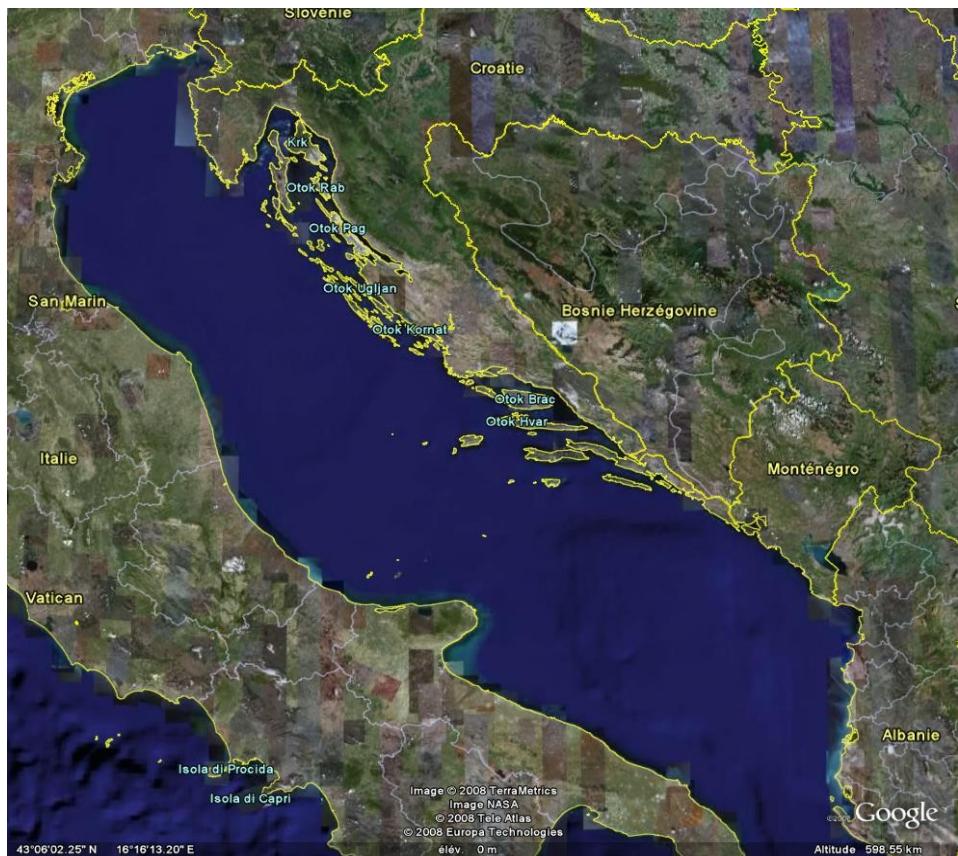


Projet modélisation



Modélisation de la mer Adriatique avec ROMS

SOMMAIRE :

Introduction

I- Implémentation du modèle

II- Présentation des résultats numériques

III- Comparaison avec les données de littérature

Conclusions

Ces dernières années plusieurs modèles numériques destinés à recréer la circulation et les conditions thermodynamiques de différents bassins océaniques ont vu le jour. Ces modèles régionaux ont montré de nombreux avantages. En effet les résultats qu'ils fournissent permettent de mettre en évidence certaines caractéristiques et certaines particularités qu'il aurait été difficile de trouver sans eux. Les modèles régionaux les plus utilisé de nos jours sont POM, ROMS et SYMPHONIE. Ces modèles résolvent les équations primitives du mouvement avec les conditions initiales et aux limites du modèle, celles-ci sont fixées par le modélisateur. La résolution de ces équations permet de déterminer les vitesses et d'autres paramètres en chaque point du domaine modélisé.

Dans notre projet pour modéliser la mer Adriatique nous utilisons ROMS. ROMS est un modèle qui dispose de nombreuses données sur les forçages atmosphériques: le vents, la températures et bien d'autres sur une période de plusieurs années. Il dispose également de la bathymétrie de tous les océans avec une résolution de 3 à 10 km, les données globales de la hauteur de la marée et des données sur les paramètres internes à la masse d'eau tels que la température de l'eau, sa salinité, l'oxygène dissous et d'autres paramètres utiles pour la biologie, pour les années 1998, 2001 et 2005. Pour ses calculs le modèle utilise une grille décentrée de type Arakawa C avec, pour la profondeur, des coordonnées sigma, il utilise le time splitting qui sépare la résolution 2D et 3D car les ondes externes se propagent plus rapidement que les ondes internes, elles ont besoin de calcul plus précis dans le temps. Pour ne pas alourdir les calculs des ondes internes qui n'ont pas besoin d'une telle précision le modèle sépare les pas de temps. les conditions initiales sont les courants géostrophiques, calculés par la méthode dynamique, à partir des données de salinité et température, ces conditions diminuent le spin-up du modèle. les conditions en surface sont les vitesses du vent, la pluviométrie et l'évaporation et le flux de chaleur net. Il utilise les conditions de Sommerfeld pour les frontières ouvertes. ROMS est un modèle régional, il peut être utilisé pour modéliser n'importe quelle zone voulue dans une limite de taille. La limite supérieure serait une zone de la taille de l'océan Atlantique Nord et la limite inférieure, une zone de 1 degré carré.

Nous allons maintenant vous présenter l'implémentation du modèle à la mer Adriatique, ses résultats et nous allons ensuite les comparer avec les données d'un article (The Adriatic Sea General Circulation. Part I. A.Artegiani, D.Bregant, E.Paschini, N.Pinardi, F.Raicich, et A.Russo).

I- Implémentation du modèle

La première étape de l'implémentation du modèle est de bien choisir la zone à modéliser. Il faut choisir les coordonnées de façon à minimiser les zones de terre dans la grille de points. Pour la mer Adriatique nous avons choisi de prendre la latitude de 40 à 46 degrés et la longitude de 12 à 19,8 degrés. Nous avons choisi une résolution de 1/10ème de degré, cela nous donne une grille de 79 points par 84 soit 6636 points. Le choix de la résolution est important car il faut avoir un bon compromis entre précision et vitesse de calcul. Avec les moyens à notre disposition, le temps de simulation d'un mois avec cette résolution est d'approximativement 40 minutes. Nous avons également dû redéfinir les cotes en fonction de la résolution, notamment les îles dans la partie Nord-Est du bassin. Nous avons choisi de les ignorer car elles sont trop petites et que dans le cas contraire les calculs dans cette zone seraient difficiles et peu fiables. Pour la grille verticale nous utilisons des coordonnées sigmas avec les valeurs par défaut. Avec ces valeurs le nombre de point près de la surface est plus important. Ce choix est dû aux faibles variations de densité de l'eau en profondeur entre les

points et donc aux faibles vitesses en ces points, celles-ci ont besoin de moins de précision dans leur calcul. Les valeurs par défauts sont: THETA_S = 6,0d0 ; THETA_B = 0,0d0 ; Hc(m) = 10,0d0
 Voici la grille obtenue, avec sa bathymétrie:

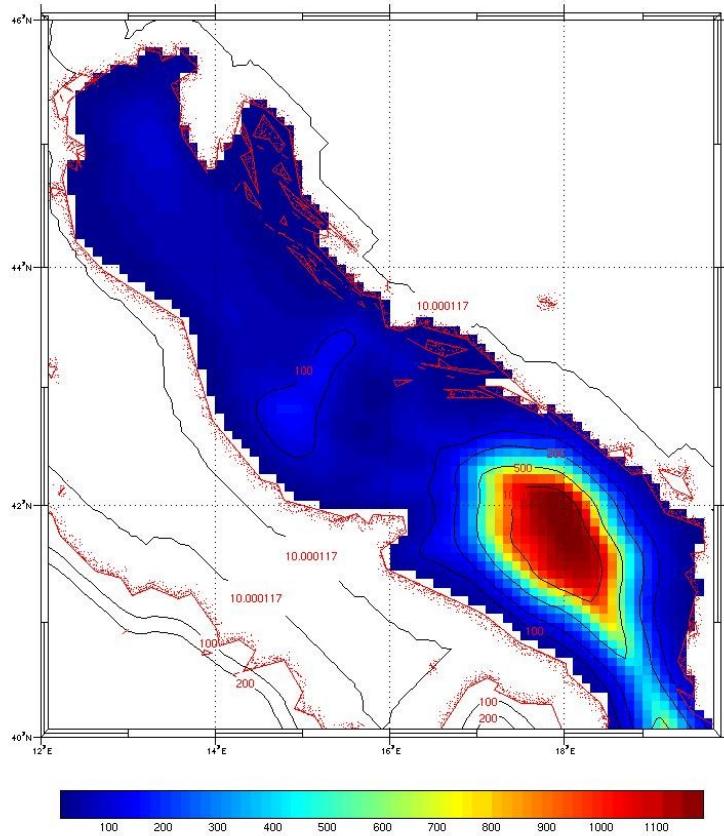


Figure 1: Bathymétrie de la mer Adriatique

Pour garantir la stabilité du modèle, il doit vérifier les conditions CFL. Ces conditions sont:

$$\Delta t_E \leq \frac{1}{C_t} \left| \frac{1}{\partial x^2} + \frac{1}{\partial y^2} \right|^{-1/2}$$

Où Δt_E est le pas de temps externe, C_t la célérité des ondes externes et ∂x et ∂y les pas d'espace de la grille.

Dans le modèle nous avons pris $\Delta t_E = 30\text{sec}$ avec 60 itérations ce qui nous fait un pas de temps interne de 1800 sec.

Nous avons choisi de prendre des mois de 30 jours.

Comme dit précédemment les conditions initiales sont les courants géostrophiques, les données utilisées pour les calculer sont les données du World Ocean Atlas pour l'année 2005.

Les conditions en surface sont les données météorologique de QuikSCAT et ICOADS. Les trois frontière Nord, Ouest et Est sont fermé et la frontière Sud est ouverte.

Nous allons voir les résultats obtenues avec ces réglages pour une simulation de 10 années.

II- Présentation des résultats numériques

Tout d'abord nous avons vérifié la stabilité du modèle en effectuant un diagnostique de plusieurs variables. Nous pouvons voir grâce à la figure 2 que le modèle converge bien vers un état stable. Grâce à la salinité moyenne nous voyons également que le modèle met 3 ans à se stabiliser complètement.

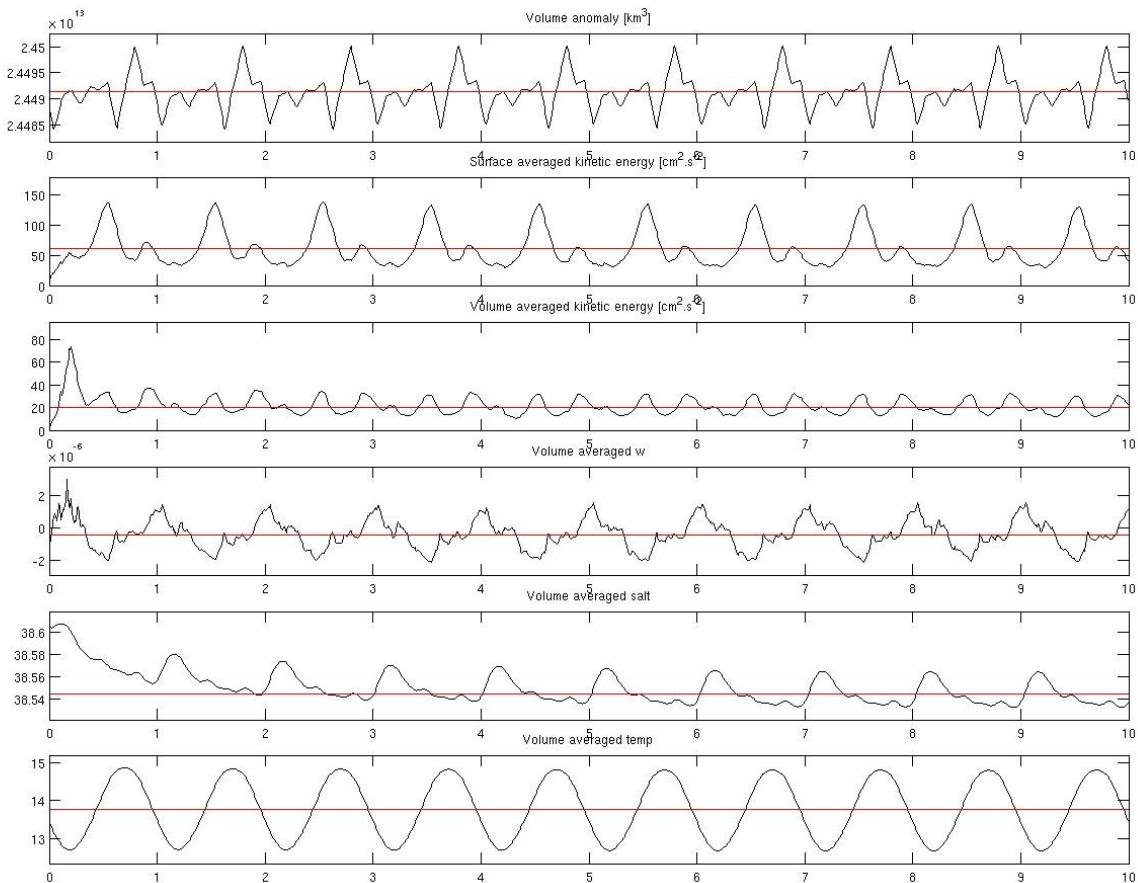


Figure 2: Diagnostique de stabilité du modèle

Grâce à la figure 3 nous pouvons voir la circulation générale durant une année complète. Nous voyons que dans le Sud du bassin il y a un gyre cyclonique permanent. La circulation sur le bord Ouest est dirigé vers le Sud-Est et celle du coté Est est dirigé vers le Nord-Ouest. Cette circulation se voit particulièrement l'été. Nous pouvons remarquer l'apparition au printemps d'une circulation particulière dans la partie Nord du bassin. Cette circulation donne naissance à plusieurs tourbillons. Deux des principaux tourbillons sont cyclonique et se situent au Nord et au centre de la mer Adriatique. Un autre majeur, anticyclonique, se situe au Nord, il est particulièrement visible en automne. Les positions des tourbillons correspondent aux endroits les plus profond de la partie Nord du bassin. Cette circulation particulière prend fin au début de l'hiver. Elle est perturbé par une déstabilisation de la masse d'eau causé par les température d'hiver.

Les températures sont les plus faibles au fond de la partie Nord peu profonde (10°C). Les eaux en dessous de 200m ont des températures constantes de l'ordre de 12,6 à 13,3°C. En hiver la faible

profondeur de la partie Nord du bassin facilite son refroidissement et la quantité trop importante d'eau froide déstabilise légèrement la masse d'eau et provoque une circulation de fond entre le Nord du bassin et le Sud.

La salinité en dessous de 50m varie de 38,00 à 38,65, celle des eaux profondes est moins variable, de 38,6 à 38,65.

La couche de surface est beaucoup plus variable, les températures vont de 10,5°C en hiver à 24°C en fin d'été. La salinité quand à elle varie de 36,5 à 38,5.

Maintenant nous allons comparer ces données à celle de l'article en notre possession.

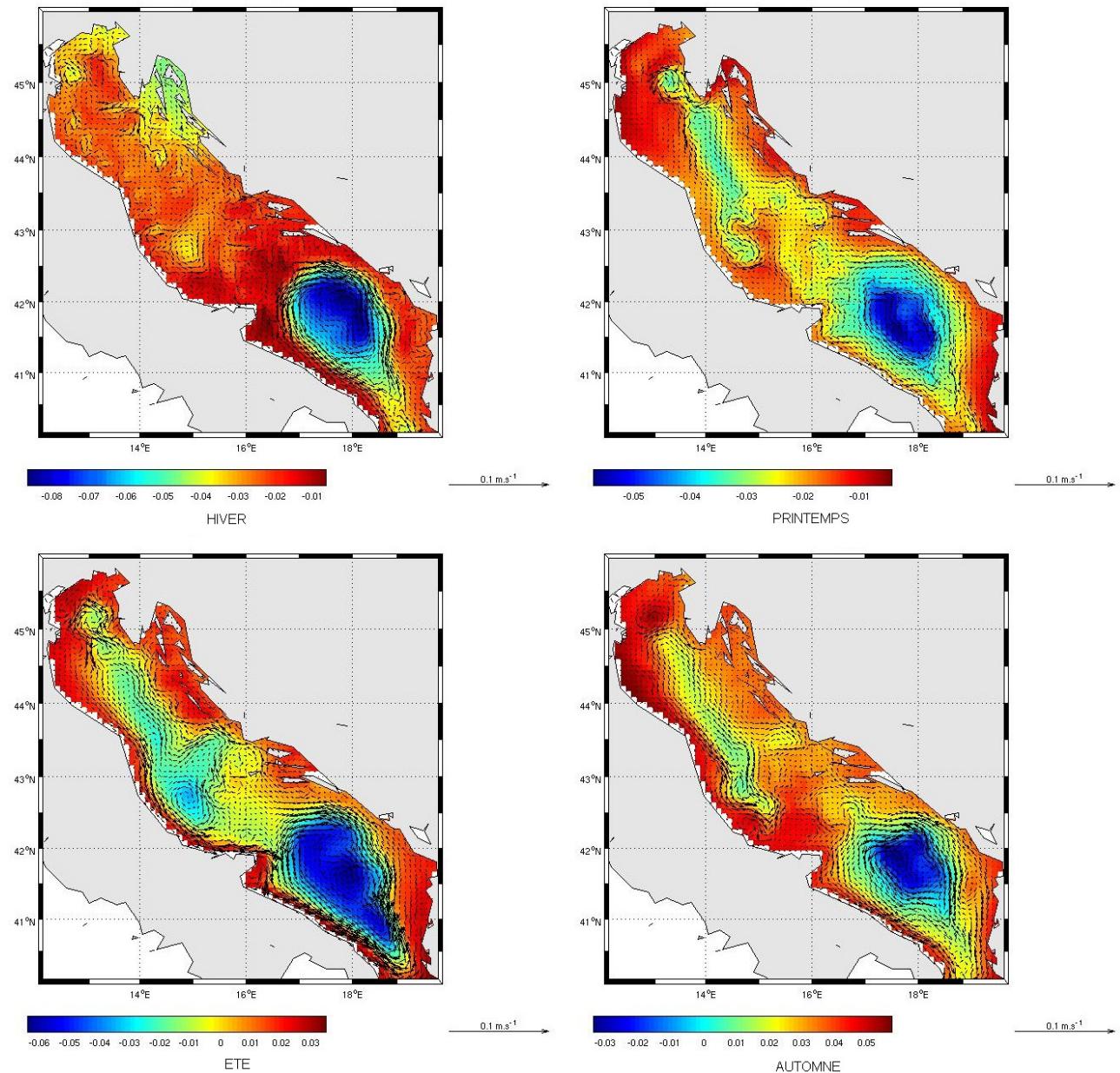


Figure 3: Élévation de la surface libre et vitesses de surface pour les quatre saisons de la dernière années de simulation

III- Comparaison avec les données de littérature

Étant donné le nombre important de données disponibles dans l'article cité à la fin de l'introduction, pour des raisons de clarté nous avons limité la comparaison aux forçages, aux profils verticaux de températures, de salinité et aux sections verticales. Nous n'allons pas comparer les profils d'oxygène dissous, les diagrammes T-S et autres tableaux. De plus nous n'allons illustrer que les exemples les plus pertinents.

Nous allons commencer par comparer les forçages. Nous avons comparé la répartition des températures de l'air de l'article avec celles de la surface du modèle. Elles correspondent très bien pour l'hiver, le printemps et l'automne. Pour l'été les températures les plus élevées sont au Nord contrairement à l'article.

Ensuite nous avons comparé l'humidité relative de l'article au bilan évaporation-précipitation (E-P) du modèle. Généralement l'humidité relative est plus élevée dans la partie Nord, c'est également le cas pour les précipitations, généralement E-P est négatif dans la partie Nord.

Nous avons comparé les vitesses du vent. Elles sont opposées à celles du modèle et particulièrement dans la partie Nord sauf pour l'été où la différence d'angle est globalement de moins de 90 degrés.

La répartition des flux de chaleur de surface correspond généralement à celle de l'article mais les valeurs de flux sont plus faible pour l'hiver le printemps et l'automne et celles d'été sont plus forte que celle de l'article.

Pour résumer il sera difficile d'interpréter les similitudes ou les différences du modèle avec les données de la littérature parce que les forçages sont très différent, notamment les vitesses de vent qui mettent en mouvement les masses d'eaux. Néanmoins nous allons voir si les similitudes dans les forçages le seront aussi dans les circulations et les caractéristiques de l'eau.

En comparant les profils de températures et de salinité prient dans les parties Nord, moyenne et Sud pour les quatre saisons de l'année avec les profils de l'article, nous avons remarquer que les profils correspondent bien sauf tous ceux du printemps. Les températures de surface sont plus basse de 5 à 8°C et la salinité varie beaucoup moins, au maximum 1/5ème des variation de l'article.

Maintenant nous allons comparer les sections verticales. Tout d'abord les anomalies de masse volumique en hiver et au printemps, la salinité au printemps, en été et en automne pour les sections faites à Ancona, Pescara et Vieste. Puis les températures et la salinité en hiver et au printemps pour les sections de Bari et de Otrando.

Les anomalies de masse volumique en hiver ne se ressemblent pas, les valeurs sont similaires mais pas leurs répartitions. Dans les parties Nord des sections du modèle nous pouvons voir une instabilité de la masse d'eau avec des masses volumiques plus élevées en surface, surement dû à une baisse brutale de la température de l'eau.

Comme vous pouvez le voir sur la figure 4 au printemps les anomalies de masse volumique ont des répartitions très semblable. Les valeurs sont cependant plus élevées dans le modèle et les variations plus faibles en surface.

La répartition de la salinité au printemps est totalement l'opposé des sections de l'article, les maximum sont à la place des minimums et inversement. Vous pouvez le voir sur la figure 5. Seul les sections de Vieste ont le même comportement. Et une similitude sur la cote sud (gauche) de la section de Pescara.

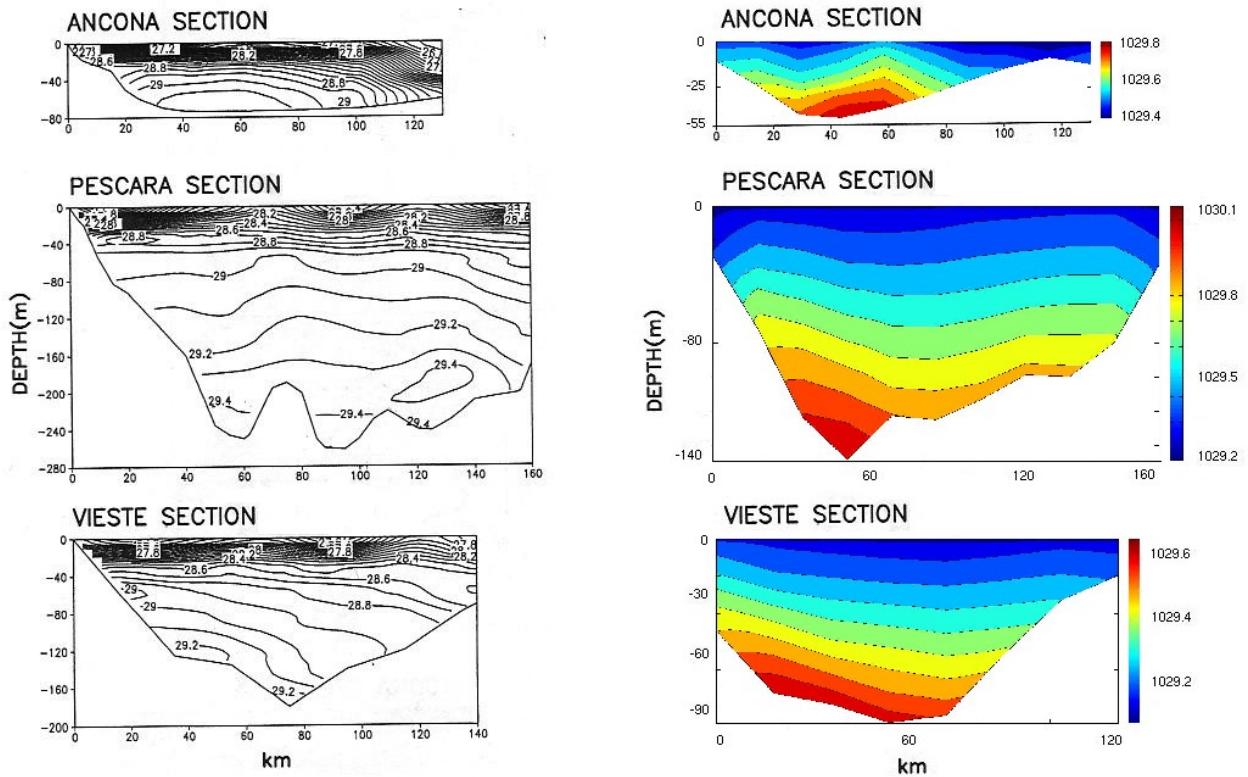


Figure 4: Anomalies de masse volumique de l'article (gauche) et masse volumique du modèle (droite) pour les sections de Ancona, Pescara et Vieste.

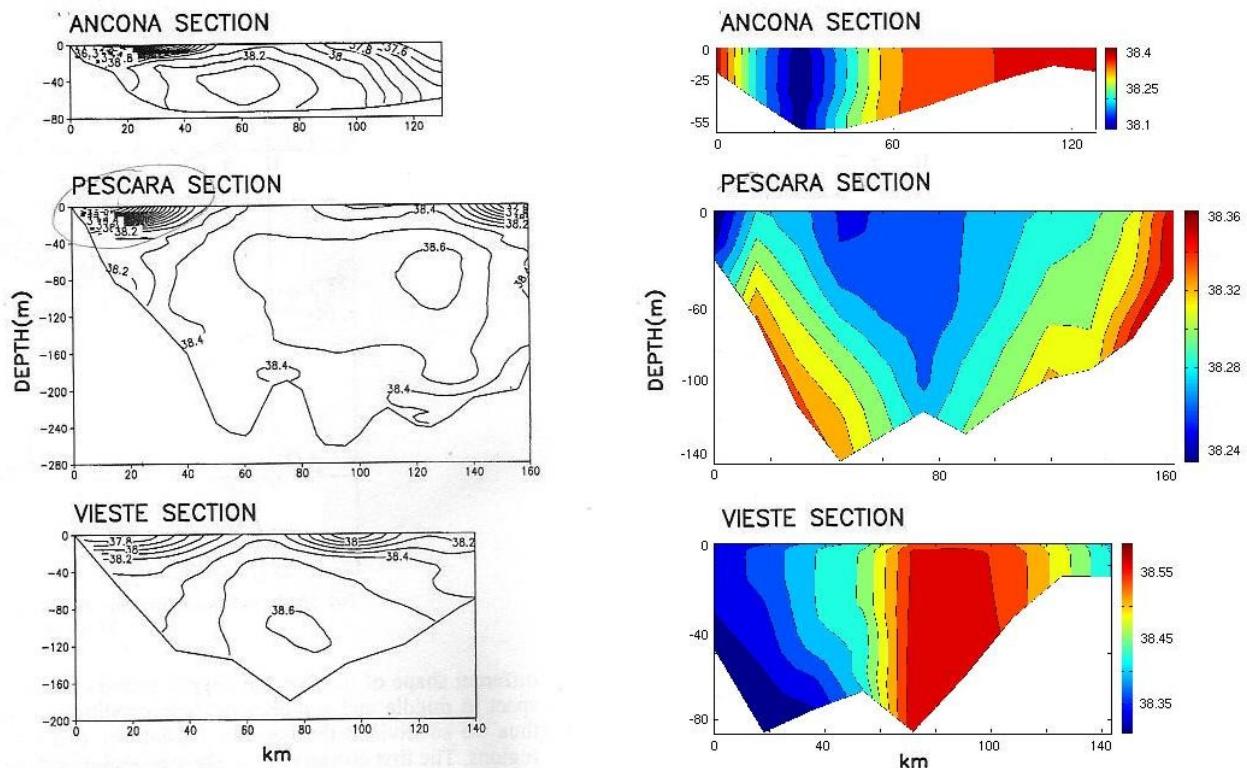


Figure 5: Salinité pour les sections de Ancona, Pescara et Vieste au printemps

Pour la salinité en été, les sections sont très correspondantes (figure 6), de par leurs valeurs et par la répartition des structures particulières. Pour la section de Ancona les faibles salinités en surface au Sud de la section sont présentes sur le modèle aussi, la langue d'eau plus salé au Nord à mi-profondeur dans la section de Pescara est commune aux deux sections et on retrouve la plongé d'eau moins salé au Sud de la section de Vieste.

En automne les sections correspondent bien avec celles de l'article mais avec des variations sensiblement plus faibles. Pour toutes les sections le minimum de salinité se trouve sur la côte Sud. Il y a une remonté d'eau salé vers la côte nord sur les deux sections de Vieste.

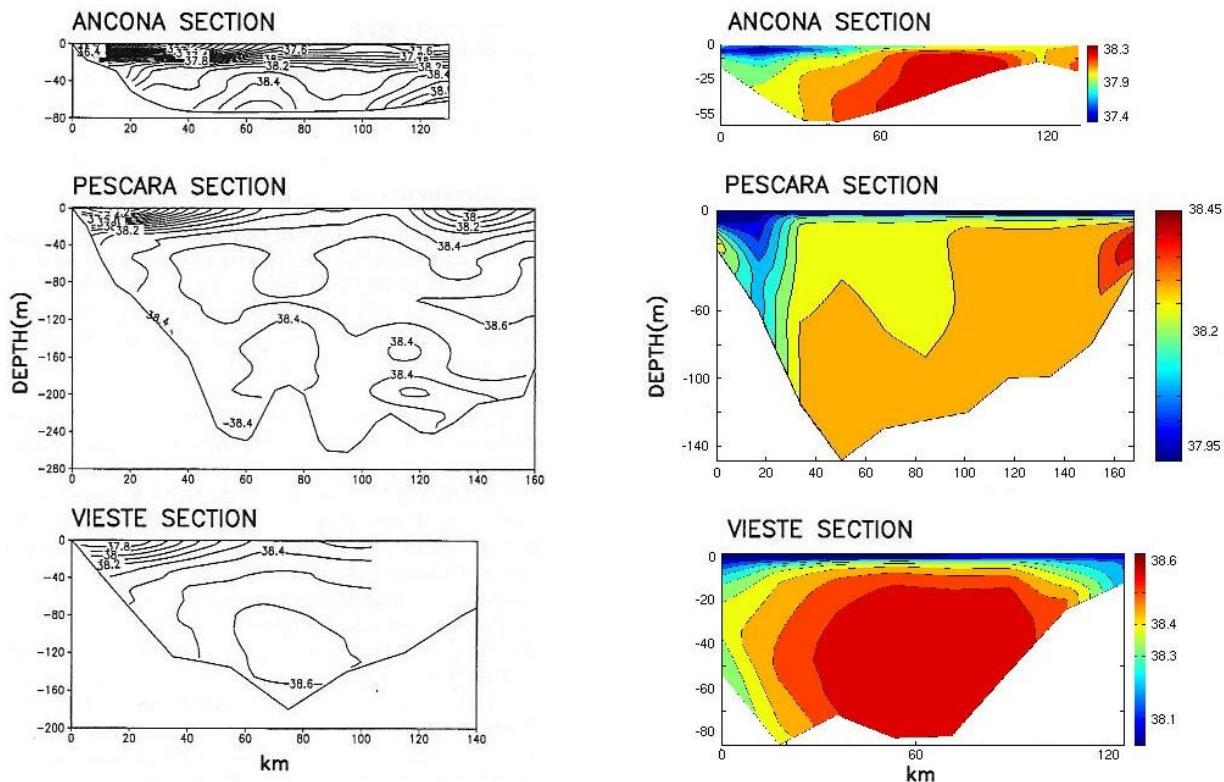


Figure 6: Salinité pour les sections de Ancona, Pescara et Vieste en été

Pour les sections de Bari les salinités correspondent bien. Les températures sont similaires en hiver. En automne elles varient moins, de 12.4 à 13.6°C pour le modèle et de 13 à 19°C pour l'article. La plus grande différence de température se trouve en surface, en profondeur elles ont presque les mêmes valeurs.

Nous avons de bonnes valeurs de salinité avec des répartitions similaires pour les sections de Otrando. Nous voyons bien l'eau profonde très salé en hiver avec l'eau de surface avec le minimum de salinité près de la côte Sud. La plongé d'eau moins salé au Sud de la section et la remonté de l'autre côté de l'eau très salé est commune au modèle et à l'article au printemps. Les températures en hiver correspondent bien à celles de l'article. Celles du printemps sont plus faibles en surface et leurs répartitions ne correspondent pas.

Nous avons cherché les eaux types décrites dans l'article pour avoir plus d'éléments pour valider le modèle. Nous avons trouvé 5 eaux types très bien décrites:

- Les eaux profondes Nord Adriatique (NAdDW) avec $T=11.35 \pm 0.75^\circ C$ et $S=38.30 \pm 0.28$

- Les eaux intermediaires Levantine modifiée (milieu Adriatique) MILW avec $S>38.5$ et une profondeur inférieure à 50m et des températures proche de $12-13^{\circ}\text{C}$
- Les eaux profondes milieu Adriatique (MAdDW) avec $T=11.62\pm0.75^{\circ}\text{C}$ et $S=38.47\pm0.15$
- Les eaux intermediaires Levantine modifiée (Sud Adriatique) MILW avec $S>38.6$ et $T>13.5^{\circ}\text{C}$ comprisent entre 150 et 400m
- les eaux profondes Sud Adriatique (SAdDW) avec $T=13.16\pm0.30^{\circ}\text{C}$ et $S=38.61\pm0.09$

Pour le mois de juin nous avons retrouvé toutes ces eaux types, dans le nord la NAdDW avec $T=10^{\circ}\text{C}$ et $S=38.3$, dans le milieu du bassin la MILW avec $T=13.9^{\circ}\text{C}$ et $S=38.63$ (figure 6 ; section Vieste) et la MAdDW avec $T=10.4^{\circ}\text{C}$ et $S=38.33$, puis dans le Sud la MILW avec $T=13.4^{\circ}\text{C}$ et $S=36.65$ et la SAdDW avec $T=12.8^{\circ}\text{C}$ et $S=38.64$. Nous retrouvons ces eaux à toutes les saisons.

Conclusions

La mer Adriatique est un bassin fortement salé, c'est un bassin d'évaporation où se forme des eaux très salé avec une salinité de l'ordre de 38.7 dans le Sud. La circulation y est régulière sauf en hiver à cause des températures basses dans le Nord. Ces température provoque la formation des eaux profondes Nord ($T\sim10^{\circ}\text{C}$). Ces eaux se mélangent au milieu du bassin avec les MILW pour former les MAdDW. Le fait de retrouver ces eaux types à toutes les saisons montre que la circulation générale est respecté par le modèle.

Pour les mois d'été où les forçages sont les plus ressemblant, les résultats sont très similaires. Ceci nous encourage à dire que le modèle fonctionne. Les mois ayant le moins de points communs sont ceux du printemps certainement dû à une forte opposition des vitesses du vent et un flux de chaleur plus faible, ce qui expliquerait les températures de surface plus faibles.

Néanmoins les profils de température de l'article au printemps semblent discutables. Les températures des eaux de surface sont plus élevé que les températures atmosphériques moyennées de cette saison. Donc les conditions d'échantillonages doivent être particulières où les données de températures atmosphériques ne sont pas suffisamment complètes pour expliquer ces différences.

Pour réellement valider le modèle il faudrait refaire une simulation avec des forçages plus proches de ceux de l'article puis recomparer les résultats pour conclure.