

Modélisation CROCO de la mer Adriatique

Chloé Goret – Modélisation 3D

Master 1 Science de la mer
Océanographie physique et processus biogéochimiques

Aix Marseille Université - 2022-2023

I. Introduction

Contexte :

Les eaux des bassins océaniques sont caractérisées par des conditions biogéochimiques et un régime de circulation turbulent développé

I. Introduction

Contexte :

Les eaux des bassins océaniques sont caractérisées par des conditions biogéochimiques et un régime de circulation turbulent développé

Défis :

Comprendre comment les flux internes à l'océan et les mouvements océaniques sont forcés par les processus atmosphériques → **Modèles numériques 3D précis et robustes.**

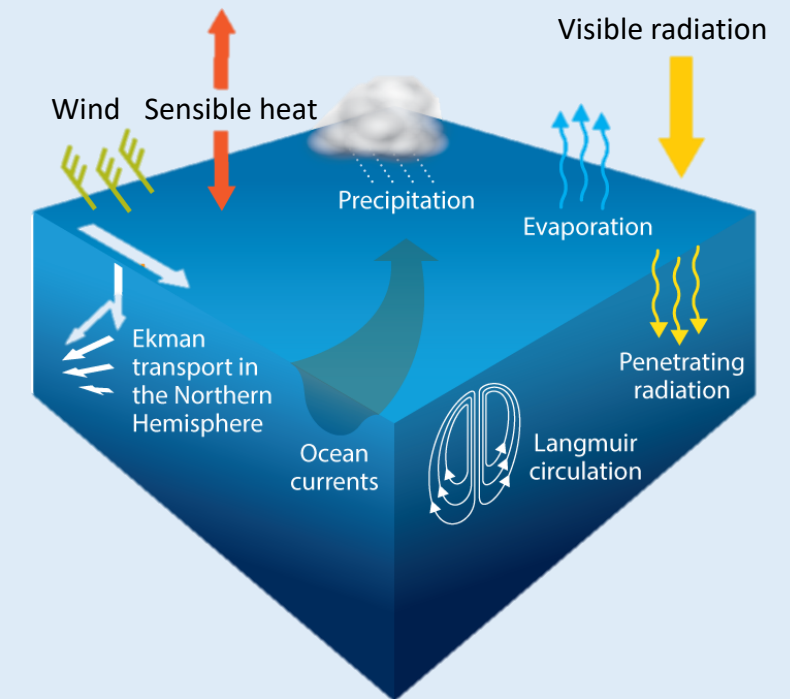


Figure 1: Les interactions océan-atmosphère intervenant à la couche limite, B.Gianpaolo (2018)

I. Introduction

Contexte :

Les eaux des bassins océaniques sont caractérisées par des conditions biogéochimiques et un régime de circulation turbulent développé

Défis :

Comprendre comment les flux internes à l'océan et les mouvements océaniques sont forcés par les processus atmosphériques → **Modèles numériques 3D précis et robustes.**

The Adriatic Sea General Circulation (A.Artegiani et al 1997)

Générer une simulation climatologique réaliste de la dynamique du bassin Adriatique à l'échelle pluriannuelle grâce au code communautaire « Coastal and Regional Ocean Community » (CROCO).

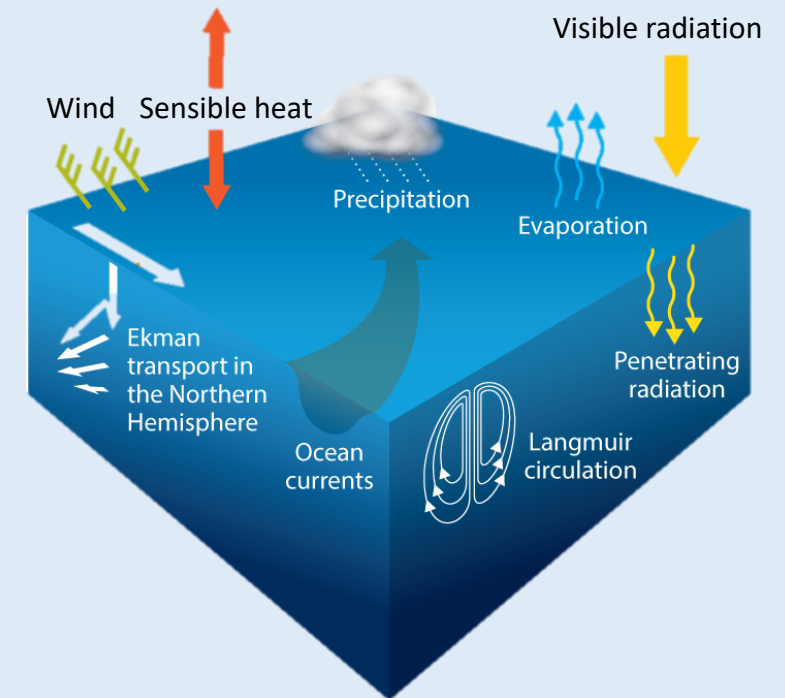


Figure 1: Les interactions océan-atmosphère intervenant à la couche limite, B.Gianpaolo (2018)

II. Matériel et méthode

1. Quelques informations sur CROCO

II. Matériel et méthode

1. Quelques informations sur CROCO

Modèle aux équations primitives 3D :

- Nouvelle version de ROMS_AGRIF
- 6 variables : u et v , ρ , η , p

II. Matériel et méthode

1. Quelques informations sur CROCO

Modèle aux équations primitives 3D :

- Nouvelle version de ROMS_AGRIF
- 6 variables : u et v , ρ , η , p

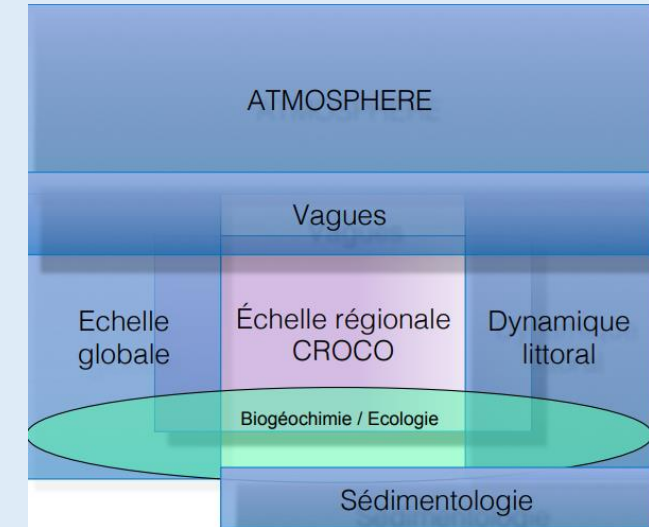


Figure 2: Schéma des modèles couplés dans CROCO F. Auclair et al. (2016)

II. Matériel et méthode

1. Quelques informations sur CROCO

Modèle aux équations primitives 3D :

→ Nouvelle version de ROMS_AGRIF

→ 6 variables : u et v , ρ , η , p

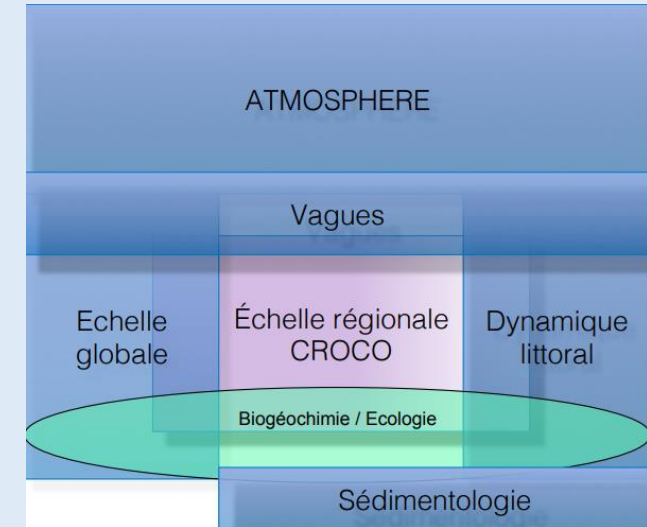


Figure 2: Schéma des modèles couplés dans CROCO F. Auclair et al. (2016)

Equations d'évolution hydrodynamique :

Equations du mouvement de Navier stockes :

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + f v - \frac{\partial \overline{u'u'}}{\partial x} - \frac{\partial \overline{u'v'}}{\partial y} - \frac{\partial \overline{u'w'}}{\partial z}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} - f u - \frac{\partial \overline{v'u'}}{\partial x} - \frac{\partial \overline{v'v'}}{\partial y} - \frac{\partial \overline{v'w'}}{\partial z}$$

Equations de transport de la température :

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{v} \cdot \vec{\nabla} T = -\frac{\partial \overline{(T'u')}}{\partial x} - \frac{\partial \overline{(T'v')}}{\partial y} - \frac{\partial \overline{(T'w')}}{\partial z} + \frac{H_c}{\rho_0 C_0} \frac{\partial I}{\partial z}$$

Equations de transport 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 (TEOS10) :

$$\rho \equiv \rho_0(T, S)$$

Equation de continuité :

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

II. Matériel et méthode

1. Quelques informations sur CROCO

Discrétisation spatiale :

Méthode des différences finies

II. Matériel et méthode

1. Quelques informations sur CROCO

Discretisation spatiale :

Méthode des différences finies

Grille Arakawa C sur l'horizontal Coordonnées σ sur la verticale

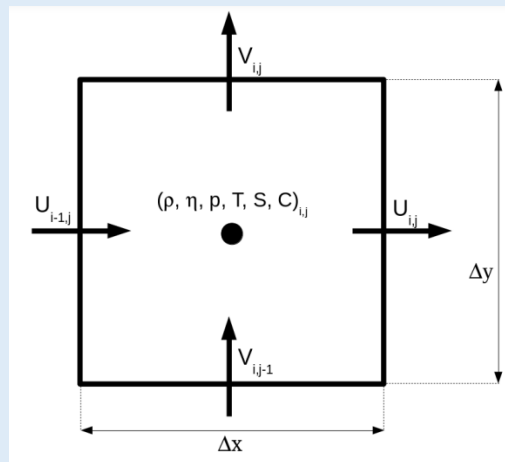


Figure 3: Grille d'Arakawa C.
X. Couvelard (2014)

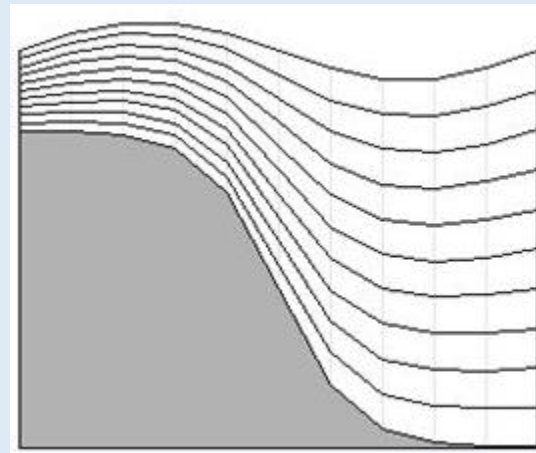


Figure 4: Grille de coordonnées σ .
F. Khorrami et al. (2017)

II. Matériel et méthode

1. Quelques informations sur CROCO

Discretisation spatiale :

Méthode des différences finies

Grille Arakawa C sur l'horizontal Coordonnées σ sur la verticale

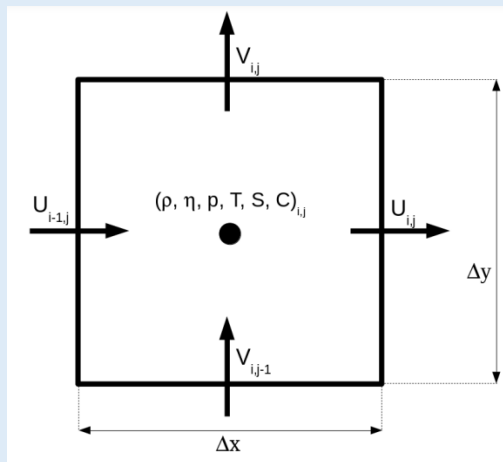


Figure 3: Grille d'Arakawa C.
X. Couvelard (2014)

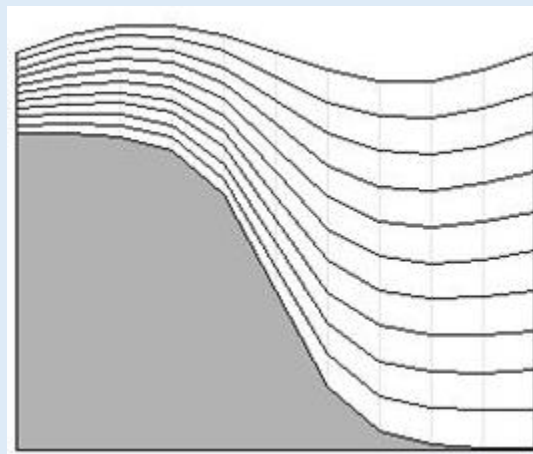


Figure 4: Grille de coordonnées σ .
F. Khorrami et al. (2017)

Discretisation temporelle :

« Condition CFL » :

- Stabilité et convergence

« Time splitting » :

- Mode externe pour équations intégrées sur la verticale (u, v, n)
- Mode interne pour équations 3D (u, v, T, S, p)

II. Matériel et méthode

2. Le site d'étude : La mer Adriatique

II. Matériel et méthode

2. Le site d'étude : La mer Adriatique

Géographie et bathymétrie :

- Localisation: (42°48' N, 15°30'E)
- Superficie : 139.000 km².
- Orientation: Nord-ouest Sud-est
- Profondeur maximum : 1233 m
- Profondeur moyenne : 252m

II. Matériel et méthode

2. Le site d'étude : La mer Adriatique

Géographie et bathymétrie :

- Localisation: ($42^{\circ}48' \text{ N}$, $15^{\circ}30' \text{ E}$)
- Superficie : 139.000 km^2 .
- Orientation: Nord-ouest Sud-est
- Profondeur maximum : 1233 m
- Profondeur moyenne : 252 m

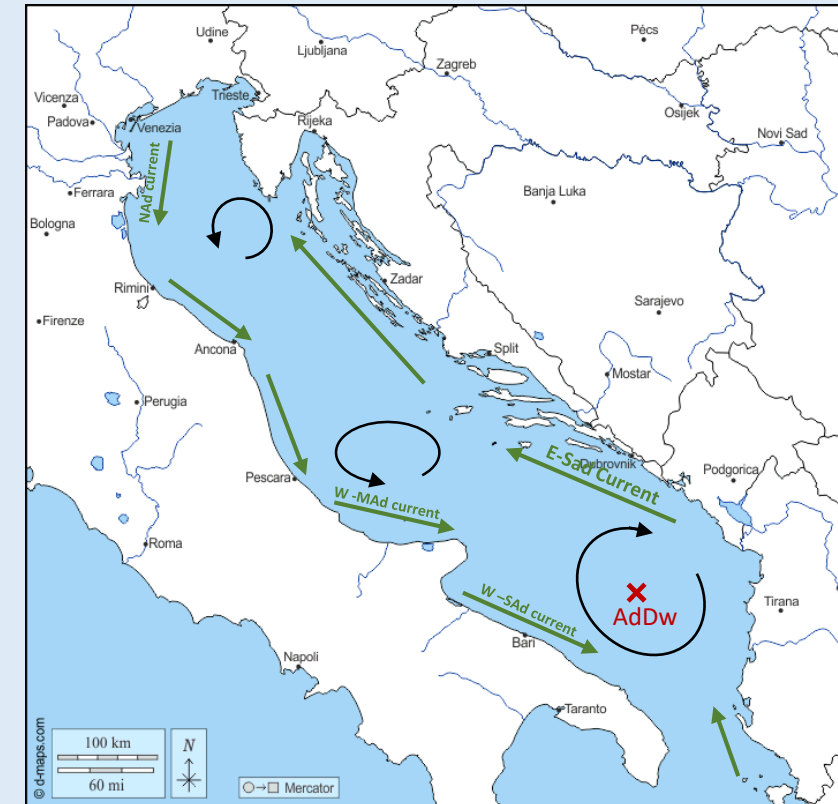


Figure 5: Circulation de surface du bassin adriatique

II. Matériel et méthode

2. Le site d'étude : La mer Adriatique

Géographie et bathymétrie :

- Localisation: ($42^{\circ}48' \text{ N}$, $15^{\circ}30' \text{ E}$)
- Superficie : 139.000 km².
- Orientation: Nord-ouest Sud-est
- Profondeur maximum : 1233 m
- Profondeur moyenne : 252m

Régime météorologique :

- Étés chauds (30°C), humides et dégagés
- Hivers froids (7°C) et partiellement nuageux
- Régime de vent de nord-est (Bora) $\sim 5\text{m/s}$



Figure 5: Circulation de surface du bassin adriatique

II. Matériel et méthode

3. Implémentation du modèle

II. Matériel et méthode

3. Implémentation du modèle

Résolution spatiale :

[fichier ad_findgeocoord.m](#) : Choix des coordonnées (Matlab)

[crocotools_param](#) : Définition des coordonnées géographiques et configuration des paramètres

Tableau 1 : Coordonnées géographique et résolution de la grille

Lonmin [degrés]	Lonmax [degrés]	Latmin [degrés]	Latmax [degrés]	DI [degrés]	N
12	20	41	46	1/10	32

II. Matériel et méthode

3. Implémentation du modèle

Résolution spatiale :

fichier ad_findgeocoord.m : Choix des coordonnées (Matlab)

crocotools_param : Définition des coordonnées géographiques et configuration des paramètres

Tableau 1 : Coordonnées géographiques et résolution de la grille

Lonmin [degrés]	Lonmax [degrés]	Latmin [degrés]	Latmax [degrés]	DI [degrés]	N
12	20	41	46	1/10	32

make_grid : Création de la grille, le mask et la bathymétrie (Matlab)

Edit_masque : Ajustement des surfaces terre/mer (Matlab)

Tableau 2 : Paramètres de la grille du modèle à la mer Adriatique

LLm	MMm	Min dx[km]	Min dy [km]	Max dx [km]	Max dy [km]	Hmax [m]	Hmin [m]
83	72	7,74	7,75	8,45	8,44	1182,74	10

param.hs : Définition des parametres de la grille

cppdefsh.h : Définition d'une nouvelle clé de configuration et activation des frontières

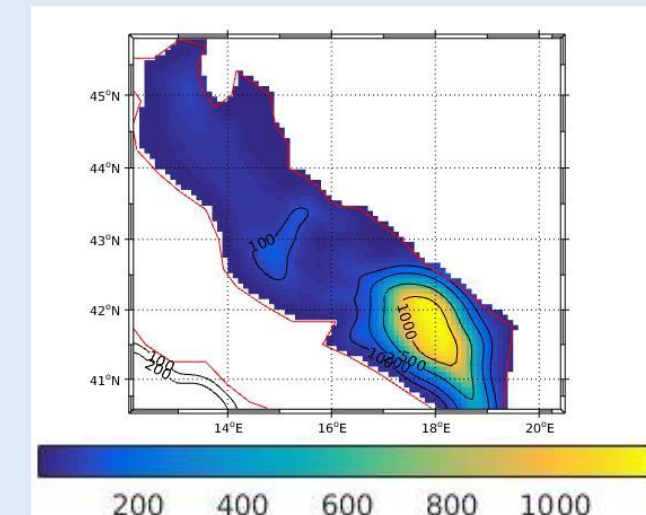


Figure 6: Bathymétrie du modèle

II. Matériel et méthode

3. Implémentation du modèle

Conditions limites et conditions initiales :

[make_clim.m](#) : Forçages aux conditions limites (Matlab) → Comprehensive Ocean Atmosphere data Set (COADS)

[make_forcing.m](#) : Conditions initiales (Matlab) → World Ocean Atlas (WOA) 1784 et 2004.

II. Matériel et méthode

3. Implémentation du modèle

Conditions limites et conditions initiales :

[make_clim.m](#) : Forçages aux conditions limites (Matlab) → Comprehensive Ocean Atmosphere data Set (COADS)

[make_forcing.m](#) : Conditions initiales (Matlab) → World Ocean Atlas (WOA) 1784 et 2004.

Résolution temporelle:

[ad_cfl.m](#) : Détermination le pas de temps externe (DTEcfl) et interne (dt) a partir du critère CFL

[croco.in](#) : Définition paramètres temporels

Tableau 3 : Paramètres temporelles basé sur le 'times splitting' et le critère CFL

NTIMES [iteration]	NDTFAST [s]	NRST [iteration]	NAVG [iteration]	NWRT [iteration]	dt [s]
1800	60	1800	180	180	1440

II. Matériel et méthode

3. Implémentation du modèle

Conditions limites et conditions initiales :

[make_clim.m](#) : Forçages aux conditions limites (Matlab) → Comprehensive Ocean Atmosphere data Set (COADS)

[make_forcing.m](#) : Conditions initiales (Matlab) → World Ocean Atlas (WOA) 1784 et 2004.

Résolution temporelle:

[ad_cfl.m](#) : Détermination le pas de temps externe (DTEcfl) et interne (dt) a partir du critère CFL

[croco.in](#) : Définition paramètres temporels

Tableau 3 : Paramètres temporelles basé sur le 'times splitting' et le critère CFL

NTIMES [iteration]	NDTFAST [s]	NRST [iteration]	NAVG [iteration]	NWRT [iteration]	dt [s]
1800	60	1800	180	180	1440

Compilation et visualisation des simulations :

Commande « [./jobcomp](#) » : Compilation du modèle

Commande « [sbatch ./slurm_run_croco.sh](#) » : Lancement du modèle sur le cluster

III. Résultats et discussion

1. Diagnostique du modèle

III. Résultats et discussion

1. Diagnostique du modèle

Commande « croco_diag » et « croco_plot » : Diagnostique du modèle

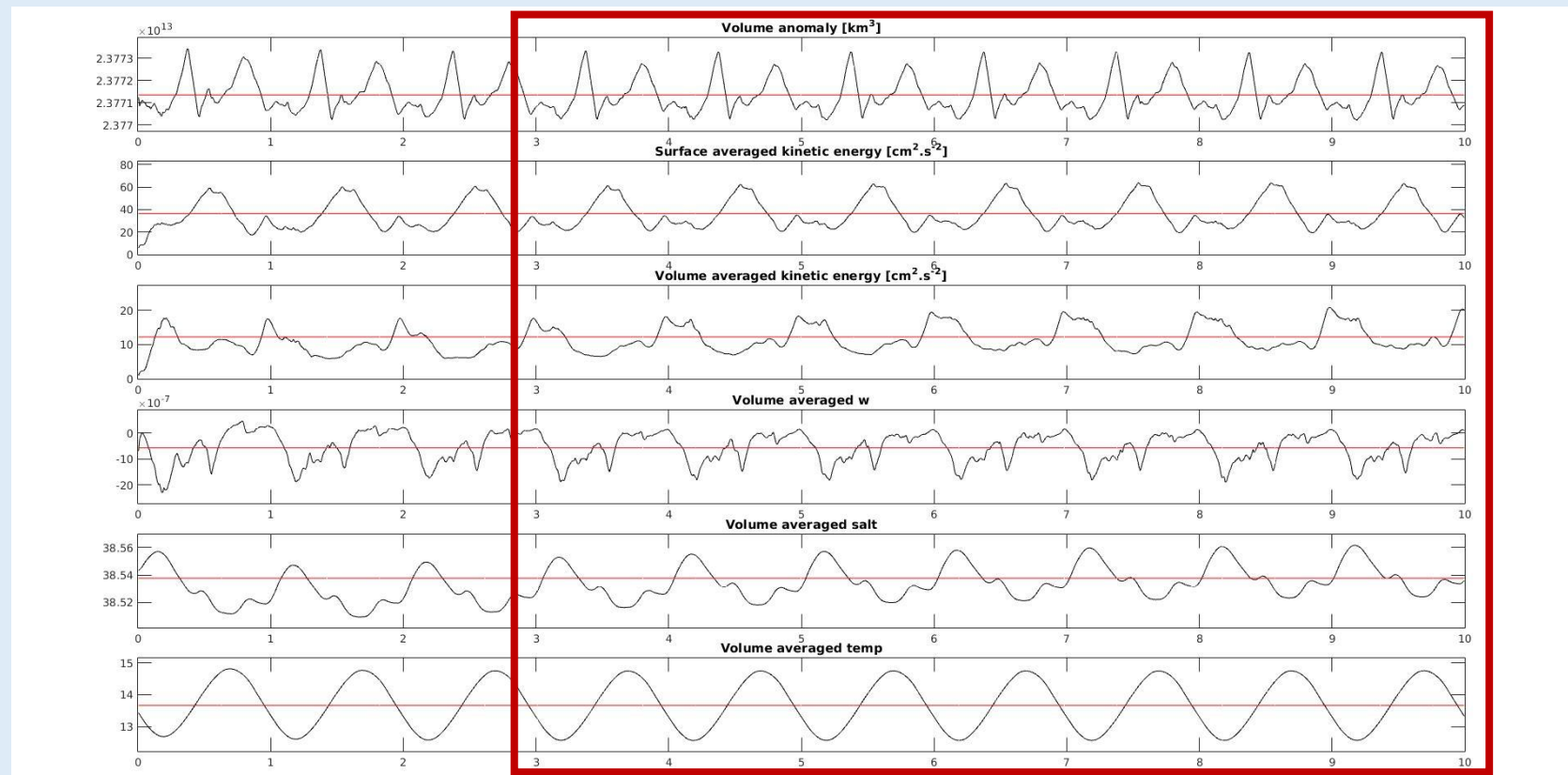


Figure 7: Diagnostique de stabilité du modèle

III. Résultats et discussion

2. Variations saisonnières des températures au Sud

III. Résultats et discussion

2. Variations saisonnières des températures au Sud

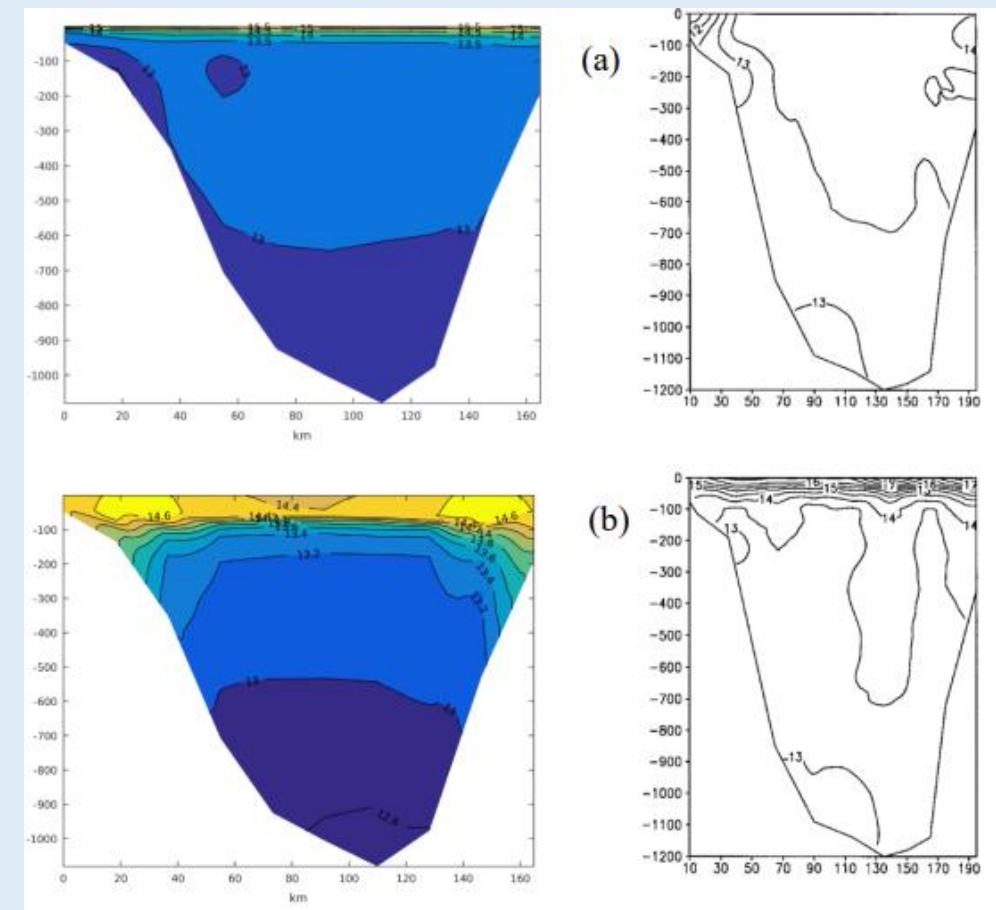


Figure 8: Distribution des températures (°C) de surface simulés par le modèle (gauche) et in situ (droite) pendant l'hiver (a) et le printemps (b) a Bari.

III. Résultats et discussion

2. Variations saisonnières des températures au Sud

En hiver :

- Colonne d'eau peu stratifiée
- Gradient est-ouest en surface (14-12°C)
- Températures stables a partir de 50m (13°C)

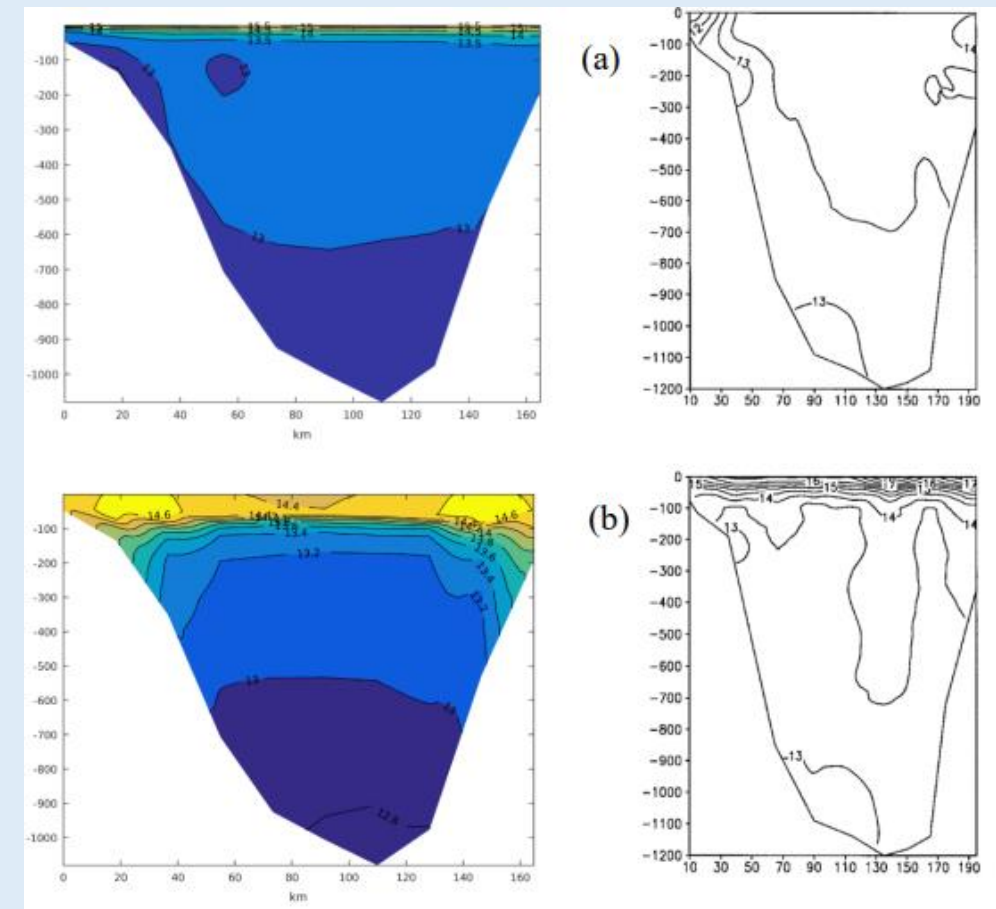


Figure 8: Distribution des températures (°C) de surface simulées par le modèle (gauche) et in situ (droite) pendant l'hiver (a) et le printemps (b) a Bari.

III. Résultats et discussion

2. Variations saisonnières des températures au Sud

En hiver :

- Colonne d'eau peu stratifiée
- Gradient est-ouest en surface (14-12°C)
- Températures stables a partir de 50m (13°C)

Printemps :

- Colonne d'eau plus chaude et stratifiée aux extrémités de la section qu'au milieu
- Températures stables partir de 300 m (13,2-12,8 °C)

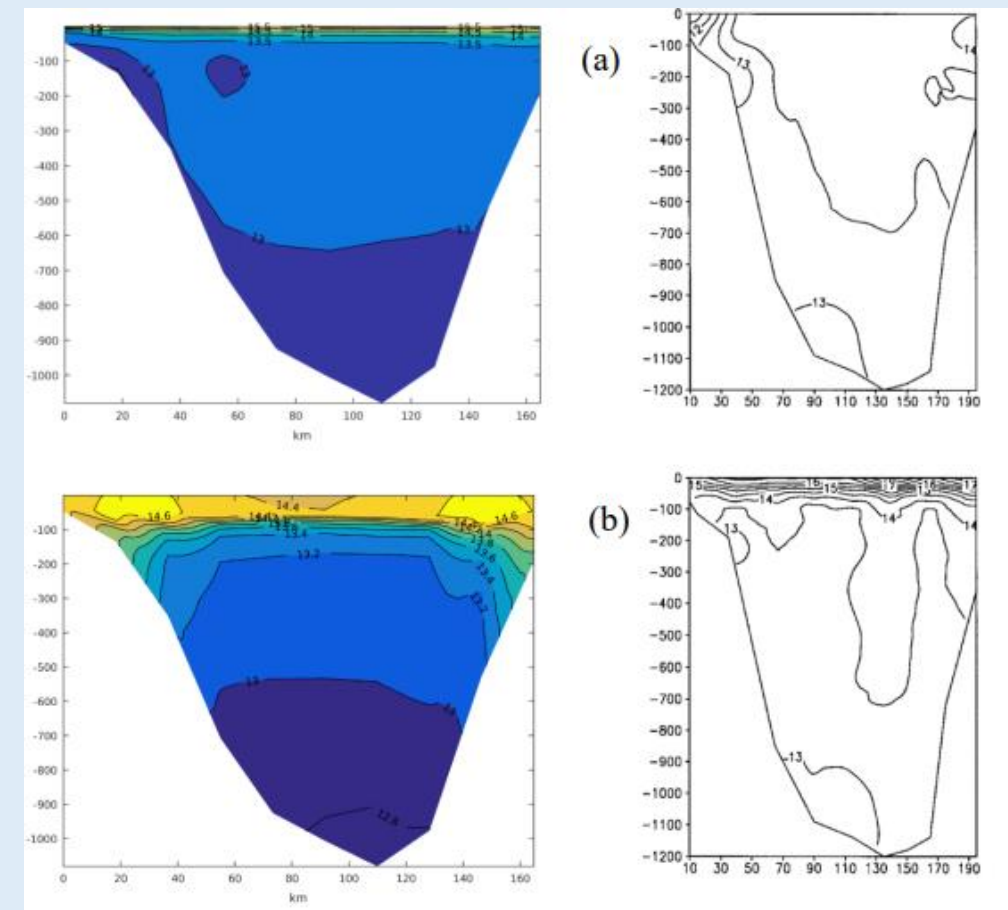


Figure 8: Distribution des températures (°C) de surface simulés par le modèle (gauche) et in situ (droite) pendant l'hiver (a) et le printemps (b) a Bari.

III. Résultats et discussion

2. Variations saisonnières des températures au Sud

En hiver :

- Colonne d'eau peu stratifiée
- Gradient est-ouest en surface (14-12°C)
- Températures stables a partir de 50m (13°C)

Printemps :

- Colonne d'eau plus chaude et stratifiée aux extrémités de la section qu'au milieu
- Températures stables partir de 300 m (13,2-12,8 °C)

- **Sous-estimation des températures de surfaces au printemps**
- **Mauvaise représentation des températures plus chaudes de la LIW**

« During spring, the MLIW is evident only on the eastern side of the basin » (A. Artegianiet al. 1997)

- **Représentation fidèle de l'AdDW au fond**

« SAdDW with T , 13.08C and S , 38.6 psu » (A. Artegianiet al. 1997)

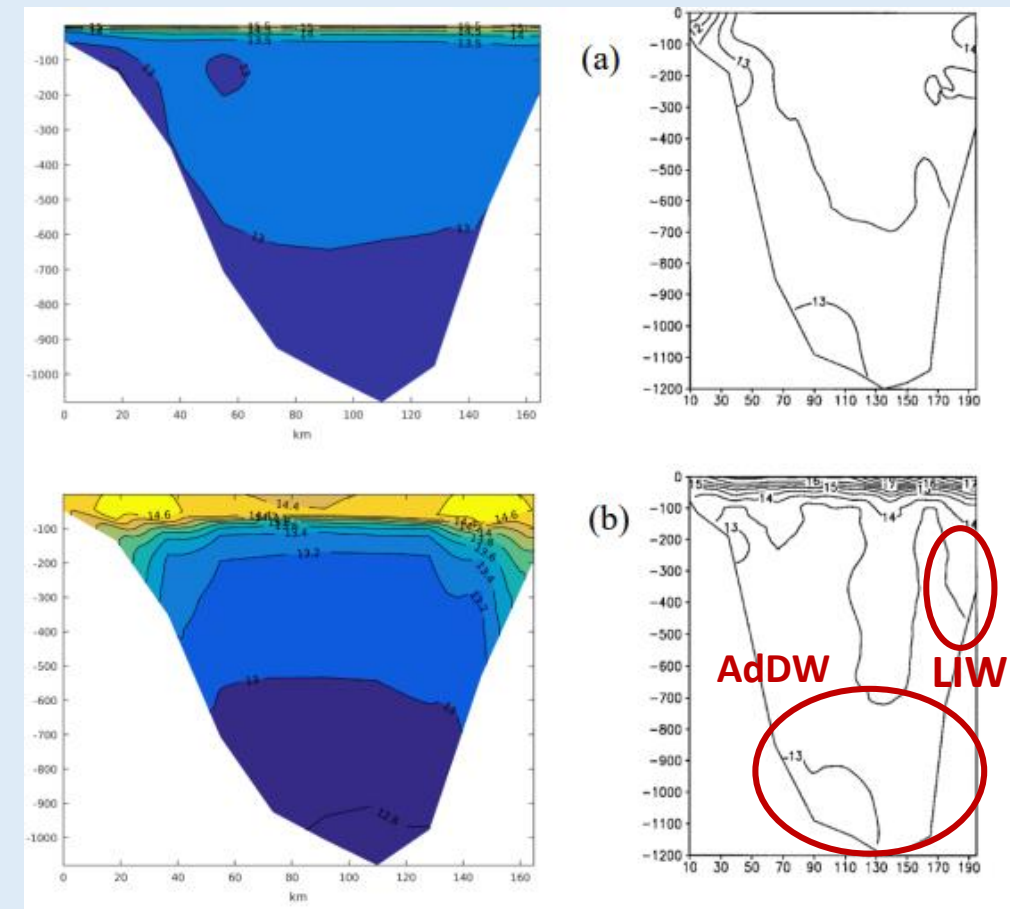


Figure 8: Distribution des températures (°C) de surface simulées par le modèle (gauche) et in situ (droite) pendant l'hiver (a) et le printemps (b) à Bari.

III. Résultats et discussion

3. Variations saisonnières de la salinité

III. Résultats et discussion

3. Variations saisonnières de la salinité

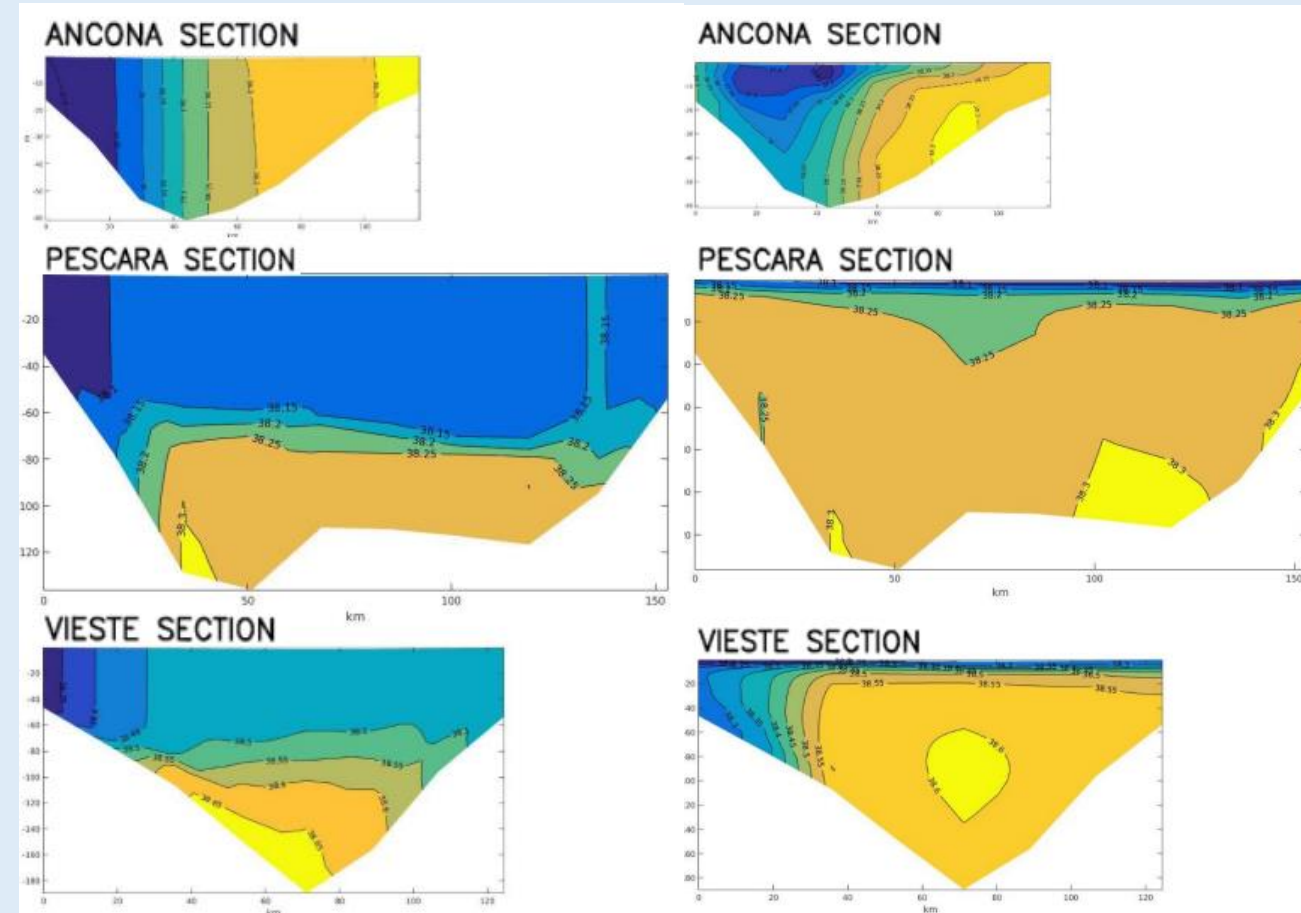
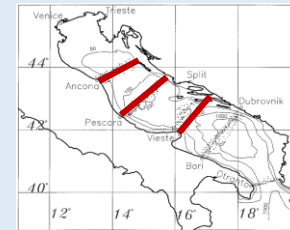
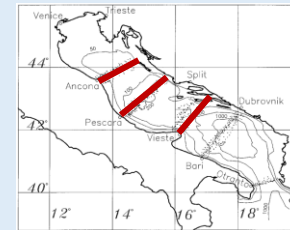


Figure 9: Distribution de la salinité (psu) simulé par le modèle en hiver (gauche) et au printemps (droite) au niveau des sections de Ancona, Pescara et Vieste..

III. Résultats et discussion

3. Variations saisonnières de la salinité



En hiver :

- Homogénéisation vertical
→ Bora
- Gradient est-ouest en surface (38,7 -37,9)
→ Apports fluviaux et précipitation à l'Ouest
- Salinité maximum au sud (38,5-38,65)
→ Plongée de l'AdDW

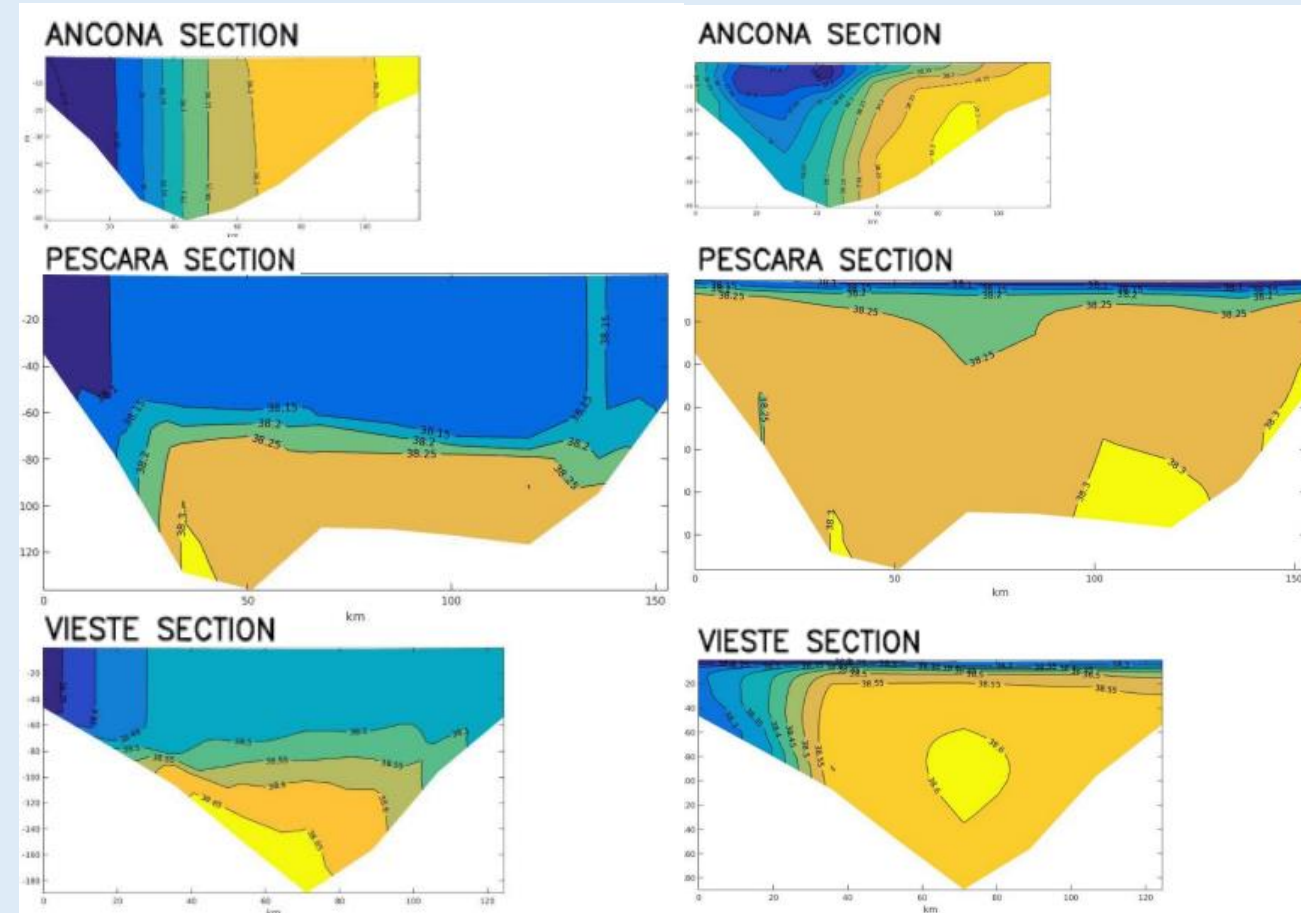


Figure 9: Distribution de la salinité (psu) simulé par le modèle en hiver (gauche) et au printemps (droite) au niveau des sections de Ancona, Pescara et Vieste..

III. Résultats et discussion

3. Variations saisonnières de la salinité



En hiver :

- Homogénéisation vertical
→ Bora
- Gradient est-ouest en surface (38,7 -37,9)
→ Apports fluviaux et précipitation à l'Ouest
- Salinité maximum au sud (38,5-38,65)
→ Plongée de l'AdDW

Printemps :

- Diminution des salinités de surfaces et atténuation du gradient est-ouest
→ Diminution des précipitations au Nord
- Augmentation rapide près des cotes

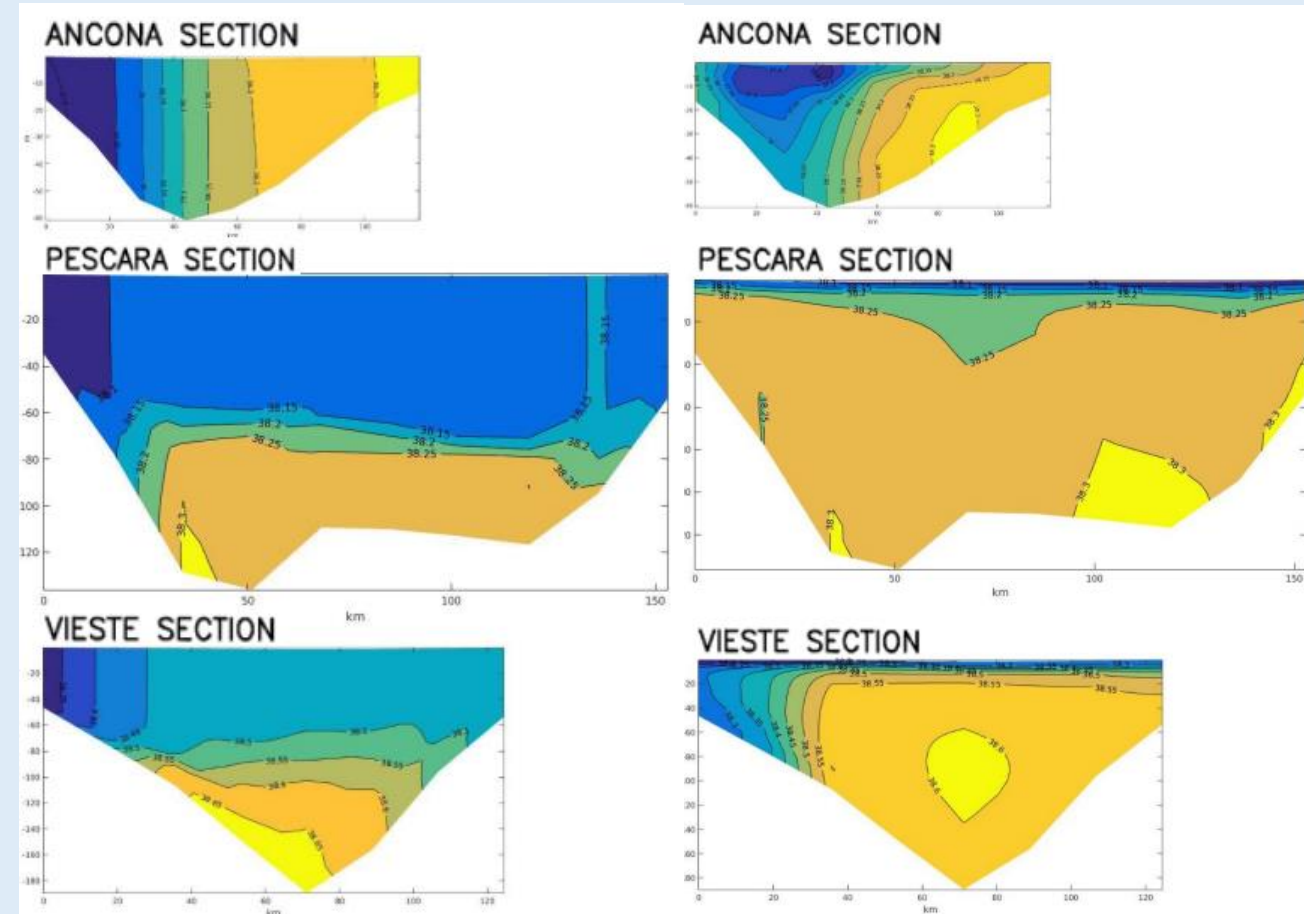


Figure 9: Distribution de la salinité (psu) simulé par le modèle en hiver (gauche) et au printemps (droite) au niveau des sections de Ancona, Pescara et Vieste..

III. Résultats et discussion

3. Variations saisonnières de la salinité

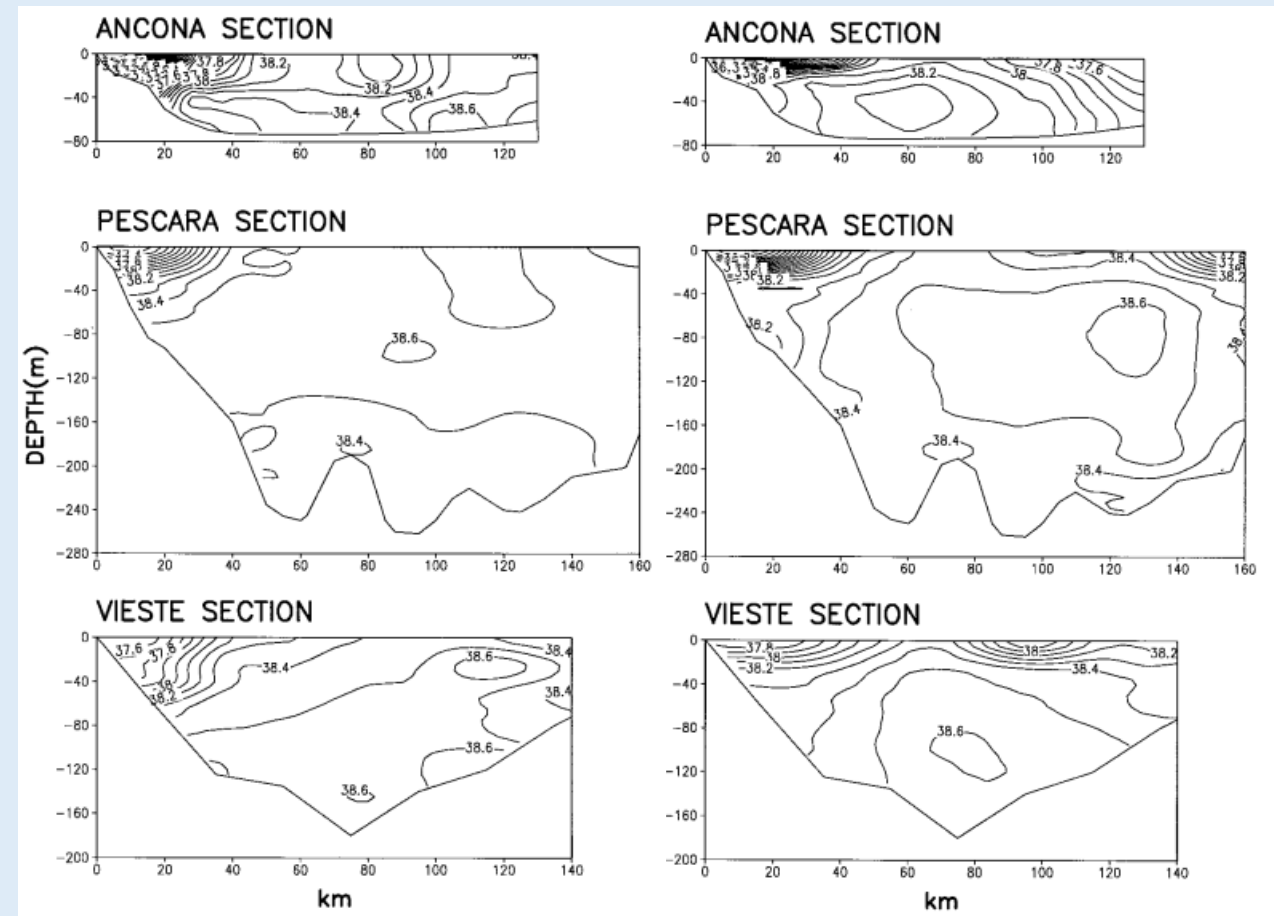
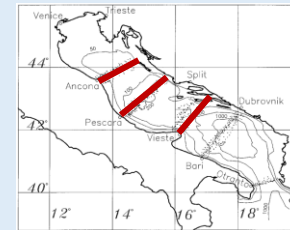


Figure 10: Distribution de la salinité (psu) in situ en hiver (gauche) et au printemps (droite) au niveau des sections de Ancona, Pescara et Vieste..

III. Résultats et discussion

3. Variations saisonnières de la salinité

- Eaux de faibles salinité confiné le long du plateau occidental

« the low salinity waters are still confined along the lateral sides of the basin » (A. Artegianiet al. 1997)

- Influence des apports fluviaux et des précipitations au Nord

« the low salinity waters induced by river runoff extend throughout the surface layers of the sections » (A. Artegianiet al. 1997)

- AdDW très salé qui plonge a Vieste
- Sur estimation de la salinité de 0.3 entre 0 et 50 m surtout au Nord

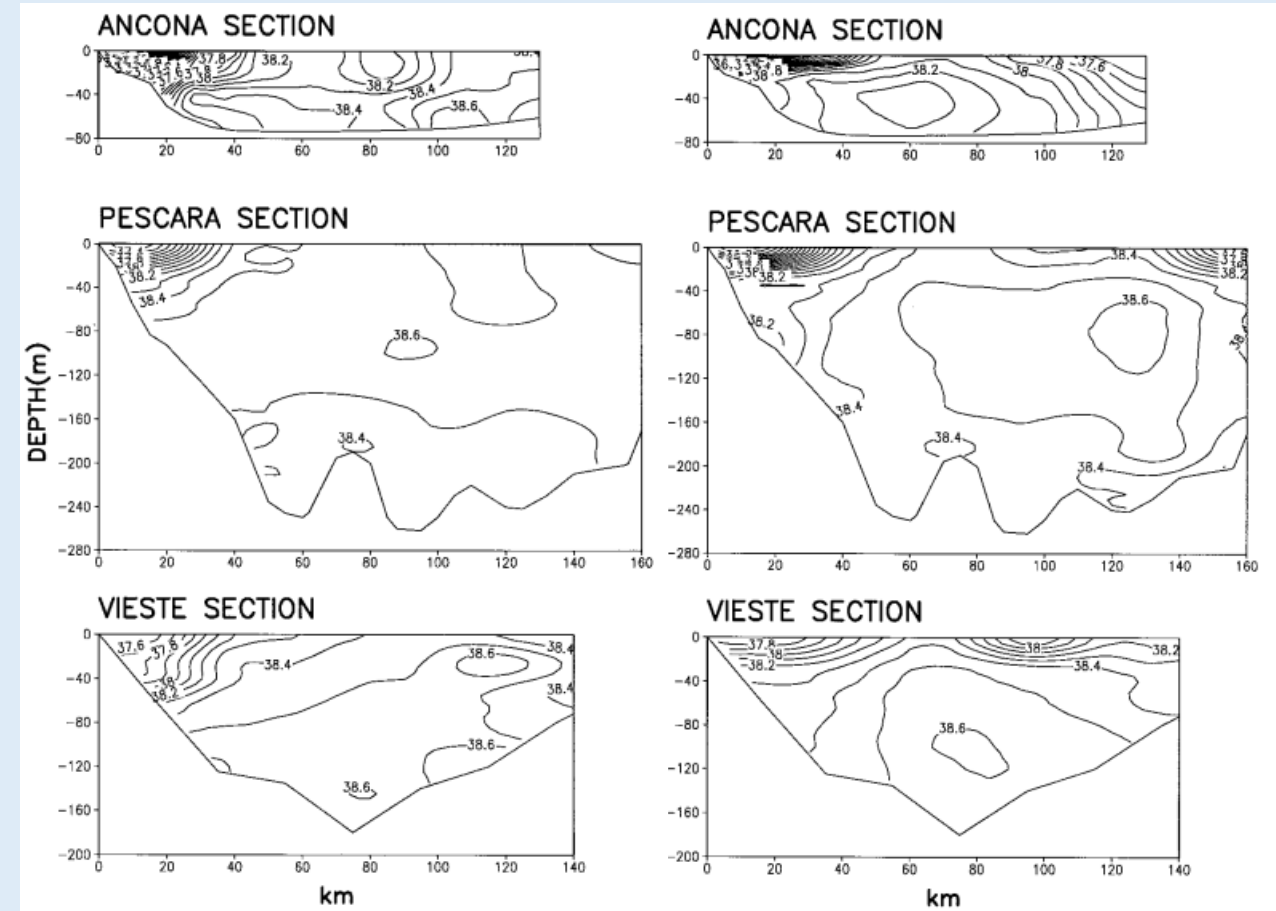
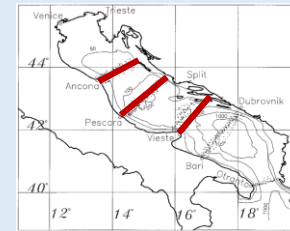


Figure 10: Distribution de la salinité (psu) in situ en hiver (gauche) et au printemps (droite) au niveau des sections de Ancona, Pescara et Vieste..

III. Résultats et discussion

3. Représentation de la circulation de surface

III. Résultats et discussion

3. Représentation de la circulation de surface

- Circulation cyclonique le long des cotes
- Entrée des eaux de surface à Otranto
- Début de formation du Sad gyre
- Tourbillons cycloniques au centre

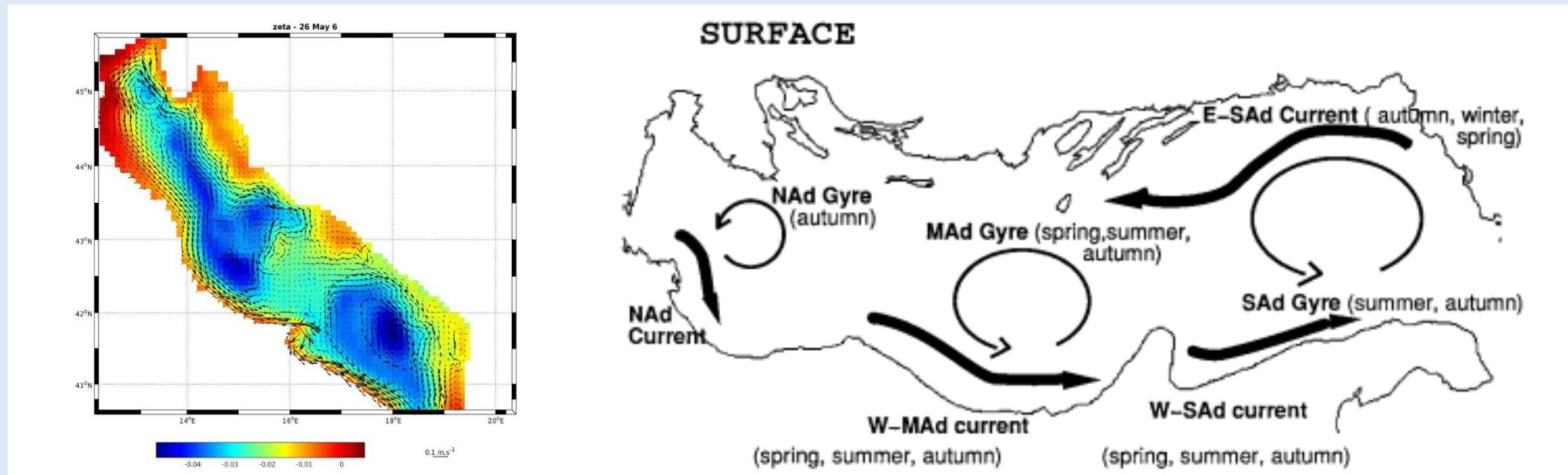


Figure 11: Élévation de la surface libre et vecteurs vitesses de surface simulé par le modèle (droite) et représenté dans la littérature (gauche) au printemps

IV. Conclusion

- ✓ Bonne représentation de la répartition des variables thermochimiques et masses d'eaux caractéristiques
- X Erreurs dans les valeurs de température et de salinité au printemps
- X Représentation très approximative de la bathymétrie

Amélioration avec topo_smooth et grad(h)/h ?

Comparaison des données des vecteurs vitesses aux 4 saisons ?

Inclure un modèle biologique pour comparer les données d'oxygène ?

IV. Bibliographie

Artegiani.A et al. The adriatique sea general circulation part I: air–sea interactions and water mass structure. Journal of physical oceanography, 1997, vol 27 Artegiani.A et al.

The adriatic sea general circulation. Part II: baroclinic circulation structure. Journal of physical oceanography, 1997, vol 27 Orlié.M et al.

The currents and circulation of the adriatic sea. Oceanologica acta, 1991, vol 15, n°15

Jullien. S et al. Technical and numerical doc. 29/11/2022. <https://data.corco.ifermer.fr/DOC/model-v1.3.pdf>

Kumzmic.M et al. Response of the Adriatic Sea to the bora and sirocco forcing. Continental shelf research, 1994, vol 14