



# Etude de la circulation en mer Egée du nord en l'absence du détroit des Dardanelles



Bertrand Pingon

OPB205 : modélisation océanique

M1 Sciences de la mer AMU

2024/2025

28/04/25

# Contexte

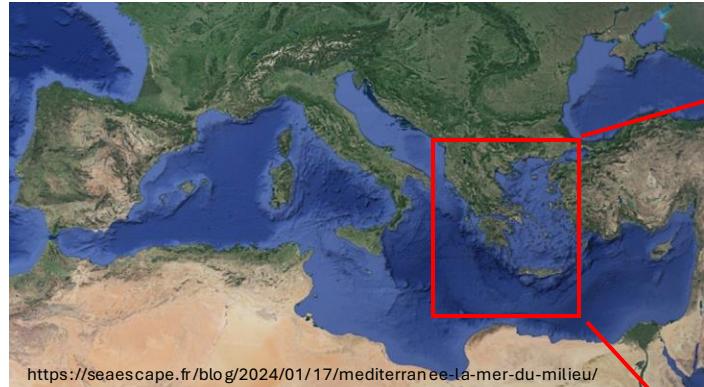


Fig1 : Mer Méditerranée

- Bilan entrée-sortie =  $300\text{km}^3/\text{an}$
- Salinité = 15psu
- Topographie complexe



Fig2 : Mer Egée

## Les équations primitives

- Hypothèses : incompressibilité, hydrostatique, hypothèse de Reynolds, approximation de Boussinesq

# Les équations primitives

- Hypothèses : incompressibilité, hydrostatique, hypothèse de Reynolds, approximation de Boussinesq
- Equations : Conservation de la quantité de mouvement, continuité, conservation de la chaleur et du sel, équation d'état de l'eau de mer

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + fv + A_h \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + A_z \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \\
 \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} - fu + A_h \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + A_z \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \\
 \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} &= -g \\
 \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} &= 0 \\
 \frac{\partial T}{\partial t} + \vec{V} \cdot \vec{\nabla} T &= -\frac{\partial \bar{T}'w'}{\partial x} - \frac{\partial \bar{T}'v'}{\partial y} - \frac{\partial \bar{T}'w'}{\partial z} + \frac{H_c}{\rho_0 C_p} \frac{\partial I}{\partial z} \\
 \frac{\partial S}{\partial t} + \vec{V} \cdot \vec{\nabla} S &= -\frac{\partial \bar{S}'w'}{\partial x} - \frac{\partial \bar{S}'v'}{\partial y} - \frac{\partial \bar{S}'w'}{\partial z} \\
 \rho &= \rho(S, T, P)
 \end{aligned}$$

Fig3 : Equations primitives

# Discrétisation

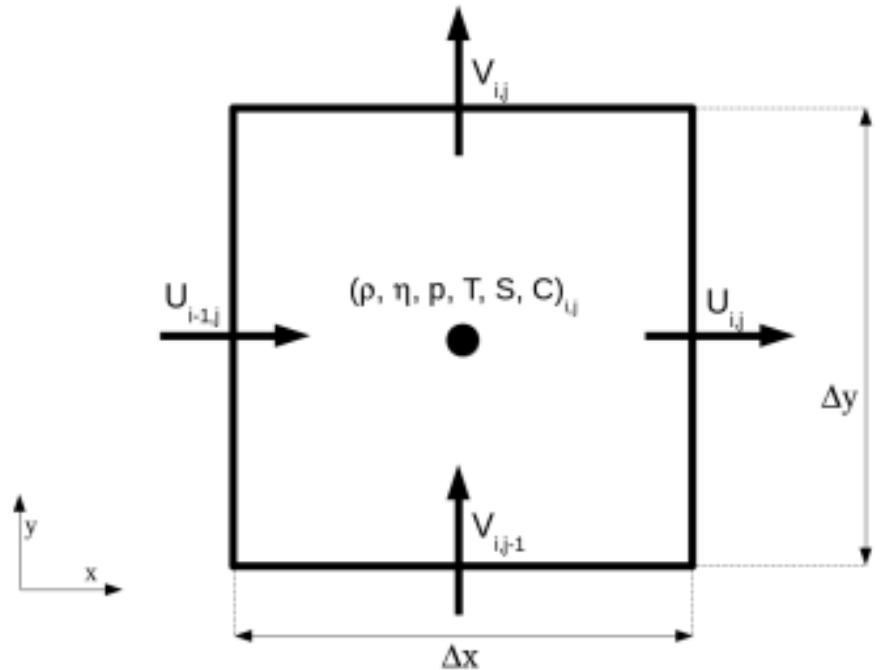


Fig4 : Grille d'Arakawa C  
Cours REDP Melika Baklouti

# Discrétisation

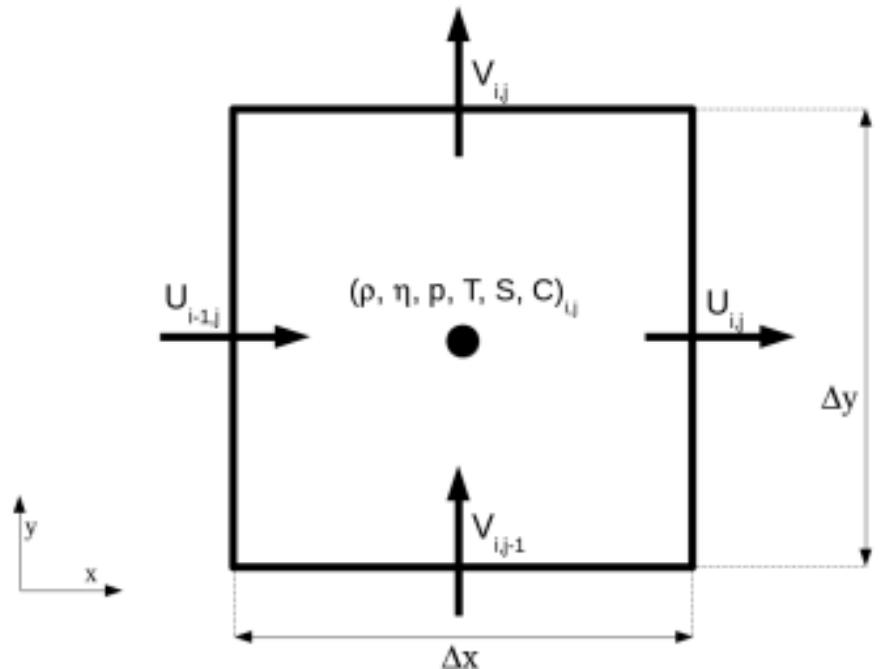


Fig4 : Grille d'Arakawa C  
Cours REDP Melika Baklouti

b) sigma coordinate

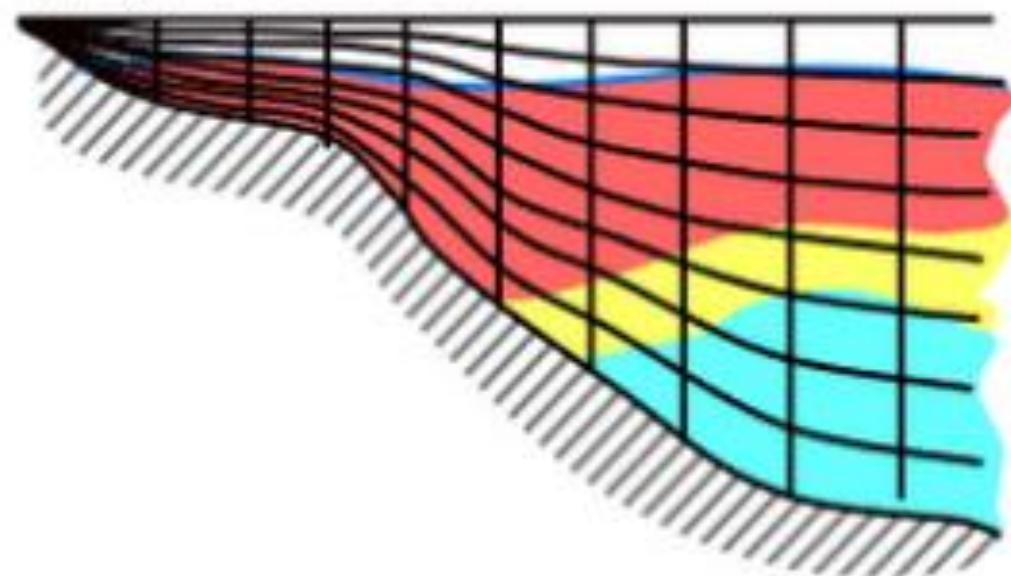


Fig5 : Coordonnées sigma  
Cours REDP Melika Baklouti

## Bases de données et conditions initiales

- Smith and Sandwell : bathymétrie avec résolution de 2 minutes

## Bases de données et conditions initiales

- Smith and Sandwell : bathymétrie avec résolution de 2 minutes
- ICOADS : base de données regroupant les forçages à l'interface air-mer

## Bases de données et conditions initiales

- Smith and Sandwell : bathymétrie avec résolution de 2 minutes
- ICOADS : base de données regroupant les forçages à l'interface air-mer
- WOA09 : base de données de variables mesurées in situ : température, salinité, ect

Utilisé pour déterminer les conditions initiales : Méthode dynamique ( $H_{ref} = 500m$ )

## Conditions CFL

$$u \frac{\Delta t}{\Delta x} < 1$$

$$\Delta t_{\text{ext}} \leq \frac{1}{\sqrt{gh}} \left( \frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right)^{\left( \frac{-1}{2} \right)}$$

Fig6 : Conditions CFL en 1D et 2D

## Conditions CFL

Time-splitting:  $\Delta t_{\text{ext}} < \Delta t_{\text{int}}$

$$u \frac{\Delta t}{\Delta x} < 1$$

$t_{\text{ext}}$  pour les processus rapides (équations shallow-water)

$t_{\text{int}}$  pour les autres variables (équations primitives)

$$\Delta t_{\text{ext}} \leq \frac{1}{\sqrt{gh}} \left( \frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right)^{(\frac{-1}{2})}$$

Fig6 : Conditions CFL en 1D et 2D

# Zone modélisée

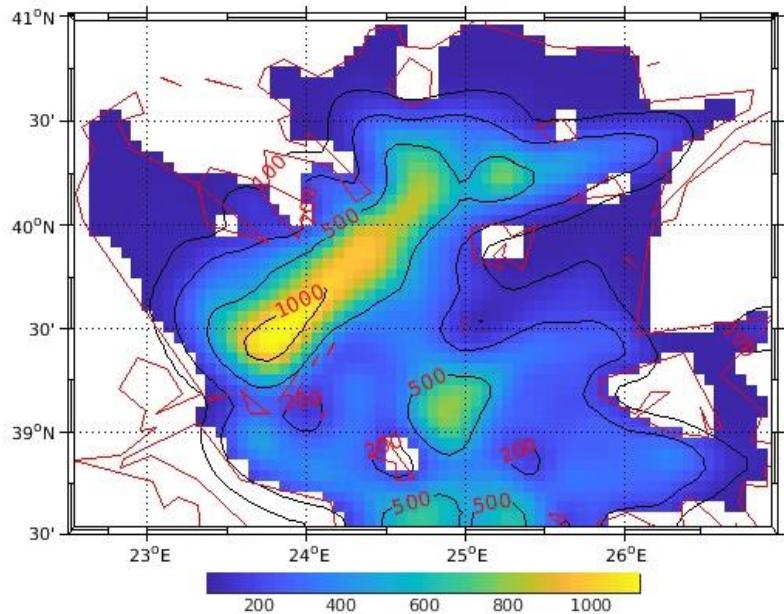


Fig7 : Bathymétrie de la zone modélisée (LR)

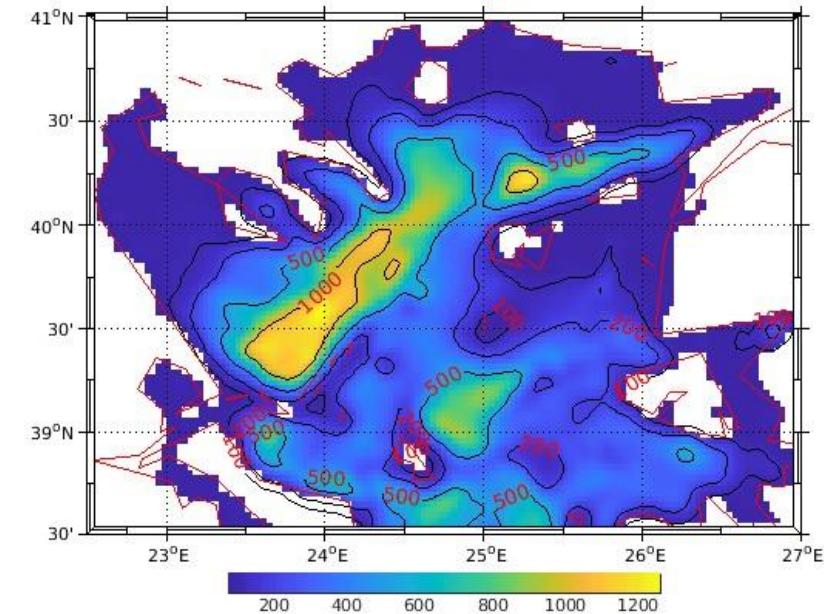


Fig8 : Bathymétrie de la zone modélisée (HR)

# Diagnostic

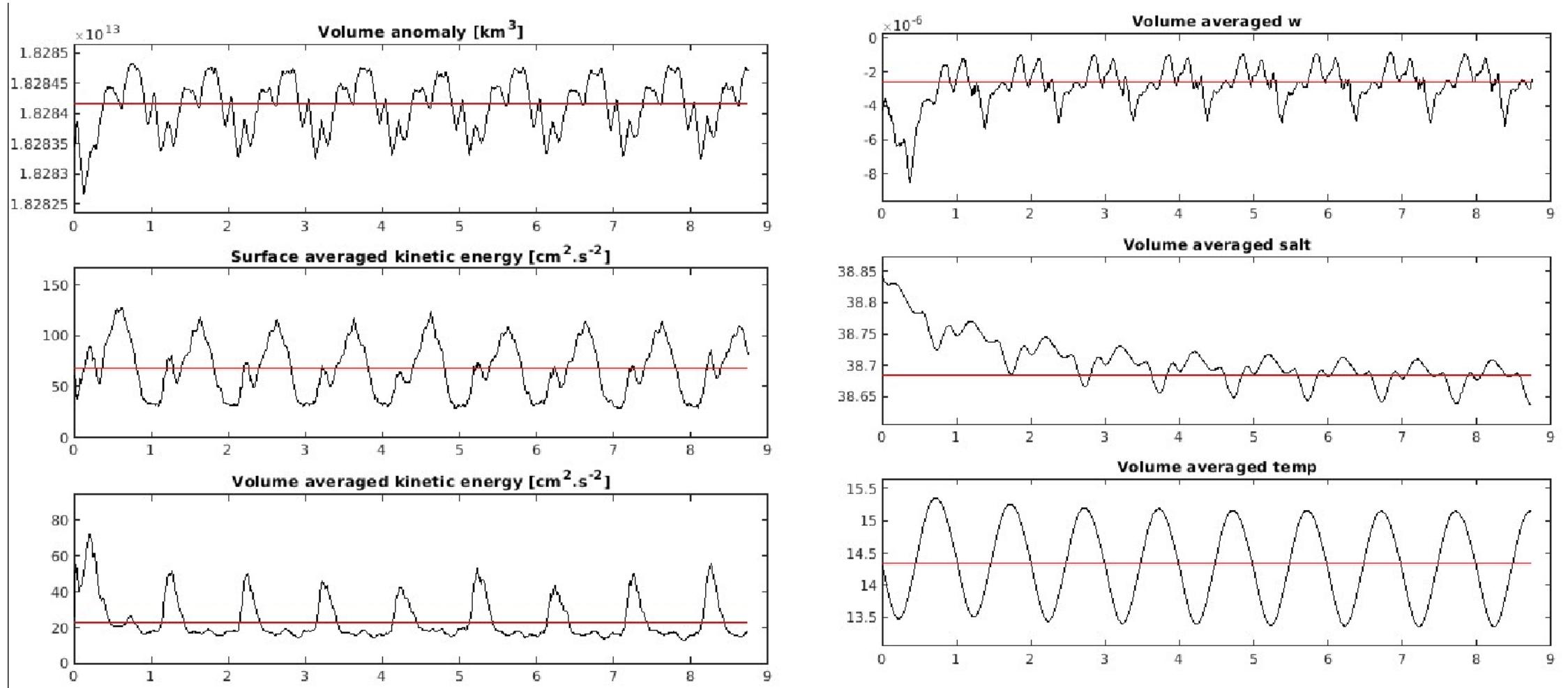


Fig9 : Diagnostic du modèle

# Salinité

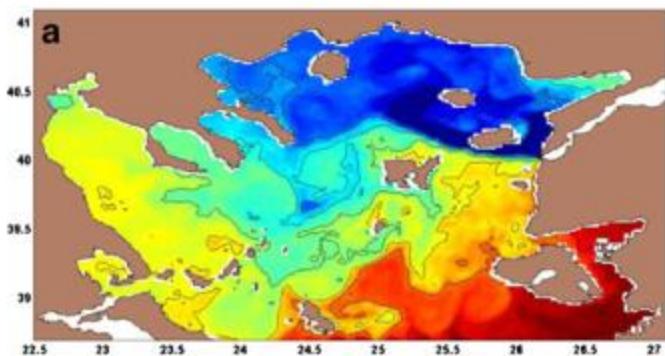


Fig10 : Salinité février

Tzali et al., 2010

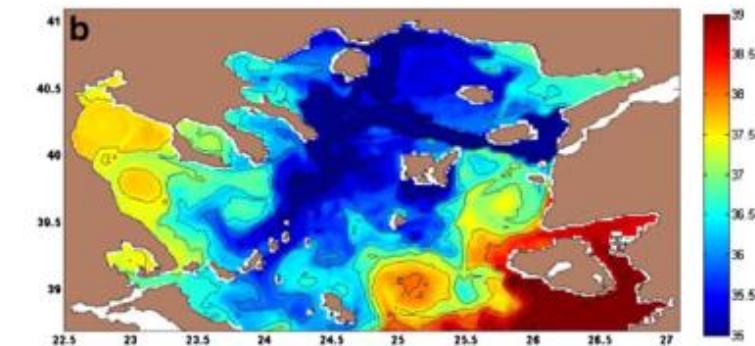


Fig11 : Salinité août

Tzali et al., 2010

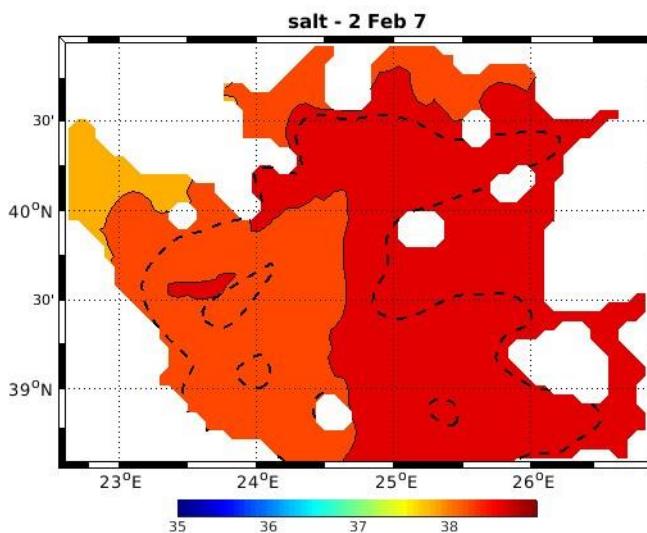


Fig12 : Salinité février

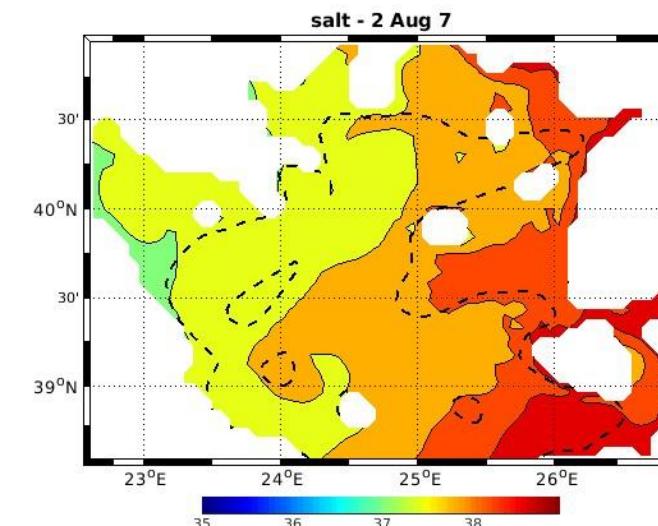


Fig13 : Salinité août

# Energie cinétique

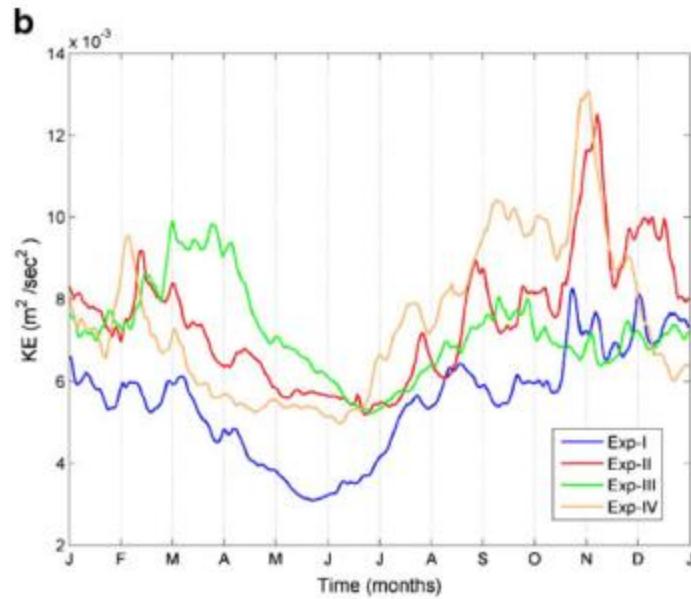


Fig14 : Energie cinétique  
sous différents paramètres  
Tzali et al., 2010

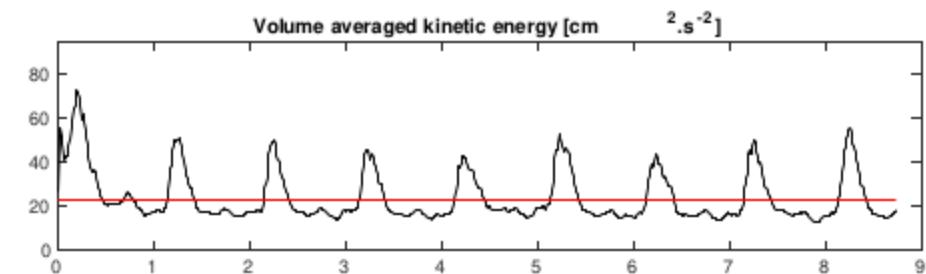
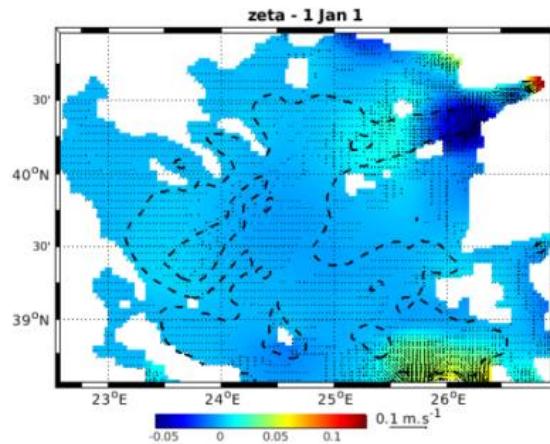
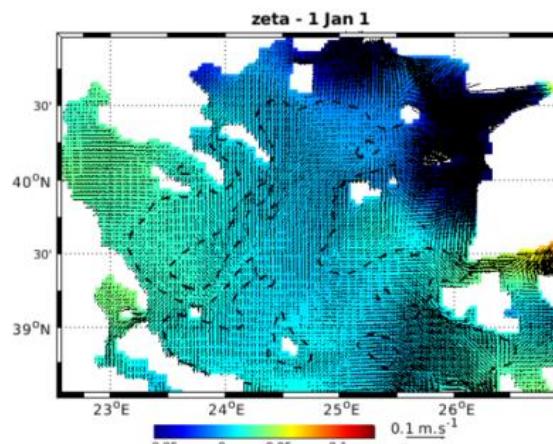


Fig15 : Energie cinétique

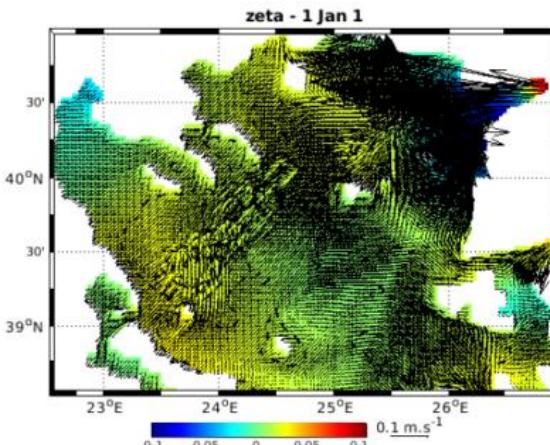
# Modèle à plus haute résolution



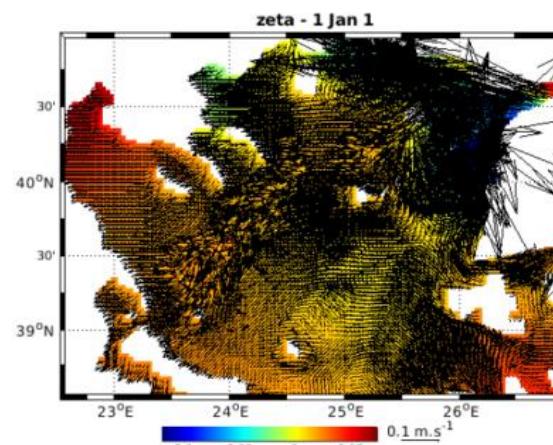
(a) Itération 1



(b) Itération 10



(c) Itération 20



(d) Itération 30

Fig16 : Elévation de la surface libre (m) et vitesse des courants de surface du modèle HR

## Section le long de la baie

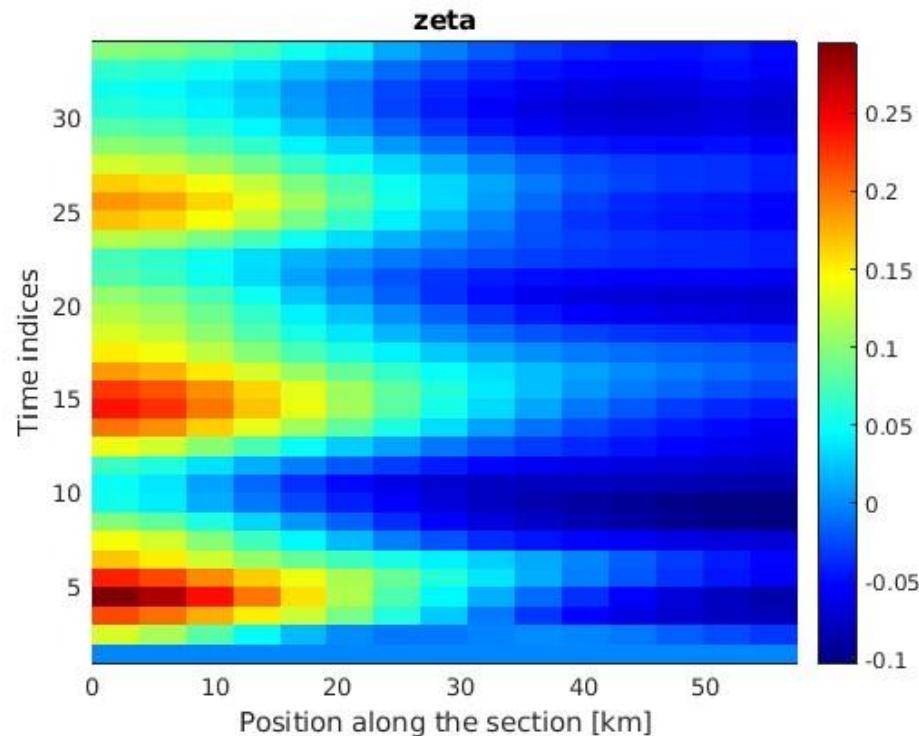
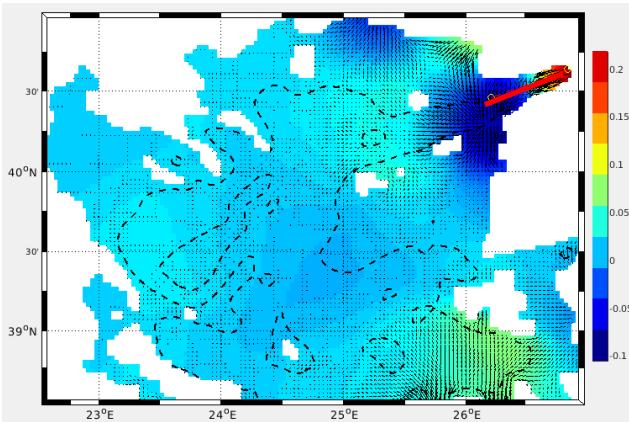


Fig17 : Elevation de la surface libre (m) le long de la section à différents pas de temps

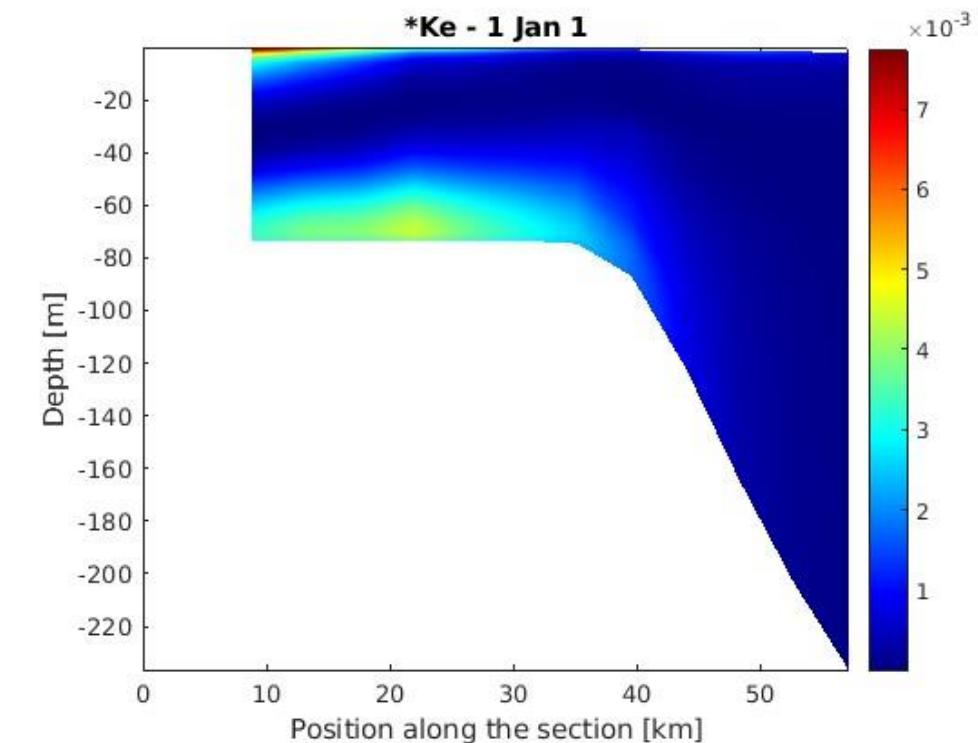


Fig18 : Couple topographique le long de la section

- Difficultés de comparer plusieurs modèles entre eux
- Etude à plus grande échelle
- Meilleure résolution
- Paramètres de lissage
- Critique vis-à-vis des modèles

# Annexes

Lat min	Lat max	Long min	Long max
38.5°N	41°N	22.5°E	27°E

Annexe I : Coordonnées de la zone modélisée

Résolution (°)	LLm	MMm	dxmin (km)	dxmax (km)	dymin (km)	dymax (km)	N
1/15	66	48	5.5905	5.7982	5.5969	5.7961	32

Annexe II : Paramètres spatiaux du modèle basse résolution

$\Delta t_{\text{ext}}(\text{sec})$	$\Delta t_{\text{int}}(\text{sec})$	NDTFAST	NTIMES	NAVG	NRST
12	720	60	3600	360	3600

Annexe III : Paramètres temporels du modèle basse résolution

# Annexes

Résolution (°)	LLm	MMm	dxmin (km)	dxmax (km)	dymin (km)	dymax (km)	N
1/30	134	97	2.7953	2.8991	2.7969	2.8986	32

Annexe IV : Paramètres spatiaux du modèle haute résolution

$\Delta t_{\text{ext}}(\text{sec})$	$\Delta t_{\text{int}}(\text{sec})$	NDTFAST	NTIMES	NAVG	NRST
6	360	60	7200	720	7200

Annexe V : Paramètres temporelles du modèle haute résolution

[Tzali et al., 2010] Tzali, M., Sofianos, S., Mantziafou, A., and Skliris, N. (2010). Modelling the impact of black sea water inflow on the north aegean sea hydrodynamics. *Ocean Dynamics*, 60(3) :585–596.