

# OCÉANOGRAPHIE - FISE 23

## DEEP OCEAN MODELLING



---

## Rapport de modélisation océanique

---

*Author*  
RACHEL SEGUY  
LENA PELAEZ

*Supervisor*  
JONATHAN GULA

17 février 2023



## Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Modélisation</b>	<b>2</b>
2.1	Paramètres initiaux . . . . .	2
<b>3</b>	<b>Analyse des résultats</b>	<b>5</b>
3.1	Energie cinétique de surface . . . . .	6
3.2	Vorticité relative . . . . .	6
3.3	Température . . . . .	7
3.4	Vitesse moyennée de surface . . . . .	8
3.5	Coupes méridiennes et zonales . . . . .	9
3.6	Hauteur d'eau et énergie cinétique tourbillonnaire . . . . .	12
<b>4</b>	<b>Pour aller plus loin: circulation générale en Méditerranée</b>	<b>14</b>
4.1	Phénomène de renversement et masses d'eau . . . . .	14
4.2	Exemple de modélisation . . . . .	15
4.3	Coupes de densité . . . . .	15

# 1 Introduction

La mer Méditerranée est une mer presque fermée située entre l'Europe, l'Afrique et l'Asie. Elle est reliée à l'océan Atlantique par le détroit de Gibraltar à l'ouest et au canal de Suez à l'est. Elle s'étend sur 2,5 millions de km<sup>2</sup> et a une profondeur moyenne d'environ 1500 m.

Véritable modèle réduit d'un océan, nous avons donc décidé de nous pencher sur l'étude de ses courants et autres caractéristiques.

L'objectif de ce projet est dans un premier temps de mettre en place une configuration réaliste de l'ensemble de cette région et d'analyser différents paramètres océaniques. Nous pourrons ensuite interpréter nos résultats à la lumière d'articles se penchant sur la mer Méditerranée.

## 2 Modélisation

### 2.1 Paramètres initiaux

Pour sélectionner les paramètres initiaux, nous avons dû modifier plusieurs fichiers d'entrée.

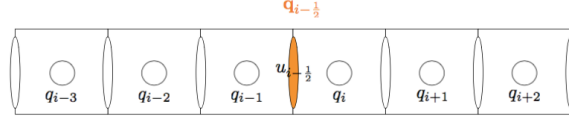
Le fichier *cppdefs.h* est le fichier de configuration du modèle. On y active le schéma régional. Dans ce schéma:

- On utilise la fonction **OPENMP** pour la parallélisation en mémoire partagée. On doit définir le nombre de coeurs qui pourront lire et éditer les variables. On initialise donc la valeur **NPP** à 8 dans le fichier *param.h*.

```
#elif defined OPENMP
    parameter (NPP=8)|
# ifdef AUTOTILING
    common/distrib/NSUB_X, NSUB_E
# else
    parameter (NSUB_X=1, NSUB_E=NPP)
# endif
```

FIGURE 1 – caractérisation de **OPENMP**

- Les frontières sont ouvertes par défaut.
- On définit une grille sphérique avec un positionnement en latitude et longitude et la transformation en coordonnées curvilignes.
- On utilise un masque sur les continents pour se concentrer sur les zones maritimes.
- La résolution des équations primitives se fait avec un solveur 3D et tient compte de coriolis et des termes d'advection.
- On active un traceur de salinité, particulièrement important dans notre zone d'étude.
- On applique pour les moments et les traceurs un schéma horizontal d'advection upstream biaisé au 3ième ordre: **UP3**. Il reste efficace pour une première étude.



$$\partial_x(uq)|_{x=x_i} = \frac{1}{\Delta x_i} \{u_{i+1/2}\tilde{q}_{i+1/2} - u_{i-1/2}\tilde{q}_{i-1/2}\}$$

$$\tilde{q}_{i-1/2}^{\text{C2}} = \frac{q_i + q_{i-1}}{2}$$

$$\tilde{q}_{i-1/2}^{\text{C4}} = (7/6)\tilde{q}_{i-1/2}^{\text{C2}} - (1/12)(q_{i+1} + q_{i-2})$$

$$\tilde{q}_{i-1/2}^{\text{UP3}} = \tilde{q}_{i-1/2}^{\text{C4}} + \text{sign}(1/12, u_{i-1/2})(q_{i+1} - 3q_i + 3q_{i-1} - q_{i-2})$$

FIGURE 2 – UP3

- On applique pour les moments et pour les traceurs un schéma vertical d'advection **SPLINES**.

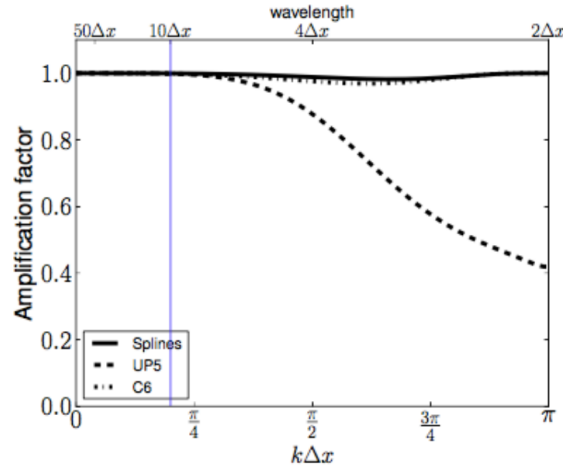


FIGURE 3 – SPLINES

- On active les zones de haute viscosité et de diffusivité près des frontières latérales ouvertes.
- On active la fermeture turbulente pour les couches limites intérieures de la planète : (**LMD\_MIXING** = Mélange Large/McWilliams/Doney)

```

/* Grid configuration */
# define CURVGRID
# define SPHERICAL
# define MASKING
# undef WET_DRY
# define NEW_S_COORD

/* Model dynamics */
# define SOLVE3D
# define UV_COR
# define UV_ADV

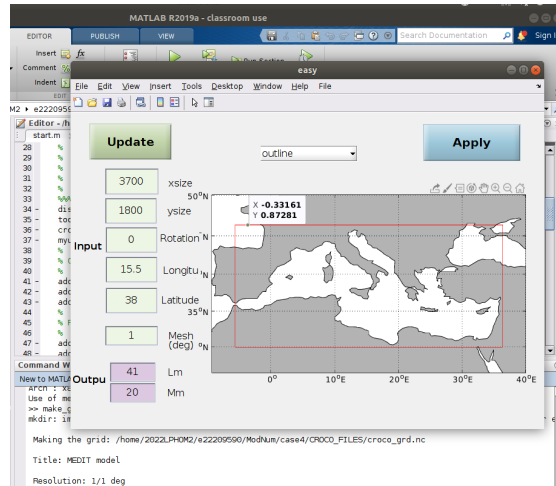
/* Equation of State */
# define SALINITY
# define NONLIN_EOS

/* Lateral Momentum Advection (default UP3) */
# define UV_HADV_UP3
# undef UV_HADV_UP5
# undef UV_HADV_WENOS
# undef UV_HADV_TVD

```

FIGURE 4 – Extrait du fichier *cppdefs.h*

Le fichier *param.h* fournit les dimensions de la grille et des tableaux. On y sélectionne la discrétisation spatiale souhaitée : LLm0 en x, MMm0 en y et N en z. On choisit ces variables en fonction de la résolution voulue. Nous avons commencé avec une résolution angulaire de  $1/3^\circ$ , ce qui correspond, aux latitudes de la mer méditerranée, à un pas de 30 km. Nous avons jugé cette résolution trop poussée pour un premier aperçu et avons préféré l'augmenter à la centaine de km afin que le programme puisse tourner rapidement. Nous avons donc utilisé matlab pour éditer le fichier *crocotools.m* et choisir la grille qui correspondait le plus à nos attentes. C'est le fichier *croco\_grd.nc* qui nous a donc donné les LLm0 et MMm0 adéquats à mettre dans le fichier *param.h* (Fig.6).



```

# elif defined MEDIT
    parameter (LLm0=41, MMm0=25, N=32) ! <-- MEDIT

```

FIGURE 5 – Aperçu de la grille et paramètres de discrétisation

Enfin, le fichier *croco.in* concerne les réglages temporels de la simulation. Avec un pas spatial de  $dx = 98$  km,  $dy = 97$  km, le pas de temps barothrope permis peut être assez élevé. Nous avons calculé les limites des pas de temps barocline et barothrope pour choisir le  $dt$  et **NDTFAST** de façon optimale.

$$dt_{barothrope} = \frac{0.89}{\sqrt{g * h_{max}} * \sqrt{\frac{1}{dx^2} + \frac{1}{dy^2}}} < 429$$

$$dt_{barocline} = \frac{0.89 * d_{xmax}}{2 * 2.5} < 17800$$

Enfin il nous restait à choisir un **NTIMES** correspondant à une durée de simulation de 2 ans.

```

time_stepping: NTIMES      dt[sec]   NDTFAST   NINFO
                31000      2000       30       1
time_stepping_nbq: NDTNBQ    CSOUND_NBQ   VISC2_NBQ
                  1         1000        0.01
S-coord: THETA_S,   THETA_B,    Hc (m)
          7.0d0     2.0d0      200.0d0
output_time_steps: DT_HIS(H), DT_AVG(H), DT_RST(H)
                  1         6         12

grid: filename
      CROCO_FILES/croco_grd.nc
forcing: filename
        CROCO_FILES/croco_frc.nc
bulk_forcing: filename
              CROCO_FILES/croco_blk.nc
climatology: filename
              CROCO_FILES/croco_clm.nc
boundary: filename
           CROCO_FILES/croco_bry.nc
initial: NRREC / filename
         1
         CROCO_FILES/croco_ini.nc
restart:      NRST, NRPFRST / filename
           2160  -1
           CROCO_FILES/croco_rst.nc

bhflux_ncfile: filename
               CROCO_FILES/croco_bhf.nc

history: LDEFHIS, NWRT, NRPFHIS / filename
         T       72       0
         CROCO_FILES/croco_his.nc
averages: NTSavg, NAVG, NRPFavg / filename
         1      1296      0
         CROCO_FILES/croco_avg.nc

```

FIGURE 6 – Aperçu du fichier *croco.in*

### 3 Analyse des résultats

La circulation thermohaline en méditerranée n'est pas simple et peut se décomposer, dans une première approche, en trois couches. Nous allons donc étudier différents paramètres à des profondeurs et des pas de temps variés pour dresser un portrait général de la méditerranée.

La circulation thermohaline est la circulation océanique engendrée par les différences de

densité de l'eau de mer, provenant des écarts de température et de salinité des masses d'eau. Nous cherchons donc à analyser les paramètres suivants :

- l'évolution de l'énergie cinétique de surface intégrée sur le domaine
- la vorticité relative normalisée par le paramètre de coriolis, à la surface, à différents pas de temps  $dt$
- la vorticité relative normalisée par le paramètre de coriolis, à 400m, à différents  $dt$
- la température à 400m à différents  $dt$
- les densités et les vitesses moyennées zonalement ou meridionnalement sur une zone d'intérêt au debut de la simulation puis au bout d'un an
- la vitesse de surface moyenne sur la dernière année de la simulation
- la variance SSH sur la dernière année de simulation
- l'énergie cinétique tourbillonnaire de surface sur la dernière année de simulation

### 3.1 Energie cinétique de surface

L'énergie cinétique en mer Méditerranée peut varier en fonction de plusieurs facteurs, notamment la vitesse du vent, la température de l'eau, la topographie du fond de la mer, la présence de courants et de vagues, et d'autres conditions météorologiques et océanographiques. L'évolution de l'énergie cinétique de surface intégrée sur l'ensemble de la mer Méditerranée est affichée sur la figure 7 pour une période d'un an et demi.

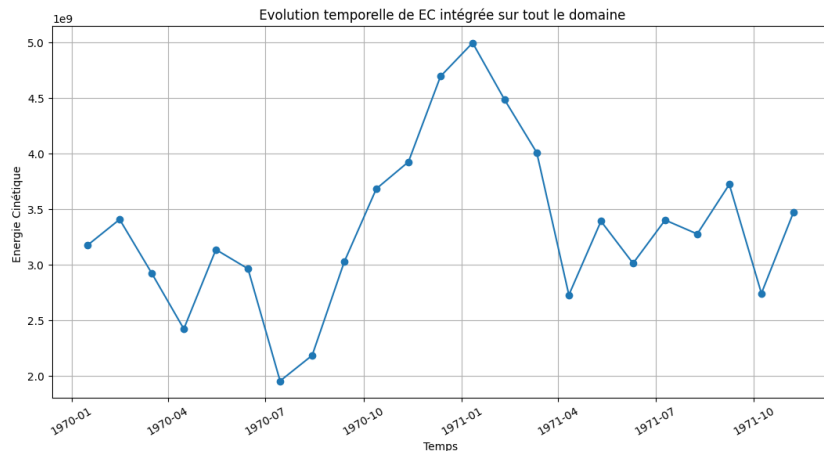


FIGURE 7 – Evolution de l'énergie cinétique intégrée sur tout le domaine

On observe un pic de l'énergie cinétique en janvier 1971. Ce pic peut être dû à la vitesse du vent, qui est un facteur important. En effet, les vents forts peuvent générer des vagues et des courants plus forts, augmentant ainsi l'énergie cinétique de l'océan. Le début de l'année 1971 a en effet été marqué par une tempête de neige [3].

### 3.2 Vorticité relative

Nous nous intéressons maintenant à la vorticité relative  $\zeta/f$  normalisée par le paramètre de Coriolis en surface, pour en comparer l'évolution à différents pas de temps (Fig.8).

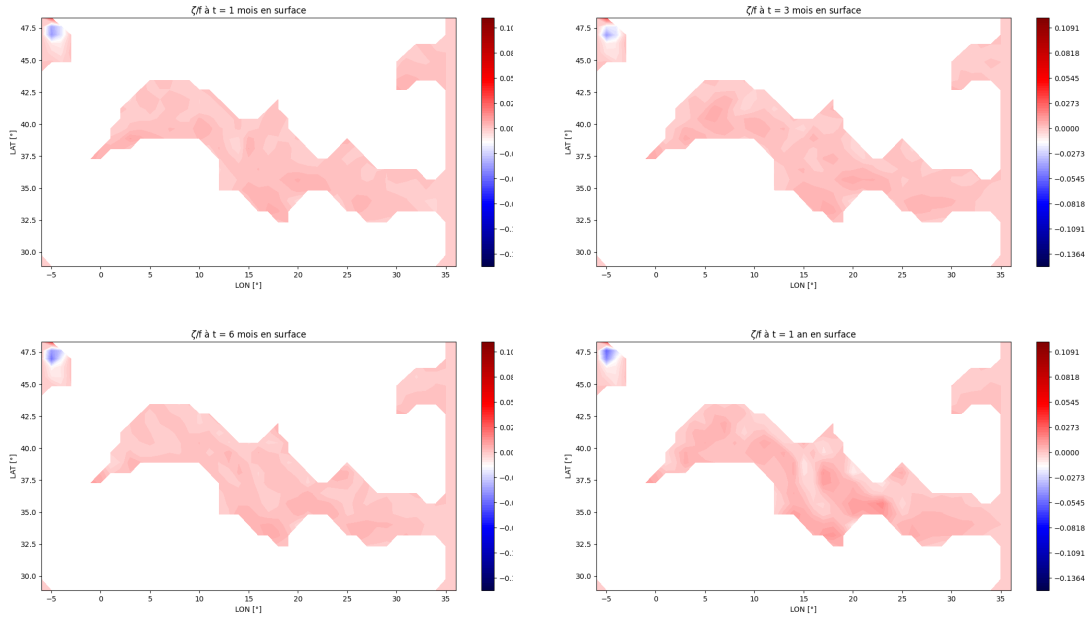


FIGURE 8 – Vorticité relative de surface

En mer Méditerranée, la vorticité relative peut être influencée par plusieurs facteurs, notamment la topographie du fond de la mer, les courants océaniques, la circulation atmosphérique et la marée. Par exemple, les dénivélés dans le fond de la mer peuvent créer des zones où les courants sont plus forts, ce qui peut augmenter la vorticité relative. De plus, les courants océaniques peuvent générer des tourbillons, qui peuvent également augmenter la vorticité relative. La Méditerranée étant relativement petite par rapport à un bassin de plus grande échelle, l'évolution de la vorticité relative reste assez faible. Nous étudions le même paramètre mais à 400 m de profondeur (Fig.??) mais les figures ne montrent pas de différences notables qui pourraient être la source d'interprétation.

### 3.3 Température

On s'intéresse maintenant à la température. Une caractéristique notable en méditerranée est le palier de température à partir de 200 m de profondeur. En effet, entre 200 m et 3000 m sous la surface, la température reste environ à 13 °C. C'est pourquoi nous avons décidé de visualiser la température à 400 m de profondeur sur un, trois, six et douze mois (Fig.9).

Si la température de l'eau se réchauffe en profondeur sur un an, lors du passage de l'hiver à l'été, on remarque que la plage de variation reste très faible et centrée autour de 13 °C.

Il est par ailleurs logique que les eaux se refroidissent lorsqu'elles se rapprochent du détroit de Gibraltar car elles sont plus près de l'Atlantique. Cependant certaines zones isolées semblent anormalement froides en particulier pendant l'hiver. Parmi elles, la pointe de l'Italie et le large de chypre. En effet, ce sont des zones où le phénomène de downwelling est actif **REF?figure 18**, en particulier en hiver lorsque les vents continentaux froids



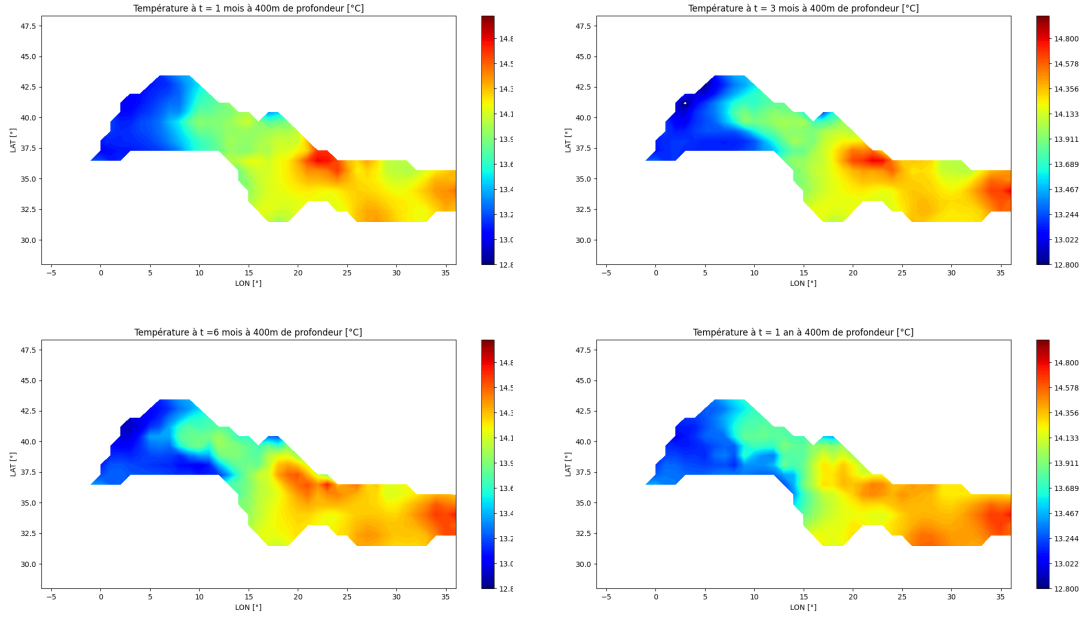


FIGURE 9 – Température à 400 m de profondeur

refroidissent l'eau de surface qui, plus salée par évaporation et par mélange avec les eaux intermédiaires, devient plus dense et plonge au fond.

### 3.4 Vitesse moyennée de surface

Pour avoir un point de vue global sur les courants qui animent ces masses d'eau, on trace sur la figure 10 les vitesses moyennes zonale et méridionale de surface sur un an.

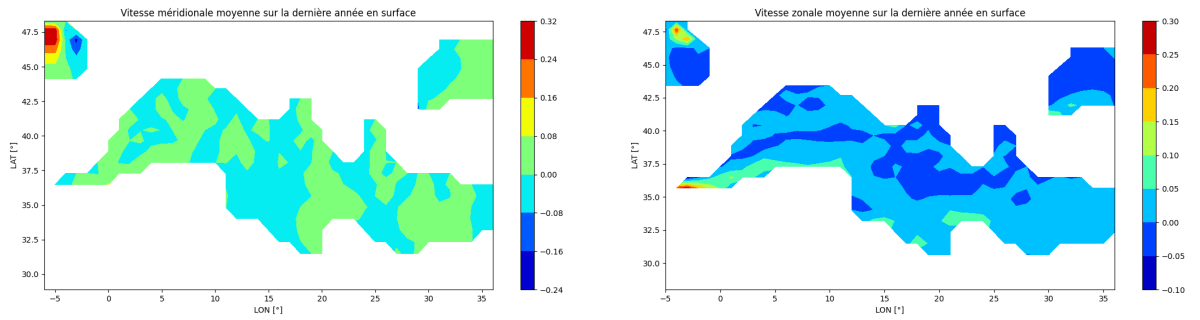


FIGURE 10 – Vitesses méridionale et zonale de surface moyennées sur un an

La vitesse méridienne reste très faible et ne varie quasiment pas. La vitesse zonale est également faible, on observe cependant des vitesses fortes au débouché du détroit de Gibraltar.

### 3.5 Coupes méridiennes et zonales

Dans cette modélisation, nous avons voulu nous pencher sur une zone centrale dans le bassin méditerranéen oriental: à  $34.8^\circ\text{N}$  et  $19^\circ\text{E}$ . Nous traçons sur les figures 13, 14, 12, 17, les coupes méridionale et zonale de densité et de vitesse dans cette zone, au bout de 10 jours puis d'un an. Les coupes méridiennes et zonales de densité sont des outils couramment utilisés pour étudier la circulation océanique et la stratification de l'océan. La densité de l'eau de mer varie en fonction de sa température, de sa salinité et de sa pression, et est donc un indicateur important de la structure de l'océan. On observe cependant très peu de variations sur un an.

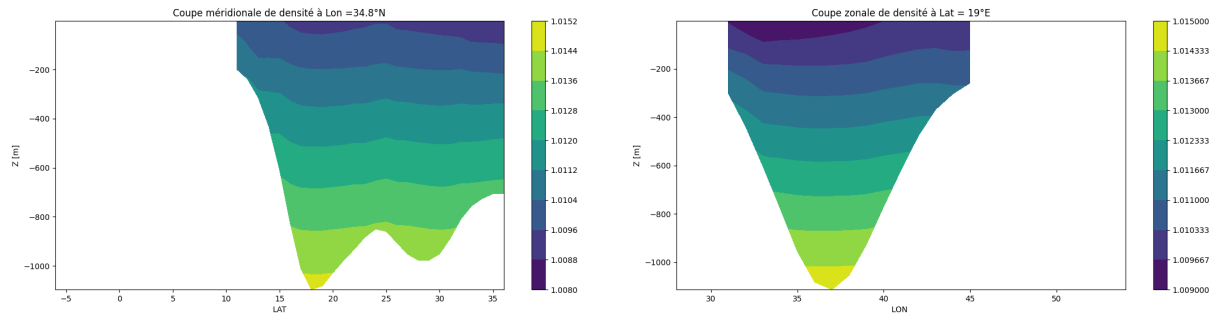


FIGURE 11 – Coupes méridionale et zonale de densité pour la zone sélectionnée pour  $t = 10$  jours

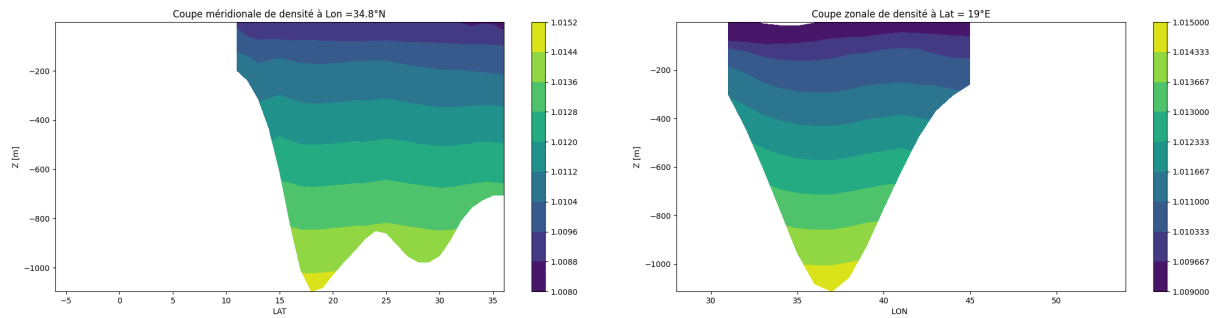


FIGURE 12 – Coupes méridionale et zonale de densité pour la zone sélectionnée pour  $t = 360$  jours

En Méditerranée, les coupes zonales de densité montrent une variation le long de la côte nord-africaine, en raison de la présence d'eaux profondes et d'eaux de surface chaudes en provenance de l'Atlantique. Pour pouvoir mettre en évidence ces échanges avec l'océan Atlantique, nous traçons les coupes zonales et méridiennes de densité au niveau du détroit de Gibraltar pour visualiser la superposition des masses d'eau entrantes

et sortantes.

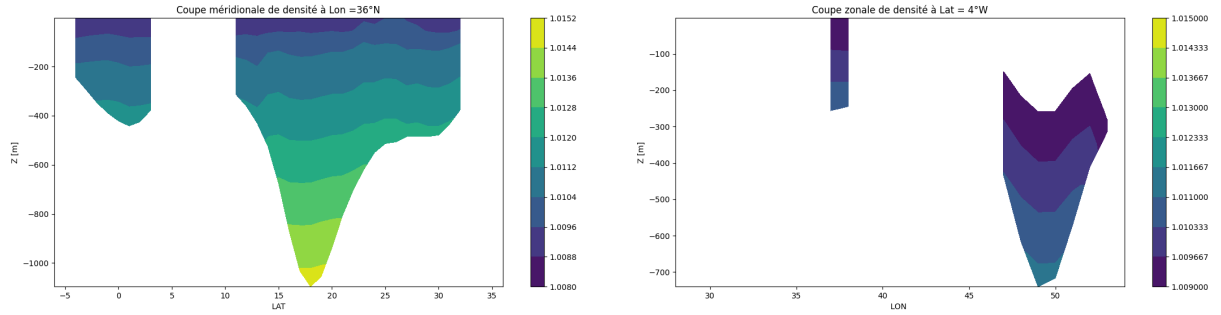


FIGURE 13 – Coupes méridionale et zonale de densité au détroit de Gibraltar pour  $t = 10$  jours

Les coupes de densité affichées vérifient en premier lieu la présence d’une stratification dans la Méditerranée, avec une couche d’eau peu dense en surface, qui surmonte une couche d’eau plus froide et plus dense. Cependant on peut noter la présence de masses d’eau moins denses à profondeur égale dans le détroit de Gibraltar en raison d’une plus grande influence de l’Atlantique. Cette arrivée d’eau moins salée et plus froide en surface est particulièrement visible sur la coupe zonale de densité. A l’inverse, les masses d’eau au centre du bassin méditerranéen oriental sont plus marquées par la présence de sources d’eau profonde en provenance de la mer Noire et de la mer Rouge que par le remplissage de la mer par sa péninsule occidentale.

Afin d’estimer les principaux courants, nous nous intéressons aux coupes de vitesse. En effet, les coupes méridiennes et zonales de vitesse sont utilisées pour étudier la circulation océanique, y compris la circulation profonde et la circulation de surface, ainsi que pour identifier les courants de bord, les tourbillons et les jets. Ces coupes permettent également d’observer les changements saisonniers et interannuels de la circulation mais nous n’observons pas de grands changements au bout d’un an de simulation.

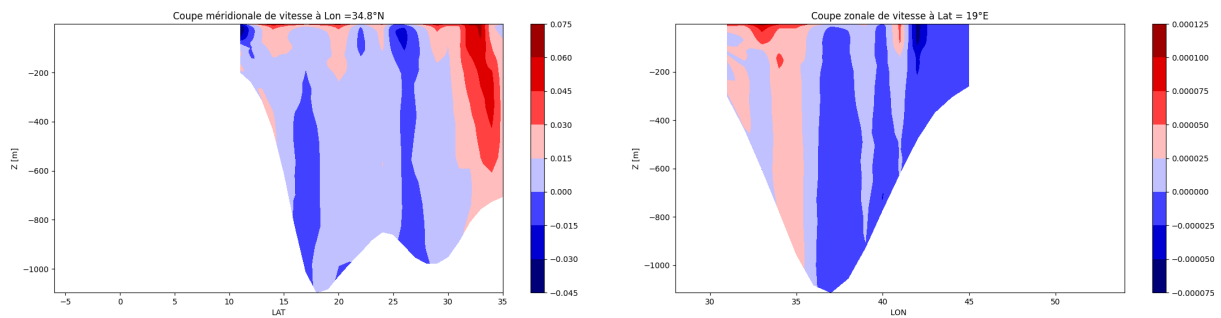


FIGURE 14 – Coupes méridionale et zonale de vitesse pour la zone particulière pour  $t = 10$  jours

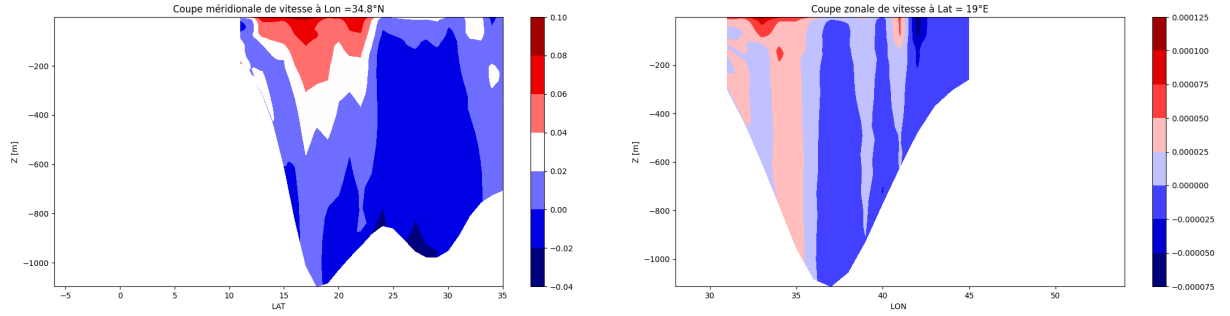


FIGURE 15 – Coupes méridionale et zonale de vitesse pour la zone particulière pour  $t = 360$  jours

Les coupes méridiennes de vitesse montrent une circulation profonde relativement stable avec des courants principaux qui se déplacent d'Est en Ouest. En revanche, la circulation de surface est plus complexe, avec des courants de bord qui se déplacent dans les deux sens. Au niveau de notre première zone d'intérêt on peut voir sur la coupe méridionnale l'arrivée au bout de course des eaux atlantiques qui se déplacent d'Ouest en Est en surface. En complément, la coupe zonale confirme une circulation dans le sens anti-horaire dans le bassin oriental. Cependant, en Méditerranée, les coupes zonales de vitesse montrent souvent la présence de jets, tels que le jet de Ligurie, qui se déplace vers l'est le long de la côte française, ou le jet de Rhodes, qui se déplace vers l'est à travers le bassin oriental de la Méditerranée. Nous nous plaçons donc aux latitudes de ces deux régions pour que les coupes zonales suivantes illustrent bien les deux jets.

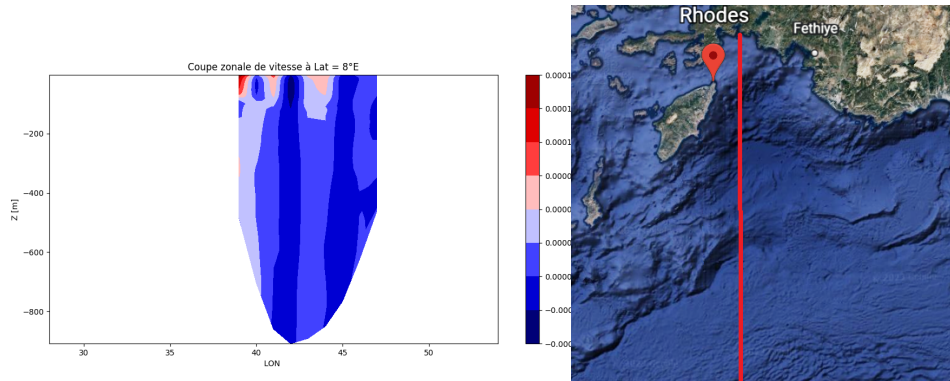


FIGURE 16 – Coupe zonale de la vitesse à la longitude de Rhodes

En effet, sur les figures supérieures, des vitesses positives d'ouest en est se retrouvent aux longitudes correspondant au détroit de Rhodes. De la même façon les figures inférieures présentent au bord de la côte nord une vitesse positive d'ouest en est correspondant bien au courant de bord en mer ligur.

Toutes ces dynamiques complexes du bassin méditerranéen, mises en lumière par

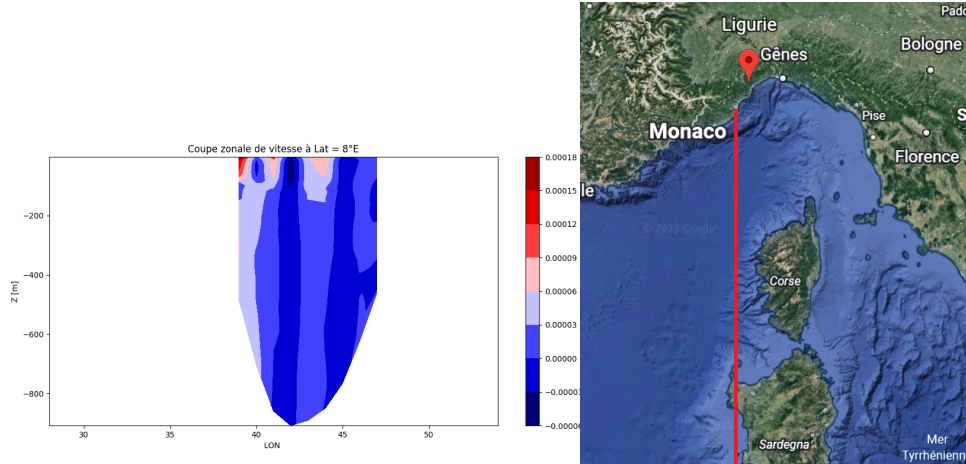


FIGURE 17 – Coupe zonale de la vitesse à la longitude de Ligurie

notre modèle, sont confirmées et synthétisées dans le schéma suivant provenant de l'ifremer.

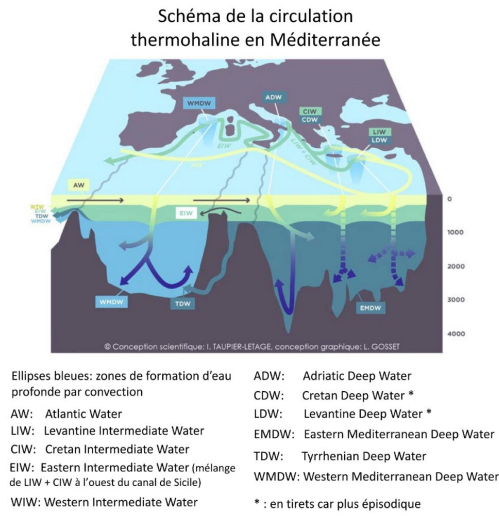


FIGURE 18 – Circulation thermohaline en méditerranée

Un point manque dans notre étude : les phénomènes tourbillonnaires.

### 3.6 Hauteur d'eau et énergie cinétique tourbillonnaire

Nous traçons ensuite la variance de la hauteur d'eau.

L'énergie cinétique tourbillonnaire de surface est un indicateur important de la turbulence et de la variabilité de la circulation de surface. L'énergie cinétique tourbillonnaire de surface est une mesure de l'énergie cinétique contenue dans les tourbillons de différentes

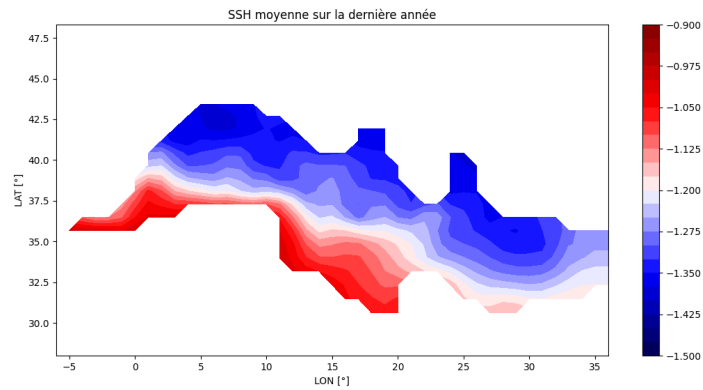


FIGURE 19 – Variance SSH sur un an

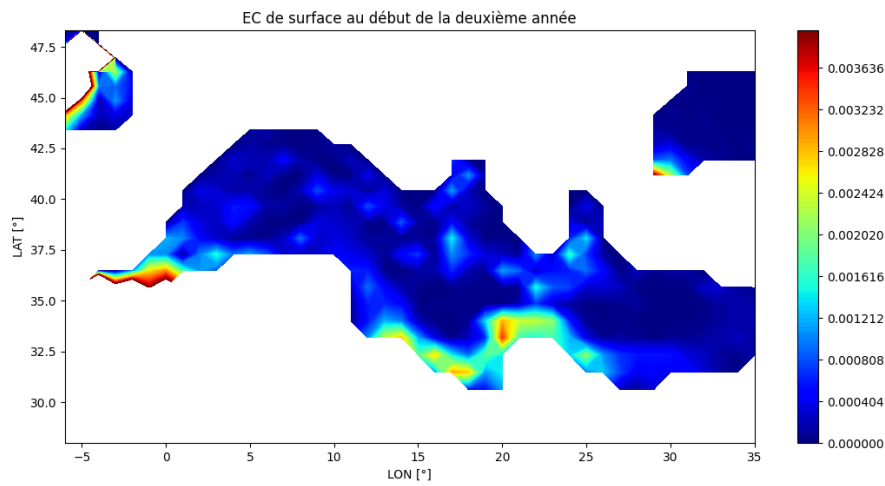


FIGURE 20 – Energie cinétique tourbillonnaire de surface

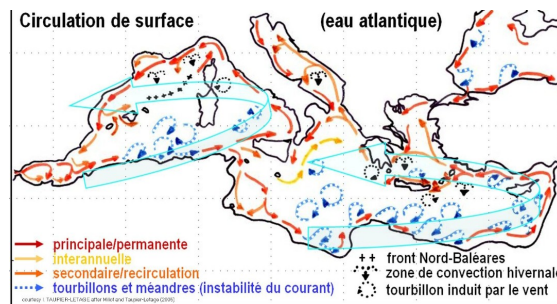


FIGURE 21 – Circulation de surface et tourbillons

tailles qui se forment à la surface de l'eau.

Les données d'observation montrent que l'énergie cinétique tourbillonnaire de surface

moyennée sur un an en Méditerranée varie considérablement en fonction de la saison et de la position géographique. Les valeurs les plus élevées d'énergie cinétique tourbillonnaire de surface sont observées dans les zones de passage étroit (Fig.20), telles que le détroit de Gibraltar et le détroit de Messine, où la circulation est plus rapide et plus turbulente en raison de la topographie sous-marine complexe. En dehors des zones de passage étroit, l'énergie cinétique tourbillonnaire de surface est relativement faible dans le bassin occidental de la Méditerranée et plus élevée dans le bassin oriental. Les régions côtières de la Méditerranée ont également des valeurs plus élevées d'énergie cinétique tourbillonnaire de surface en raison de l'interaction avec la terre. Une zone en particulier est très active sur notre simulation et sur le schéma de circulation : le nord de la lybie. En effet le golfe de Syrte y favorise ces phénomènes.

## 4 Pour aller plus loin: circulation générale en Méditerranée

### 4.1 Phénomène de renversement et masses d'eau

Les circulations dans le sens des aiguilles d'une montre dans la colonne d'eau supérieure sont engendrées par les cellules présentes dans les plans vertical et zonal ou méridional qui caractérisent le renversement. À l'inverse, les régions profondes et abyssales sont affectées par des circulations dans le sens inverse des aiguilles d'une montre [1].

Le bassin est divisé en différentes zones, chacune dominée par des processus distincts, par plusieurs seuils d'environ 500 m de profondeur. Le détroit de Gibraltar, qui mesure environ 7 km de large et dont la profondeur est d'environ 300 m, constitue un seuil étroit reliant la Méditerranée à l'Atlantique. L'échange à travers le détroit implique un flux baroclinique à deux couches, lequel est influencé par le bilan énergétique et de flottabilité du bassin semi-fermé. Ce flux à deux couches fournit des eaux peu salées à la Méditerranée, ce qui compense l'effet de l'évaporation à l'interface air-mer qui tend à augmenter la concentration en sel dans le bassin. De ce fait, il contribue au maintien d'une stratification dans le bassin méditerranéen.

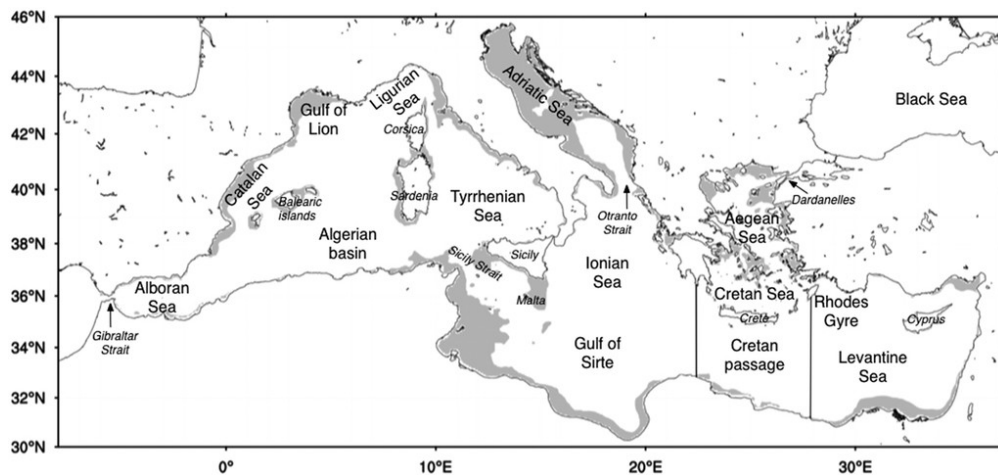


FIGURE 22 – Mer Méditerranée et locations géographiques



## 4.2 Exemple de modélisation

La circulation zonale de la mer Méditerranée a été décrite pour la première fois par Wüst [1] en 1961 en analysant une section verticale de salinité, et par Zavatarelli et Mellor (1995) en termes de fonction de flux de transport zonal eulérienne obtenue avec un modèle numérique à résolution grossière. Il existe quatre zones de formation de masse d'eau bien définies : le gyre du golfe du Lion dans la Méditerranée ouest [2], le sud de l'Adriatique, la mer de Crète et le gyre de Rhodes dans la méditerranée est.

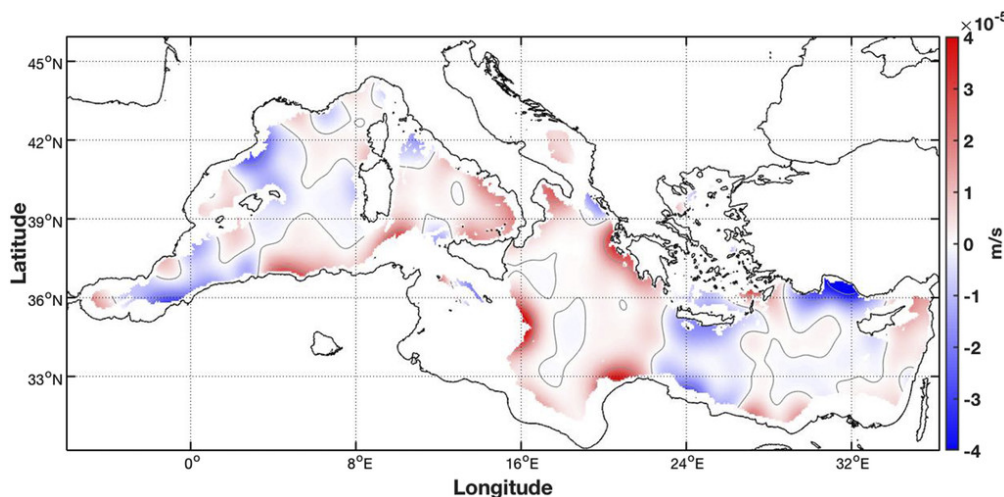


FIGURE 23 – Vitesse verticale à 1000 m de profondeur: distinction des masses d'eau

## 4.3 Coupes de densité

Selon l'article [1], l'analyse de la densité globale des sections méridiennes montre l'émergence de deux zones méridiennes distinctes: une au-dessus de 200 m, où les régions septentrionales sont dominées par l'affleurement d'isopycnaux et les régions méridionales sont dominées par l'écoulement AW, et une en-dessous de 300 m, où les isopycnaux profonds en aval des zones de formation océanique vers les côtes et en amont sur les rives sud, à l'exception de la section du passage crétois. À partir de ces sections de densité, il n'est pas possible de dresser un tableau complet de la circulation profonde du bassin.

Nous pourrions améliorer le modèle de multiples façons. Tout d'abord, nous pourrions diminuer progressivement le pas (dx,dy) pour augmenter la résolution spatiale. Notre limite serait le temps de calcul avec un dt de plus en plus petit. Dans un second temps, nous pourrions activer la viscosité explicite horizontale en laplacien pour conserver la quantité de mouvement et le moment angulaire avec un terme visqueux purement dissipatif. Un schéma d'advection horizontale WENO5 peut être aussi préférable. Nous devrions enfin redéfinir nos frontières comme fermées avec 2 Psources aux détroits de Mérine et Suez.

Pour aller bien plus loin, on peut donner l'exemple de la réanalyse sur laquelle s'appuie l'article que nous avons étudié. Leur simulation utilise les données du modèle NEMO



et la résolution est très fine :  $1995/1^\circ \times 16/1^\circ$ . Le domaine s'étend aussi au delà du détroit de Gibraltar pour mieux comprendre les échanges de masses d'eau avec la mer:  $18^\circ\text{O}$  à  $125,36^\circ\text{E}$  en longitude et de  $25,30^\circ$  à  $1875,45^\circ\text{N}$  en latitude. D'autres analyses peuvent aussi s'intéresser à la connexion entre la circulation verticale et les échanges air-eau de mer. Une telle étude permettrait, entre autre, de mieux comprendre les causes de l'appauvrissement en oxygène de la mer méditerranée.

## Références

- [1] Pinardi et AL. “The Mediterranean Sea Overturning Circulation”. In : (2019). URL : <https://journals.ametsoc.org/view/journals/phoc/49/7/jpo-d-18-0254.1.xml>.
- [2] Bernard H ARATA. “Deep Convection in the Mediterranean Sea”. In : *NAVAL POSTGRADUATE SCHOOL MONTEREY CA* (1994).
- [3] Météo FRANCE. “Grand froid : Hiver 1970-71, une " marée blanche”. In : (). URL : <https://meteofrance.com/actualites-et-dossiers/magazine/froid-il-y-50-ans-27-degc-grenoble-et-vichy>.

## Table des figures

1	caractérisation de <b>OPENMP</b> . . . . .	2
2	UP3 . . . . .	3
3	SPLINES . . . . .	3
4	Extrait du fichier <i>cppdefs.h</i> . . . . .	4
5	Aperçu de la grille et paramètres de discrétisation . . . . .	4
6	Aperçu du fichier <i>croco_in</i> . . . . .	5
7	Evolution de l'énergie cinétique intégrée sur tout le domaine . . . . .	6
8	Vorticité relative de surface . . . . .	7
9	Température à 400 m de profondeur . . . . .	8
10	Vitesses méridionale et zonale de surface moyennées sur un an . . . . .	8
11	Coupes méridionale et zonale de densité pour la zone sélectionnée pour t = 10 jours . . . . .	9
12	Coupes méridionale et zonale de vitesse pour la zone sélectionnée pour t = 360 jours . . . . .	9
13	Coupes méridionale et zonale de densité au détroit de Gibraltar pour t = 10 jours . . . . .	10
14	Coupes méridionale et zonale de vitesse pour la zone particulière pour t = 10 jours . . . . .	10
15	Coupes méridionale et zonale de vitesse pour la zone particulière pour t = 360 jours . . . . .	11
16	Coupe zonale de la vitesse à la longitude de Rhodes . . . . .	11
17	Coupe zonale de la vitesse à la longitude de Ligurie . . . . .	12
18	Circulation thermohaline en méditerranée . . . . .	12
19	Variance SSH sur un an . . . . .	13
20	Energie cinétique tourbillonnaire de surface . . . . .	13
21	Circulation de surface et tourbillons . . . . .	13
22	Mer Méditerranée et locations géographiques . . . . .	14
23	Vitesse verticale à 1000 m de profondeur: distinction des masses d'eau . . . . .	15