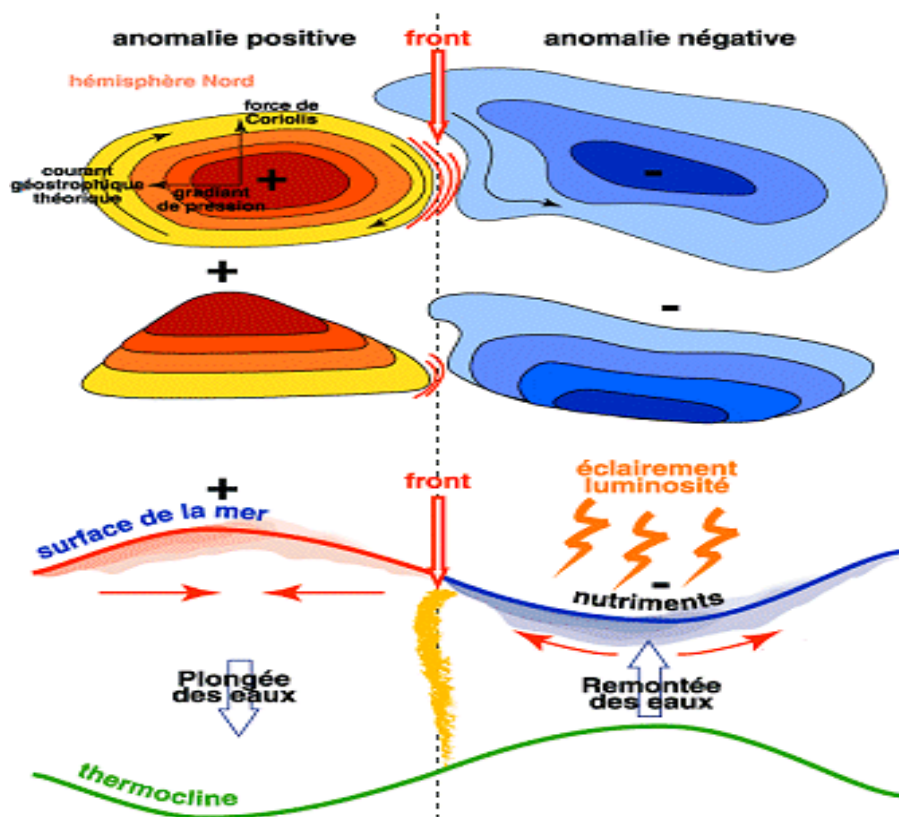


Figure.17. La formation des tourbillons cycloniques et anticycloniques



L'observation faite sur cette figure est que les courants chauds sont représentés par des anomalies de surface positives (en crêtes) sur les cartes altimétriques et sont souvent associés à des phénomènes de convergence des eaux de surface. Cette accumulation locale d'eaux chaudes en surface provoque une plongée des eaux et par conséquent un abaissement de la thermocline.

A l'inverse, les tourbillons froids, représentés par des anomalies de surface négatives (en creux) sur les cartes altimétriques sont associés à des phénomènes de divergence en surface. Sur ces zones, les couches d'eaux les plus profondes remontent afin de compenser le déficit en eaux de surface provoquant ainsi une remontée de la thermocline, à cet effet la température peut être utilisée comme un traceur pour le suivi des tourbillons.

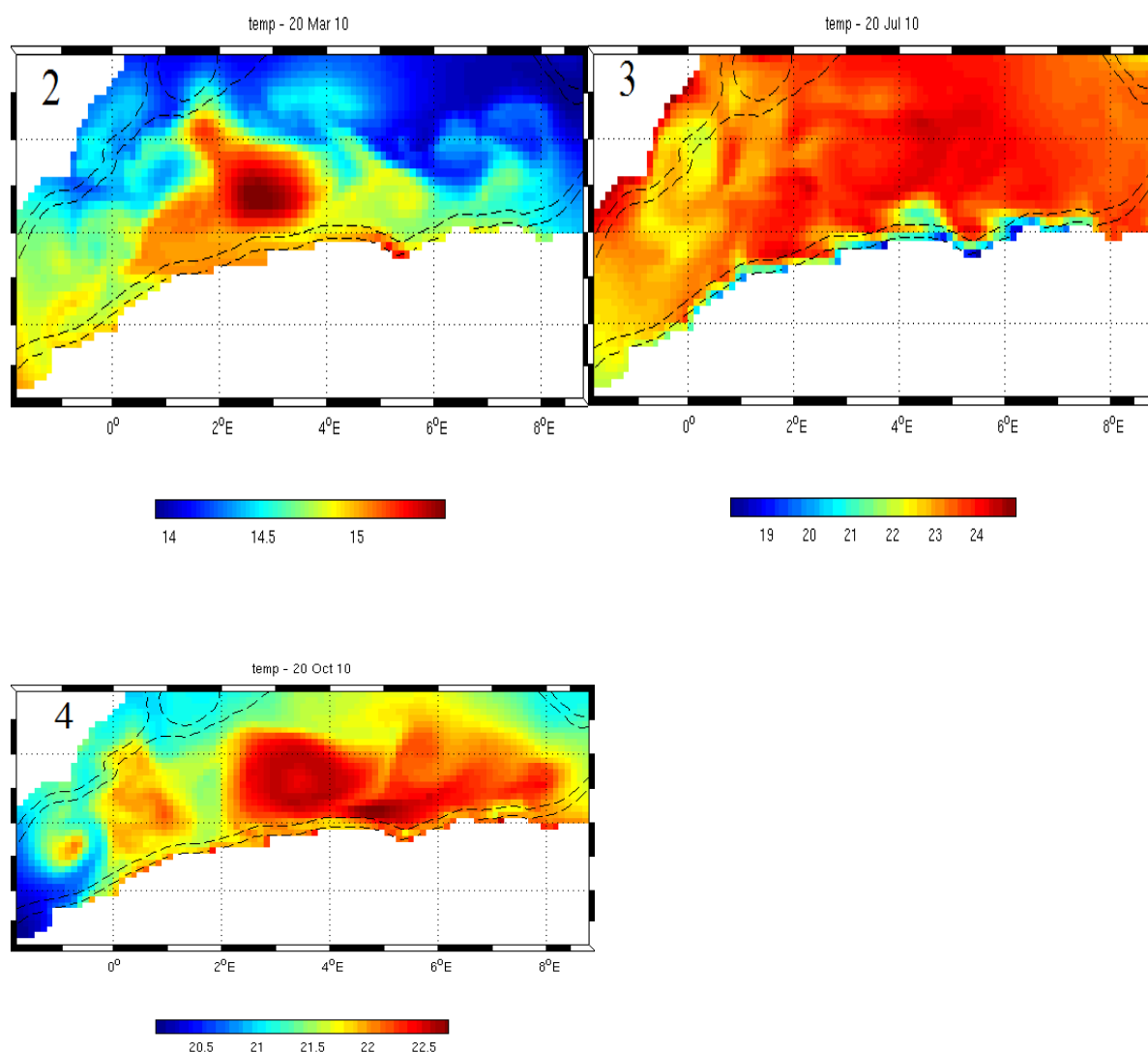


Figure.18. La température de surface (2 : Printemps, 3 : été, 4 : Automne).

La variation saisonnière de la température se fait de la manière suivante :

- On a un hiver et un printemps froid avec des valeurs comprises entre 14 °C et 16.5 °C. Les plus fortes valeurs sont situées à l'Est du bassin et les plus faibles à l'Ouest.
- On a un été et une automne chaud avec des valeurs comprises entre 19 °C et 24 °C.

Les valeurs maximales des températures sont observées au centre du tourbillon anticyclonique.

La température peut être considérée comme un traceur de suivi du tourbillon.

Ces différentes variations de température sont dues à l'évolution du rayonnement solaire au cours de la saison. Donc à la variation du climat.

En second lieu, on s'intéresse à la variation saisonnière de la salinité (figure.19.)

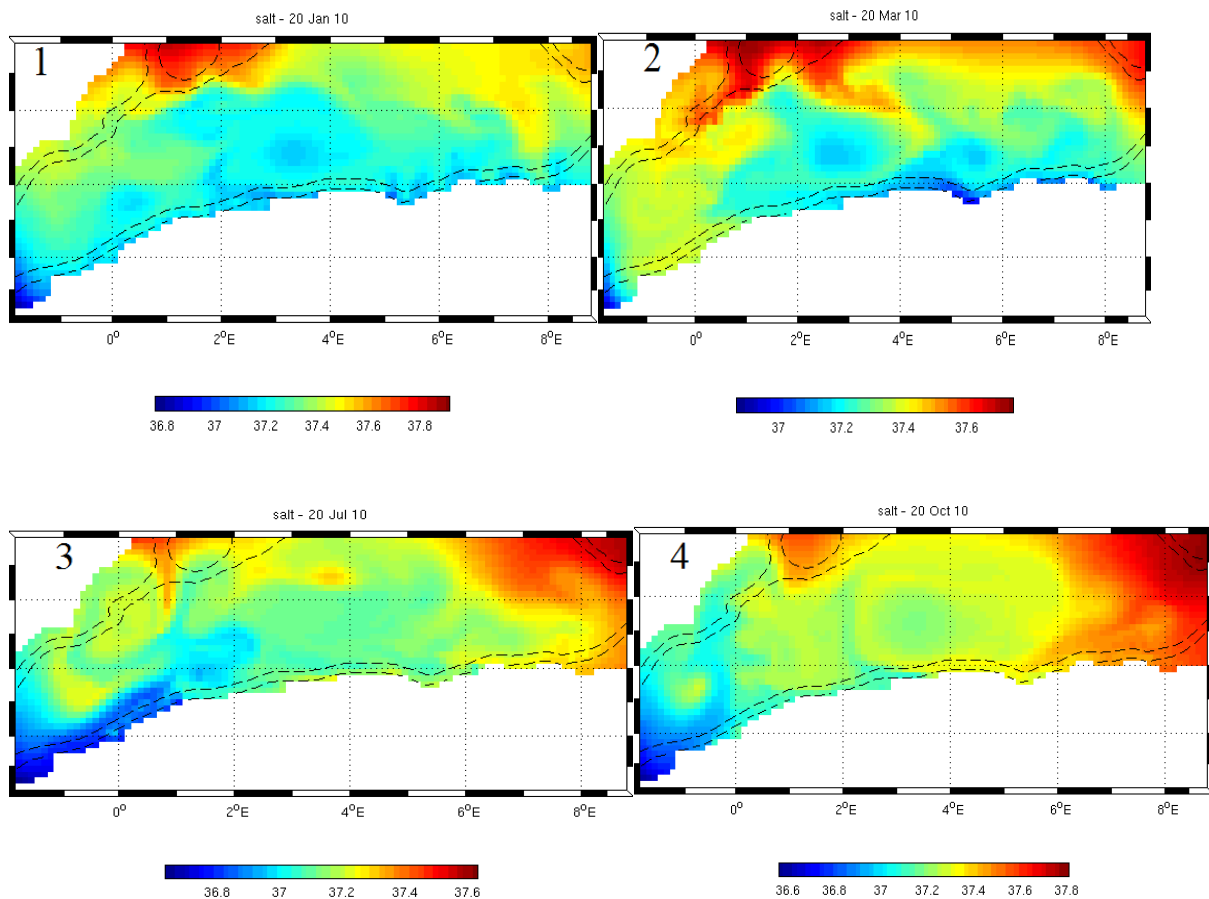


Figure.19. Variation saisonnière de la salinité en surface (1 : Hiver, 2 : Printemps, 3 : été, 4 : Automne).

On constate une légère augmentation de l'ordre de dixième de la salinité en période hivernale due aux vents froids qui évaporent l'eau ; sa valeur maximale est de 37.8. D'une manière générale, la salinité varie de 36,6 à 37,8 sur toutes les quatre saisons. Les valeurs minimales sont observées à l'Ouest du bassin car elles sont dues aux eaux en provenance de l'atlantique qui entrent en méditerranée par le détroit de Gibraltar du bassin et les maxims sont observés à l'Est. Les tourbillons peuvent être détecter à partir des figures de salinité mais le problème est qu'on ne peut pas faire la différence entre un tourbillon cyclonique et un tourbillon anticyclonique. Comme pour la température, la salinité peut aussi être utilisée comme traceur pour le suivi des tourbillons.

## 5 Conclusion

---

L'objectif principal de ce travail était de présenter un modèle océanographique ROMS pour faire des simulations de la circulation océanique en méditerranée occidentale en général et dans le bassin algérien en particulier. Pour ce faire, on a fait la diagnostique du modèle et on a vérifié que notre modèle a tourné pendant dix ans, ce qui confère à sa stabilité.

Le choix a été fait sur la neuvième année, considérée comme l'une des années stables, à l'issue de ce choix on a comparé les résultats des simulations faites par ROMS et ceux de l'expérience d'ELISA avec des mesures in situ et des données des imageries satellitaire de NOAA-AVHRR. On observe une structure permanente des tourbillons anticycloniques dans la partie centrale du bassin algérien responsable des traces de LIW. Certains tourbillons sont temporairement présents dans cette partie.

La salinité et la température répondent bien aux conditions initiales de notre modèle. Ces deux paramètres peuvent être des traceurs pour des suivis des tourbillons.

Le modèle numérique océanographie reste un outil indispensable à la compréhension des différents phénomènes physico chimiques de l'Océan, mais de fois on peut se confronter à tel que celui de la fermeture de la turbulence, qui jusque-là n'a pas été résolu.

### *Références*

- C. Millot et al (2005). Additional evidence of LIW entrainment across the Algerian subbasin by mesoscale eddies and not by a permanent westward flow.
- D. Obaton et al (1999). The Algerian current: comparisons between in situ and laboratory data sets. Deep-Sea Research I 47 (2000) 2159-2190.
- Doglioli A.. (2011), Notes de Cours et Travaux Dirigés de Modélisation de la Circulation Régionale 3D, Centre d'Océanologie de Marseille, Aix-Marseille Université, Marseille, France.
- Doglioli, A.. (2011), Notes du Cours Circulation Générale en Méditerranée, Centre d'Océanologie de Marseille, Université d'Aix Marseille, France.
- I. Puillat, et al (2000). Algerian Eddies lifetime can near 3 years. Journal of Marine Systems 31 (2002) 245-259
- Millot et al, 1977. Circulation of Algeria inferred from the Médiprod-5 current meters. PII: S0967-0637(97)00016-2.

<http://www.ifremer.fr/lobtln/ELISA/>