

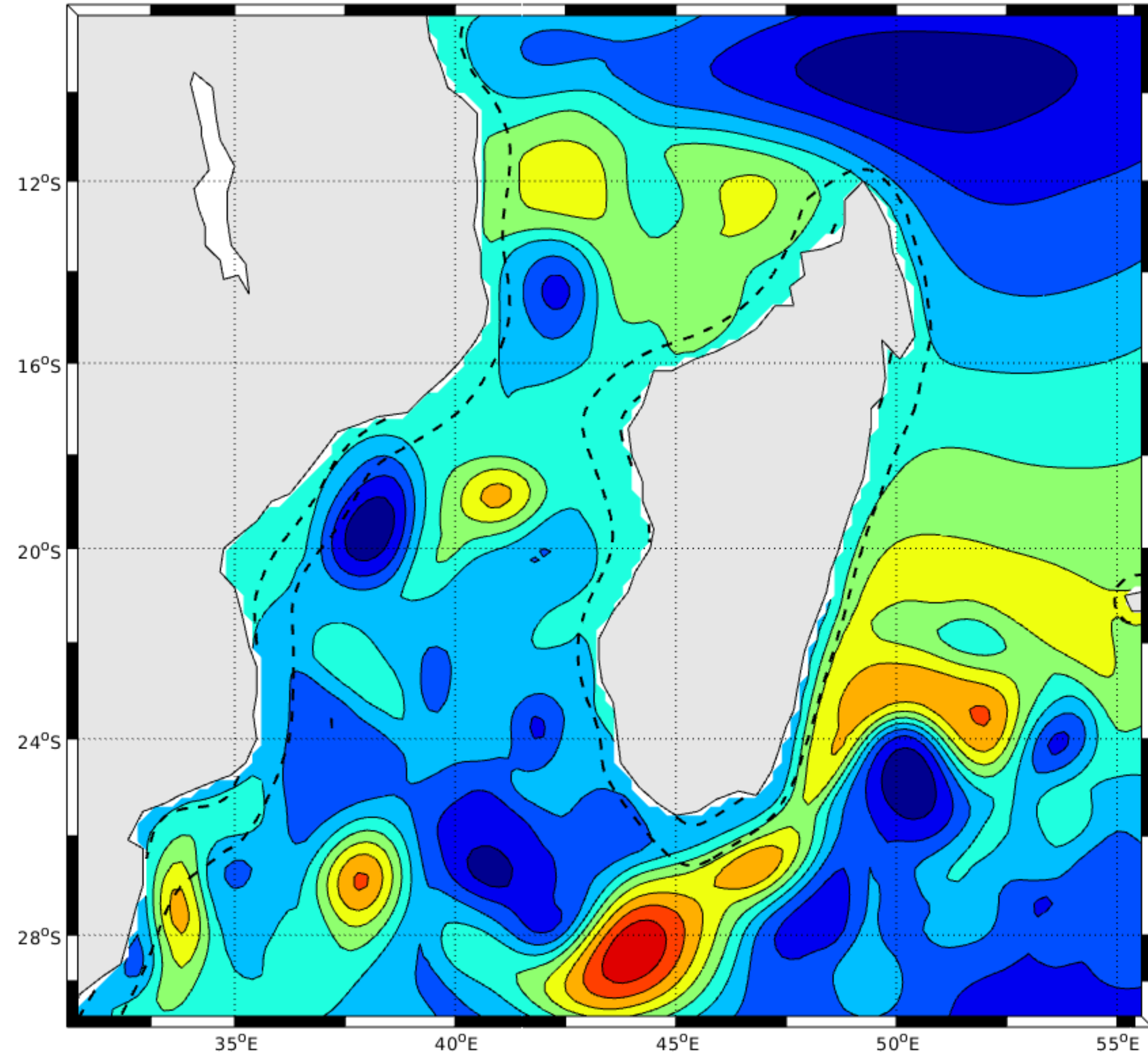
# La variabilité de la circulation de méso-échelle dans le Canal du Mozambique.

**Auteur : Aude Joël**

Avril 2023

OPB203 – Modélisation 3D

Master 1 Sciences de la Mer, AMU



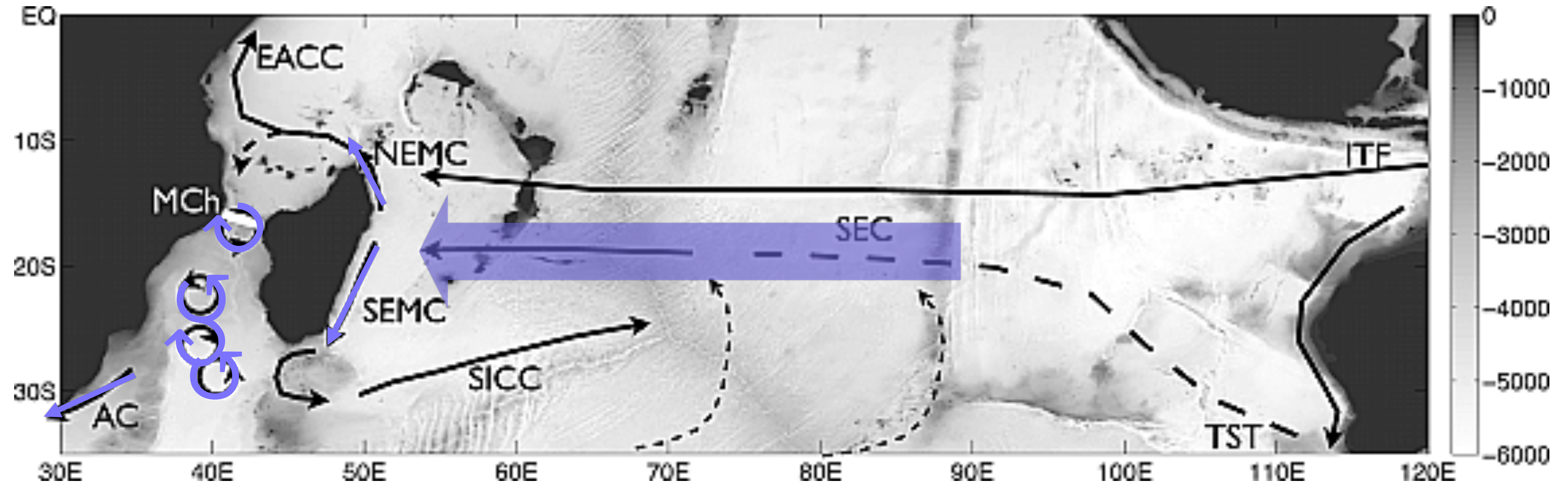


Fig.1 : Principaux courants circulant dans le sud de l'Océan Indien (Van der Werf et al., 2010)

## Le Canal du Mozambique (CM).



1

- Alimenté par le **Courant Equatorial Sud (SEC)**
- Madagascar : 2 branches qui entraînent **grande turbulence** dans le CM
- **Système des Aiguilles** : rôle important dans la **circulation thermo-haline**
- **Tourbillons de méso-échelle** du CM à l'origine d'une importante **vie marine**



# Objectif de l'étude.

- **Caractériser les tourbillons de méso-échelle dans le CM grâce au modèle ROMS-CROCO:**
  - Localisation
  - Sens de rotation
  - Intensité.



# Comparaison avec la littérature.

- Publication de : **Halo, I.** and, B. B., Penven, P., Ansorge, I., and Ullgren, J. (2013). **Eddy properties in the Mozambique Channel : A comparison between observations and two numerical ocean circulation models.** Deep Sea Res. II Topical Studies in Oceanography.  
-> **CROCO (SWIM), HYCOM + données satellite.**

# Configuration du modèle.

/ 1

## ROMS-CROCO.

Simulations pluriannuelles  
climatologiques

/ 2

## Equations primitives.

Equations du **mouvement** (Navier-Stokes),  
équations de **conservation de la chaleur** /  
**salinité**, équation **d'Etat de l'eau de mer**.

/ 3

## Hypothèses.

Approximation de Boussinesq, hypothèse  
hydrostatique, équation de continuité,  
fermeture de Reynolds

/ 4

## Coordonnées de la zone.



3

LONG.  
31°E  
56°E

LAT.  
30°S  
8°S

/ 5

## Discrétisation spatiale.

Horizontale (grille **Arakawa-C**) et  
verticale (grille **Sigma**)

dl  
1/5

N  
45

/ 6

## Discrétisation temporelle.

De type **time-splitting** (critère CFL) avec les  
pas de temps :

dt(s)  
2880

NTIMES  
900

NTDFAST  
60



/ 7

## Conditions et frontières.

**Conditions initiales et aux bords** fixées à partir du *World Ocean Atlas 2009*, **conditions de surface** à partir de l'*International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set*. **Frontières fermée** (ouest) et **ouvertes** (nord, sud et est).

/ 8

## Simulation pluriannuelle (10 ans).

Lancée le 28 mars 2023 sur le cluster du MIO, avec des sorties moyennées tous les 3 jours.

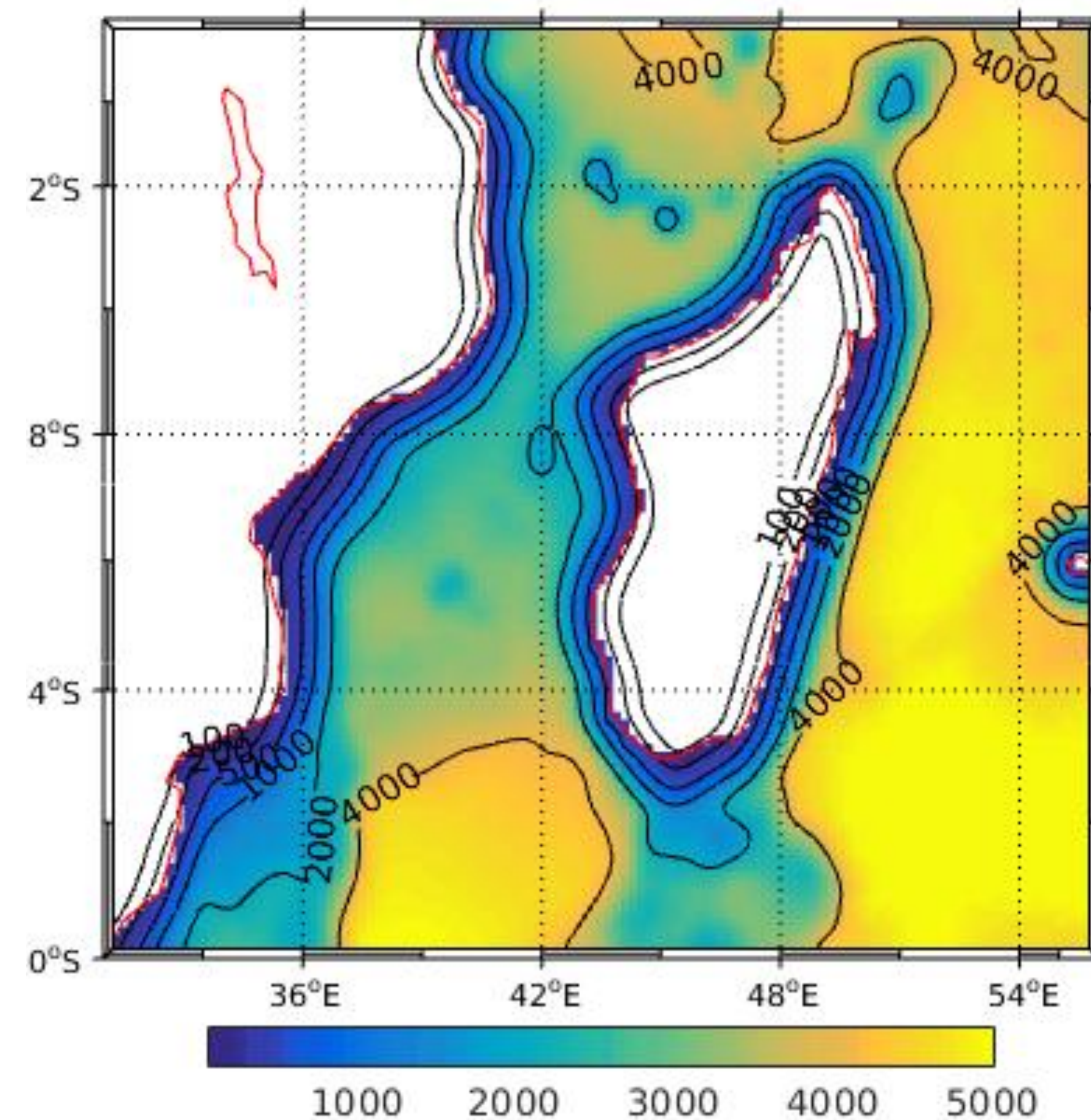


Fig.2 : Bathymétrie dans le Canal du Mozambique  
générée avec CROCO

# La stabilité du modèle.

- Temps de **spin-up** :  
**2 ans**
- **Oscillations**  
**saisonnnières**  
→ **modèle stable**
- ↘ valeurs de salinité  
(34.808 à 34.806)

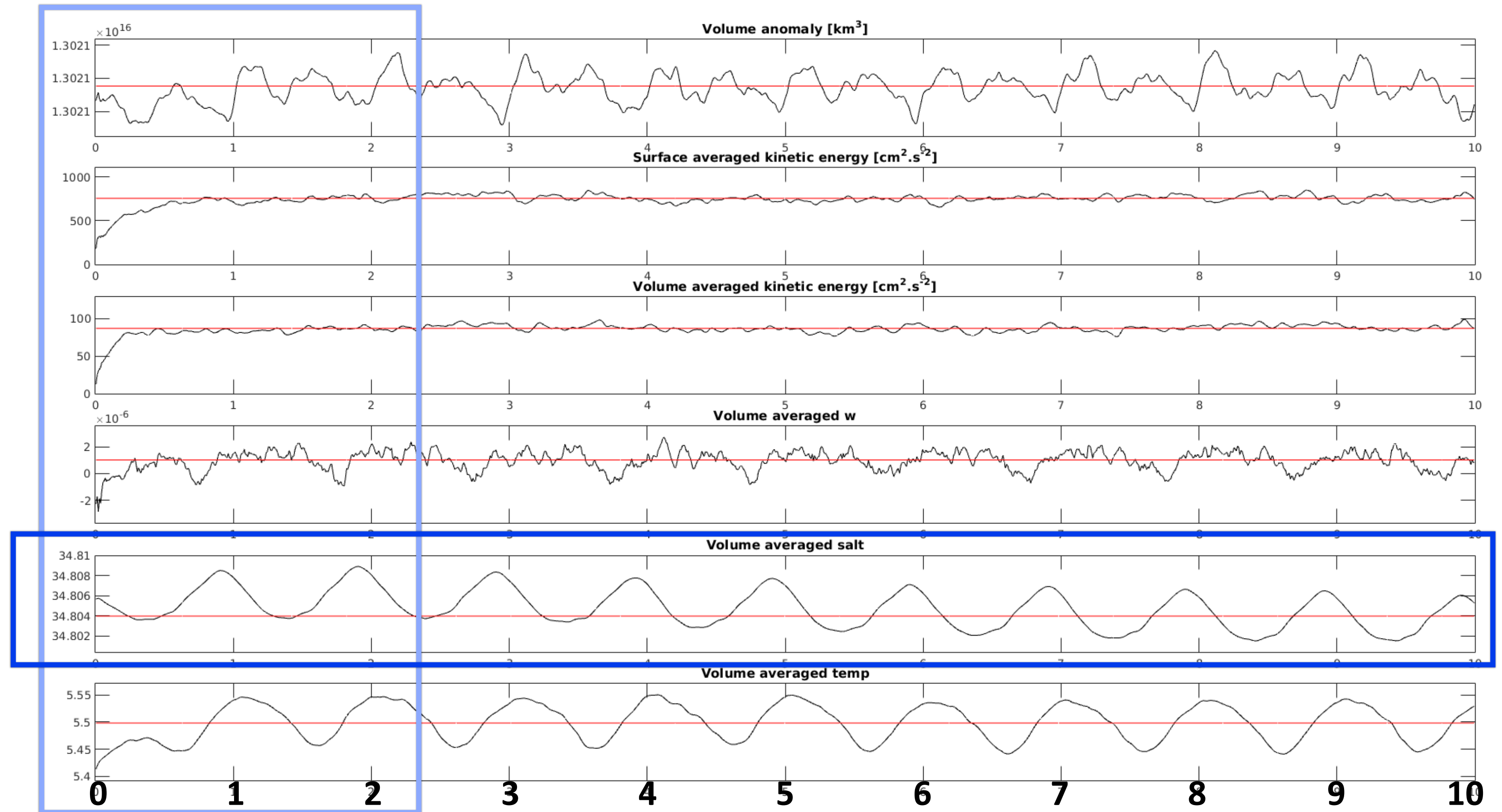


Fig.3 : Diagnostic du modèle CROCO sur les 10 années de simulation.





# Identification des tourbillons avec les vitesses de courant.

- Au quatre saisons de l'année Y5
- Arrivée du SEC à l'est de Madagascar (<0.2m/s)
- **Structures tourbillonnaires** identifiées
  - au SE de Madagascar (>1m/s)
  - au nord du CM (0.5m/s)
  - parties centrales et sud du CM (0.5m/s)

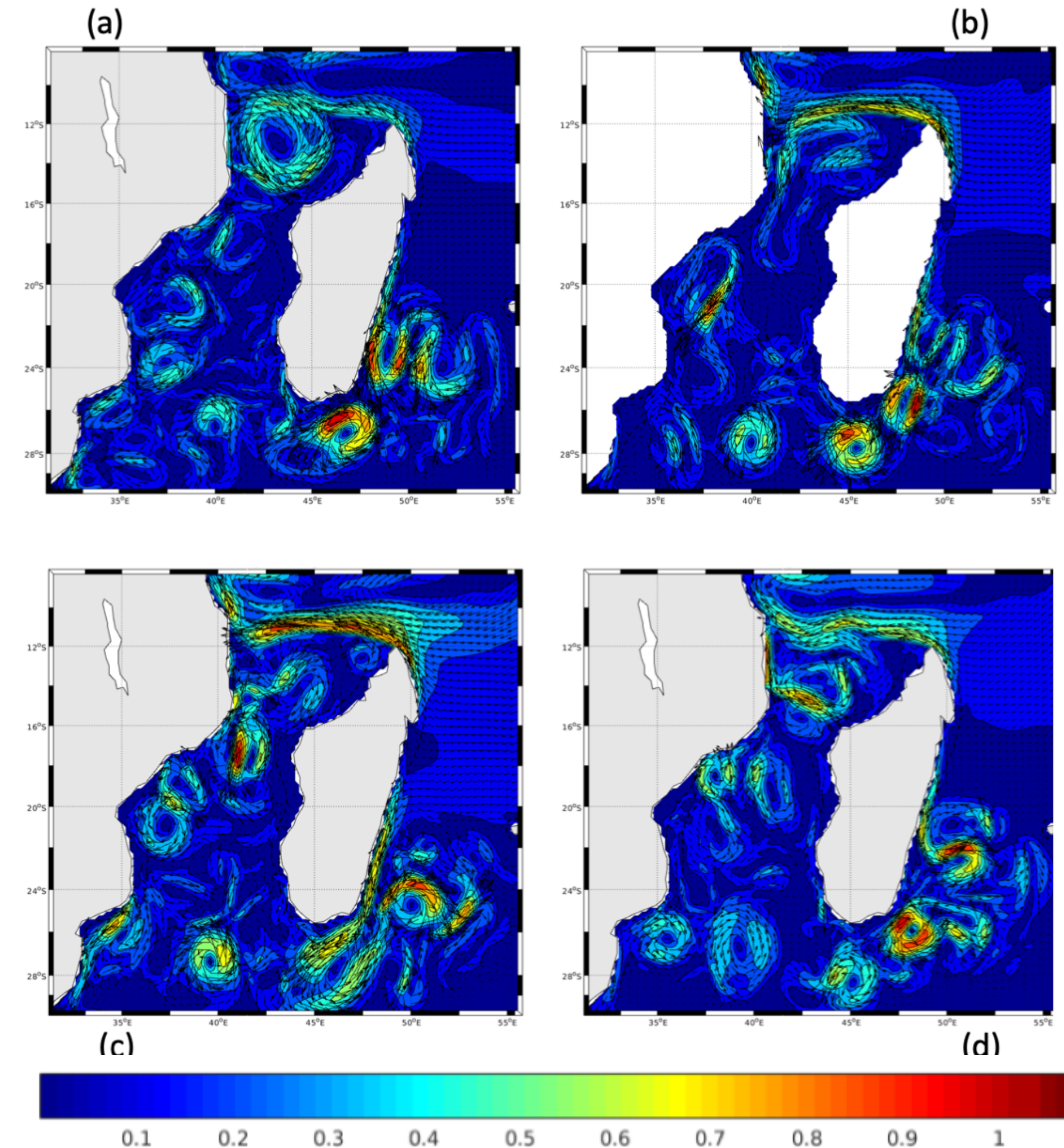
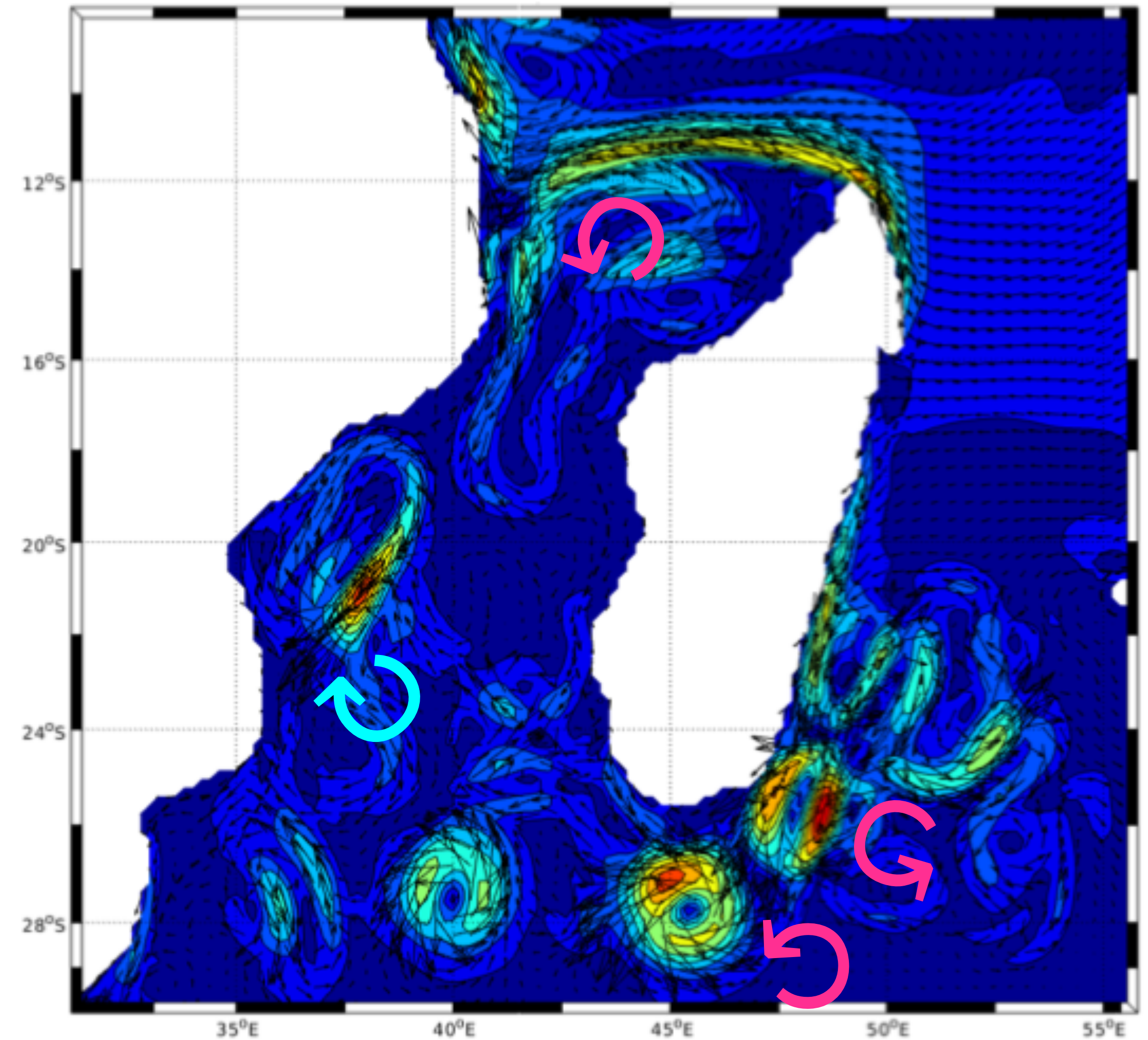
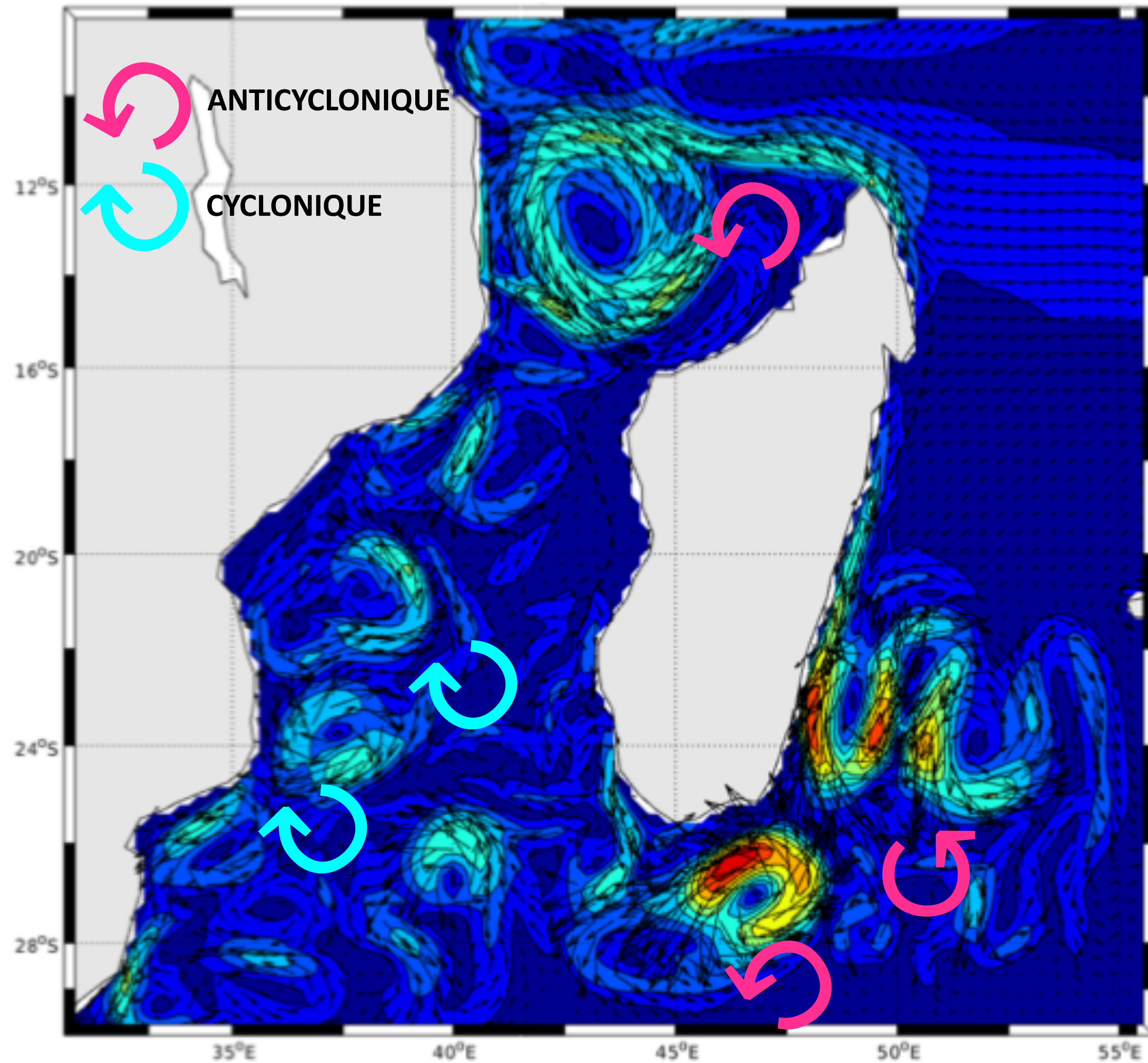


Fig.4a) : Vitesse de courant en surface (en m/s) le 14 février (a), le 14 mai (b), le 14 août (c) et le 14 novembre (d) de l'année Y5





7

Fig.4b) : Identification des sens cycloniques (bleu clair) et anticycloniques (rose) des tourbillons avec les champs de courant en surface (en m/s) le 14 février (a) et le 14 août (c) de l'année Y5



# L'élévation de la surface libre (SSH) avec CROCO.

- **Surélévations** au SE de Madagascar (+0.5m) et au nord du CM (+0.2m)
- **Sous-élévations** dans partie centrale et sud du CM (-0.3m)
- Superposition de la **localisation des zones tourbillonnaires**

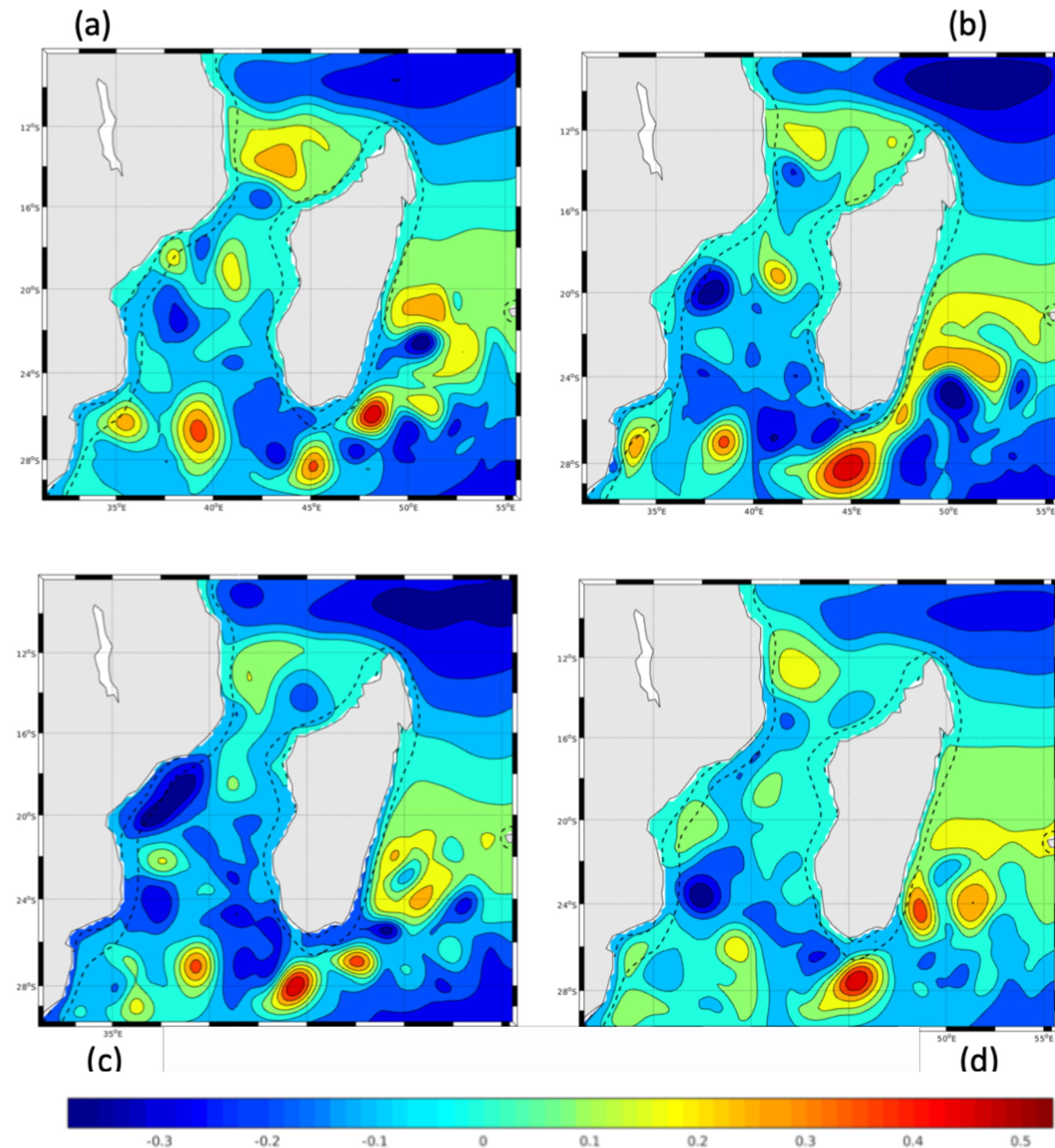


Fig.5 : SSH (en m) le 14 février (a), le 14 mai (b), le 14 août (c) et le 14 novembre (d) de l'année Y5



# L'élévation de la surface libre (SSH) : comparaison avec AVISO.

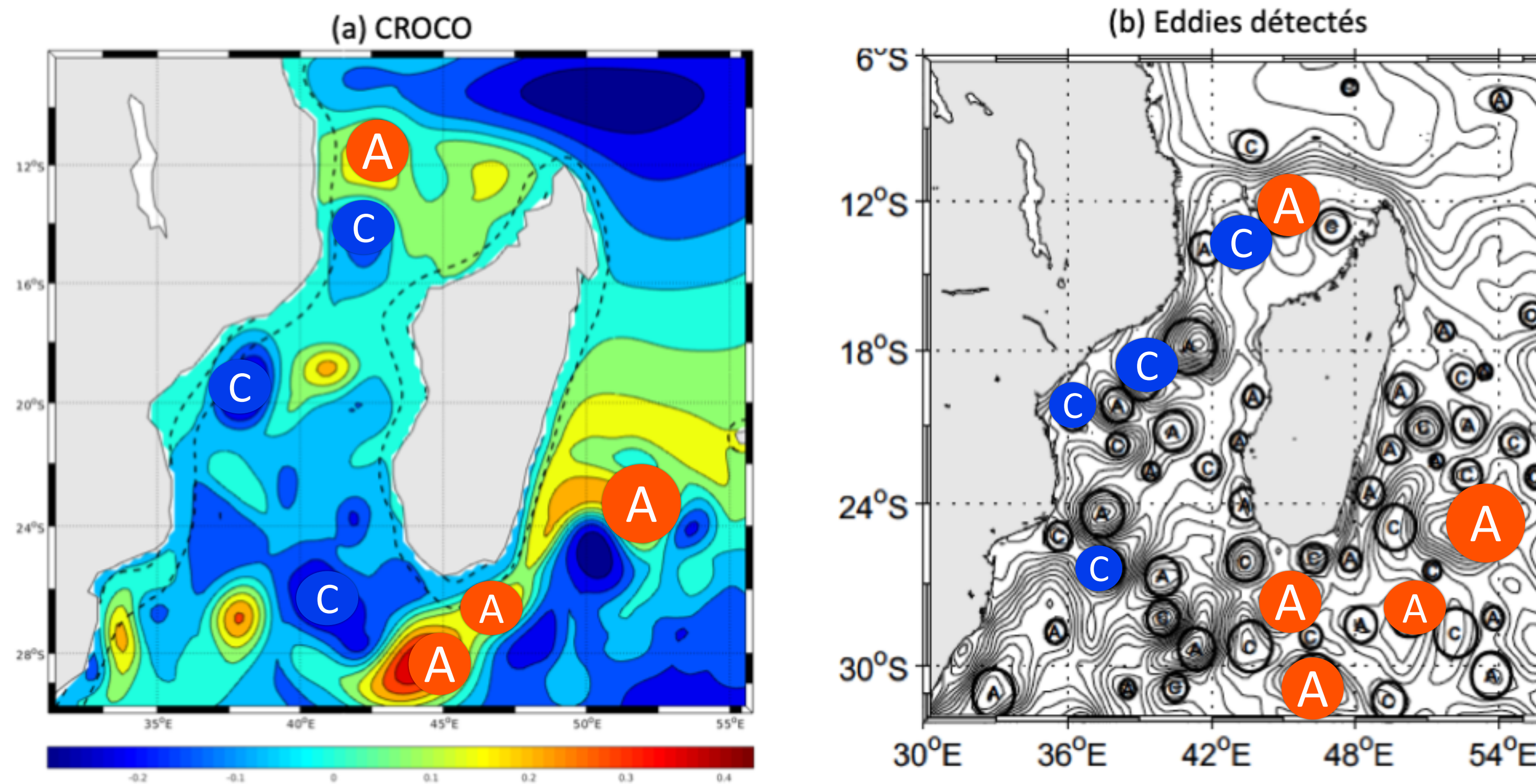


Fig.7 : Comparaison des localisations des structures tourbillonnaires cycloniques (notées C) et anticycloniques (notées A). A gauche les SSH détectées par CROCO à Y5M9D14, à droite la détection satellite des structures tourbillonnaires par AVISO le 15 septembre 2003, (d'après Halo et al., 2013)



# L'élévation de la surface libre moyennée.

- Moyenne permet d'évaluer une **tendance globale** des variations de SSH, de **Y4 à Y10** (script Matlab)
- Confirmation de la localisation des structures tourbillonnaires
- **Importante variabilité de méso-échelle**

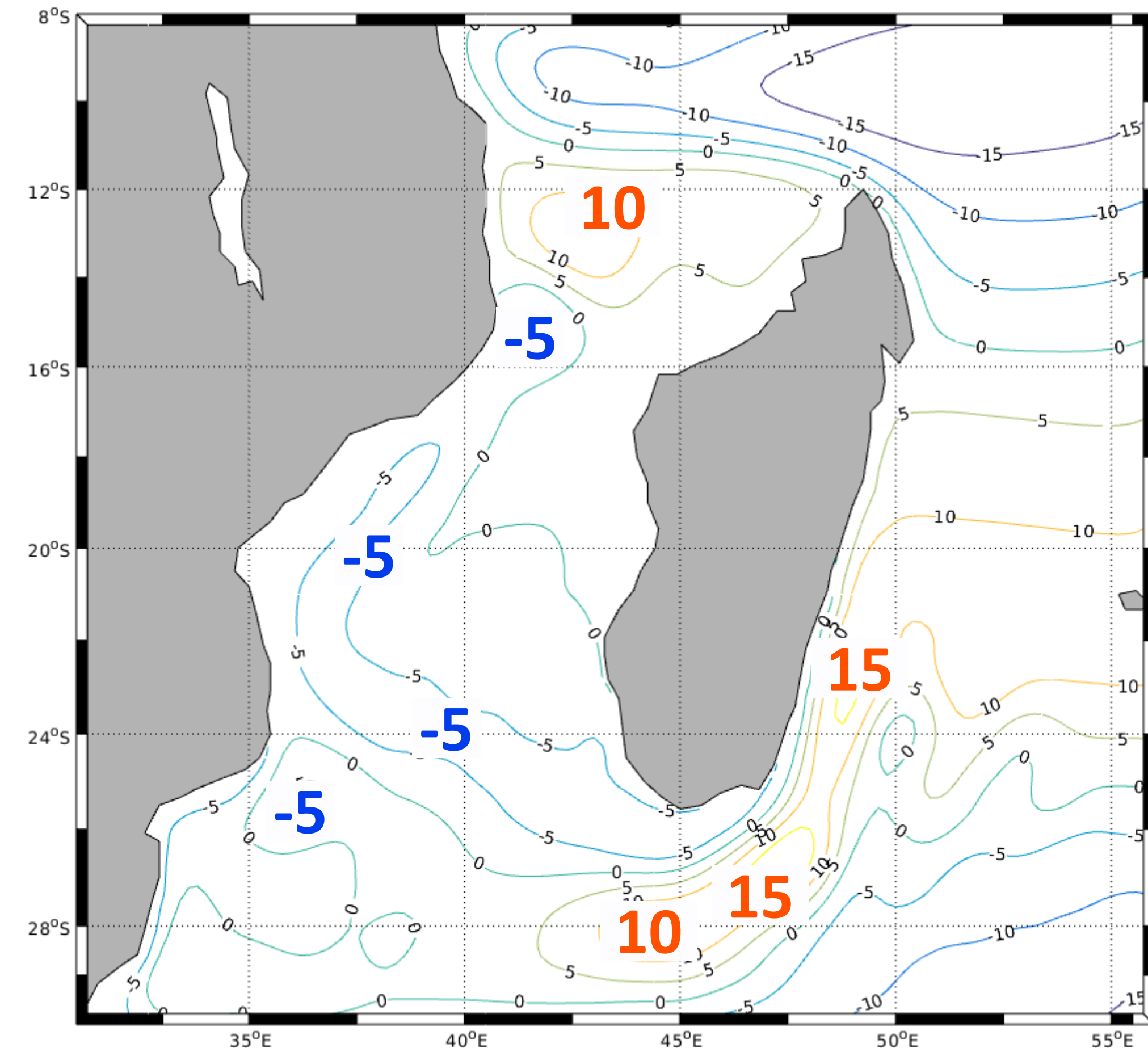


Fig.6 : SSH moyennées sur la période Y4-Y10 (en cm).



# Comparaison des moy. quadratiques des SSH.

- Quelques similarités entre CROCO/SWIM (SE Madagascar et nord CM),
- Grandes disparités le long des côtes africaines entre CROCO et les modèles de Halo et al. 2013.
- CROCO minimise la variabilité dans le CM central et sud

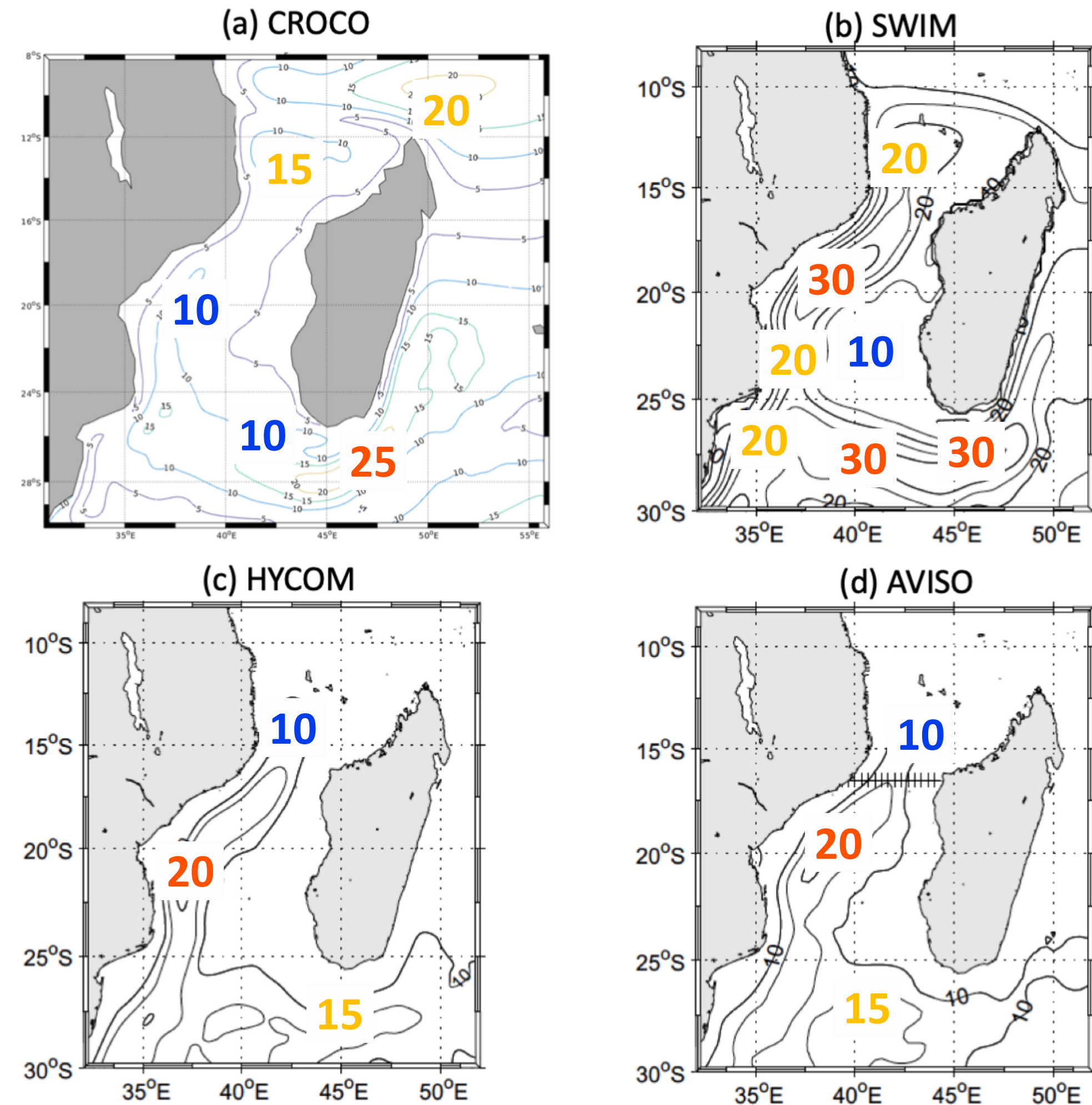


Fig.8 : Moyennes quadratiques des SSH (en cm) sur la période Y4-Y10 pour (CROCO), sur 7 années avec SWIM (b), de 2001 à 2010 avec HYCOM (c) et de 14 octobre 1992 au 31 mars 2010 avec AVISO (d)

# Hypothèses sur les écarts de résultats.

## CROCO & SWIM.

- **10 ans d'intervalle** entre deux simulations  
(actualisation des données WOA et COADS ?)
- **Influence des données de forçage de vent**  
**QuickSCAT par SWIM** (mais pas par CROCO) ?
- Prise en compte des **apports d'eau douce** ?

## SWIM & HYCOM / AVISO.

- HYCOM : **grille verticale hybride** particulièrement adaptée aux environnements avec une stratification de la colonne d'eau et des **fronts océaniques** de surface (comme dans le CM).





# Nouvelle simulation ?

- Augmenter la resolution spatiale ;
- Considérer les données **QUIKSCAT** pour les forçages de vent ;
- Prendre en compte les **apports d'eau douce**.
- **Approfondir l'étude des tourbillons** : fréquence, durée de vie, diamètre, profondeur, etc.
- Comparer avec données AVISO actuelles ;



2013-12-31

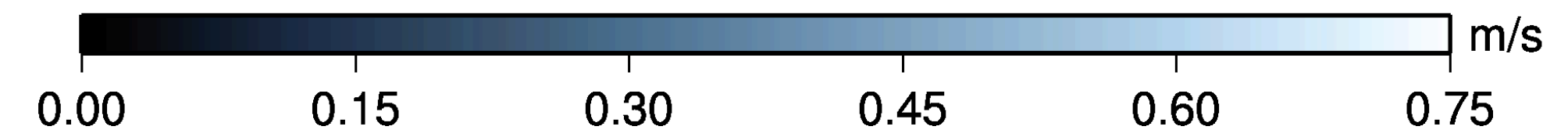
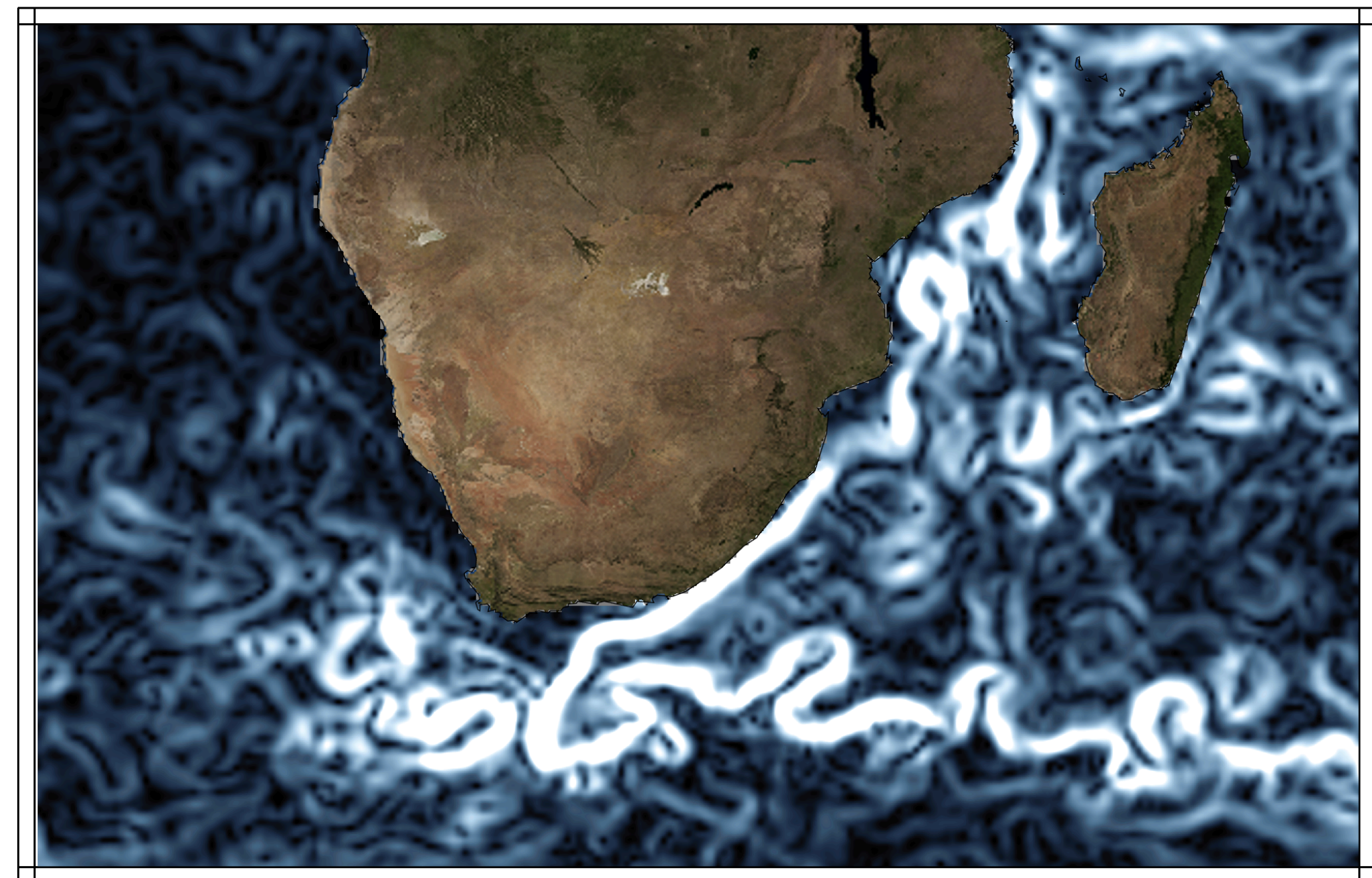


Fig.8 : Animation AVISO des courants géostrophiques du système des aiguilles sur 2012-2013

[https://www.aviso.altimetry.fr/gallery/fr/entry\\_136\\_animations\\_des\\_courants\\_geostrophiques\\_absolus\\_madt\\_courant\\_des\\_aiguilles\\_2012\\_2013.html](https://www.aviso.altimetry.fr/gallery/fr/entry_136_animations_des_courants_geostrophiques_absolus_madt_courant_des_aiguilles_2012_2013.html)

# Références.

- Beal, L., Wilhelmus de Ruijter, P., Biastoch, A., and Zahn, R. (2011). On the role of the Agulhas, System in ocean circulation and climate. *Nature* 472, 429–436.
- Biastoch, A. and Krauss, W. (1999). The role of mesoscale eddies in the source regions of the Agulhas Current. *J. Phys. Oceanogr.* 29, 2303–2317.
- Biastoch, A., Lutjeharms, J., BÅNoning, C. W., and Scheinert, M. (2008). Mesoscale perturbations control inter-ocean exchange South of Africa. *Geophys. Res. Lett.* 35, L20602.
- Halo, I. and, B. B., Penven, P., Ansorge, I., and Ullgren, J. (2013). Eddy properties in the Mozambique Channel : A comparison between observations and two numerical ocean circulation models. *Deep Sea Res. II Topical Studies in Oceanography*.
- Penven, P., Lutjeharms, J., and Florenchie, P. (2006). Madagascar : a pacemaker for the Agulhas Current system ? *Geophys. Res. Lett.* 33, L17609.
- Ridderinkhof, H. and Wilhelmus de Ruijter, P. (2003). Moored current observations in the Mozambique Channel. *Deep Sea Res. II* 50, 1933–1955.
- Schouten, M., Wilhelmus de Ruijter, P., and Jan van Leeuwen, P. (2002). Upstream control of Agulhas ring shedding. *J. Geophys. Res.* 107, C83109.
- Schouten, M., Wilhelmus de Ruijter, P., Jan van Leeuwen, P., and Ridderinkhof, H. (2003). Eddies and variability in the Mozambique Channel. *Deep Sea Res. II* 50, 1987–2003.
- Van der Werf, P. M., Jan van Leeuwen, P., Ridderinkhof, H., and Wilhelmus de Ruijter, P. (2010). Comparison between observations and models of the Mozambique Channel transport : Seasonal cycle and eddy frequencies. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 115.
- Weijer, W., Wilhelmus de Ruijter, P., Dijkstra, H., and Jan van Leeuwen, P. (1999). Impact of Interbasin Exchange on the Atlantic Overturning Circulation. *J. Phys. Oceanogr.* 29, 2266–2284.



## Annexe I.

# La discrétisation spatiale sigma.

- Utilisée par CROCO.
- Dans la simulation :  $N = 45$ .

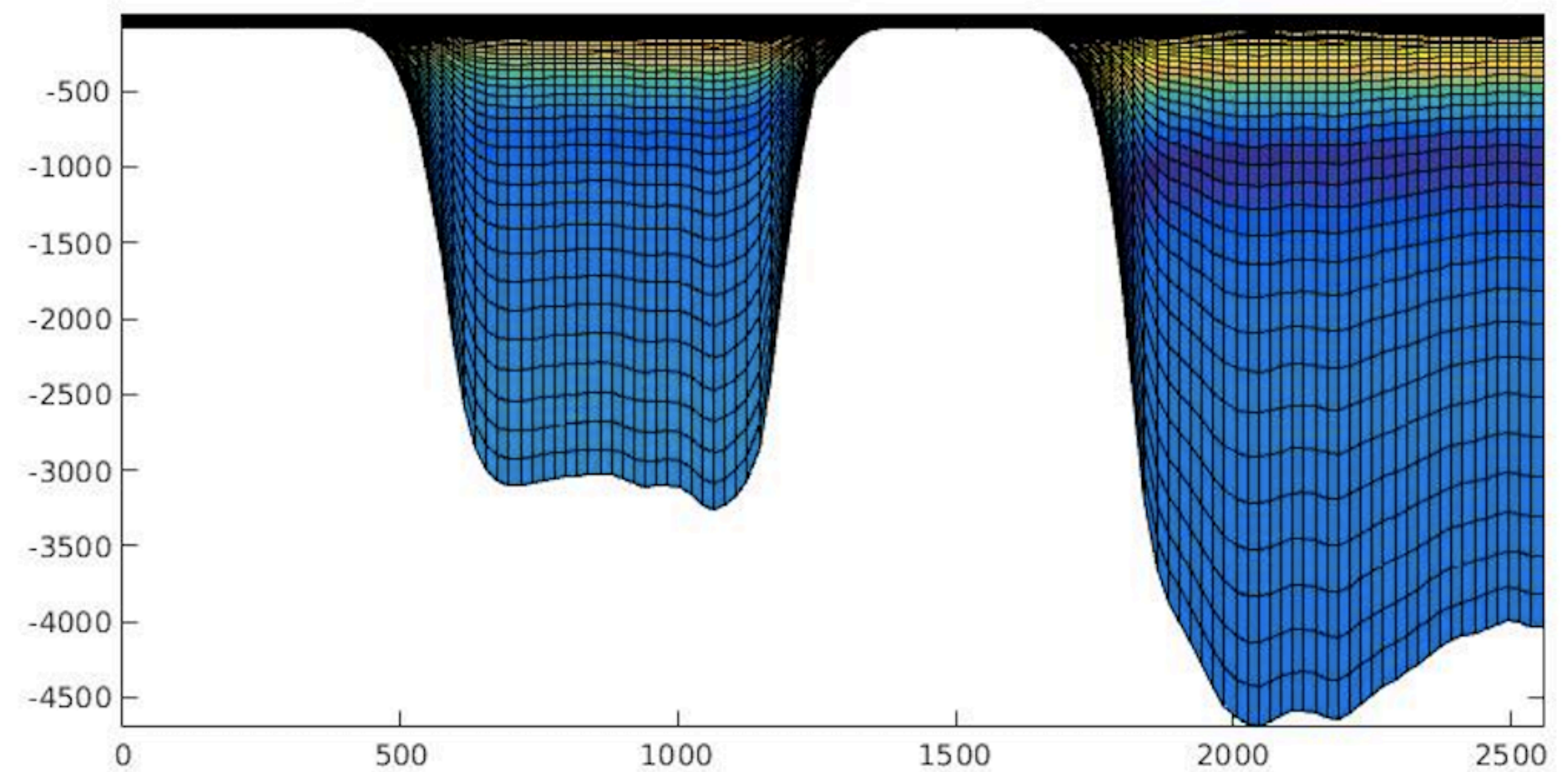


Fig.11 : Représentation de la grille sigma ( $N = 45$ ) dans la simulation CROCO du Canal du Mozambique



## Annexe II.

# La discrétisation spatiale hybride.

- Adaptée pour grande region avec bathymétrie côtière (coordonnées sigma), CM sans stratification (coordonnées z) et ocean ouvert avec stratification (coordonnées isopycnale).
- Utilisée par le SHOM.

### HYCOM : coordonnée verticale hybride

- ✓ coordonnée géopotentielle dans les couches de surface
- ✓ coordonnée sigma par petits fonds
- ✓ coordonnée isopycnale dans l'océan intérieur

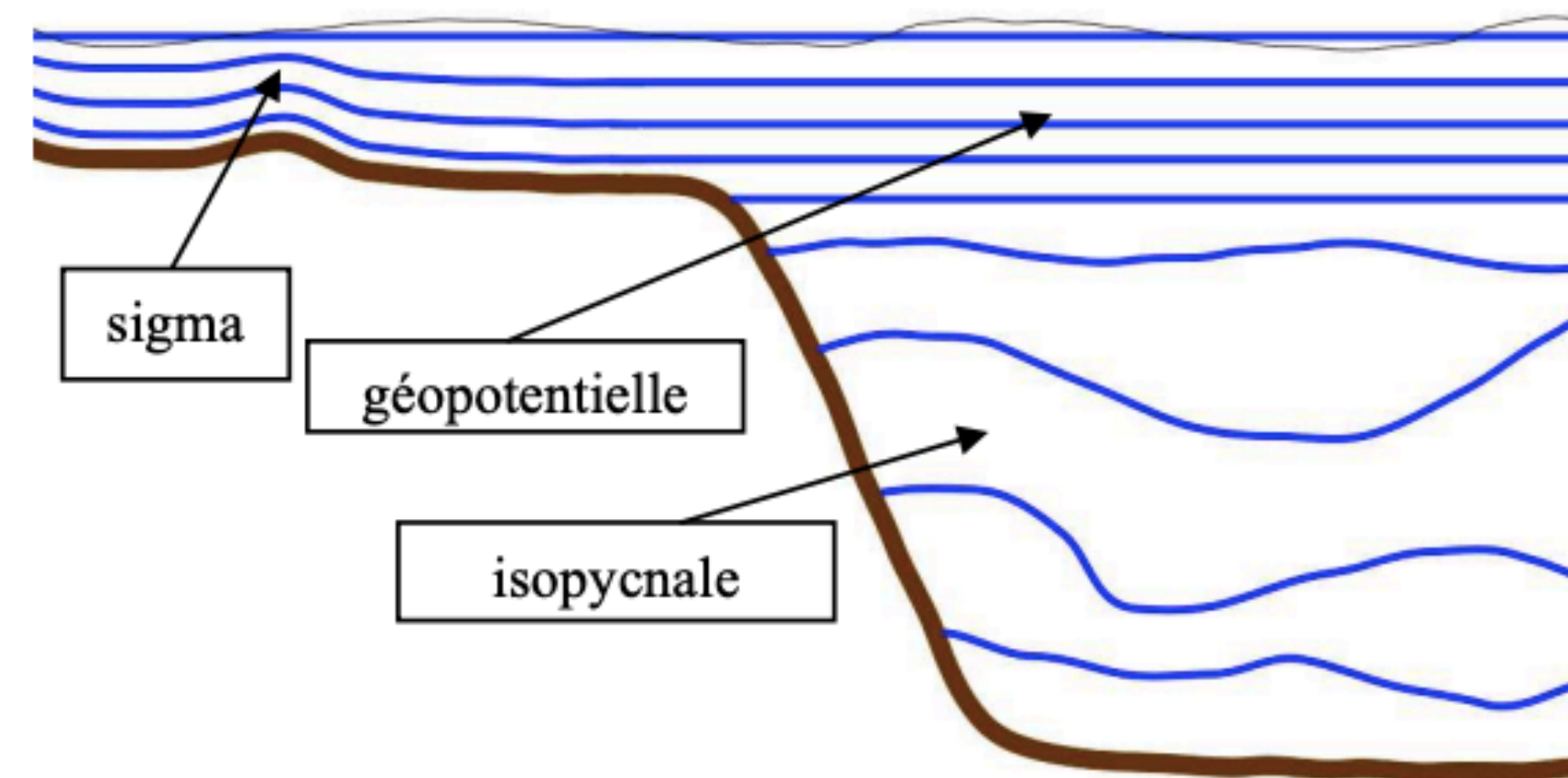


Fig.10 : Représentation de la grille hybride utilisée par le modèle HYCOM.  
Source : IFREMER.

## Annexe III.

# Modèles Halo et al., 2013.

- Halo, I. and, B. B., Penven, P., Ansorge, I., and Ullgren, J. (2013). **Eddy properties in the Mozambique Channel : A comparison between observations and two numerical ocean circulation models.** Deep Sea Res. II Topical Studies in Oceanography..



- Modèle climatologique
- Résolution : **dl = 1/5°, N = 45 (sigma)**
- 10 ans de simulation



- Modèle réaliste
- Résolution : **dl = 1/10°, N = 30 (hybride)**
- Données de 2001 à 2010



- Données **satellites** disponibles depuis le 14 octobre 1992 (Topex-Poséidon).

## Annexe IV.

# Méthode de détection des tourbillons (AVISO).

- **Méthode géométrique** : structure circulaire des SSH
- **Paramètre d'Okubo-Weiss** : s'intéresse aux propriétés de déformation locale du flux. Si  $W <$  à un certain seuil négatif : flux dominé par vortacité

$$W = S_n + S_s - \epsilon^2$$

$$S_n = \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y}$$

$$S_s = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}$$

$$\epsilon = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$$

Fig.12 : Détail du calcul du parametre d'Okudo-Weiss (d'après Halo et al., 2013)



## Annexe V.

# La température en surface.

- **Disparités des SST** entre le nord et le sud du CM ( $\pm 5^{\circ}\text{C}$ )
- **Structures circulaires** identifiables.

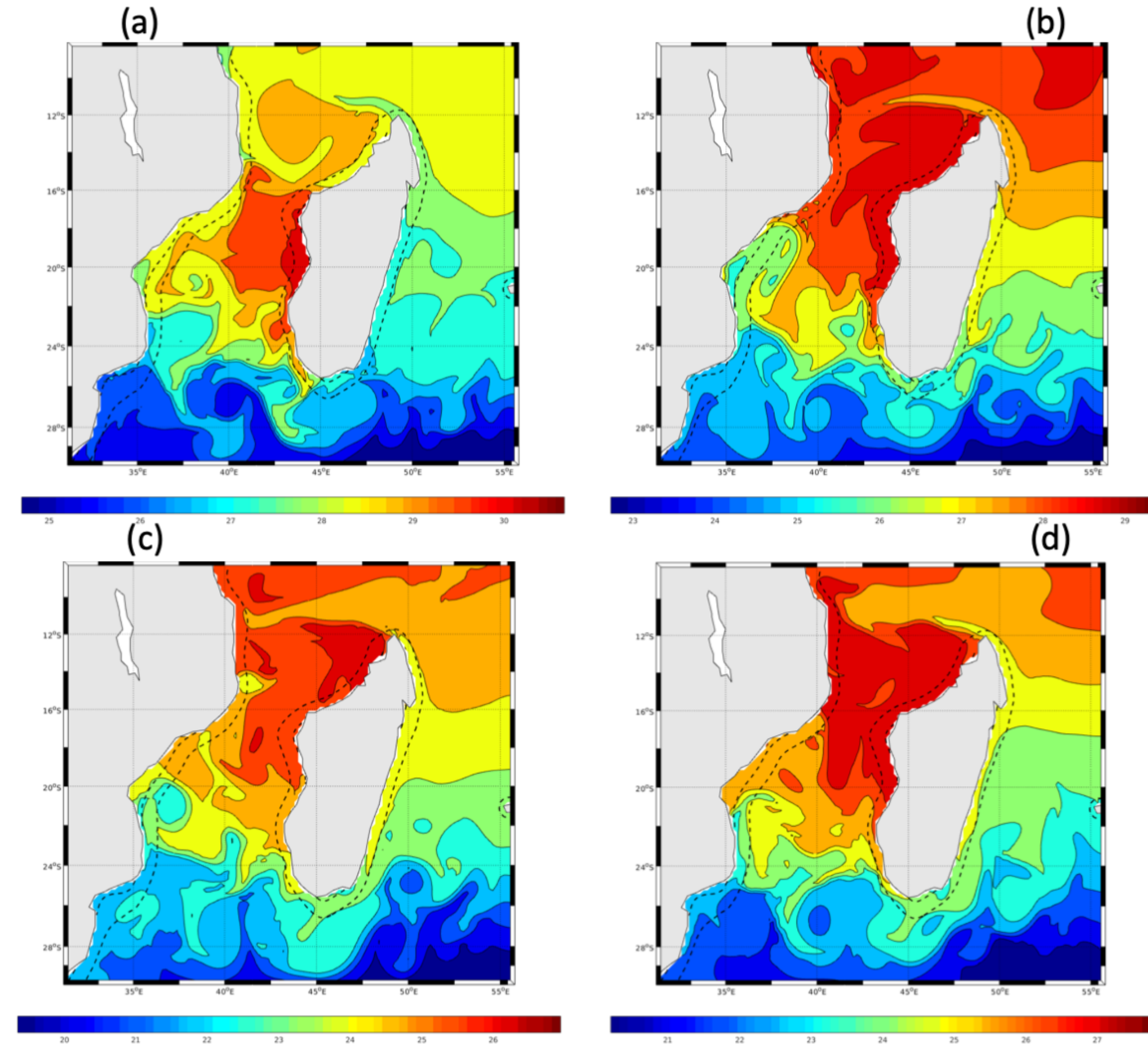


Fig.13 : Températures de surface (en  $^{\circ}\text{C}$ ) le 14 février (a), le 14 mai (b), le 14 août (c) et le 14 novembre (d) de l'année Y5.

## Annexe VI.

# La température en profondeur.

- ATTENTION : **différentes échelles de température** pour identifier structures
- **Structures circulaires encore identifiables au delà de 1000m de profondeur.**
- Importance dans la caractérisation des fronts océaniques.

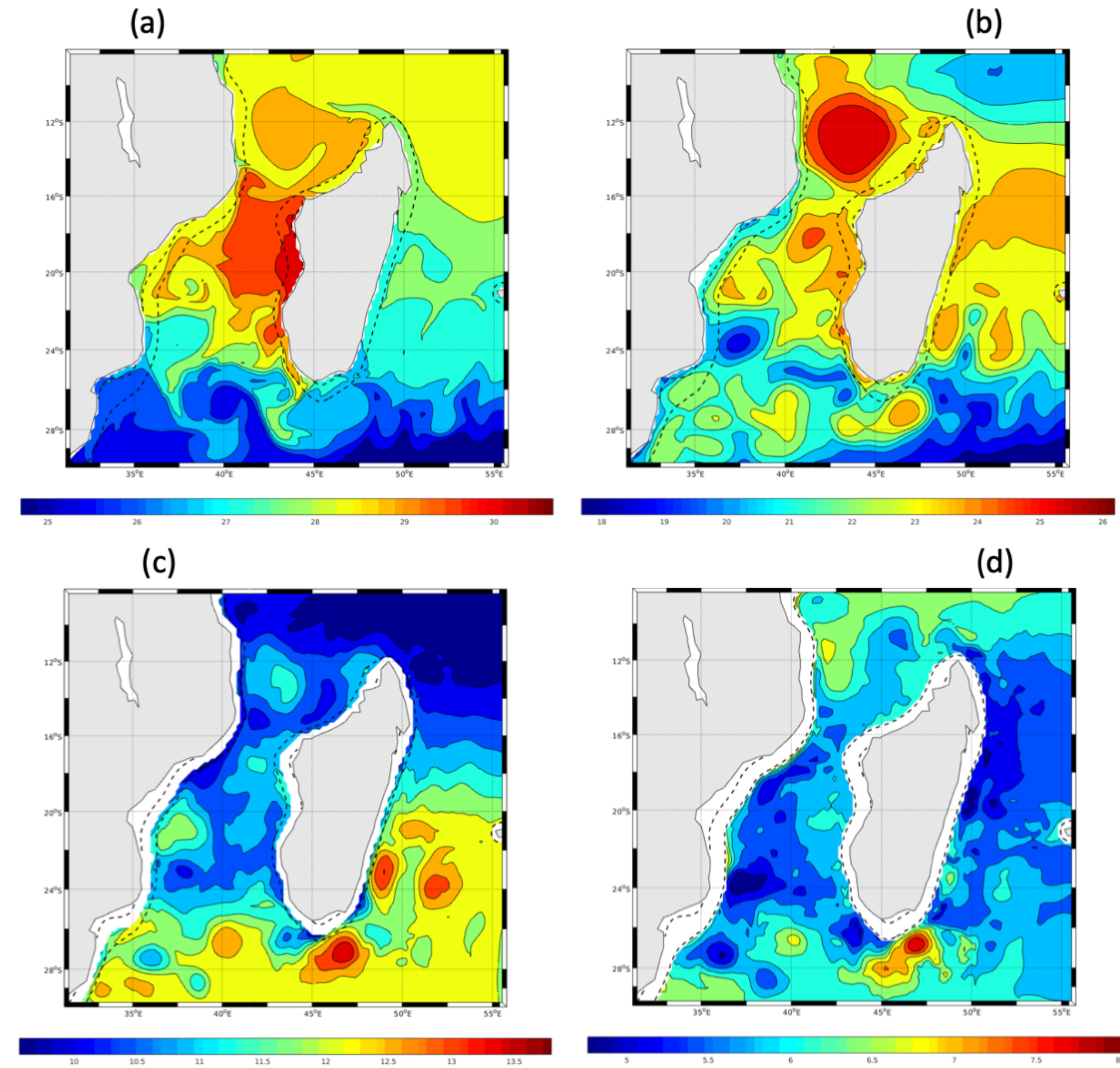


Fig.14 : Tempéртаures en profondeur, | Vitesse de courant en surface (en m/s) le 14 février (a), le 14 mai (b), le 14 août (c) et le 14 novembre (d) de l'année Y5