
Analyse des variations saisonnières et de l'encroachment du Courant Est Australien, avec le modèle CROCO

Master Sciences de la mer, 2024-2025
Parcours Océanographie Physique et Biogéochimique
Institut Osu Pythéas, Aix Marseille Université

Le Courant Est Australien (CEA)

OU ? Pacifique Sud Ouest,
Nait à 15-18°S
Au large de la cote orientale de l'Australie

DYNAMIQUE ? Principale branche du SEC
Des latitudes tropicales vers les pôles
Courant de bord ouest
Zone de ramification
Eddy Avenue en Mer de Tasman
Extension
Encroachment

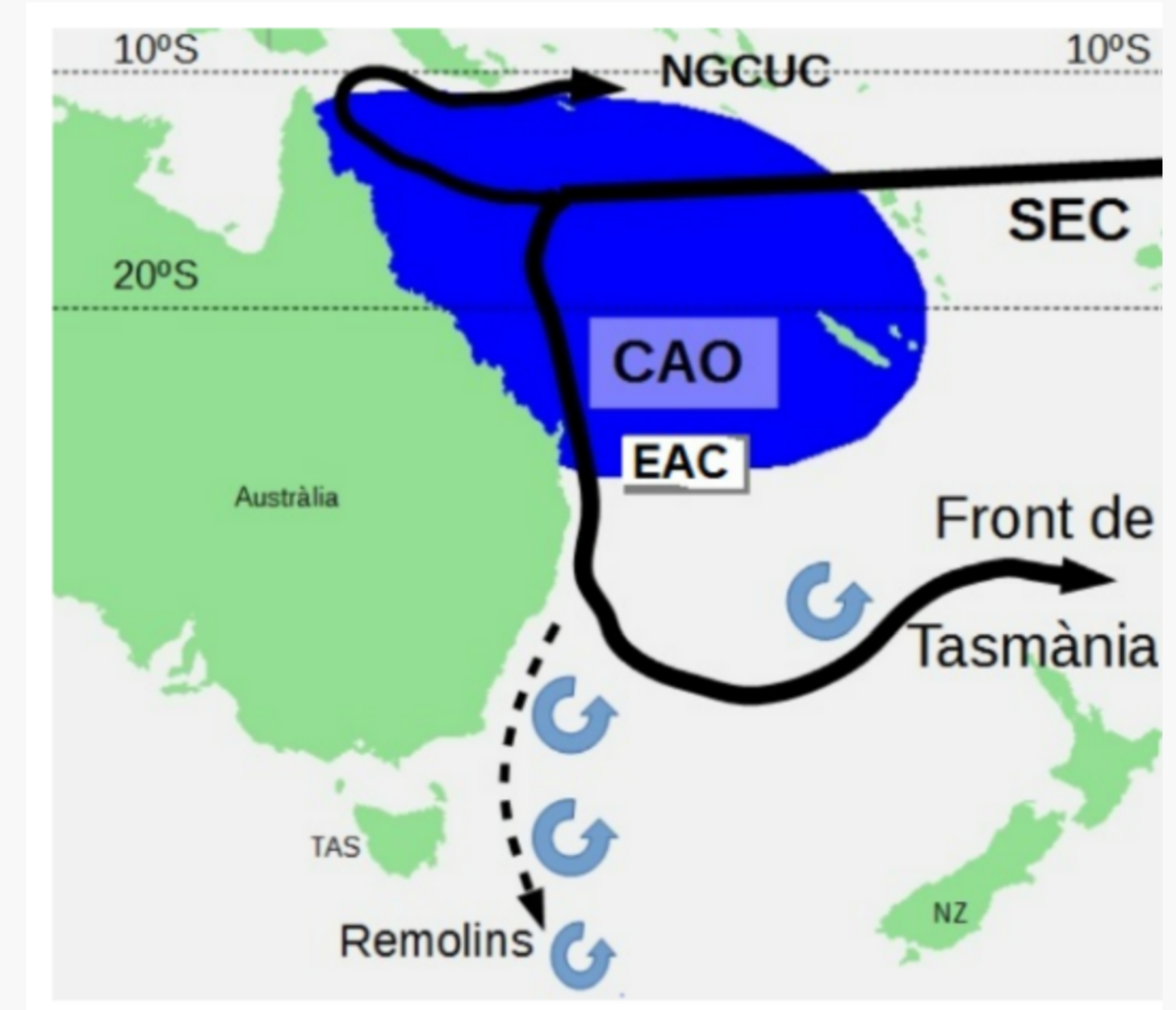


Fig 1 : Schéma de contextualisation de la zone d'étude. EAC : Courant Est Australien, CAO : Courant Australien Occidental, SEC : Courant Equatorial Sud . (wikipedia)

En quoi la modélisation du CEA permet-elle de mieux comprendre sa dynamique saisonnière et son intrusion côtière le long du plateau ?

1) Dynamique océanique

Résolution des équations

Equations primitives : différentielles, continues, décrivant la réalité **trop complexes**

2 étapes pour leurs résolution numérique :



équations discrètes **solvables**

1) Dynamique océanique

Les équations primitives :

Equations du mouvement sur l’horizontale :

Thermes de la turbulence

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

Thermes de la turbulence fermée

$$A_h \nabla_h^2 u + A_z \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$
$$A_h \nabla_h^2 v + A_z \frac{\partial^2 v}{\partial z^2}$$

Equation de mouvement sur la verticale :

$$\frac{\partial w}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g$$

Equation de continuité :

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

Conservation de la chaleur et sel :

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla T = \kappa_h \nabla_h^2 T + K_z \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$$
$$\frac{\partial S}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla S = \kappa_h \nabla_h^2 S + K_z \frac{\partial^2 S}{\partial z^2}$$

Equation d’état de l’eau de mer :

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

1) Dynamique océanique

Etape 1 : Les approximations

Approximation de Boussinesq : $\rho(x, y, z, t) = \rho_0 + \rho'(x, y, z, t)$ avec $\rho' \ll \rho_0$

Hypothèse de la turbulence : $\tau_{ij}^{Reynolds} = -\rho \overline{u'_i u'_j} = K \frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j}$

Hypothèse de l'hydrostatique : $\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho g$

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

1) Dynamique océanique

Etape 2 : La discrétisation

- _ Discrétisation spatiale : horizontale grille de type Arakawa C (a)
 verticale coordonnée sigma (b)
- _ Discrétisation temporelle : séparation du pas de temps time splitting

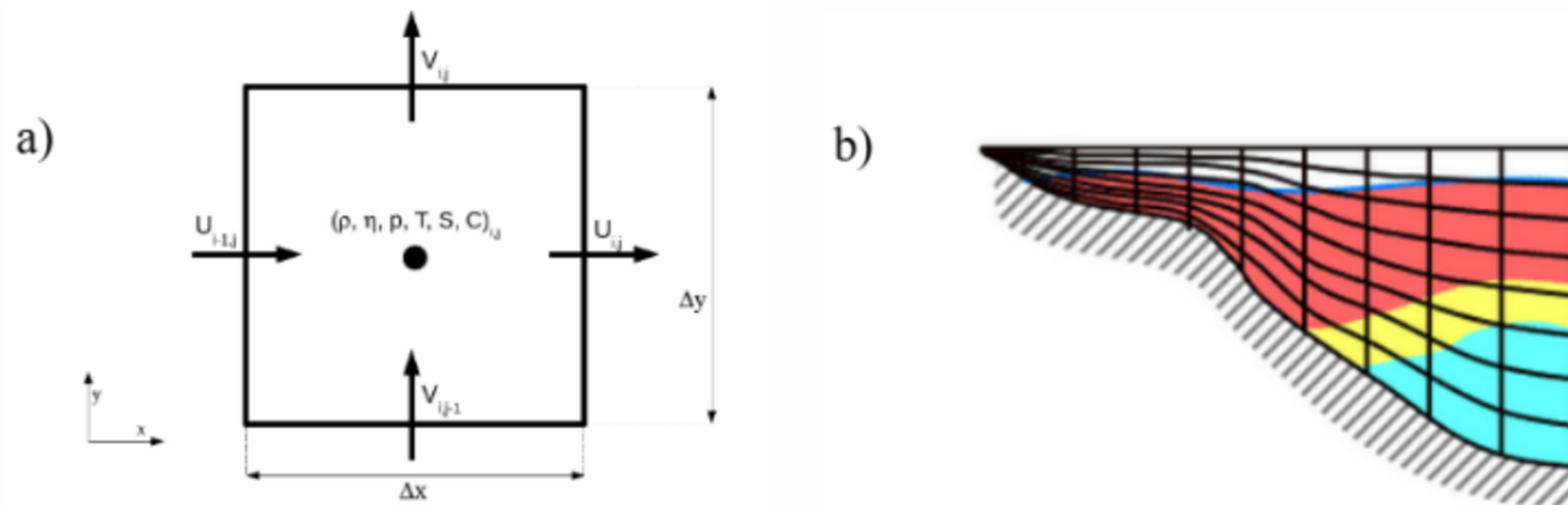


Figure 2 : (a) Grille Arakawa C . ρ , η , p , T , S calculés au centre de la maille, U et V sur les faces de la maille.
(b) Type de coordonnée sigma sur la verticale, les couleurs représentent des masses d'eau de différentes densités.

2) Implémentation du modèle

- CROCO = modèle hydrodynamique haute résolution
- Données initiales : COADS05, Topo et WOA

a) Paramètres spatiaux

Script **make_grid.m**

- limiter spatialement le domaine
- construire la grille numérique
- lisser la bathymétrie
- spécifier les cellules actives pour la dynamique marine

generation **croco_grd.nc** contenant
les informations spatiales (Fig3)

2) Implémentation du modèle

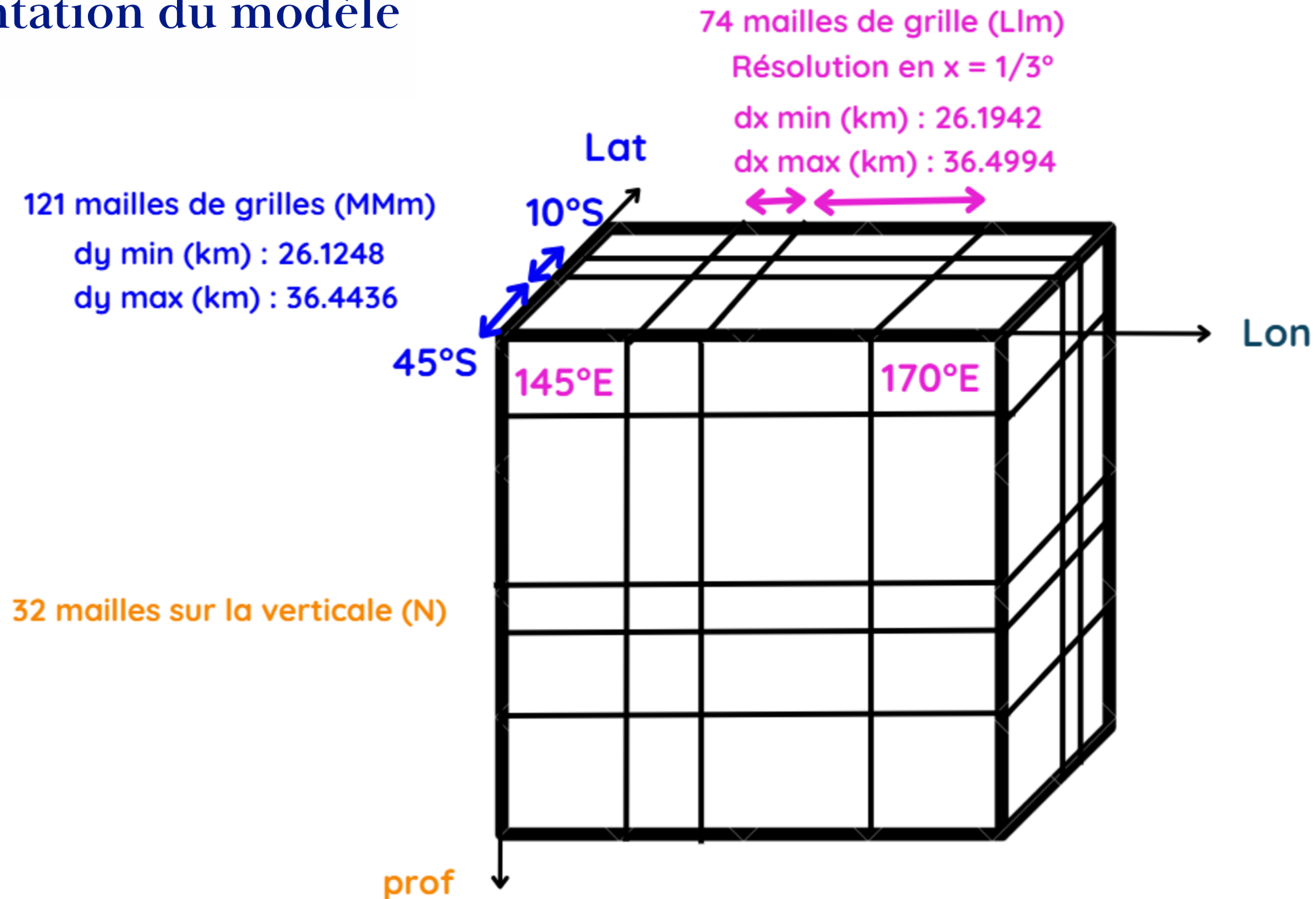


Figure 3 : Représentation schématique de la grille générée par make_grid

2) Implémenttion du modèle

b) Paramètre physiques

Script **cppdefs.h** active ou désactivation de paramètre
param.h calcul de constantes physiques

- viscosité **Ah** désactivé **et Az** calculé avec modèle KPP
- la diffusivité
- le paramètre de **Coriolis** (automatique)
- marées
- forçages de surface (ex : vent, flux de chaleur)
- conditions aux frontière ouvertes

generation **croco_frc.nc ; croco_clm.nc ; croco_oa.nc ;**
croco_bry.nc contenant les informations physiques

2) Implémenttion du modèle

c) Paramètre temporels

Script **ad_cfl.m** calcul CFL



Fichier **croco_in** control des entrées et sorties

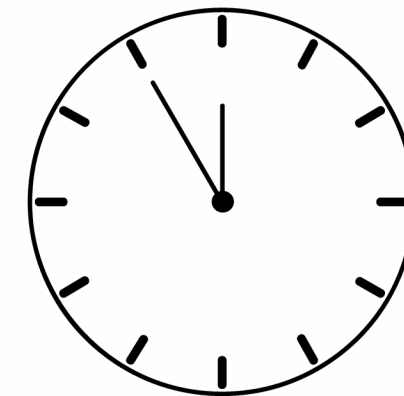
- indique les fichiers NetCDF à utilisés : croco_grd.nc, croco_ini.nc...
- contient Δt_{ext} 2400sec et NDTFAST 60
- fixe la durée de la simulation NTIMES 30j
- définit la fréquence des sorties de résultats : instantanés (his), moyennés (avg), du mois d'avant (rst)
- définit les variables enregistrées : u,v,T, Speed, ...

2) Implémentation du modèle

d) Lancement simulation

Script run_croco.bash simulation pluri-annuelle 12ans
slurm_run_croco.sh spécifique au système d'exploitation à haute performance
 (cluster)


 Résolution spatiale et/ou temporelle
 =
 Cout computationnel
 



1) Stabilité du modèle

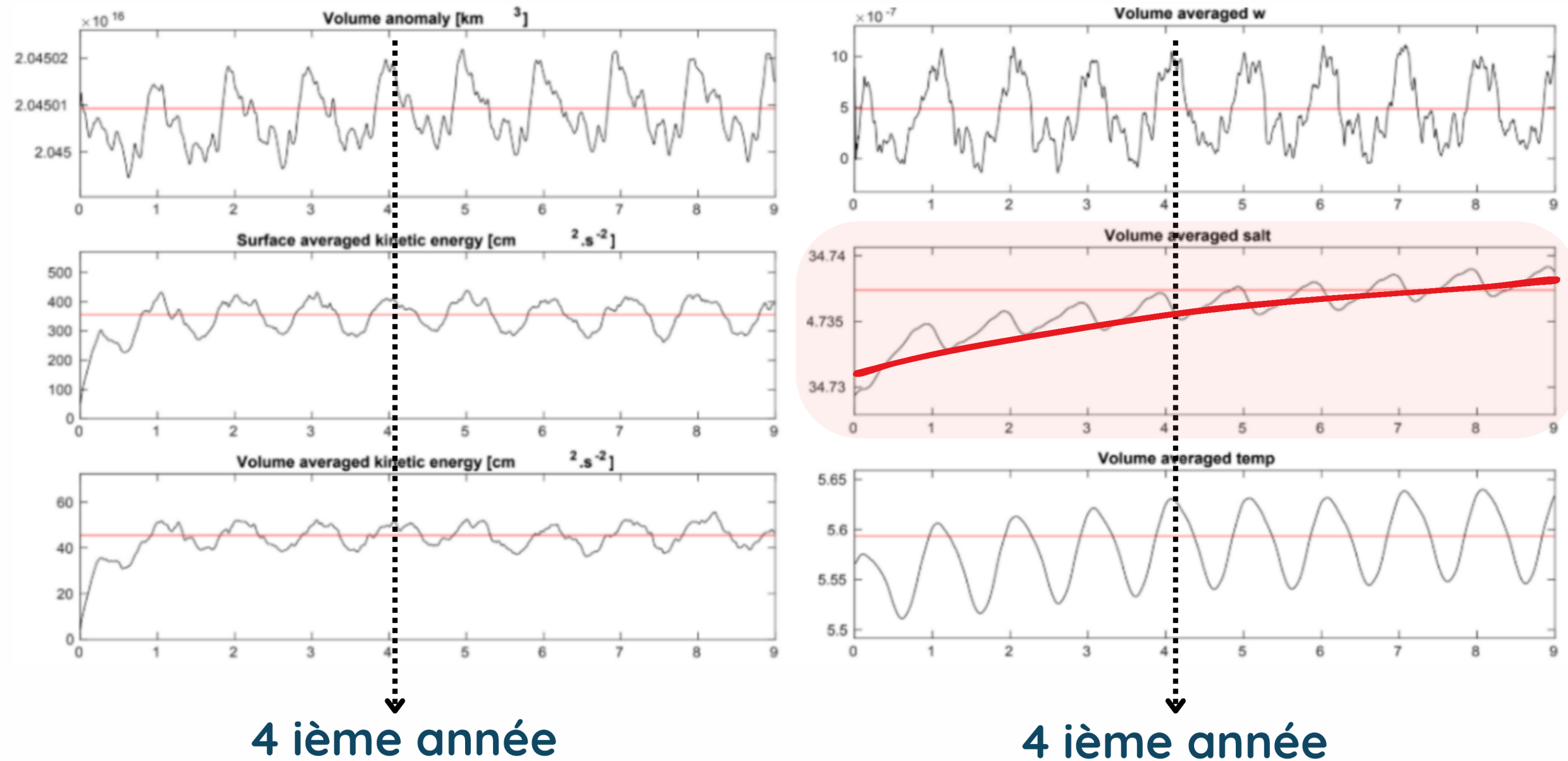


Figure 4 : Variables diagnostiques (A : Le volume total en km^3 ; B : L'énergie cinétique moyennée sur la surface en $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-2}$; C : L'énergie cinétique moyennée sur le volume $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-2}$; D : La vitesse verticale moyennée sur le volume ; E : Salinité moyennée sur le volume ; F : La température moyennée sur le volume). La ligne rouge correspond à la valeur moyenne sur 9 ans

2) Dynamique du CEA

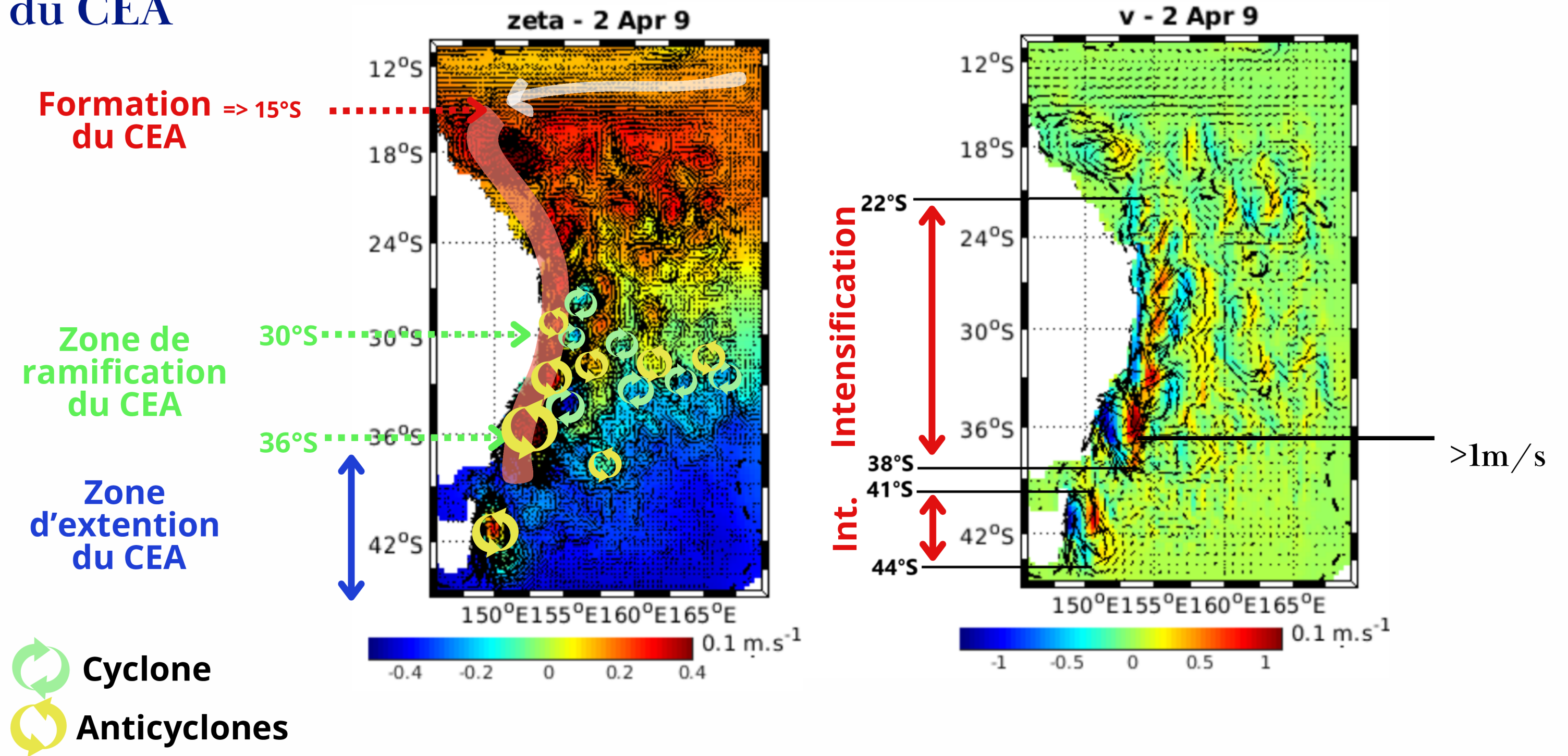
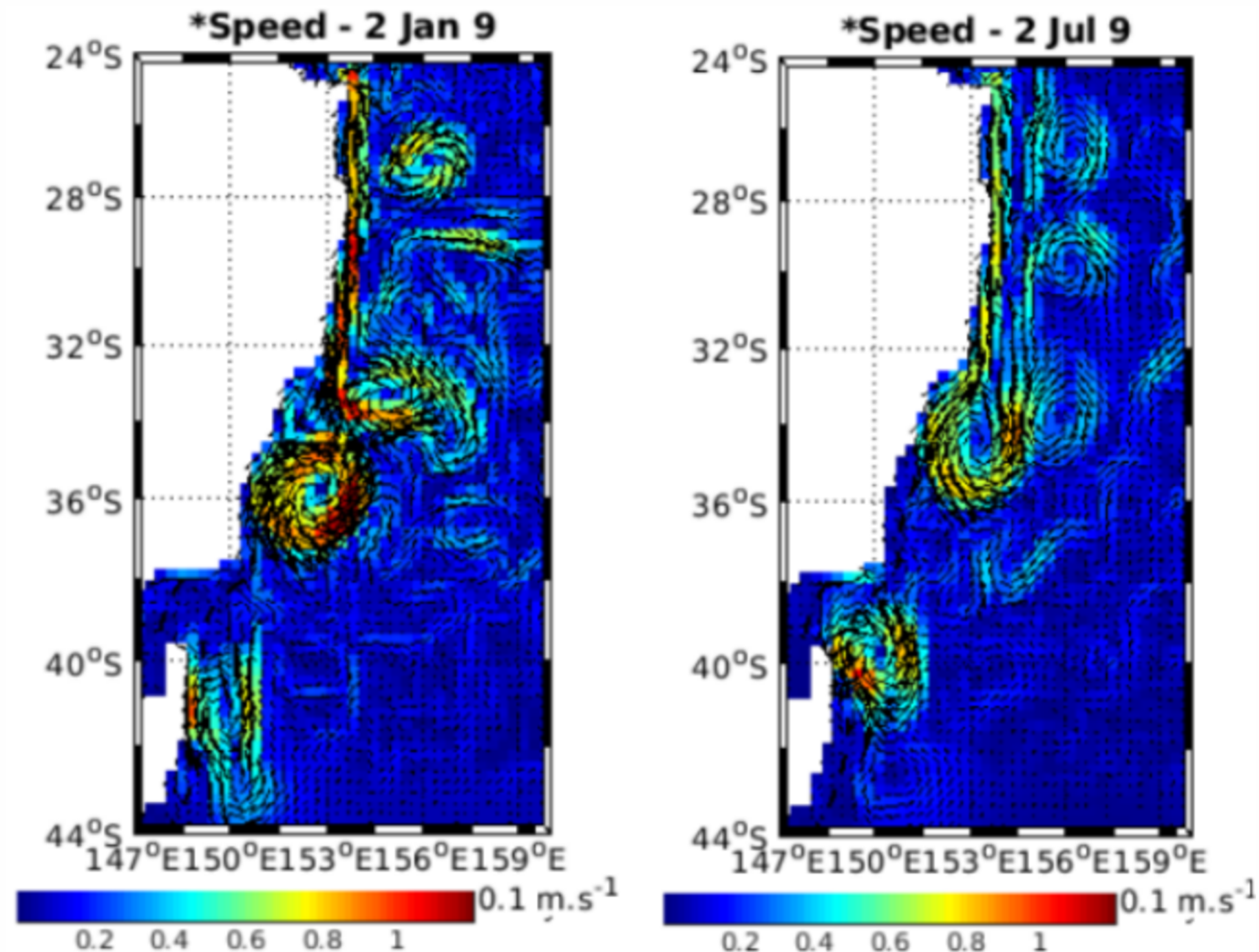


Figure 5 : a) Dynamique de CEA déterminée à partir d'une carte d'élévation de la surface libre (zeta). (b) Intensification de la vitesse méridienne (m/s) du CEA. Les flèches indiquent la direction et l'intensité des courants de surface

3) Variabilité saisonnière du CEA

Fig 6 : Variabilité saisonnière de la vitesse horizontale moyenne (zonale et méridionale), en surface (-5m), issue du modèle CROCO.

Comparaison des mois de janvier (été austral) et juillet (hiver austral) de l'année 9



Eté austral (janvier) :
> 1,2 m/s
intense
descend jusqu'à 38°S

Hiver austral (juillet) :
~0,7m/s
atténuation
descend jusqu'à 36°S

4) Encroachment

BESSHO et al. (2016)

XIE et al. (2021)

images composites du Himawari-8
modèle CROCO

intrusion cotiere mise en évidence
non distinguable

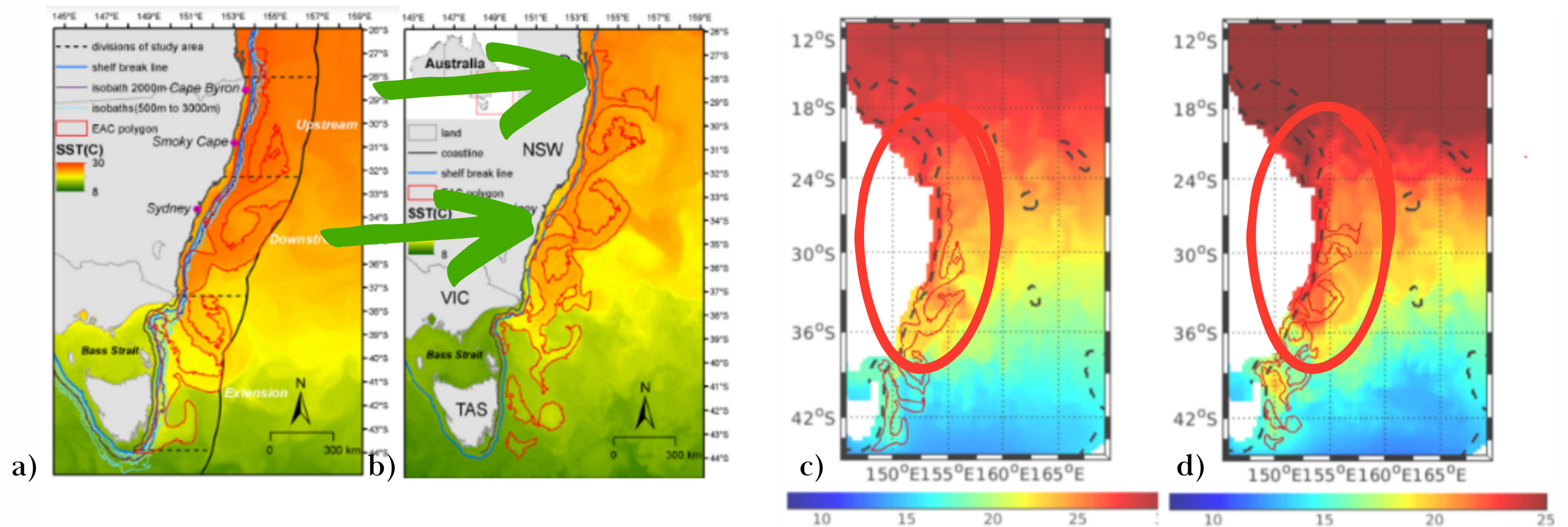


Fig 7: Comparaison cartes de SST issue de Himawari-8 sur 6 jours en janvier 2017, (b) août 2016 avec des cartes issues de CROCO sur les mois (c) de janvier et (d) août de l'année 9. Les polygones rouges correspondent à la limite de surface du CEA à partir des images satellites. La ligne bleue = la ligne de rupture du plateau.

Pourquoi ?

- **Amélioration des conditions initiales**

données CARS2009 spécialement conçues pour l'océan Pacifique
données ICOADS R3.0 plus récentes

- **Changement des coordonnées sigma**

Bord Est de l'Australie = zone à forte pente du fond marin.

Bathymétrie lissée introduction d'erreurs pour les processus côtier.

- **Intérêt des modèles à haute résolution**

haute résolution spatiale = processus de fine échelle

haute résolution temporelle = variation de l'encroachment

Références

Baklouti, M. (2025). *cours résolution des EDP*.

Bessho, K., Date, K., Ikuta, Y., Shimoji, K., and et al. (2016). Introduction of the himawari-8 and its early application to weather and climate studies. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 94(5) :151–183.

Doglioli, A. (2025). *cours modélisation 3d*.

Ridgway, K. R. and Dunn, J. R. (2003). East australian current. *Journal of Geophysical Research*, 108(C6).

Xie, S. (2021). *On the East Australian Current Encroachment : Remote Sensing, Quantitative Mapping and Spatio-temporal Variability*. PhD thesis, UNSW.

MERCI DE VOTRE ATTENTION
