

VARIATIONS SAISONNIÈRES DE LA CIRCULATION , LA TEMPÉRATURE ET LA SALINITÉ DE SURFACE EN MER ADRIATIQUE : MODÉLISATION 3D OCÉANIQUE

Alice Attali

4 mai 2026

AMU M1 sciences de la mer : OPB
Modélisation 3D océanique

INTRODUCTION

La mer Adriatique:

- Bassin semi-fermé ouvert au sud
- 12°E à 20°E en longitude et de 40°N à 46°N en latitude
- 140 000 km² et une profondeur moyenne de 252 m
- Méditerranée = modèle pour l'océan global → zone intéressante
- Adriatique assez bien étudiée mais peu de modélisation 3D

INTRODUCTION

Régime météorologique de l'Adriatique :

- Variations saisonnières
- Hiver : vents Bora (secs, nord-est)
- Eté : Sirocco (chaud, sud-est)
- Gyre cyclonique + branches courant côtier
- Zone de formation d'eau profonde



INTRODUCTION

Quelques mots à propos de CROCO :

- CROCO (Coastal and Regional Ocean COmmunity model)
- Permet de modéliser des régions océaniques en 3D temps et espace
- Dérivé de ROMS AGRIF
- Codes sources écrits en Fortran, C et shell



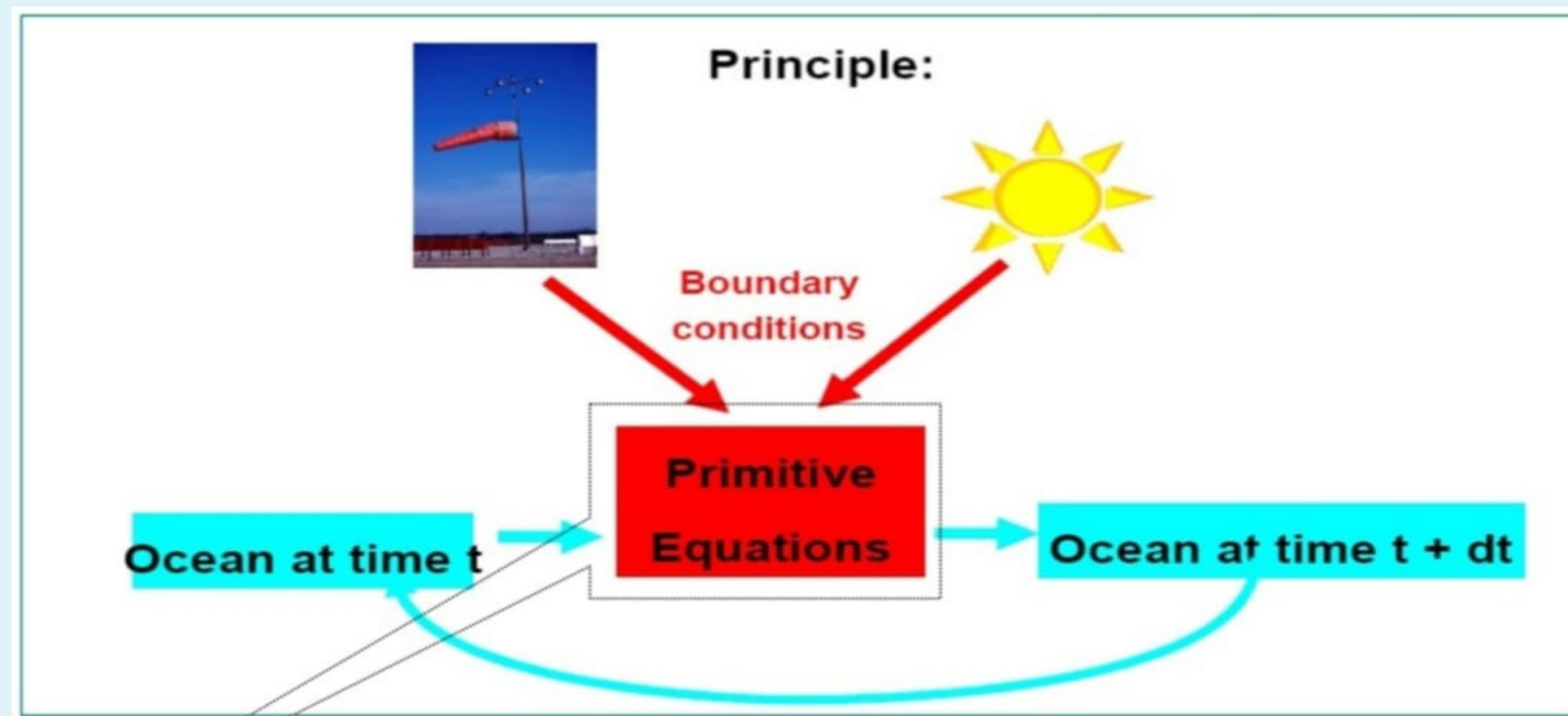
INTRODUCTION

- **Objectif :** Évaluer les résultats de la circulation, la salinité et la température de surface de l'Adriatique obtenus grâce à 10 ans de simulation CROCO

MATÉRIEL ET MÉTHODE

CROCO et ses fondements physiques :

- Basé sur les équations primitives de la physique
- Le principe : traduire les phénomènes qui s'abattent sur l'océan, les traduire en équation et les appliquer au système (ici la région modélisée)



Cours Andrea Doglioli

MATÉRIEL ET MÉTHODE

Mais plus précisément ?

- Des hypothèses :
 - b-plan : $f = f_0 + b \cdot y$
 - Bousinesq : $\rho = \rho_0 + \rho'$ avec $\rho_0 \gg \rho'$
 - fermeture turbulente de Bousinesq : tenseurs de Reynolds proportionnels aux gradients de vitesses et aux viscosités turbulentes

MATÉRIEL ET MÉTHODE

Mais plus précisément ?

- Des équations :

- Equations du mouvement en x et en y :

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla u &= -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + fv + K_h \nabla^2 u + K_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \\ \frac{\partial v}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla v &= -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} - fu + K_h \nabla^2 v + K_v \frac{\partial^2 v}{\partial z^2}\end{aligned}$$

- Conservation de la masse :

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

- Conservation de la chaleur :

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

- Conservation du sel :

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

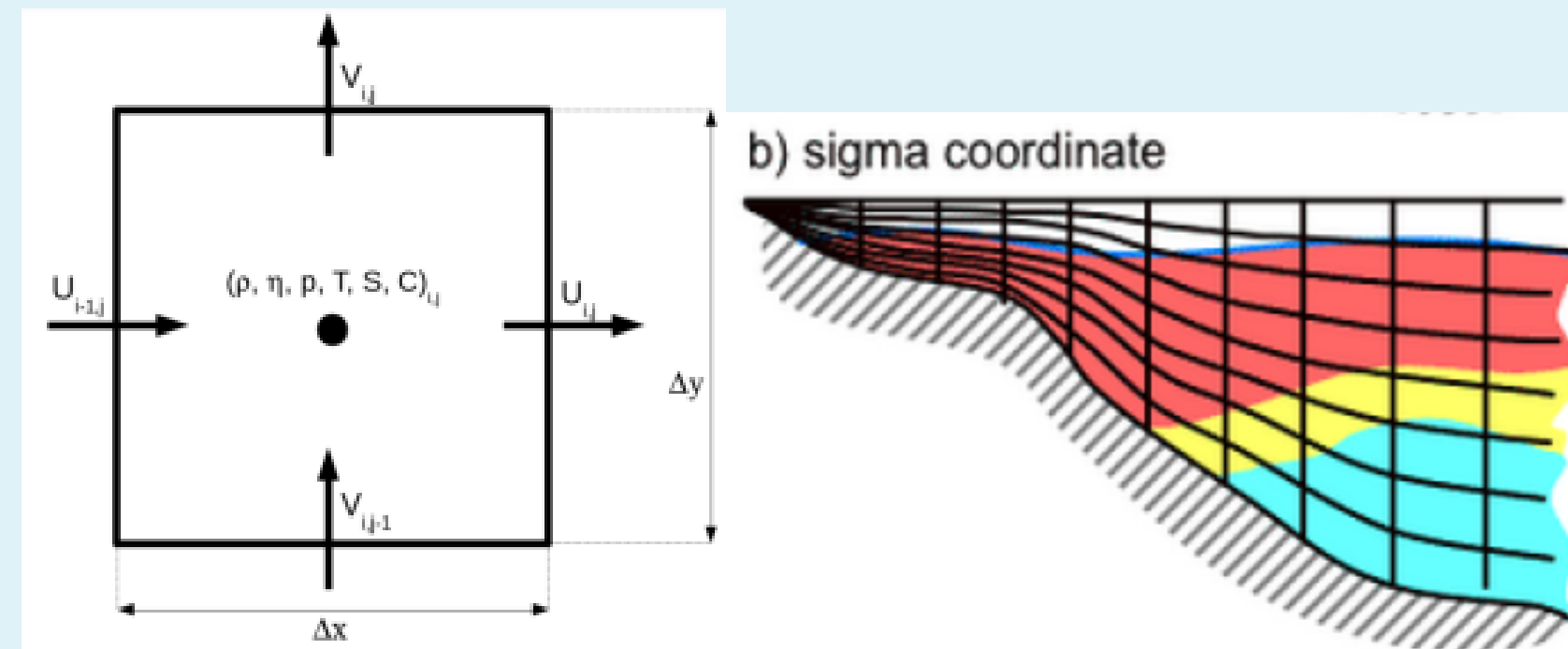
- Equation d'état TEOS-10 :

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

MATÉRIEL ET MÉTHODE

Mais plus précisément ?

- La discrétisation spatiale :
 - système discret défini sur maillage : grille Arakawa-C sur l'horizontale et coordonnées sigma sur la verticale



Grille Arakawa-C

Coordonnées sigma

issu du cours de Melika Baklouti EDP

MATÉRIEL ET MÉTHODE

Mais plus précisément ?

- La discrétisation temporelle :
 - Condition CFL (le traceur ne se propage pas de plus d'une maille à chaque pas de temps)

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

- Time splitting : → processus rapide petit pas de temps (NDTFAST) et processus long grand pas de temps (dt)

MATÉRIEL ET MÉTHODE

Implémentation du modèle :

- Choix de la zone d'étude : *ad_findgeocoord* (Matlab) puis modification du fichier *crocotools_param.h* pour définition des coordonnées et configuration des paramètres
- Edition de la grille : *make_grid* (Matlab) création de la grille, du mask et de la bathymétrie, *edit_mask* pour l'ajustement des zones Terre/mer puis modification des fichiers *param.h* et *cppdefs.h* pour rentrer les informations spatiales du modèle (paramètres grille + frontières)

MATÉRIEL ET MÉTHODE

Implémentation du modèle :

- Application des Datasets : *make_forcing* (COADS), *make_clim* (WOA) et *make_ini* pour calculer respectivement les forçages atmosphériques, les conditions limites et les conditions aux initiales

Résolution	LLm	MMm	N	dt	NTIMES	NDTFAST	NWRT	NAVG	NRST
1/10°	79	82	32	1440	1800	60	180	180	1800

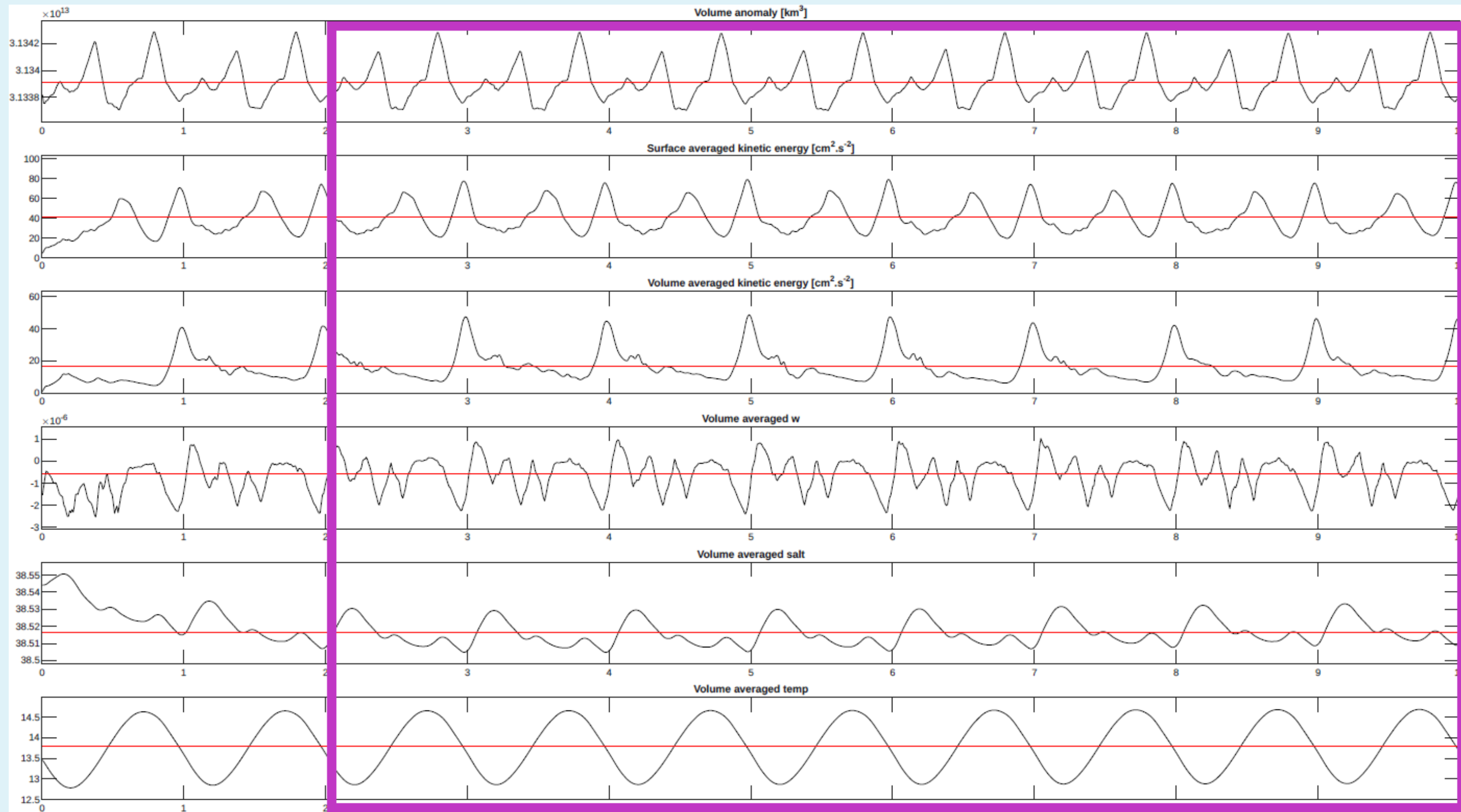
TABLE 1 – Récapitulatif des paramètres temporels du modèle (temps en secondes).

↑
Et spatiaux !!

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Diagnostic du modèle :

- Commandes *croco_diag* et *croco_plot* (Matlab)



RÉSULTATS ET DISCUSSION

Trois types de résultats :

- Circulation de surface
- Températures de surface
- Salinité de surface

RÉSULTATS ET DISCUSSION

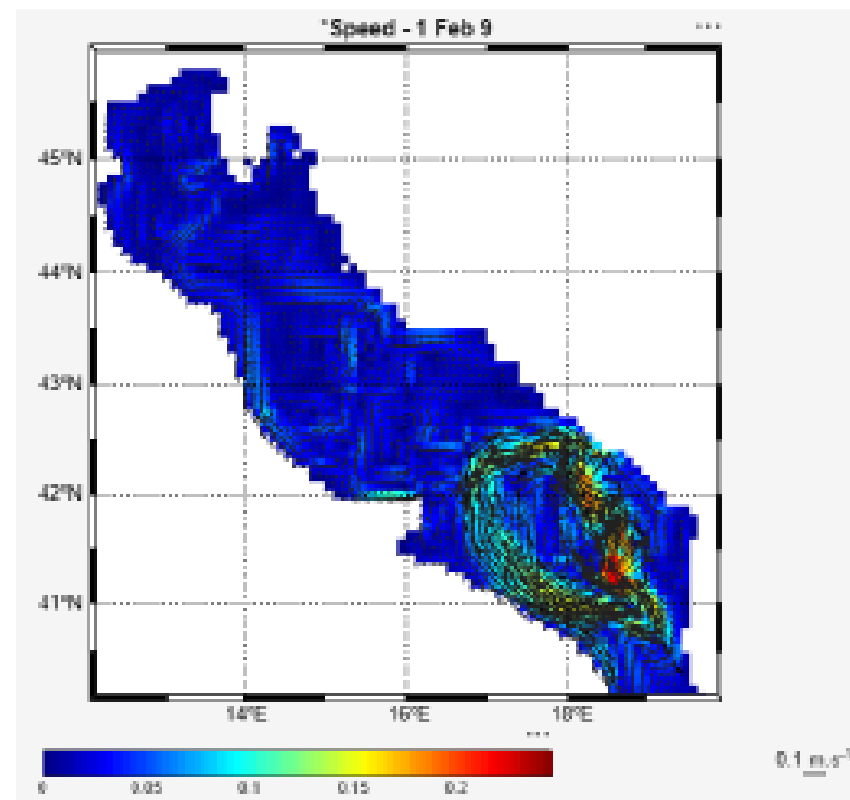
Circulation de surface :

- vitesses autour de 0,05 m/s + maximum saisonnier 0,2 m/s en hiver
- circulation en adéquation avec la littérature :
 - gyre cyclonique dominante
 - courants côtiers intensifiés
 - gammes de vitesses coïncident avec celles obtenues dans l'article

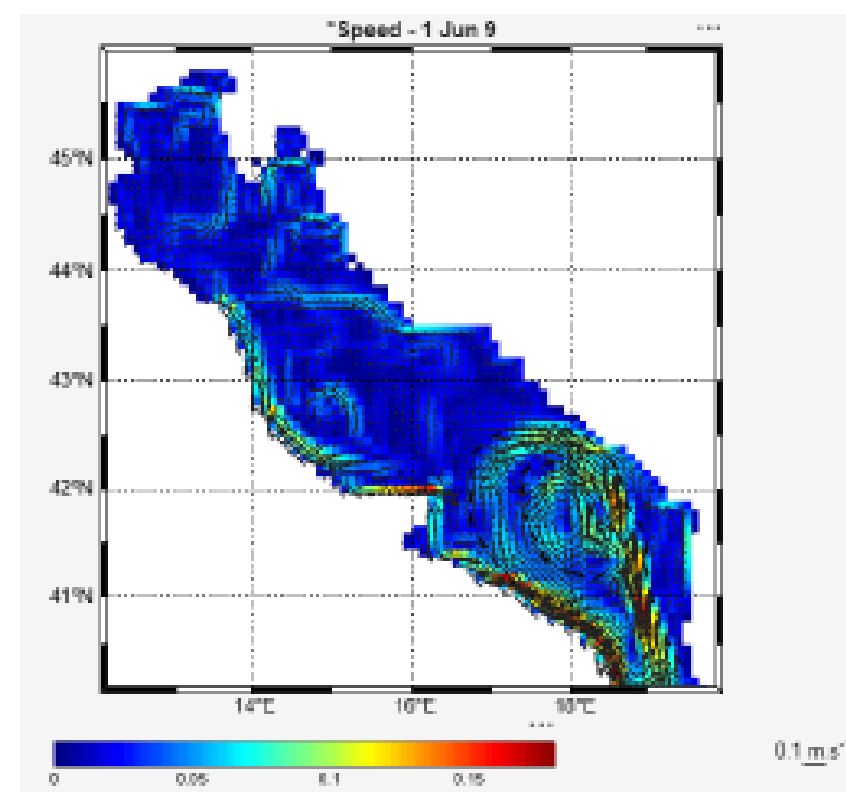
RÉSULTATS ET DISCUSSION

Circulation de surface :

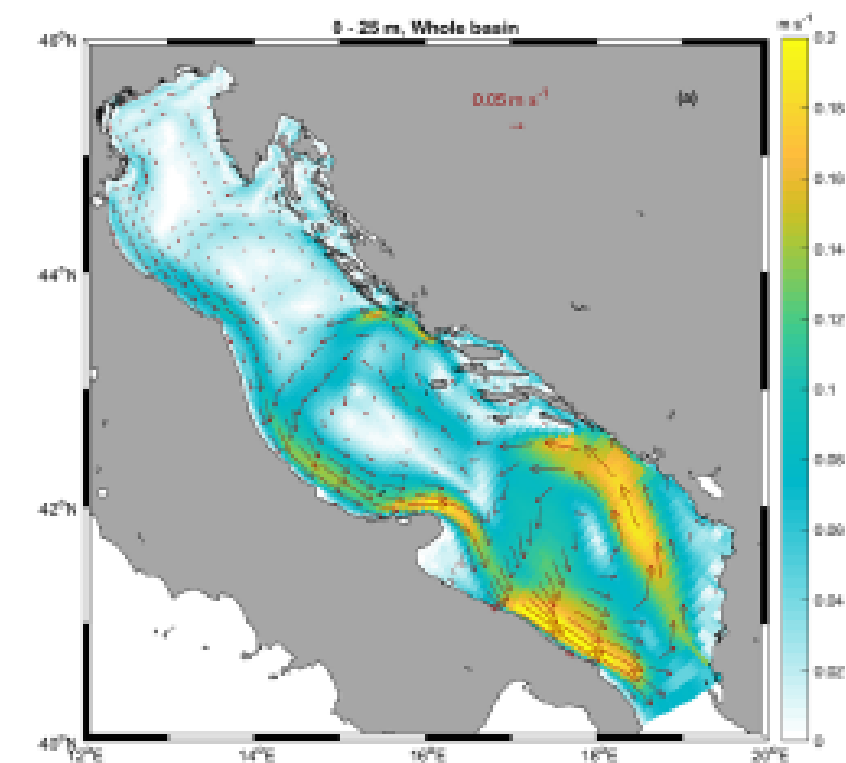
- Hiver : circulation plus intense que la moyenne décrite dans l'article (forçage climatique plus puissant)
- Été : circulation est plus faible et plus diffuse mais structures comparables



(a) Circulation de surface issu de CROCO (obtenu grâce à la commande `croco_gui` sur matlab) en hiver (1er février)



(b) Circulation de surface issu de CROCO (obtenu grâce à la commande `croco_gui` sur matlab) en été (1er juin)

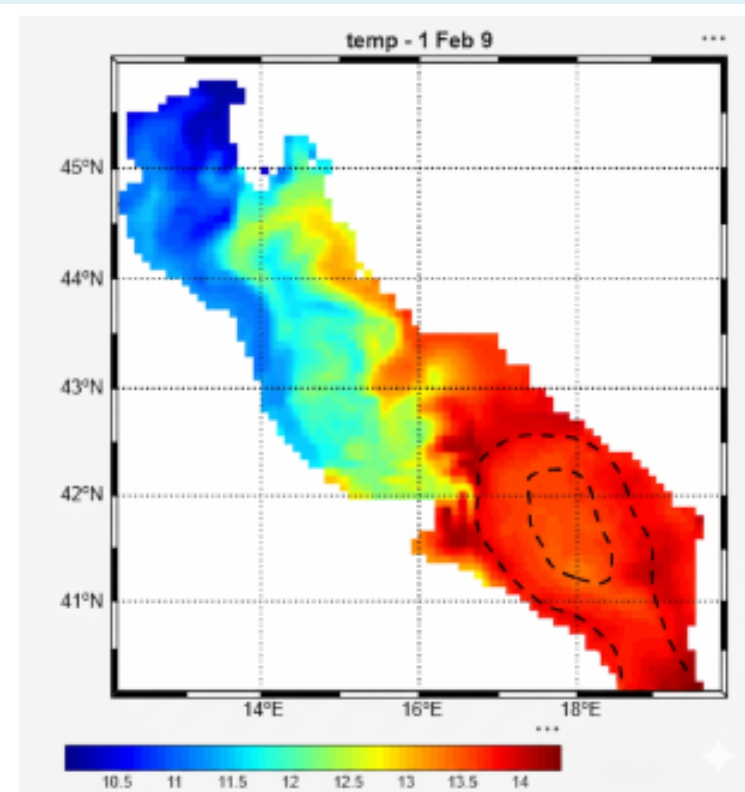


(c) Circulation de surface issu de [2], moyenné sur une année

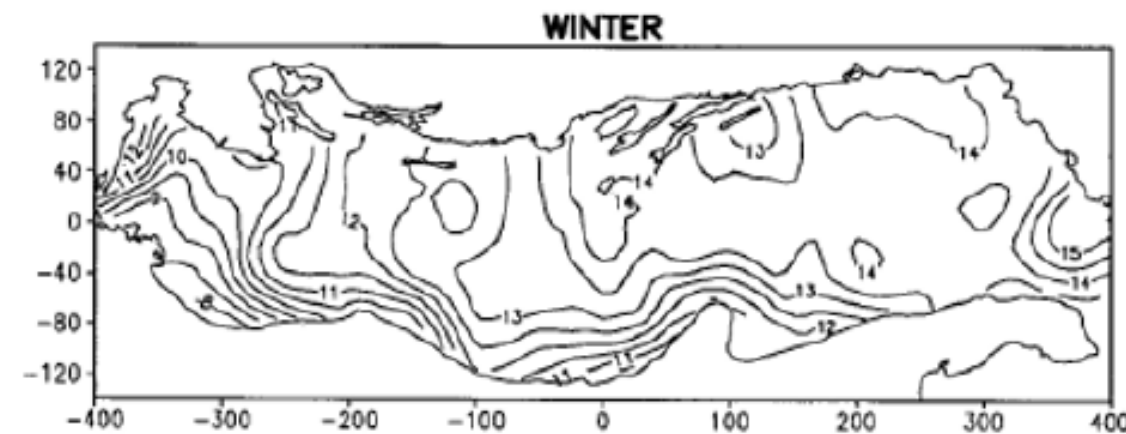
RÉSULTATS ET DISCUSSION

Distribution horizontale de la température de surface :

- Caractéristiques hivernales :
 - nord de l'Adriatique (autour de 45°N) autour de 10,5–11°C,
 - sud (vers 41°N) autour de 13–14°C, ce qui entraîne un
 - → gradient d'environ 3–4°C sur la longueur du bassin
 - gradient côte-large faible en hiver (moins de 1°C)
 - Gammes de valeurs similaires avec l'article



(a) Carte de la température de surface issu de CROCO (obtenue grâce à la commande `croco_gui` sur matlab) en hiver (1er février)

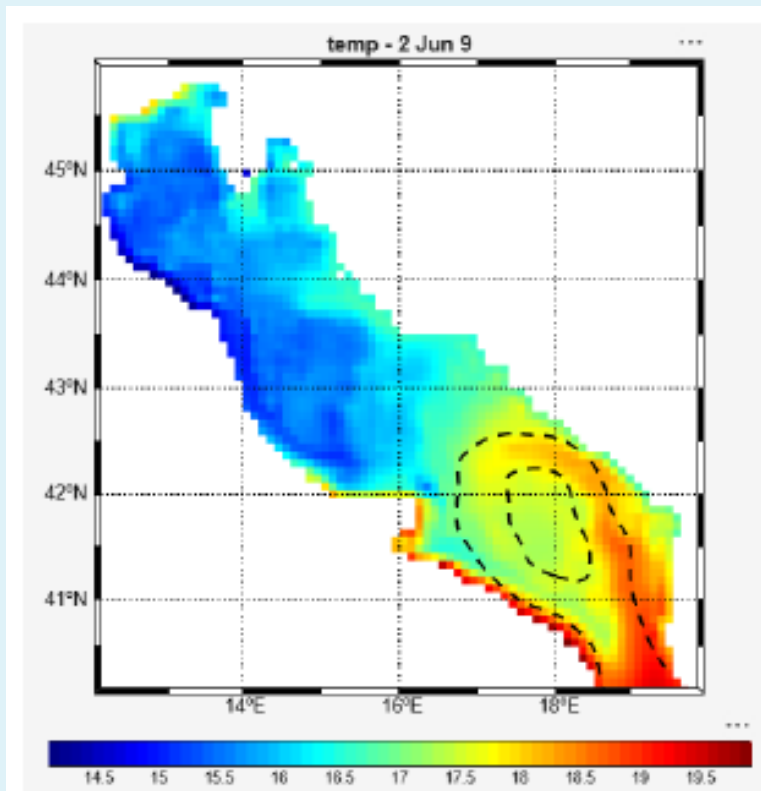


(b) Carte de la température de surface en hiver issu de l'article [1]

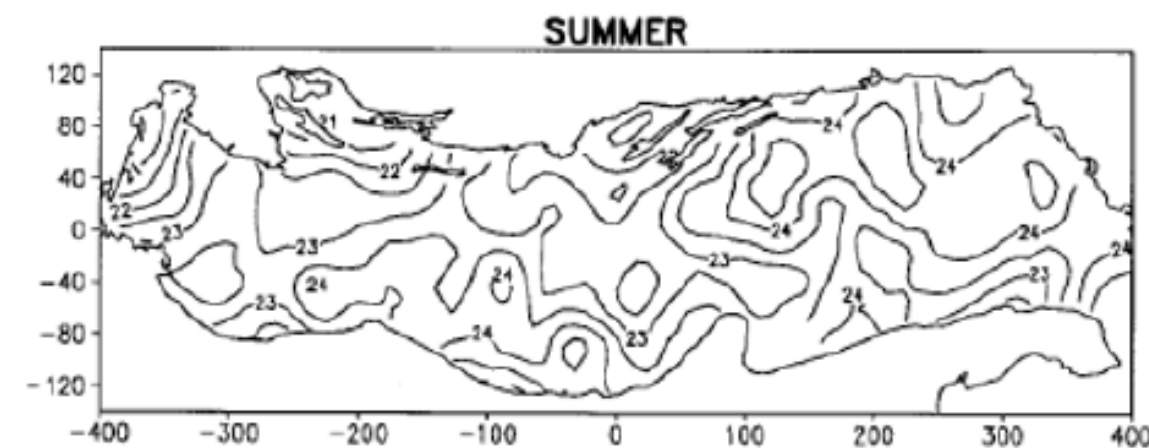
RÉSULTATS ET DISCUSSION

Distribution horizontale de la température de surface :

- Caractéristiques estivales :
 - fort réchauffement des températures de surface : 18–19,5°C sud et 15–17°C nord
 - gradient thermique d'environ 4°C
 - gammes de température différentes que celles de l'article : 24°C dans le sud et 21°C dans le nord
 - côte italienne Nord : Pô fait diminuer la température (14,5–16°C) (côte italienne sud 19–17°C).



(a) Carte de la température de surface en été issu de CROCO (obtenu grâce à la commande `croco_gui` sur matlab) en été (1er juin)

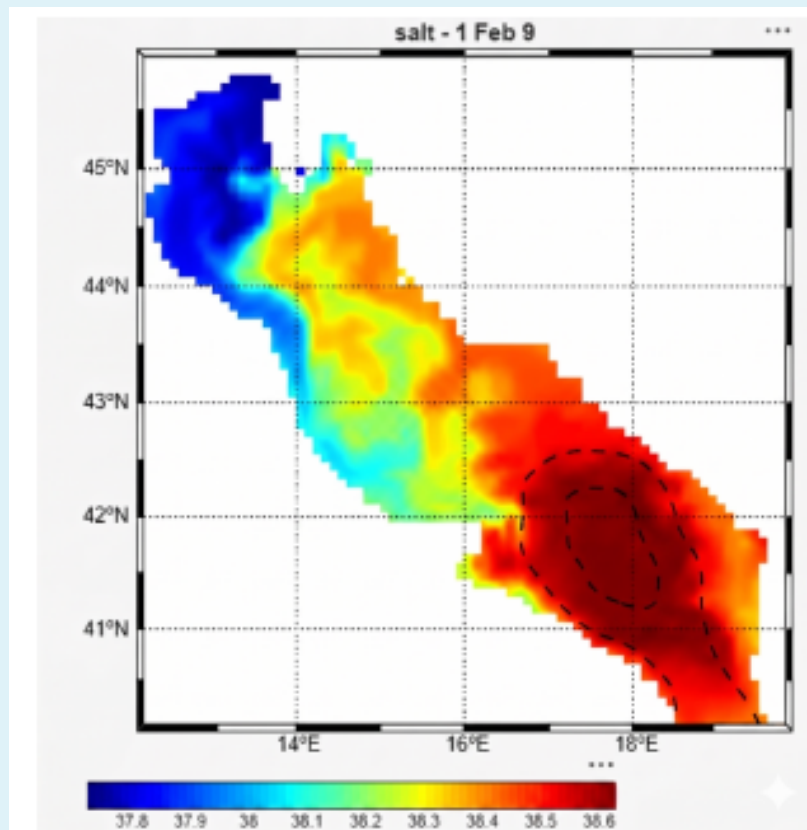


(b) Carte de la température de surface en été issu de l'article [1]

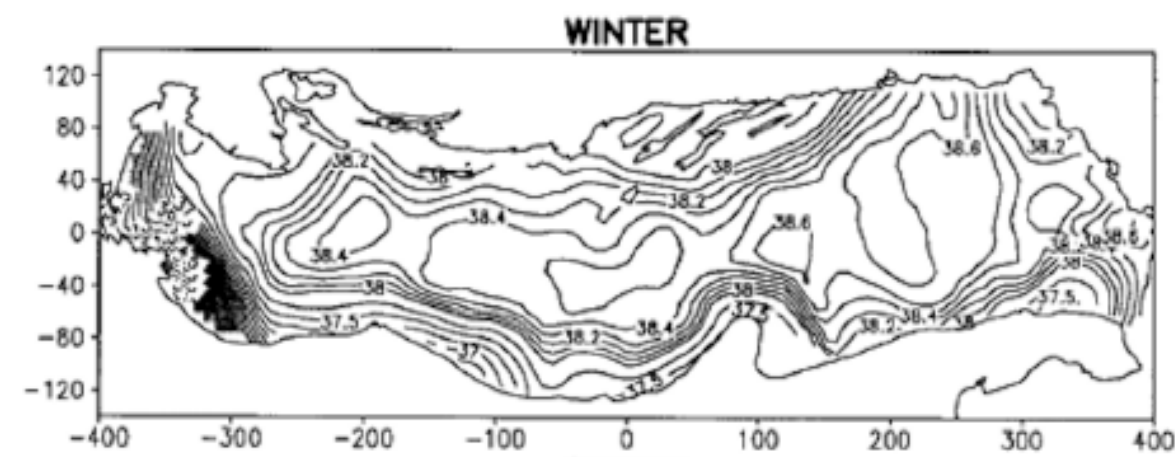
RÉSULTATS ET DISCUSSION

Distribution horizontale de la salinité de surface :

- Caractéristiques hivernales :
 - dominée par des gradients côte-large
 - côte occidentale nord : déversement Pô maximal → salinités les plus faibles (37,8–38,0 psu)
 - côte occidentale sud : 38,4–38,6 psu
 - Littérature : même gradient côte-large et gammes de valeurs similaires



(a) Carte de la salinité en hiver issu de CROCO (obtenu grâce à la commande `croco_gui` sur matlab) en été (1er juin)

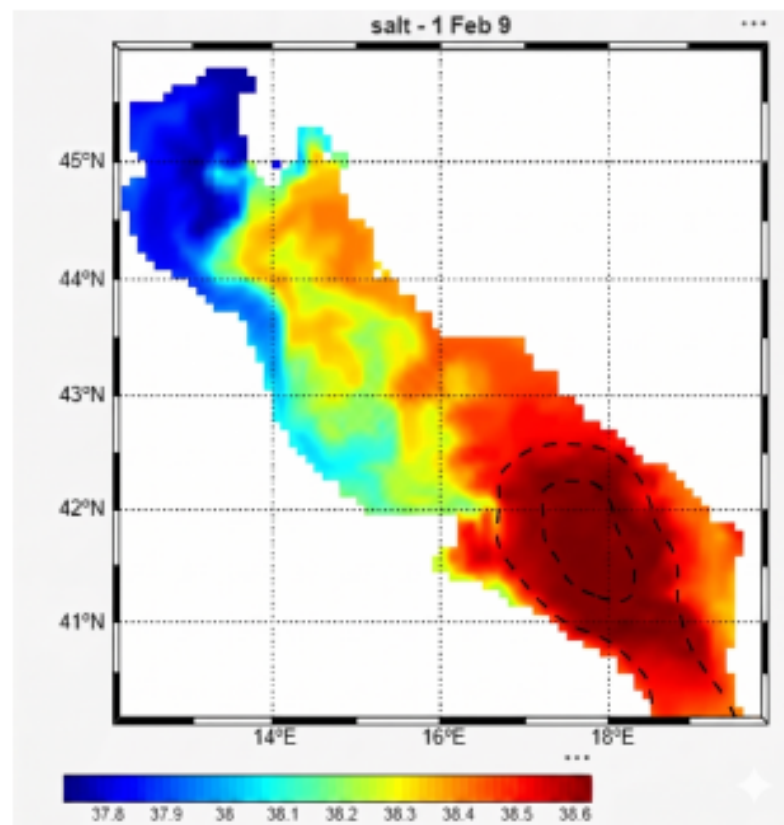


(b) Carte de la salinité en hiver issu de l'article [1]

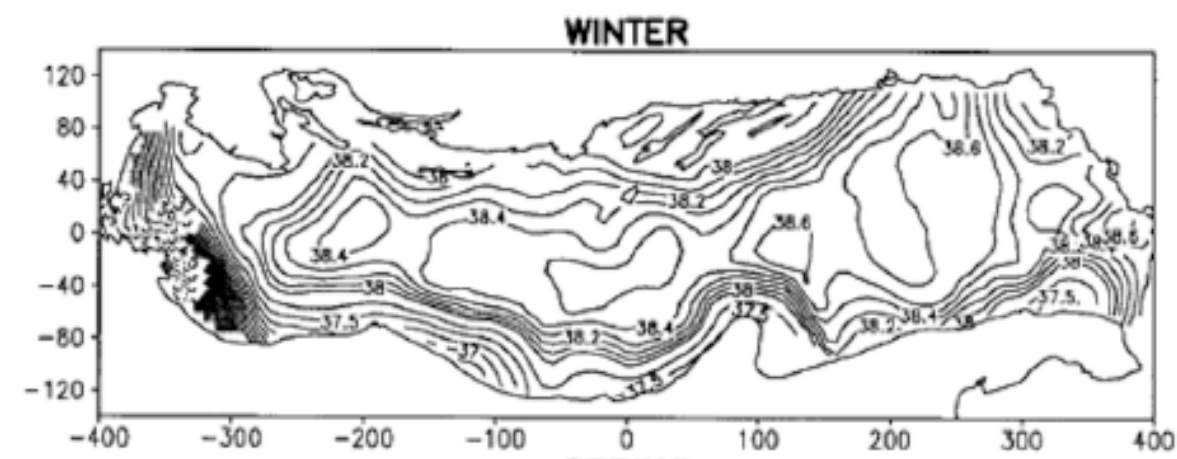
RÉSULTATS ET DISCUSSION

Distribution horizontale de la salinité de surface :

- Caractéristiques estivales :
 - Gradient côte-large moins marqué
 - Salinités minimales côtières : 37,2–37,4 psu dans le nord et sud 38,2–38,4 psu
 - Salinité plus faible en été → pas logique car bilan E-P >0 et débit Pô diminué → sous-estimation
 - Littérature : gammes différentes : nord 34-35 37,5 psu



(a) Carte de la salinité en hiver issu de CROCO (obtenu grâce à la commande `croco_gui` sur matlab) en été (1er juin)



(b) Carte de la salinité en hiver issu de l'article [1]

CONCLUSION

✓ Bonne représentation de la répartition des variables thermochimiques et masses d'eaux caractéristiques

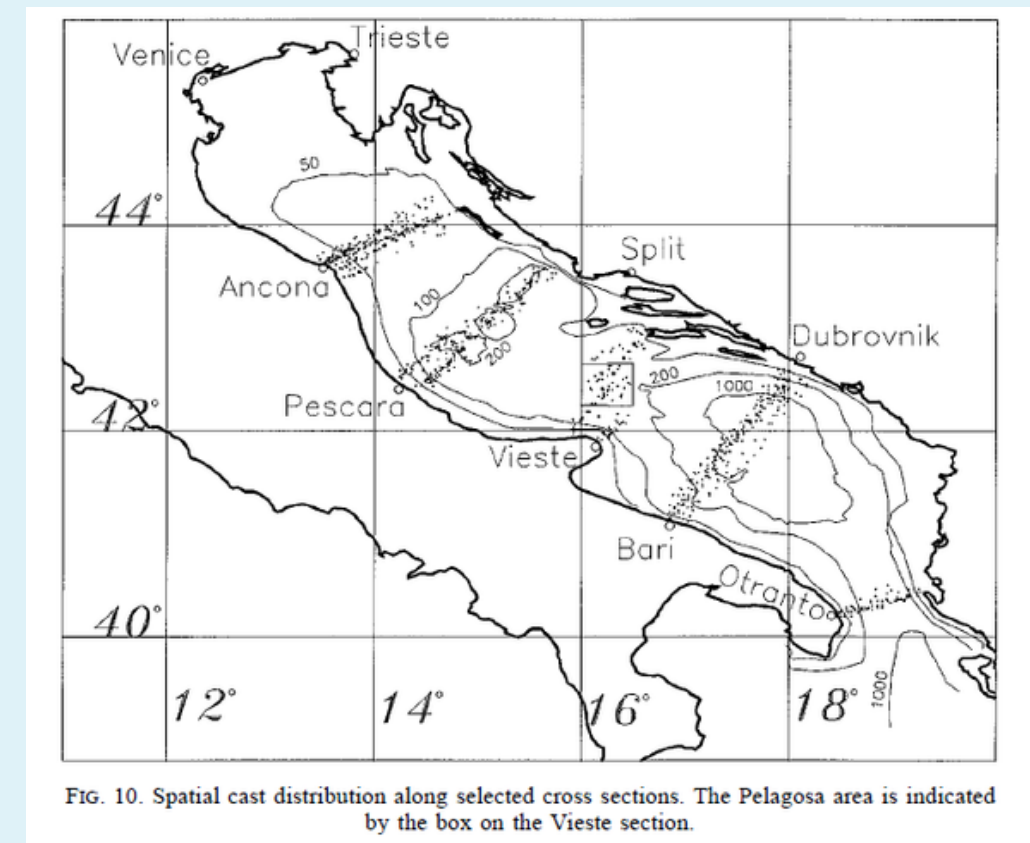
x Erreurs valeurs de température et de salinité en été

- Pour améliorer :

- Augmenter la résolution
- Moyenner les résultats sur plusieurs années
- Article plus récent

- Pour la suite :

- visualisation variation inter-annuelles des trois paramètres
- Faire des sections pour voir ce qui se passe en profondeur



BIBLIOGRAPHIE

A. Artegiani et al. “The Adriatic Sea General Circulation. Part II : Baroclinic Circulation Structure”. In : Journal of Physical Oceanography 27.8 (1997), p. 1515-1532.

Copernicus Climate Data Store. “Global analysis and forecast system for physical oceanography”. In : Ocean Science 21 (2025), p. 1003-1025

Cours Andrea Doglioli modélisation 3D océanique M1 OPB

Cours Mélika Baklouti Equation différentielle aux dérivées partielles M1 OPB