

Modélisation des tourbillons méso-échelles anticycloniques en mer de Ligurie - CROCO

[OPB205] Modélisation 3D Océanique

M1 - Sciences de la Mer

Océanographie physique et biogéochimique

07 avril 2023

Présenté par :

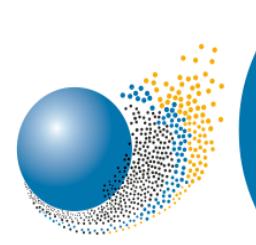
Benoit CHAMBON

Enseignant :

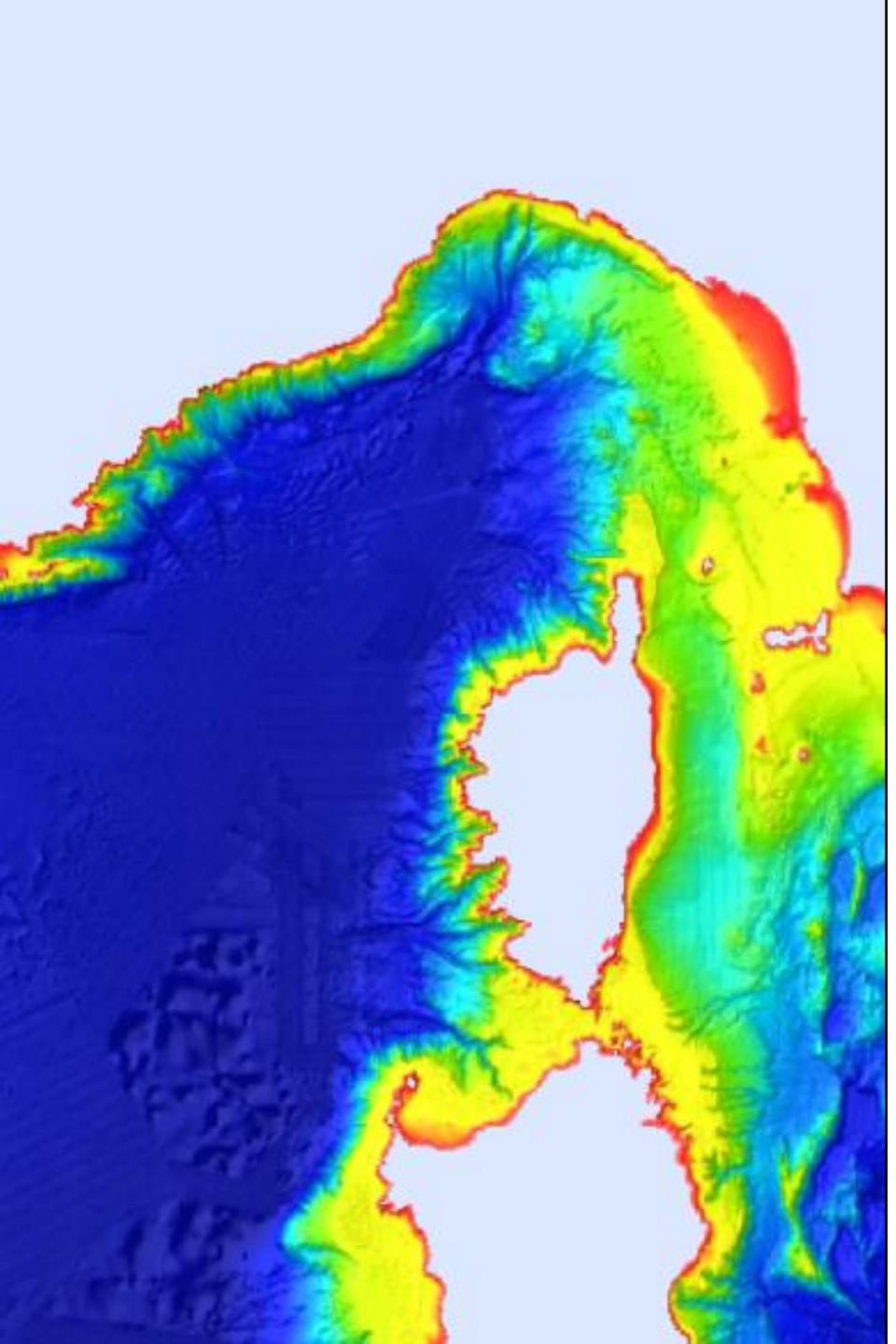
Andrea DOGLIOLI



Coastal and Regional Ocean Community model



Institut Pythéas
Observatoire des Sciences de l'Univers
Aix*Marseille Université



Article référent :

Journal of Marine Systems 88 (2011) 12–19

 ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Marine Systems

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jmarsys

Mesoscale vortices in the Ligurian Sea and their effect on coastal upwelling processes

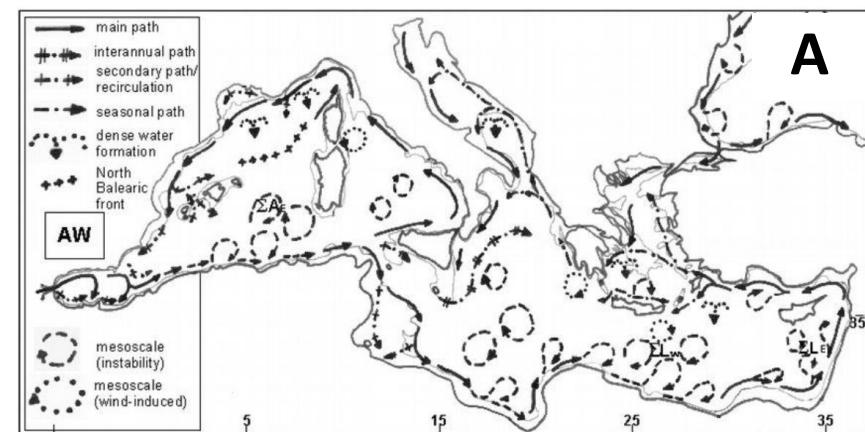
Elisa Casella ^{a,*}, Anne Molcard ^b, Antonello Provenzale ^c

^a CIMA Research Foundation, University Campus, Via Armando Magliotto 2, I-17100 Savona, Italy

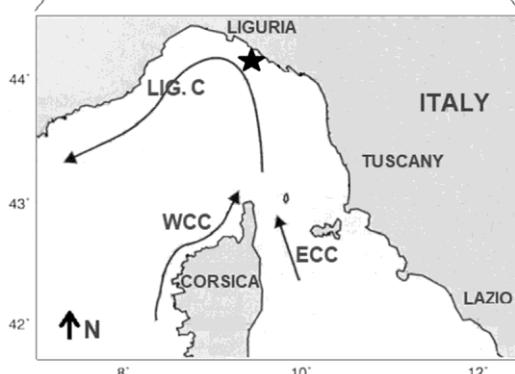
^b Laboratoire de Sondages Electromagnétiques de l'Environnement Terrestre (LSEET), Université du Sud Toulon-Var, Batiment F, BP 20132, 83957 La Garde Cedex, France

^c Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima (ISAC), Consiglio Nazionale delle Ricerche, Corso Fiume 4, I-10133 Torino, Italy

Bassin occidental : caractéristiques de la mer de Ligurie



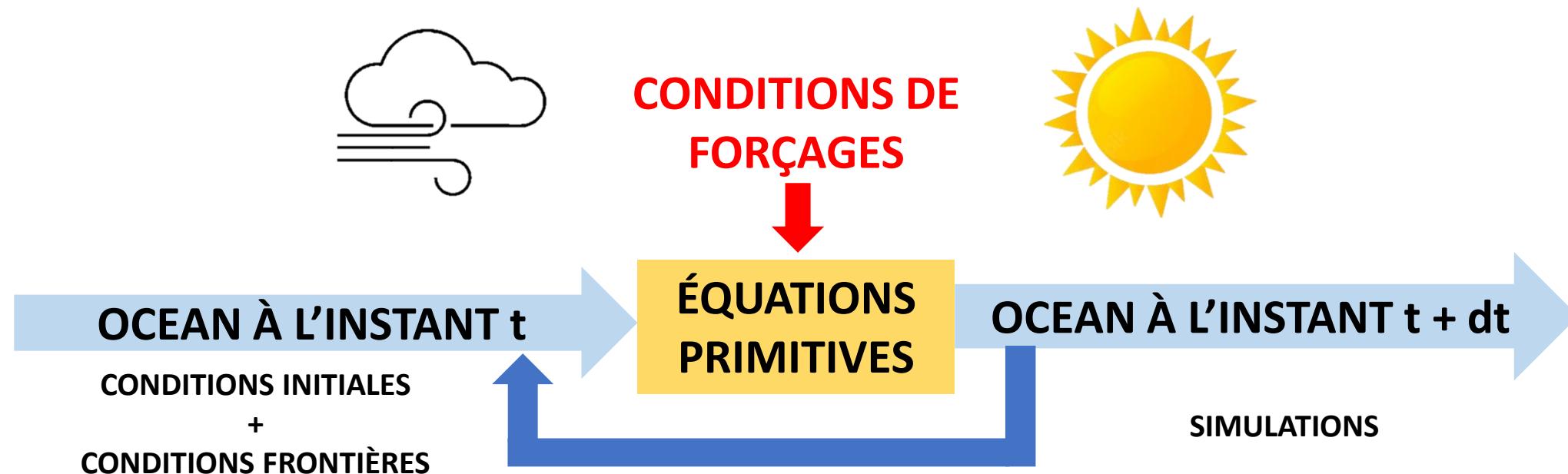
https://www.researchgate.net/figure/NW-Mediterranean-Ligurian-Sea-and-northern-Tyrrhenian-Sea-Arrows-denote-the-Eastern_1355754931



- Courant nord Liguro-Provençal-Catalan
→ **Circulation cyclonique** le long de la pente côtière
- Variabilités spatiales et temporelles du vent
→ Génère des **tourbillons de méso-échelles**
- Détection de tourbillons intenses anticycloniques
→ **Intenses vitesses verticales** → Upwelling côtiers
- Casella (2011) : modèle LS-ROMS
→ **MFS** (2006) : température, salinité, vitesse
→ **COADS** et **COSMO-17** : forçage du vent
→ Resolution plus fine + variabilité du stress du vent
- Visualisation : **surélévation** + **Okubo-Weiss** + **vitesse verticale**

Fig. 1. Schéma de la dynamique océanique de la mer Méditerranée. **A.** Circulation générale (Millot, 2005). **B.** Mer de Ligurie (Misic, 2022).

Principe de modélisation océanique – Modèle CROCO



VISUALISATION DES TOURBILLONS ANTICYCLONIQUES EN MER DE LIGURE

Données climatologiques moyennées

Conditions forçages du vent : COADS 2005
Conditions initiales : WOA 2009

Modèle CROCO : Définition – Hypothèses/Approximations – Equations primitives

Modèle climatologique CROCO → Résolution à petites échelles des **équations primitives** : mouvement (1 et 2), continuité (3), conservation quantité de chaleur (4) et de sel (5) et état de la mer (6)

ÉQUATIONS PRIMITIVES

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_0} \nabla p + \frac{\partial P}{\partial x} + fv - \frac{\partial \bar{u}'u'}{\partial x} - \frac{\partial \bar{u}'v'}{\partial y} - \frac{\partial \bar{u}'w'}{\partial z} \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_0} \nabla p + \frac{\partial P}{\partial y} - fu - \frac{\partial \bar{v}'u'}{\partial x} - \frac{\partial \bar{v}'v'}{\partial y} - \frac{\partial \bar{v}'w'}{\partial z} \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial u}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{v} \cdot \vec{\nabla} T = -\frac{\partial \bar{(T'u')}}{\partial x} - \frac{\partial \bar{(T'v')}}{\partial y} - \frac{\partial \bar{(T'w')}}{\partial z} + \frac{H_c}{\rho_0 C_p} \frac{\partial I}{\partial z} \quad (4)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \vec{v} \cdot \vec{\nabla} S = -\frac{\partial \bar{(S'u')}}{\partial x} - \frac{\partial \bar{(S'v')}}{\partial y} - \frac{\partial \bar{(S'w')}}{\partial z} \quad (5)$$

$$\rho = \rho(T, S, p) \quad (\text{d'après TEOS-10}) \quad (6)$$

HYPOTHÈSES / APPROXIMATIONS

- Hypothèse d'**incompressibilité**
- Hypothèse **hydrostatique**
- Hypothèse de **Reynolds**
- Approximation **Boussinesq**

Modélisation CROCO : Discrétisation et condition CFL

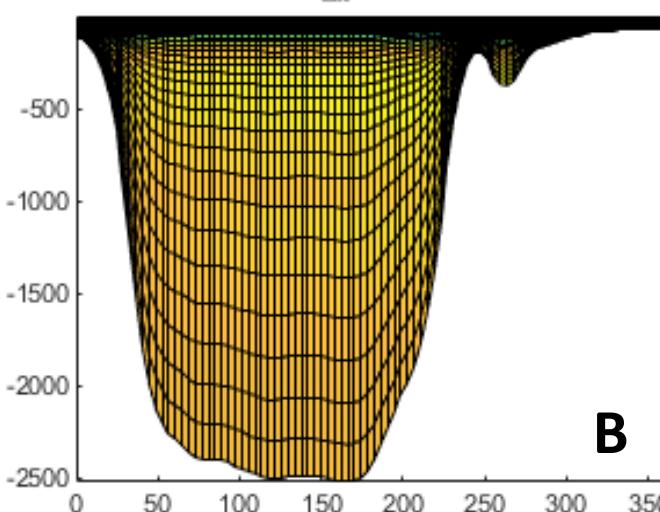
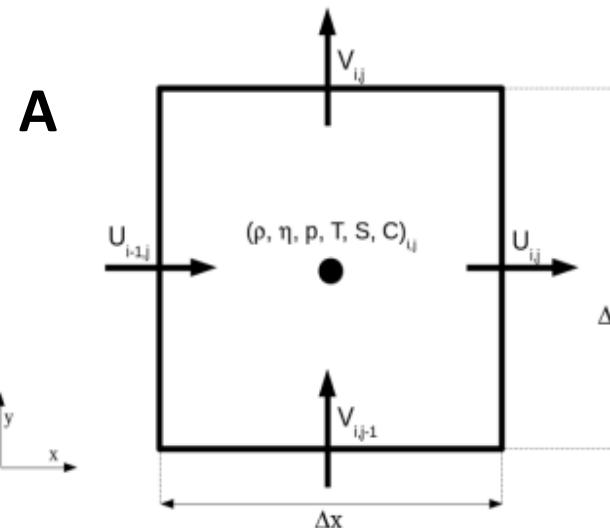


Fig. 2. Maillage horizontal et vertical. **A.** Grille d'Arakawa type C.
B. Coordonnées σ sur 32 niveaux verticaux de la mer de Ligurie.

- Maillage horizontal selon la grille d'**Arakawa type C**
- Maillage vertical selon les **coordonnées σ** : 32 niveaux verticaux
- **Condition Courant-Friedrichs-Levy CFL :**
 - Processus rapides : **barotropes** → ondes de gravité
 - Processus lents : **baroclines** → tourbillons
 - ***Time splitting*** : temps externe et interne

$$\Delta t_E \leq \frac{1}{c_0} \sqrt{\frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2}} \quad c_0 = \sqrt{g \cdot h_{max}}$$

Modélisation CROCO : Implémentation zone d'étude

Tab. 1. Caractéristiques spatiales du maillage de la mer de Ligurie dans le modèle CROCO.

Long min	Long max	Lat min	Lat max	Frontières ouvertes	Résolution maillage
6.5°E	11.0°E	42.5°N	44.5°N	Sud, Est et Ouest	$dl = \frac{1}{20}$
LLm	MMm	Dx_{min} (km)	Dx_{max} (km)	Dy_{min} (km)	Dy_{max} (km)
89	55	3.9612	4.0968	3.9648	4.0956

Tab. 2. Caractéristiques de temporalité du modèle : temps interne et externe suite au *time splitting*.

NTIMES	NTDFAST	Δt_E (s)	Δt_I ($NTDFAST \times \Delta t_E$) (s)	AVG (jours)
7200	60	6	$60 \times 6 = 360$	3

Conditions forçages du vent
→ COADS 2005
Conditions initiales
→ WOA 2009

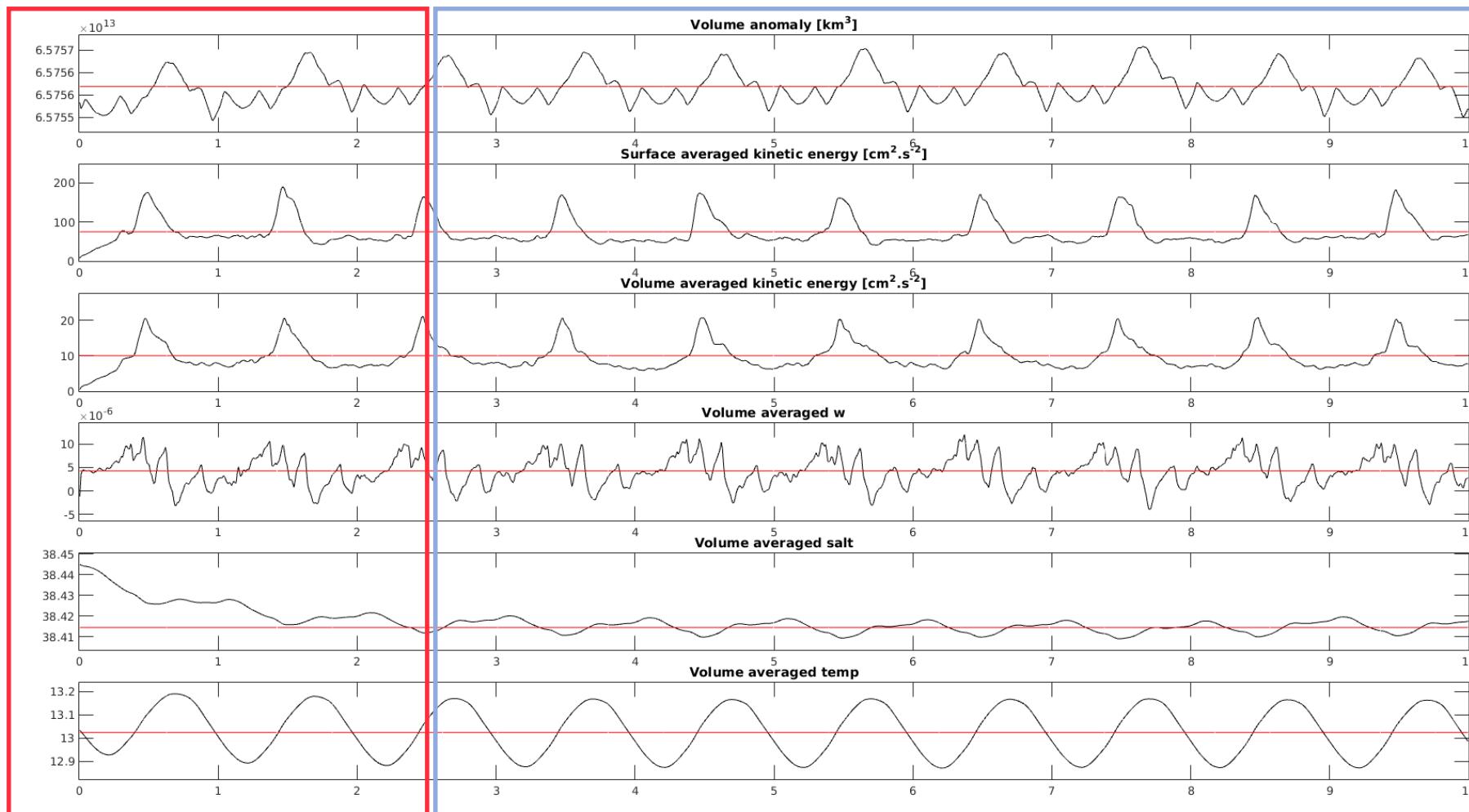


Forçages du vent
Flux chaleur latentes/sensibles
Salinité
Température
Vitesses u + v + w



Moyennes

Diagnostique du modèle



Spin up

Stabilité

Durée de spin up : 1-2 ans
 → Méthode dynamique

Analyse de la 6^{ème} année
 climatologique simulée

Fig. 3. Diagnostique de la stabilité de la simulation sur une période de 10 ans : la valeur moyenne est représenté par la ligne rouge pour chaque variable.

Variation de la surface de la mer au niveau des tourbillons

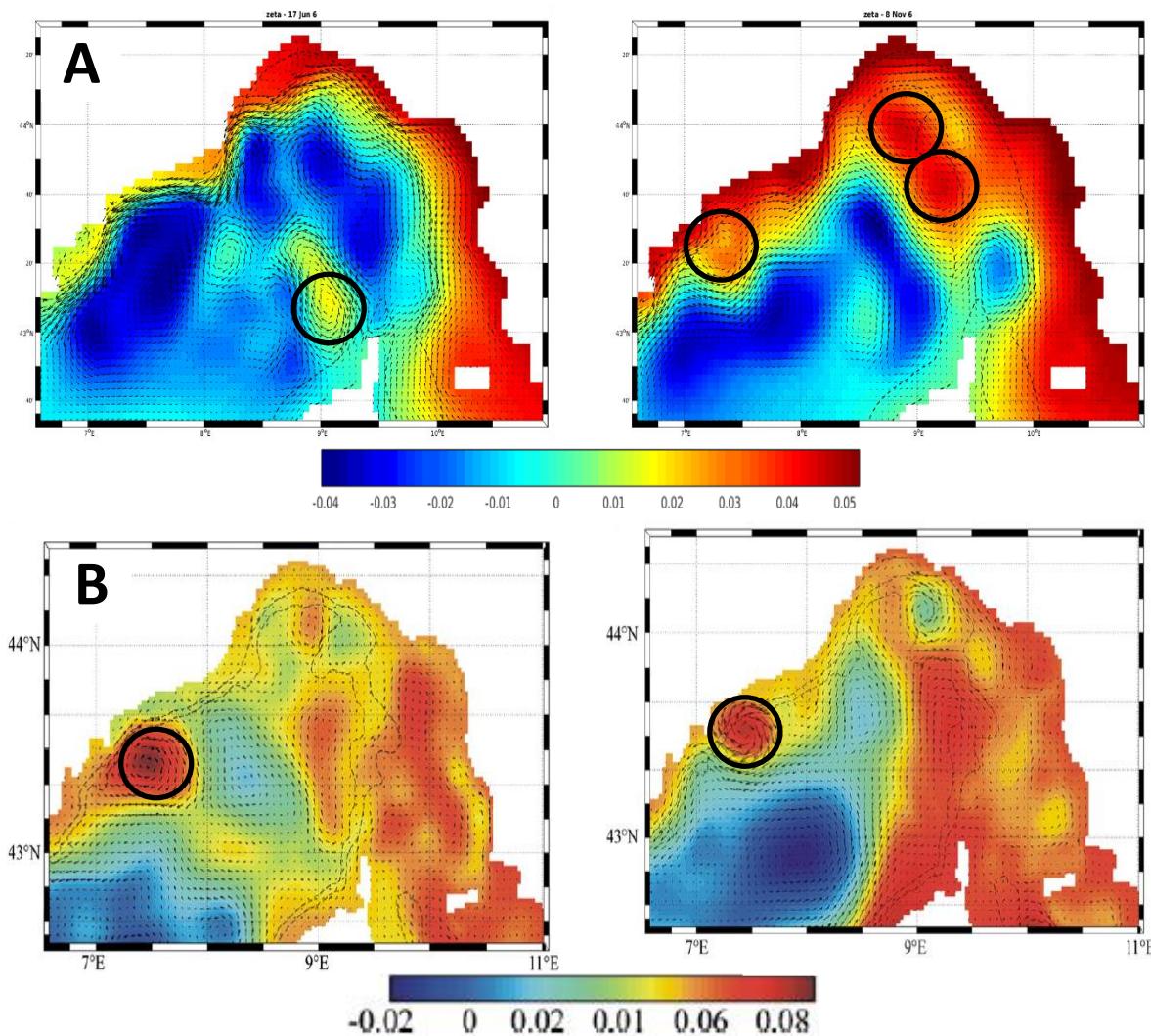


Fig. 4. Surélévation de la surface libre η au niveau des tourbillons anticycloniques en mer de Ligurie (à gauche : juin ; à droite : novembre). **A.** Simulation à l'aide du modèle CROCO avec COADS. **B.** Simulation à l'aide du modèle LS-ROMS avec COSMO-17 (Casella, 2011).

- **Surélévation du niveau marin**
 - Au cœur des vortex anticycloniques
 - Zone côtière : circulation courant
- Abondance en période **automnale/hivernale**
- Vorticité **peu intense** pour le modèle CROCO
 - 1 – 2 cm en moyenne
- Casella (2011) :
 - Tourbillons intenses par COSMO-17
 - Conformité avec COADS

Paramètre d'Okubo-Weiss : cisaillement du courant et vorticité relative

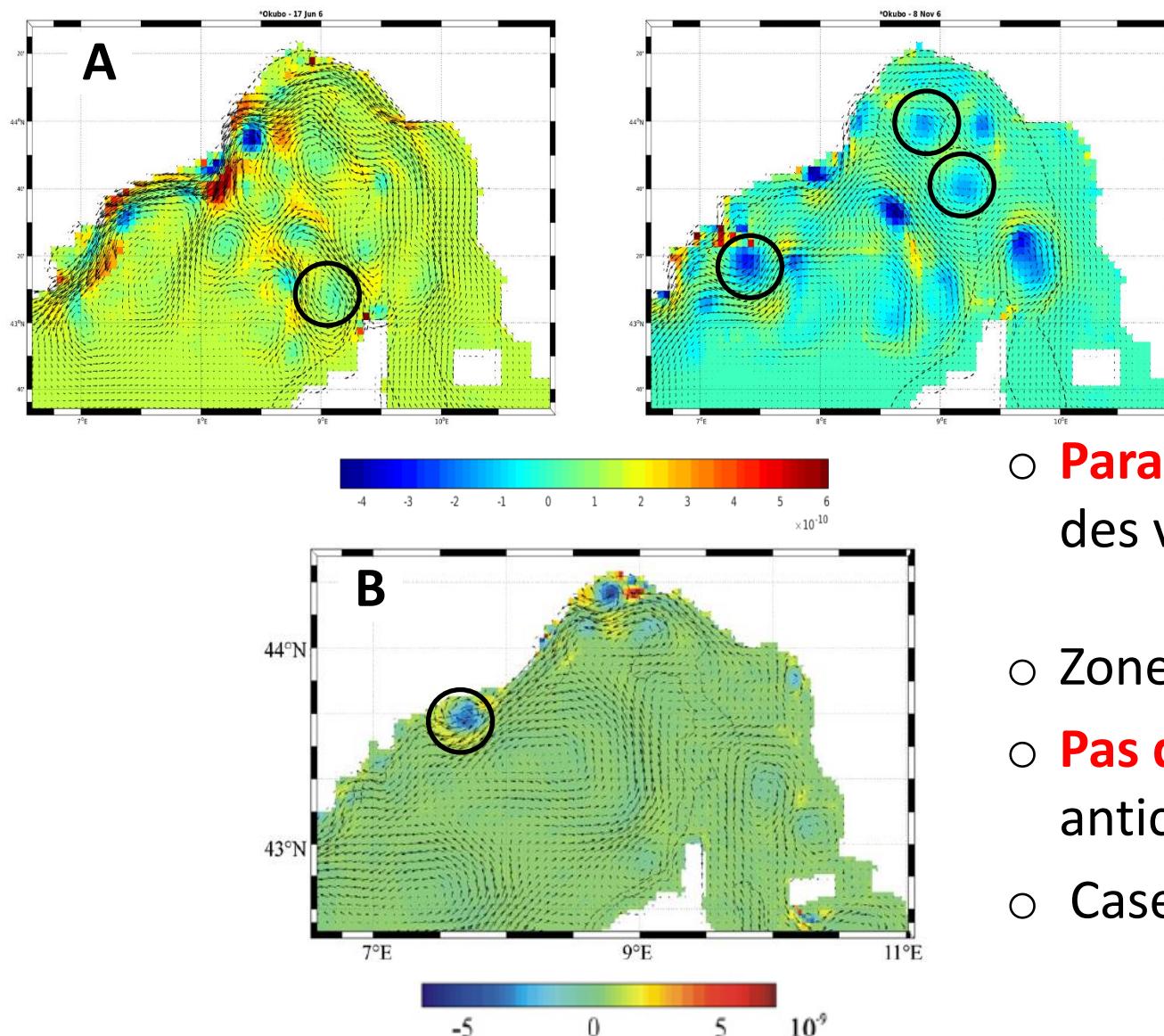


Fig. 5. Paramètre d'Okubo-Weiss : détection des vortex des tourbillons anticycloniques en mer de Ligurie (s^{-2}). **A.** Simulation à l'aide du modèle CROCO avec COADS (à gauche : juin ; à droite : novembre). **B.** Simulation à l'aide du modèle LS-ROMS avec COSMO-17 (Casella, 2011).

- **Paramètre d'Okubo-Weiss avec détection cœur des vortex :**

$$W = s^2 - \xi^2 \rightarrow \xi^2$$
 vorticité relative

$$\rightarrow s^2$$
 déformation totale
- Zone bleue → **Vorticité intense**
- **Pas de distinction** : sens cyclonique et anticyclonique
- Casella (2011) :
 - Tourbillons intenses par COSMO-17
 - Corrélation avec la SSH

Étude de la vitesse verticale au niveau des tourbillons anticycloniques

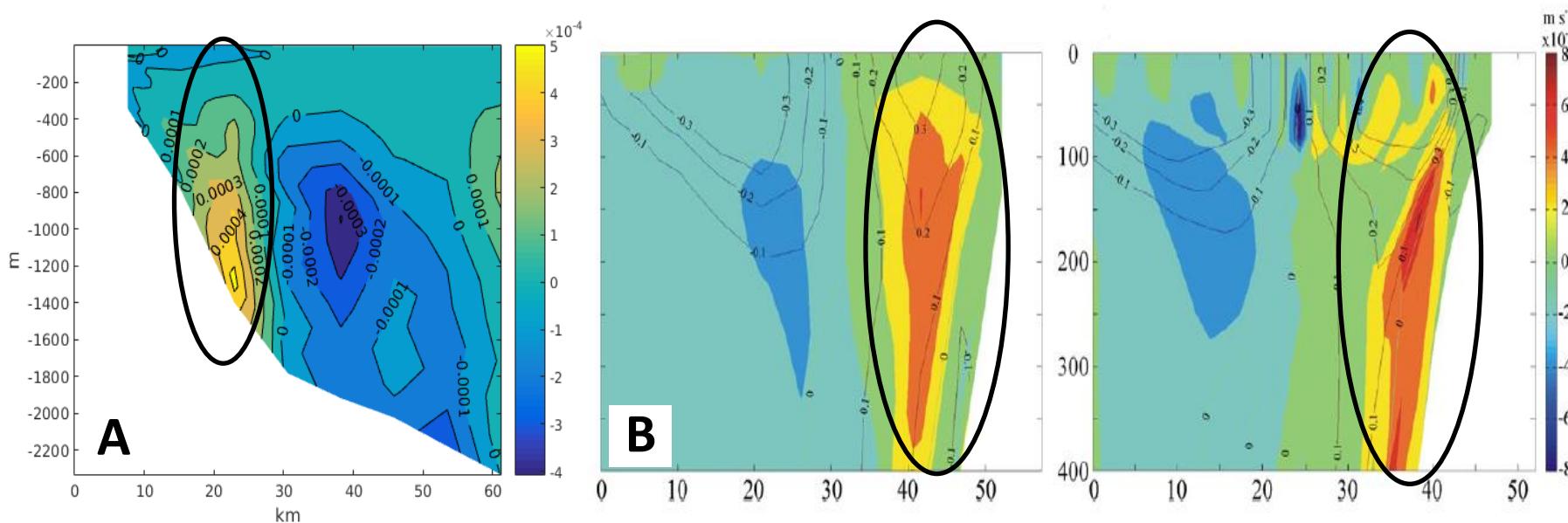


Fig. 6. Coupe méridienne de la vitesse verticale au niveau des tourbillons anticycloniques côtier en mer de Ligurie (10^{-4} m.s^{-1}). **A.** Simulation à l'aide du modèle CROCO avec COADS. **B.** Simulation à l'aide du modèle LS-ROMS avec COSMO-17 : à gauche *parent grid* ; à droite *child grid* (Casella, 2011).

- Détection de mouvement **ascendant (positive)** et **descendante (négative)**
- Vitesse verticale
 - Positive : **upwelling côtier**
 - Négative : **downwelling au cœur** du vortex
- Casella (2011) :
 - Forte vitesse verticale avec COSMO-17 vs faible avec COADS
 - **Apport en nutriments** en eau superficielle : zone euphotique

Approche future du modèle CROCO

MODELE CROCO

- **Résolution spatiale** :
 - Horizontale : $1/20^\circ$
 - Verticale : 32 niveaux
 - **Résolution temporelle** :
 - 3 jours moyennés
 - **Conditions initiales** : WOA 2009
 - **Conditions forçage** : COADS 2005
-

- Visualisation des tourbillons anticycloniques côtiers → **upwellings côtiers**
- Tourbillons et vitesses verticales → peu intenses

AMÉLIORATION

- **Haute résolution spatiale et temporelle** :
 - modèle de simulation
 - forçage de surface
- **Variabilité importante** des contraintes du vent
 - Changement des conditions de forçage COADS
- Visualisation **plus précise** des tourbillons + upwellings associés

RÉFÉRENCES

Baklouki, M., Initialisation aux méthodes numériques de résolution des équations aux dérivées partielles, 2022, Aix-Marseille Université.

Casella, E., Molcard, A. et Provenzale, A. (2011). Mesoscale vortices in the ligurian sea and their effect on coastal upwelling processes. *Journal of Marine Systems*, 88(1):12–19.

Doglioli, A., et Mazoyer, C., Notes de cours et travaux dirigés de modélisa'on 3D océanique, 2022, Aix-Marseille Université.

Millot, C. et Taupier Letage, I. (2005), Circulation in the Mediterranean Sea, *The Handbook of Environmental Chemistry*, Volume K, May 2005, Pages 29-66.

Misic, Cristina & Capone, Alessandro & Petrillo, Mario. (2022). Meteorological and climatic variability influences anthropogenic microparticle content in the stomach of the European anchovy *Engraulis encrasiculus*. *Hydrobiologia*.

ANNEXES

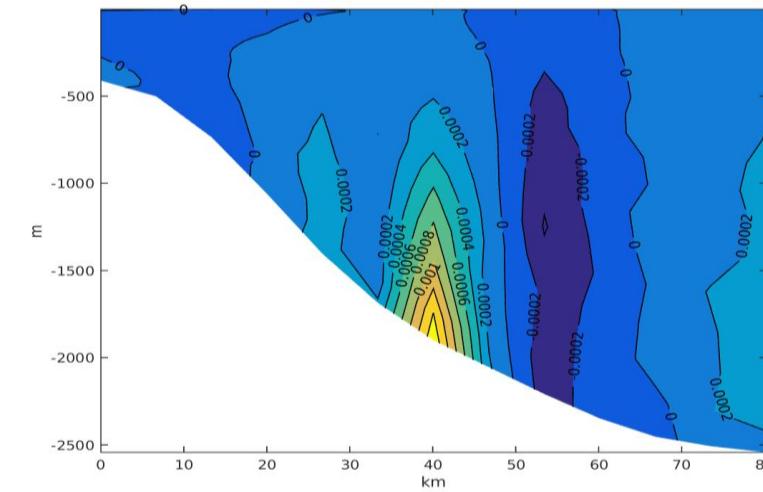
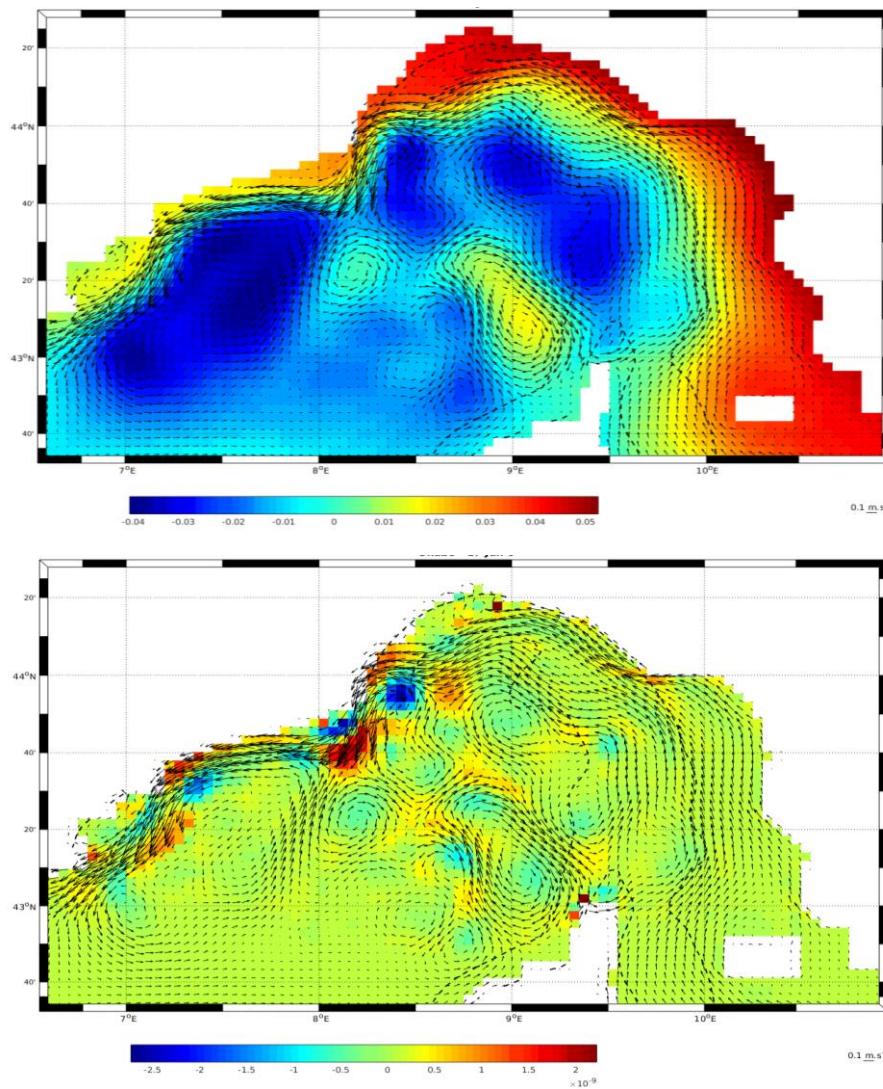


Fig. 6. Simulation des tourbillons anticycloniques en mer de Ligurie. **A.** Hauteur d'eau marin SSH. **B.** Paramètre d'Okubo-Weiss. **C.** Coupe méridienne du tourbillon côtier de la vitesse verticale (10^{-4} m.s^{-1}).

ANNEXES

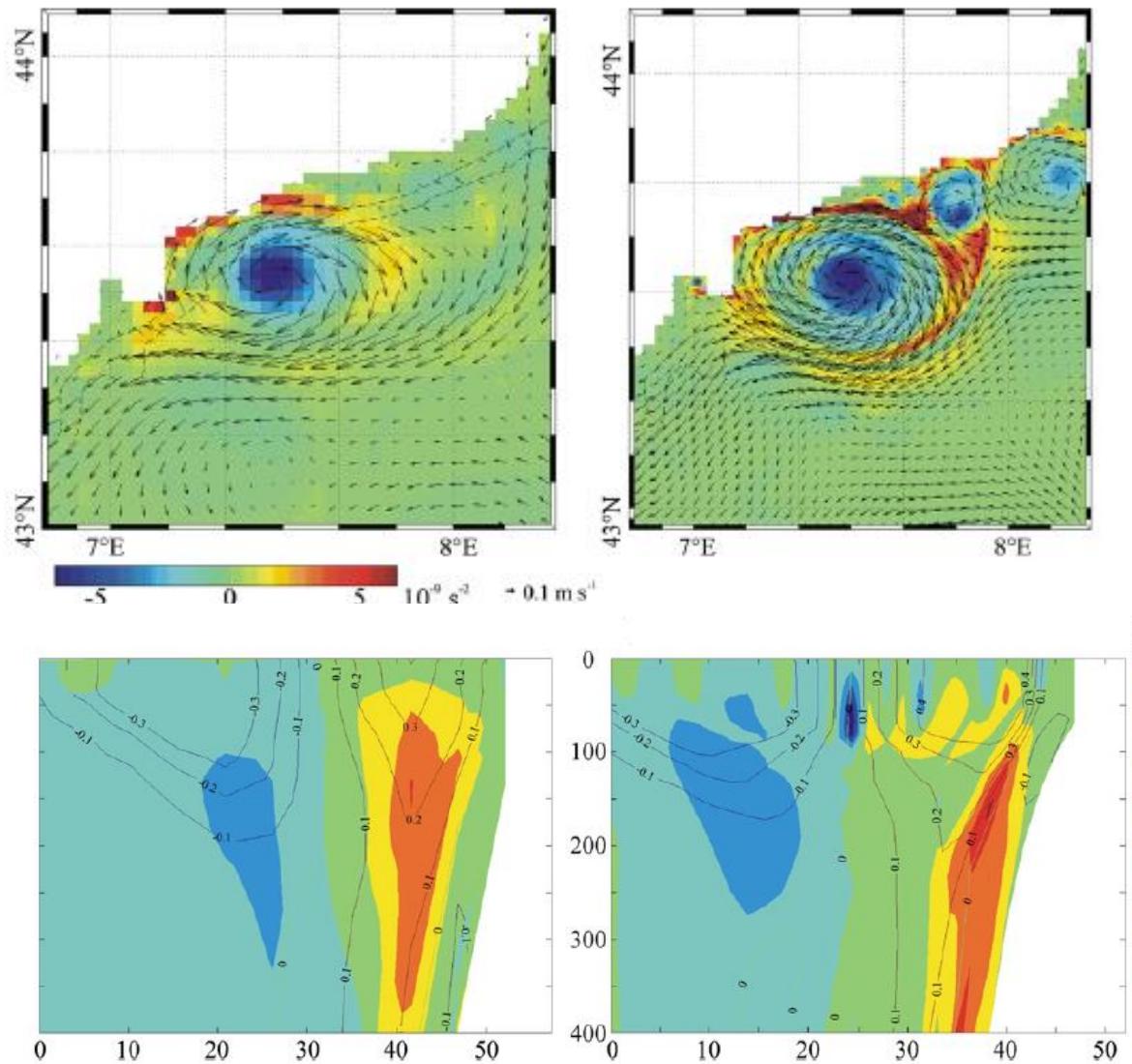


Fig. 7. D'après Casella (2011). **A.** Paramètre d'Okubo-Weiss sur une grille *parent grid* (gauche) et une *child grid* (droite). **B.** Coupe méridienne du tourbillon côtier de la vitesse verticale (10^{-4} m.s^{-1}) associé au tourbillon anticyclonique précédent