

Modélisation du Bassin Levantin



Roxane TZORTZIS

M1 Océanographie physique et biogéochimique
OPB205 : Modélisation de la circulation océanique

Encadrant : A. Doglioli

Année universitaire : 2017-2018

Résumé

Le bassin Levantin, est une zone importante pour la circulation méditerranéenne. En effet, c'est dans cette zone que se forme les eaux profondes méditerranéennes, ainsi que de nombreux tourbillons et gyres. Cette étude a pour objectif de mettre en évidence la circulation dans le bassin levantin, et de suivre l'évolution des structures tourbillonnaires en fonction de la saisonnalité, grâce aux simulations réalisées avec le modèle ROMS (*Regional Ocean Modelling System*). En effet, ce modèle utilise une maille de calcul de type Arakawa-C, permettant de discréteriser les équations du mouvement et de conservation. Pour cela, le modèle est implanté pour le bassin Levantin (résolution, taille de la zone, condition aux frontières et paramètres temporelles). Les résultats obtenus seront par la suite comparés avec les données issues de la littérature scientifiques. La circulation de courant de surface dans le bassin Levantin sur les simulations, concorde avec les données scientifiques. D'autre part, l'évolution au cours des saisons des tourbillons et gyres est également avérés.

Abstract

The Levantine basin, is an important area for the Mediterranean circulation. Indeed, it is in this area that forms the deep Mediterranean waters, as well as many eddies and gyres. The goal is to learn the circulation in the Levantine basin, and to follow the evolution of the eddies with the seasonality. That's why, we use the model ROMS (Regional Ocean Modeling System). Indeed, this model discretizes the equations of the movement and conservation with an Arakawa-C grid, and we have to implement data for the Levantine basin (resolution, size of the area, boundary condition and temporal parameters). The results will be compared with data from the scientific literature. Surface current circulation correspond to the scientific data. Furthermore, the evolution during the seasons of eddies and gyres is correct.

1. Introduction

La Méditerranée se divise en deux bassins bien individualisés, séparés par des hauts fonds situés entre la Sicile et la Tunisie : la Méditerranée occidentale et la Méditerranée orientale. Le bassin Levantin est une subdivision du bassin oriental de la mer Méditerranée, qui correspond à sa partie la plus à l'est. Il est délimité au nord-ouest par la partie orientale de la Crète et l'île de Rhodes ; au nord, par les côtes turques ; à l'est, par celles de la Syrie, du Liban, d'Israël et de la Palestine ; puis au sud par les côtes égyptiennes et libyennes. Le climat aride et les vents secs, favorisent l'augmentation de salinité en surface, qui est à l'origine de la formation d'eaux profondes et intermédiaires Méditerranéennes. La circulation de surface quant à elle, forme une boucle anti-cyclonique autour des bords du bassin, dont les deux branches principales sont, au sud, le courant Lybio-Egyptien (LEC), et au nord, le courant mineur asiatique (AMC) (Menna *et al.*, 2012). D'autre part, le bassin Levantin est le siège de tourbillons (*eddies*) et gyres. Les tourbillons sont des phénomènes qui peuvent être générés par des processus de déstabilisation d'un courant longeant le talus, ou par le rotationnel du vent. Ils peuvent tourner en sens cyclonique ou anticyclonique et lorsqu'ils ne sont pas bloqués par la topographie, ils peuvent se déplacer. Les gyres quant à eux, sont créées par le vent ou par certaines formes de la topographie du fond comme les détroits et sont forcées par la bathymétrie du bassin. Contrairement aux tourbillons, les gyres ne peuvent pas se déplacer (Doglioli, 2014). Certaines de ces structures sont permanentes, mais d'autres peuvent être induites en fonction des saisons par les vents (Özsoy *et al.*, 1993).

Cette étude a pour objectif de modéliser le bassin Levantin, en utilisant une version du modèle ROMS (*Regional Ocean Modelling System*). Cet outil permet en effet d'effectuer un suivi au cours du temps des paramètres tels que la température et la salinité mais également de suivre l'évolution de la formation des tourbillons dans cette zone, en fonction des variations saisonnières. Ces analyses permettront ainsi de mettre en évidence, la formation des tourbillons et des gyres suivant la variabilité saisonnière, au cours d'une année. Ces résultats seront ensuite comparés à des données expérimentales issues de la littérature afin de vérifier leurs validités.

2. Matériel et méthodes

2.1. Le modèle ROMS

De nombreux modèles numériques existent, comme par exemple SYMPHONIE, POM et ROMS. Le modèle ROMS permet de choisir entre différents schémas : Mellor et Yamada, (1974), Pacanowski et Philander, (1981), ou Large *et al.*, (1994), qui utilisent tous une paramétrisation de type K-profile. En ce qui concerne notre étude, nous utilisons l'approche de Large *et al.*, (1994). Ce schéma de mélange vertical permet en effet, de coupler la surface et l'intérieur de l'océan.

Les équations résolues par ROMS sont appelées équations primitives, et sont décrites par leurs coordonnées cartésiennes (O, x, y, z). Le modèle ROMS permet de discréteriser ces équations en utilisant une maille de calcul de type Arakawa-C. En ce qui concerne le domaine de l'océanographie, l'évolution de la vitesse horizontale moyenne des particules d'un fluide, est décrite par les équations du mouvement appelées aussi équations de Navier-Stokes (Eq.1). Les paramètres physico-chimiques quant à eux sont caractérisés par l'équation de conservation de température et de salinité (Eq.2), et par l'équation d'état de l'eau de mer (Eq.3). Différentes hypothèses peuvent ensuite être appliquées à ces équation :
L'approximation hydrostatique : l'équation de mouvement sur la verticale est réduite à un équilibre entre force de gravité et gradient vertical de pression. L'approximation de Boussinesq, qui permet de supposer la densité constante si ces variations sont petites.
L'approche de Reynolds qui émet une hypothèse de fermeture turbulente. L'effet des petites échelles sur les grandes est paramétré.

Eq.1 : Les équations du mouvement.

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \nabla u - fv &= -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial x} + A_h \nabla_h^2 u + A_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \cdot \nabla v + fu &= -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial y} + A_h \nabla_h^2 v + A_v \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \\ 0 &= \frac{\partial P}{\partial z} + \rho g\end{aligned}$$

Eq.2 : Equations de conservation de la chaleur et de la salinité.

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \cdot \nabla T = K_h \nabla_h^2 T + K_v \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla S = K_h \nabla_h^2 S + K_v \frac{\partial^2 S}{\partial z^2}$$

Eq.3 : Equation d'état de l'eau de mer (TEOS-10).

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

Avec $\mathbf{u}, \mathbf{v}, \mathbf{w}$, les vitesses selon x, y et z.
 f le paramètre de Coriolis (10^{-4} s^{-1}).
 ρ la masse volumique.
 P la pression.

Ah et Av les coefficients de viscosité turbulente horizontale (h) et verticale (v).
 g l'accélération gravitationnelle.
 K_h et K_v les coefficients de diffusion turbulente horizontale (h) et verticale (v).

2.2. Paramétrisation de ROMS pour l'étude du bassin Levantin

2.2.1. Création de la grille

L'implémentation du modèle, commence par la délimitation de la zone d'étude et par la fixation de ces coordonnées. Le script Matlab *ad_findgeocoord.m*, est utilisé afin de fixer les coordonnées géographiques du domaine de calcul. Puis ces valeurs sont rentrées dans le fichier *romstool_param.m* (voir Tab.1).

Tab.1 : Coordonnées géographiques de la zone d'étude.

Longitude maximum	36
Longitude minimum	27,5
Latitude maximum	37
Latitude minimum	30,5

Dans *romstool_param.m*, et dans *cppdefs.h*, on précise également les conditions de frontières ouvertes et fermées (voir Tab.2), ainsi que la résolution du modèle (pour éviter les simulations trop longues, la taille de la grille ne doit pas excéder 10^5 mailles). Dans cette étude, le pas d'espace (dl) choisi pour la résolution est de 1/5.

Tab.2 : Conditions de frontières ouvertes et fermées.

Frontière Nord	Frontière Sud	Frontière Ouest	Frontière Est
Fermée	Fermée	Ouverte	Fermée

Une fois ces paramètres rentrés dans *romstool_param.m*, on lance *make_grid.m*, dans Matlab. On précise que la version 2012 de Matlab est utilisée (matlab_R2012a). Pendant l'exécution de *make_grid.m*, on choisit l'option *edit_mask* en répondant y. L'exécution de *make_grid.m*, permet de créer la grille du domaine, et donne ses paramètres ainsi que la bathymétrie du modèle (voir Tab.3). Le nombre de mailles verticales N reste fixé à 32. Les paramètres de la grille permettent ensuite de calculer les critères de stabilité, CFL.

Tab.3 : Valeurs données lors de l'exécution de *make_grid.m*.

Valeurs des pas spatiaux	Valeurs de la taille de la grille
Dxmin= 17,7169 km	LLm= 41
Dxmax=19,1511 km	MMm=39
Dymin= 17,7729 km	dl=1/5
Dymax=19,1341 km	

Les valeurs LLm et MMm, fournies par *make_grid.m*, doivent être rentrées dans le fichier *param.h*.

2.2.2. Détermination des forçages

Les forçages atmosphériques sont issus de la base de données WOA2009, qui doit être rentrée à la ligne 258 du fichier *romstools_param.m*. Ce sont des données moyennées, réalisées sur plusieurs années afin d'obtenir une année « type ». Puis l'exécution des fichiers *make_clim.m* et *make_forcing.m*, permet de mettre en place les conditions aux frontières, ainsi que les forçages.

2.2.3. Détermination des pas de temps

Le pas de temps interne (dt), a été calculé par rapport aux conditions CFL « Courant-Friedrichs-Levy » (Eq.4). En effet, il doit permettre de visualiser les phénomènes, même les plus rapides, en évitant les problèmes de type Aliasing. Pour cela, le pas de temps Δt est relié au pas de grille Δx , par la vitesse de propagation de l'onde \sqrt{gH} , où H désigne la profondeur maximale de bathymétrie du domaine étudié (Eq.5).

Ces données sont rentrées dans les fichiers *roms.in* et *roms_inter.in* (voir Tab.4). On fixe également, le pas de temps externe (NDTFAST), la durée de simulation (NTIMES) et la fréquence de sauvegarde des sorties instantanées (NWRT) et moyennées (NAVG).

Eq.4 : Conditions CFL.

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} \geq \sqrt{gH} \Leftrightarrow \Delta x \geq \sqrt{gH} \times \Delta t$$

Eq.5 : Formule de calcul du critère CFL.

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

Tab.4 : Tableau récapitulatif des valeurs de pas de temps dans ROMS.

dt (secondes)	NDTFAST (sans unité)	NTIMES	NWRT	NAVG
2160	60	1200	1200	120

3. Résultats

3.1. Diagnostique du modèle

Une fois les simulations réalisées, le script *roms_diags.m*, permet de déterminer à quel moment le modèle se stabilise, et donc oscille autour d'une valeur de référence. Le script *plot_diags.m*, permet d'obtenir un graphique des variables de diagnostiques moyennées (Fig.1).

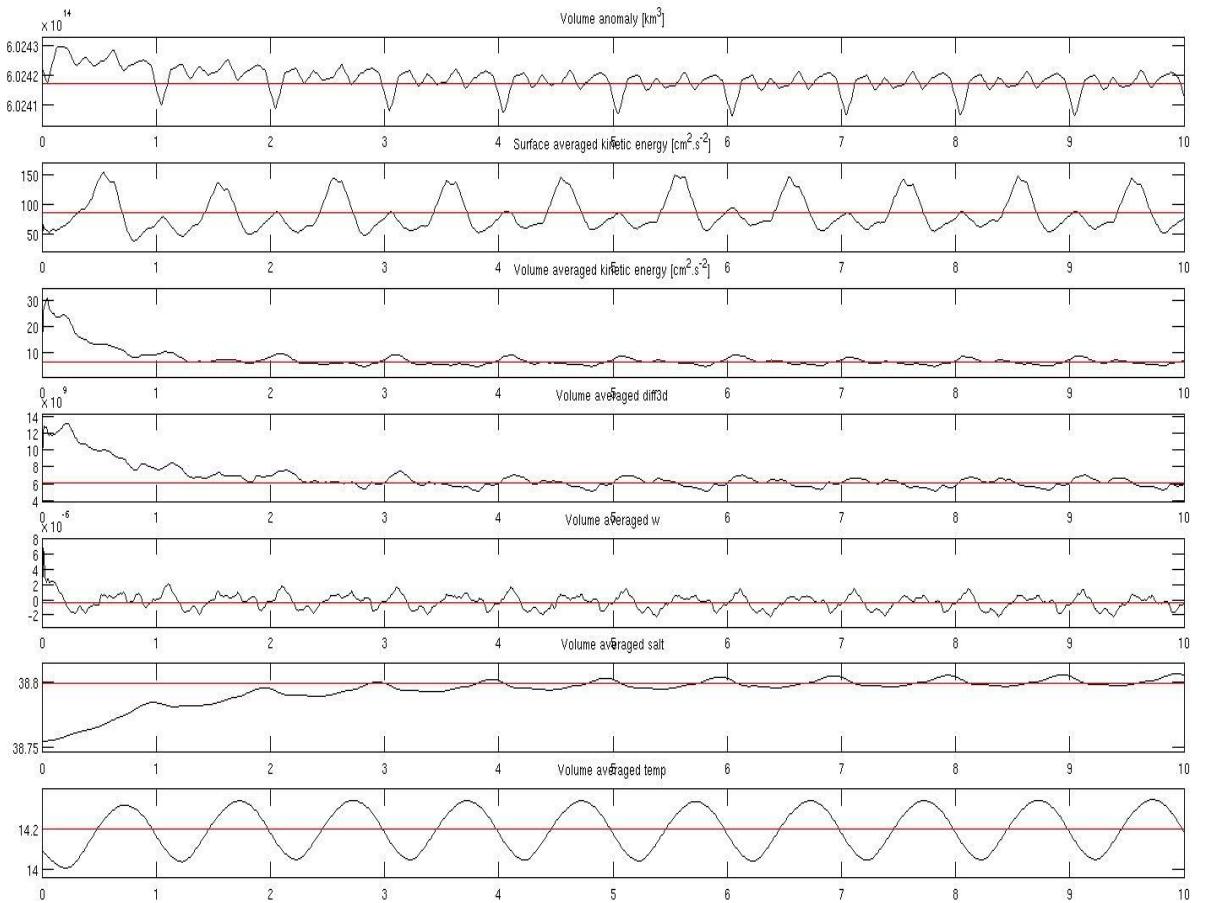


Fig.1 : Diagnostique du modèle, sur les 10 années de simulations.

Sur la figure 1, les variables de domaine se stabilisent rapidement après le début des simulations, et oscillent autour de leur valeur de référence, exprimant ainsi leur variabilité saisonnière. Seule la salinité, commence à se stabiliser à partir de la 4^{ème} année de simulation. Cette stabilisation plus tardive de la salinité, peut s'expliquer par le fait que ces valeurs sont très élevées (autour d'une moyenne de 38,8), il faut donc un certain temps avant d'atteindre ces valeurs. Dans la suite de l'étude, les simulations retenues, seront donc celles à partir de la 5^{ème} année, date à laquelle toutes les variables du modèle se sont mises en place.

3.2. Variations saisonnières du bassin

Un suivi sur une année (l'année 6 de simulation), de la température et de la surélévation de surface dans le bassin, est réalisé, en comparant chacun de ces paramètres, en Mars puis en Novembre.

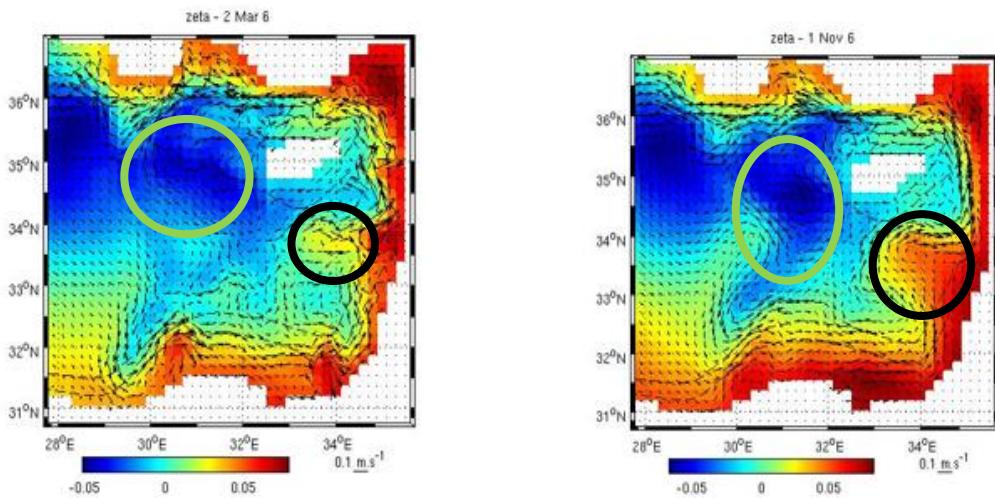


Fig.2 : Surélévation de la surface moyenne en Mars et en Novembre.

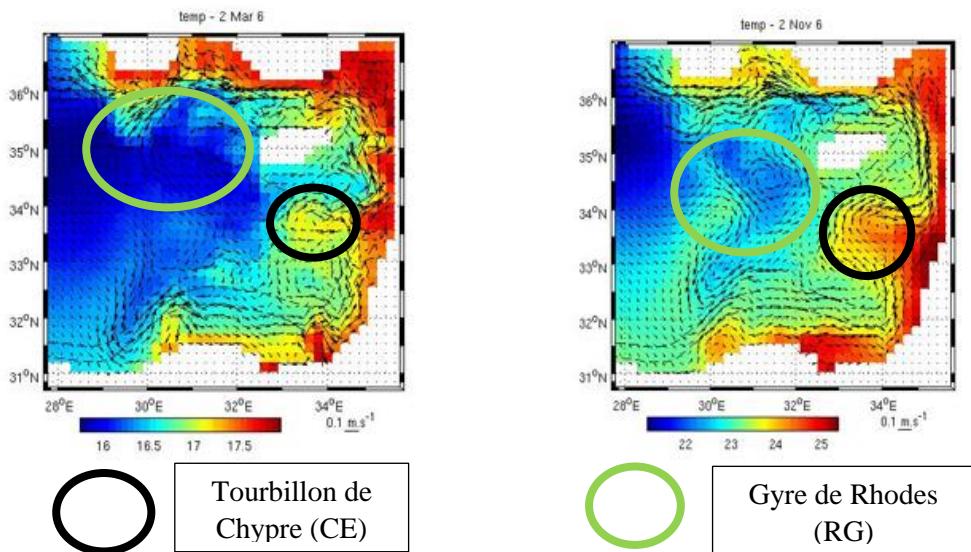


Fig.3 : Température moyenne en Mars et en Novembre.

La comparaison de l'élévation de la surface entre le mois de Mars et Novembre (Fig.2) permet de mettre en évidence, la formation de tourbillons. Tout d'abord, le tourbillon de Chypre (CE) est un tourbillon, dont l'intensité varie en fonction des saisons. Il est aussi visible, sur les cartes des températures de surface. Le gyre de Rhodes, est également permanent et semble peu varier au cours de saison.

3.3. Sections verticales

Le bassin Levantin est le siège de quatre types d'eau, qui se distinguent par leurs caractéristiques de température et de salinité (Tab.5). Ces paramètres dits conservatifs, permettent en effet, de suivre ces masses d'eau lors de leur mise en mouvement.

Tab.5 : Caractéristiques de Température et de Salinité des eaux types du bassin Levantin.
Tableau modifié d'après Kovacevic *et al.*, 2012.

Eaux types	Acronymes	Température (°C)	Salinité
Atlantic Water	AW	23,29	38,10
Levantine Surface Water	LSW	24,03	39,36
Levantine Intermediate Water	LIW	14,36	38,88
Eastern Mediterranean Deep Water	EMDW	13,49	38,75
Cretan Deep Water	CDW	13,66	38,80

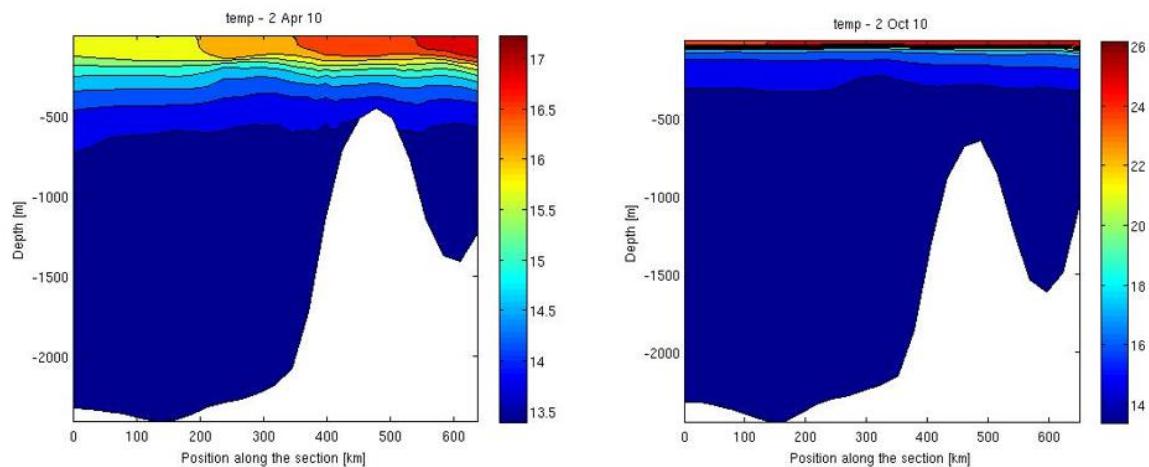


Fig.4 : Coupe verticale de température, à 34,5°N de latitude et de 28°E à 34°E de longitude, en Avril et en Octobre.

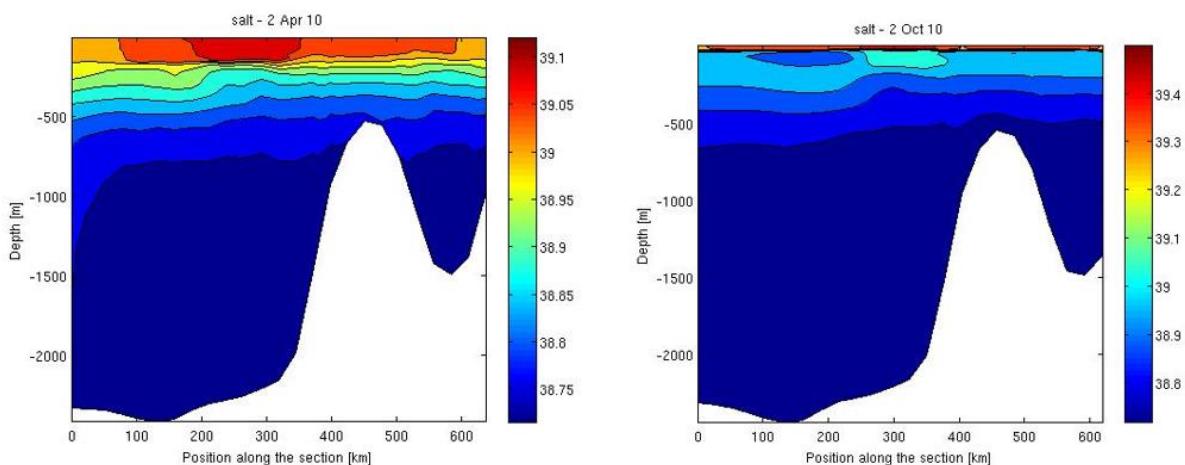


Fig.5 : Coupe verticale de salinité, à 34,5°N de latitude et de 28°E à 34°E de longitude, en Avril et Octobre.

Les profils verticaux de température (Fig.4) et de salinité (Fig.5), permettent d'identifier certaines eaux types présentent dans le bassin Levantin. D'autre part, les différences saisonnières apparaissent également. En effet, en Avril, les eaux de surfaces (inférieures à

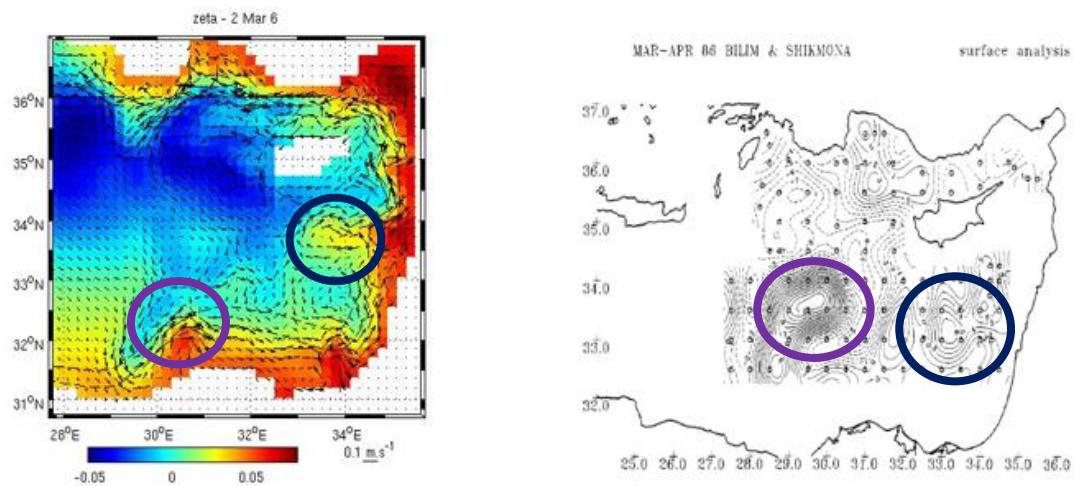
500m), sont caractérisées par des salinité supérieures ou égales à 39, et par des températures proches de 17°C. Cette très forte salinité est la signature typique de la LSW (voir Tab.5). Entre 500 m et 1000m, la salinité est de 38,8 et la température est de 14°C, correspondant à la LIW. Enfin, au-delà de 1000 m, la salinité est de 38,75 et la température est égale à 13,5, caractéristiques de la EMDW. En Octobre, la colonne d'eau apparaît plus homogène, et les eaux de surface sont moins visibles.

4. Discussion

La publication de Menna *et al.*, (2012) présente la circulation des principaux courants et des structures tourbillonnaires (Tab.6).

Tab.6 : Principaux courants circulant dans le bassin Levantin, et les principaux tourbillons et gyres présents. Tableau modifié d'après Menna *et al.*, 2012.

Courants	Acronymes	Tourbillons et gyres	Acronymes
Asia Minor Current	AMC	Cyprus Eddy	CE
Cicilian Current	CC	Egyptian Eddy	EE
Libyo-Egyptien Current	LEC	Mersa-Matruh Eddy	MME
Mid Mediterranean jet	MMJ	Rhodes Gyre	RG



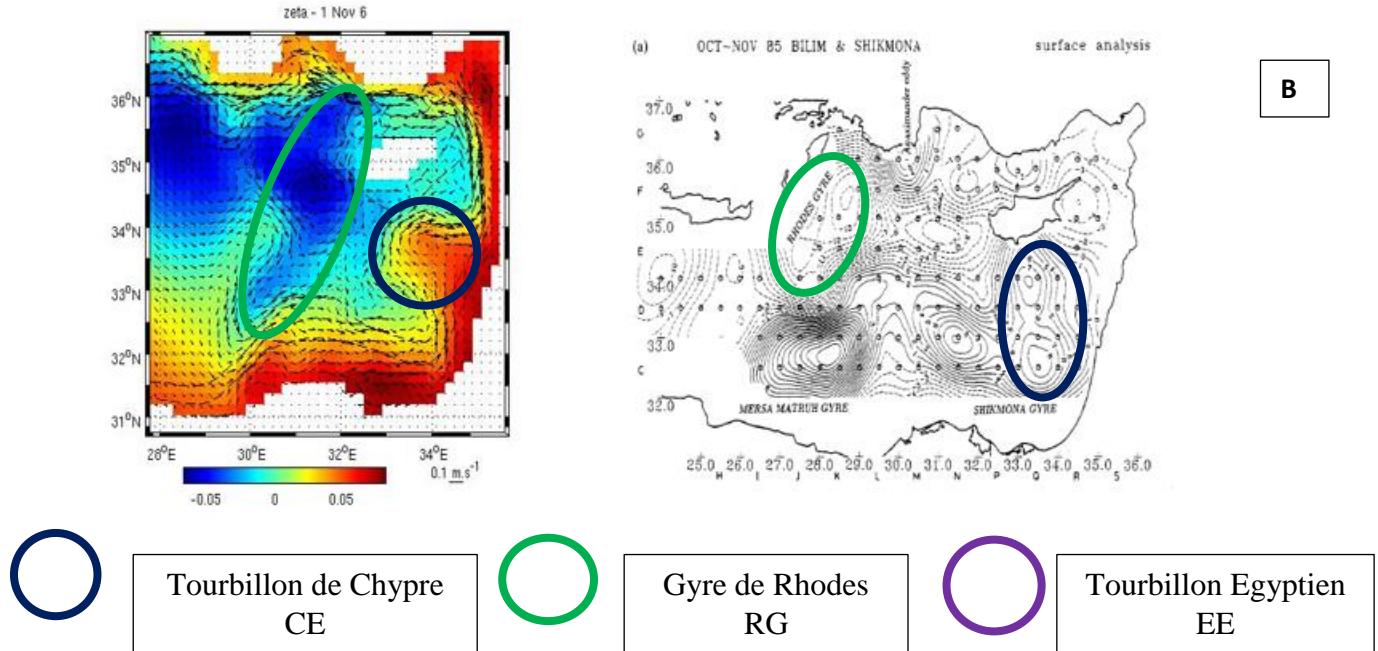


Fig.6 : Comparaison des résultats de ROMS avec les données issues de Özsoy *et al.*, (1993), en Mars [A] et en Novembre [B].

La figure 6, mets en parallèle les cartes obtenues avec les simulations ROMS de l’élévation de la surface en Mars et en Novembre, avec les données de Özsoy *et al.*, (1993). D’après la publication de Özsoy *et al.*, (1993), trois structures sont identifiables : le tourbillon de Chypre, le tourbillon Egyptien et le gyre de Rhodes. Sur les simulations du modèle ROMS, ces structures se retrouvent.

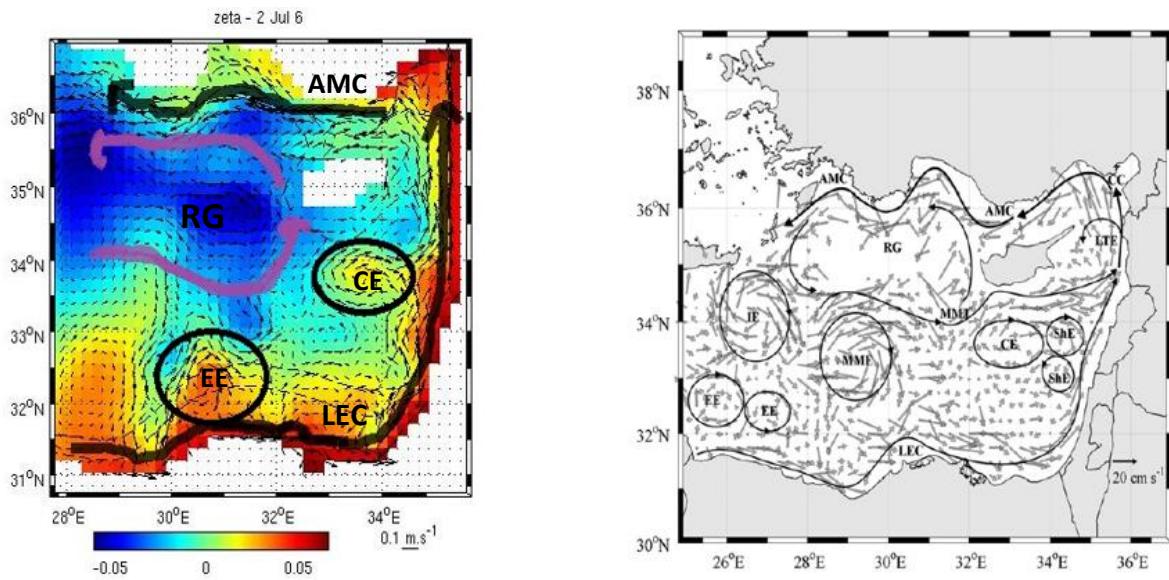


Fig.8 : Comparaison avec les données issues de Menna *et al.*, 2012.

La publication de Menna *et al.*, (2012), vient compléter la comparaison effectuée avec celle de Özsoy et al., (1993). En effet, la circulation simulée par le modèle ROMS, correspond assez bien à celle de Menna *et al.*, (2012). Sur la carte de ROMS présentant l’élévation de surface, une circulation autour du bassin est visible, et peut être identifiée comme les courants

LEC, CC et AMC. D'autre part, le gyre de Rhodes ainsi que les tourbillons de Chypre (CE) et Egyptiens (EE) se mettent peu à peu en place sur la simulation.

5. Conclusion

Le bassin apparaît comme une zone très importante pour la Méditerranée, puisqu'il est le lieu de la formation d'eau profonde et intermédiaire. Ces eaux (LIW) sont caractérisées par une salinité très élevée, et qui par la suite de leur circulation vont pouvoir quitter le bassin par le détroit de Gibraltar, et ainsi influencer la circulation globale, par cet apport important en sel. D'autre part, la circulation dans le bassin Levantin, associée à l'effet des vents et de la topographie, est l'origine de la formation de tourbillons et de gyre plus ou moins intenses en fonction des saisons. Les simulations effectuées grâce au modèle ROMS, concordent avec les données des articles scientifiques, puisque l'on retrouve la circulation générale autour du bassin, ainsi que les principales structures tourbillonnaires. De plus, les différentes masses d'eaux, caractéristiques du bassin Levantin, ont pu être identifier à partir des profils verticaux de température et de salinité. Cependant, certains tourbillons décrits dans les articles scientifiques, n'ont pas pu être identifiés sur le modèle, en particulier le *Shikmona Eddy*, et le *Mersa-Matruh Eddy*. De plus, la frontière ouverte à l'ouest du bassin sur le modèle ne rend pas parfaitement compte de la circulation. Afin d'améliorer les résultats obtenus, les simulations pourrait être relancées, en agrandissant légèrement la zone d'étude, jusqu'aux environs de la Crête, de façon de pouvoir d'avantage suivre le déplacement des tourbillons.

Bibliographie

Doglioli A., 2014. Notes sur la circulation générale en Méditerranée. Cours d'Océanographie Générale. Université d'Aix-Marseille, Marseille, France, 64 p.

Kovacevic V., Manca BB., Ursella L., Schroeder K., Cozzi S., Burca M., Mauri E., Gerin R., Notarstefano G., Deponte D., 2012. Water mass properties and dynamic conditions of the Eastern Mediterranean in June 2007. *Progress in Oceanography* 104 (2012) 59-79.

Menna M., Poulain PM., Zodiatis G., Gertman I., 2012. On the surface circulation of the Levantine sub-basin derived from Lagrangian drifters and satellite altimetry data. *Deep-Sea Research I* 65 (2012) 46–58.

Özsoy E., Hecht A., Unluata IJ., Brenner S., Sur HI., Bishop J., Latie MA., Rozentraub Z., and Oguz T., 1993. A synthesis of the Levantine Basin circulation and hydrography, 1985-1990. *Deep-Sea Research II*, Vol. 40, No. 6, pp. 1075-1119, 1993.

Bassin Levantin. Dernière modification : 3/12/2017. Consulté le : 8/04/2018. Disponible sur https://fr.wikipedia.org/wiki/Bassin_Levantin.