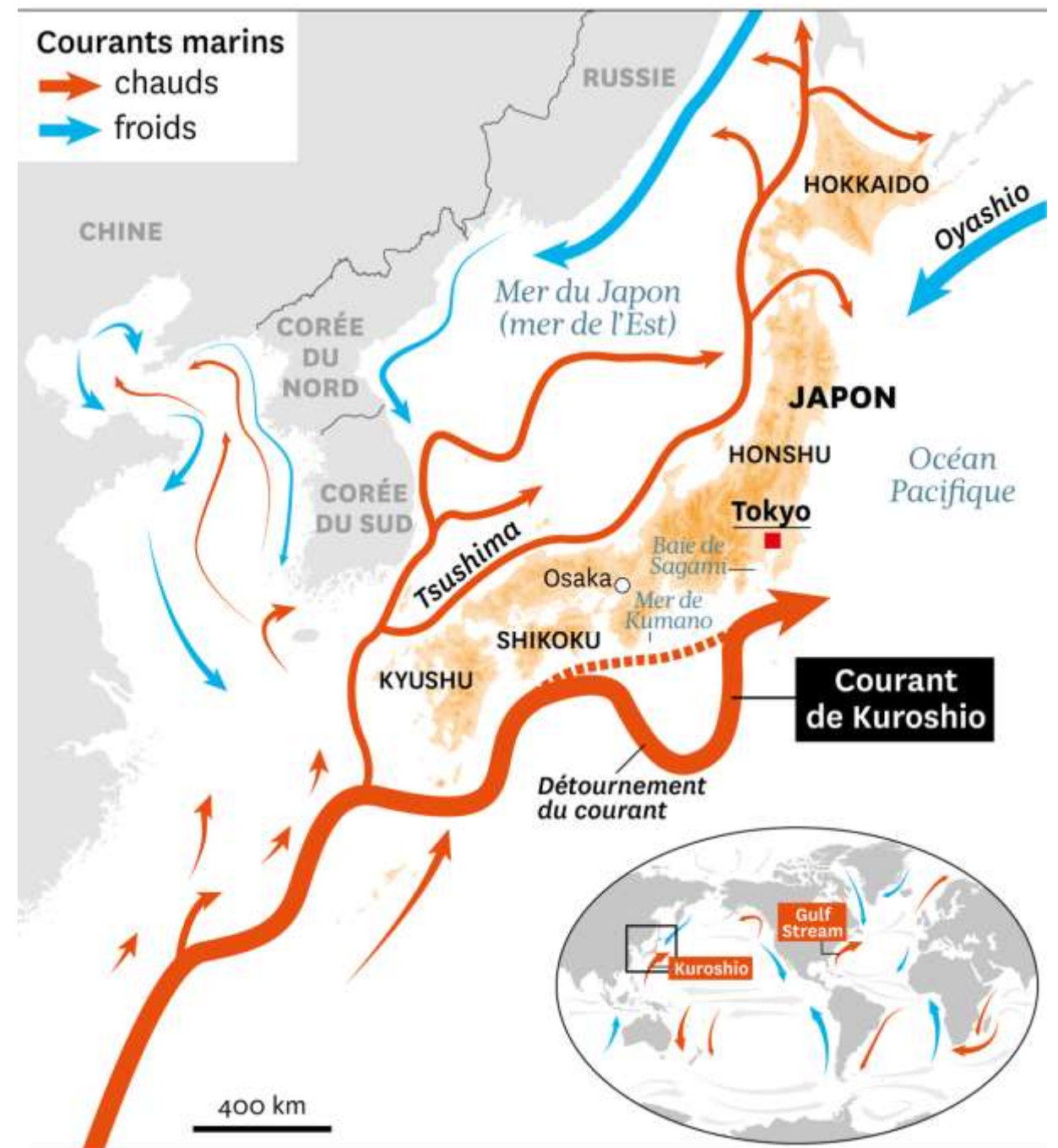


Modélisation de la zone de confluence Kuroshio– Oyashio à l'aide du modèle CROCO

Master sciences de la mer – Modélisation 3D - 2025/2026 –
Chahinez BOULAHIA
3/05/2026



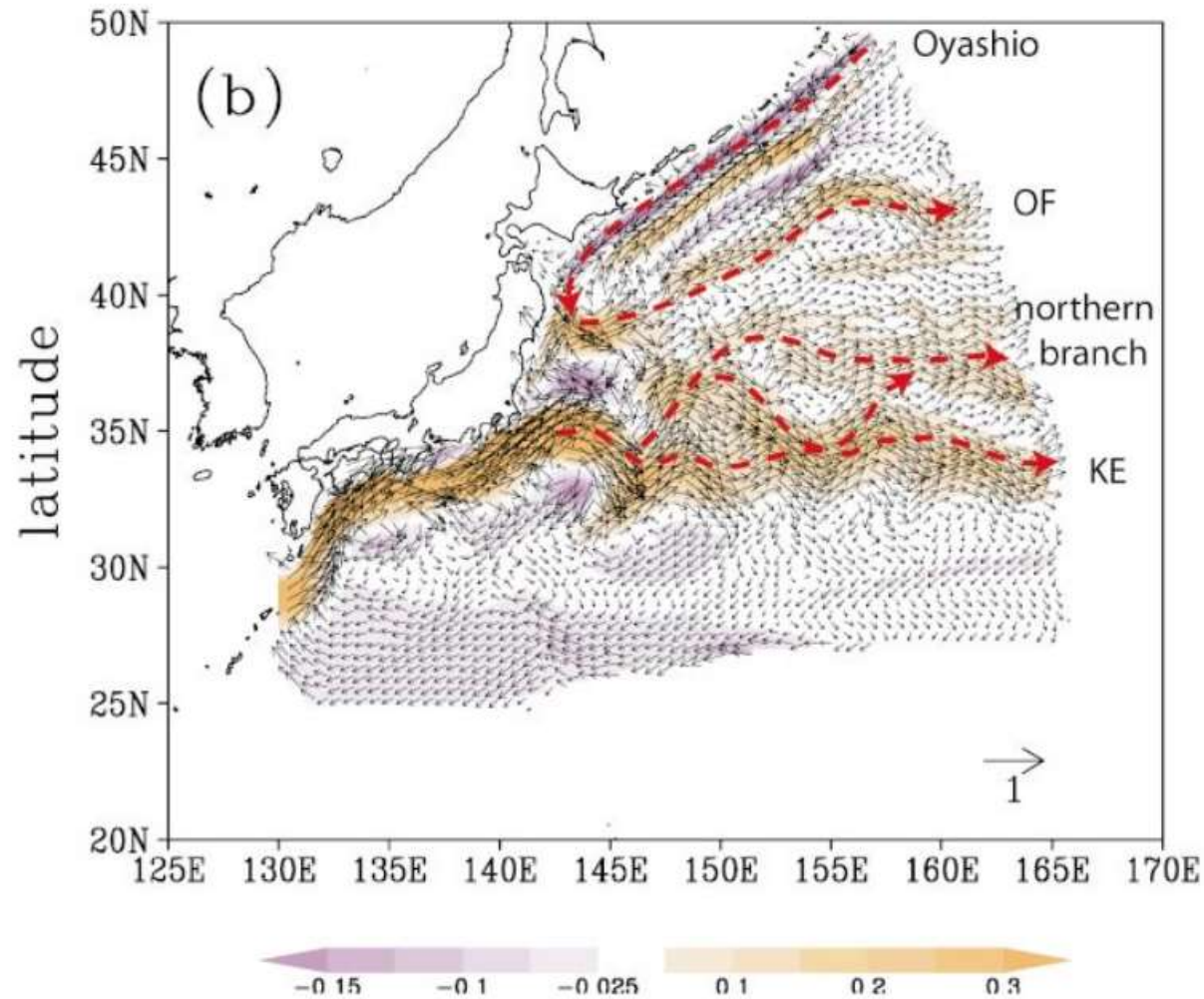


Fig. 1 :Climatologie du champ de circulation de surface

- **Kuroshio:** Courant chaud, salé, subtropical et très énergétique
- **Oyashio:** Courant Froid, peu salé et subpolaire
- **Rencontre des deux courant** → Fort gradient de température et densité
- **Zone de mélange:** Mixed Water Region

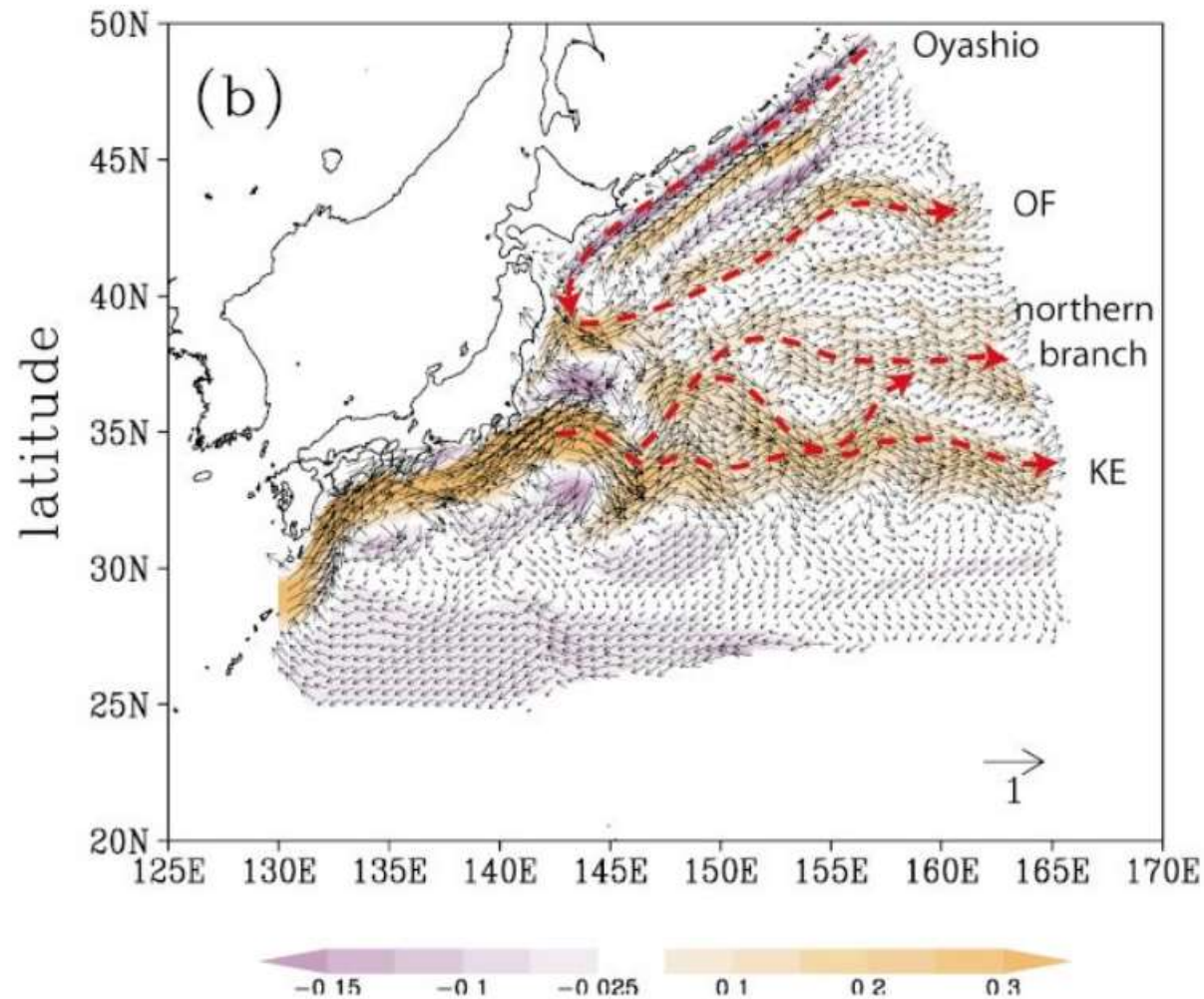


Fig. 1 :Climatologie du champ de circulation de surface

- Région très **instable**
- Formation de nombreux **tourbillons** (méso échelle)
- Tourbillons **chauds** (origine Kuroshio)
- Tourbillons **froids** (origine Oyashio)
- Utilisation du modèle **CROCO** (basé sur ROMS-AGRIF) pour cette étude

Objectifs

- Simuler la circulation dans la zone de confluence.
- Analyser les structures thermiques et dynamiques.
- Étudier les gradients et les tourbillons.
- Comparer les résultats aux observations.

Étude de référence

Humio Mitsudera et al. "Numerical study on the Oyashio water pathways in the Kuroshio–Oyashio confluence". In : Journal of physical oceanography 34.5 (2004), p. 1174-1196.

Cas d'étude :

- Confluence entre le Kuroshio et l'Oyashio

Domaine d'étude:

- 32°N-42°N, 139°E-154°E

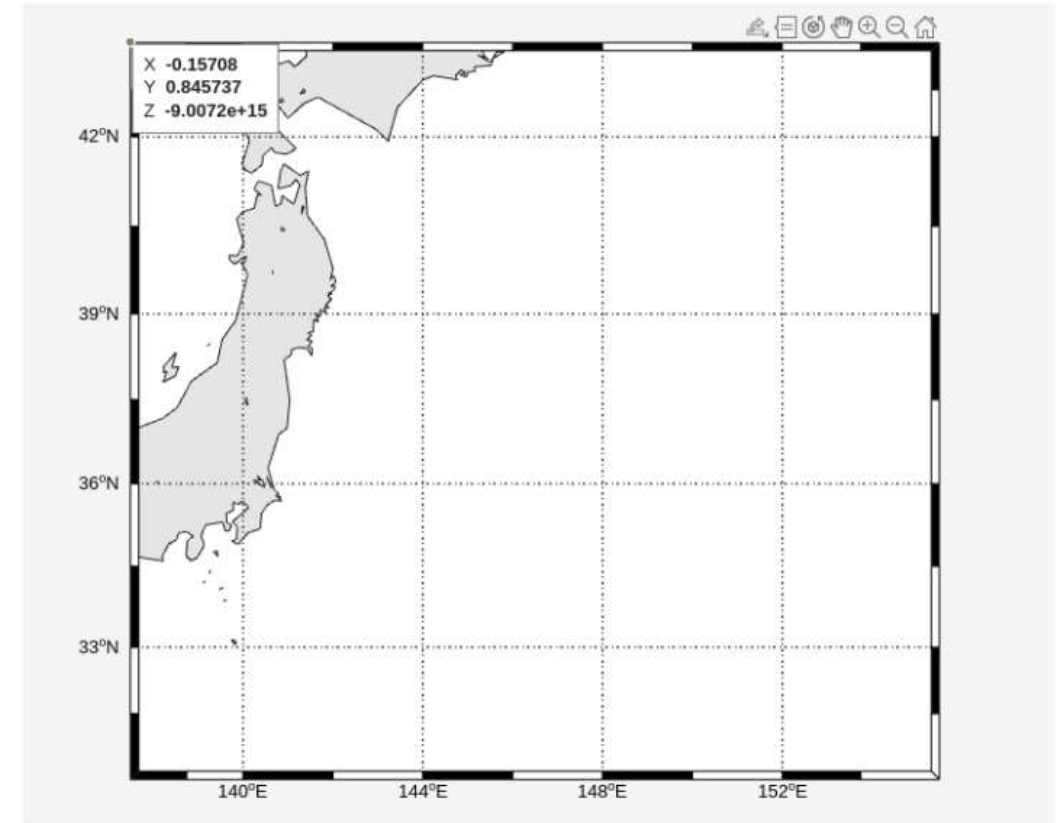


Fig. 2: Situation géographique de la zone

Modèle CROCO



- Modèle océanique regional 3D
- Développé par des instituts de recherches
- Résout les équations primitives.

→ Résolution des équations:

Mouvement (Navier stockes) +
conservation de la chaleur, du sel,
de la masse + éq. d'état de l'eau de mer

$$\frac{\partial u}{\partial t} + (\vec{U} \cdot \vec{\nabla})u = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial x} + fv + A_H \nabla_H^2 u + A_Z \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + (\vec{U} \cdot \vec{\nabla})v = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial y} - fu + A_H \nabla_H^2 v + A_Z \frac{\partial^2 v}{\partial z^2}$$

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

$$\frac{\partial T}{\partial t} + (\vec{U} \cdot \vec{\nabla})T = A_H \nabla_H^2 T + A_Z \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{Q_c}{\rho C_p} \frac{\partial I}{\partial z}$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + (\vec{U} \cdot \vec{\nabla})S = A_H \nabla_H^2 S + A_Z \frac{\partial^2 S}{\partial z^2}$$

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

Les équations primitives et de conservation

Hypothèses et approximations

L'hypothèse hydrostatique: implique que sur la verticale, les forces de gravité et de pression sont prépondérantes par rapport aux autres forces.

L'approximation de Boussinesq : $\rho = \rho_0 + \rho'(x, y, z, t)$

L'hypothèse d'incompressibilité, qui suppose que la masse d'eau, au cours de son trajet le long des lignes de courant, conserve sa masse volumique. ρ constant

L'hypothèse de la fermeture Newtonienne de la turbulence.

Plan f : le paramètre de Coriolis f est constant

Sources et bases de données

Trois principales bases de données ont été utilisées afin d'initialiser le système:

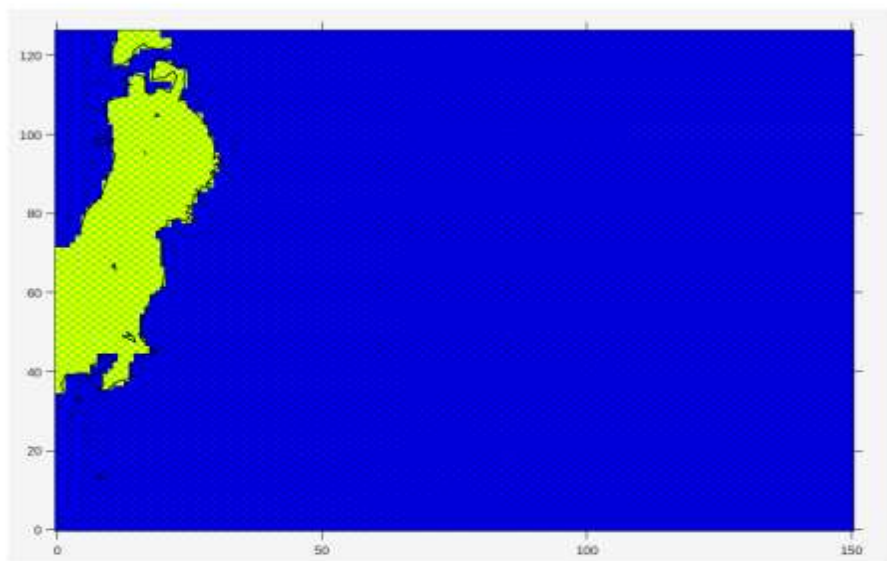
- 1) **COADS** : Il regroupe des données marines de surface couvrant les trois derniers siècles (Température, précipitations, vent)
- 2) **WOA09** : Température in situ, salinité
- 3) **TOPO**: Bathymétrie

Discrétisation numérique, conditions de stabilité

- Création de la grille: **exécution de la commande make-grid**

TABLE 1 – Paramètres de la grille de calcul

Résolution	LLm	MMm	dxmin	dxmax	dymin	dymax	N-sigma
1/10°	149	125	8.2538	9.4246	8.2683	9.4202	32



Domaine d'étude:

- 32°N-42°N, 139°E-154°E

Résolution:

1/5°, 1/10 °, 32 niveaux verticaux

- Les frontières sont ouvertes **[1,1,1,1]**

Fig.3 : La grille de la zone d'étude

Paramètres du modèle

TABLE 2 – Paramètres temporels associés au modèle

dt	NDTFAST	NTIMES	NRST	NAVG	NWRT
720	60	3600	3600	360	360

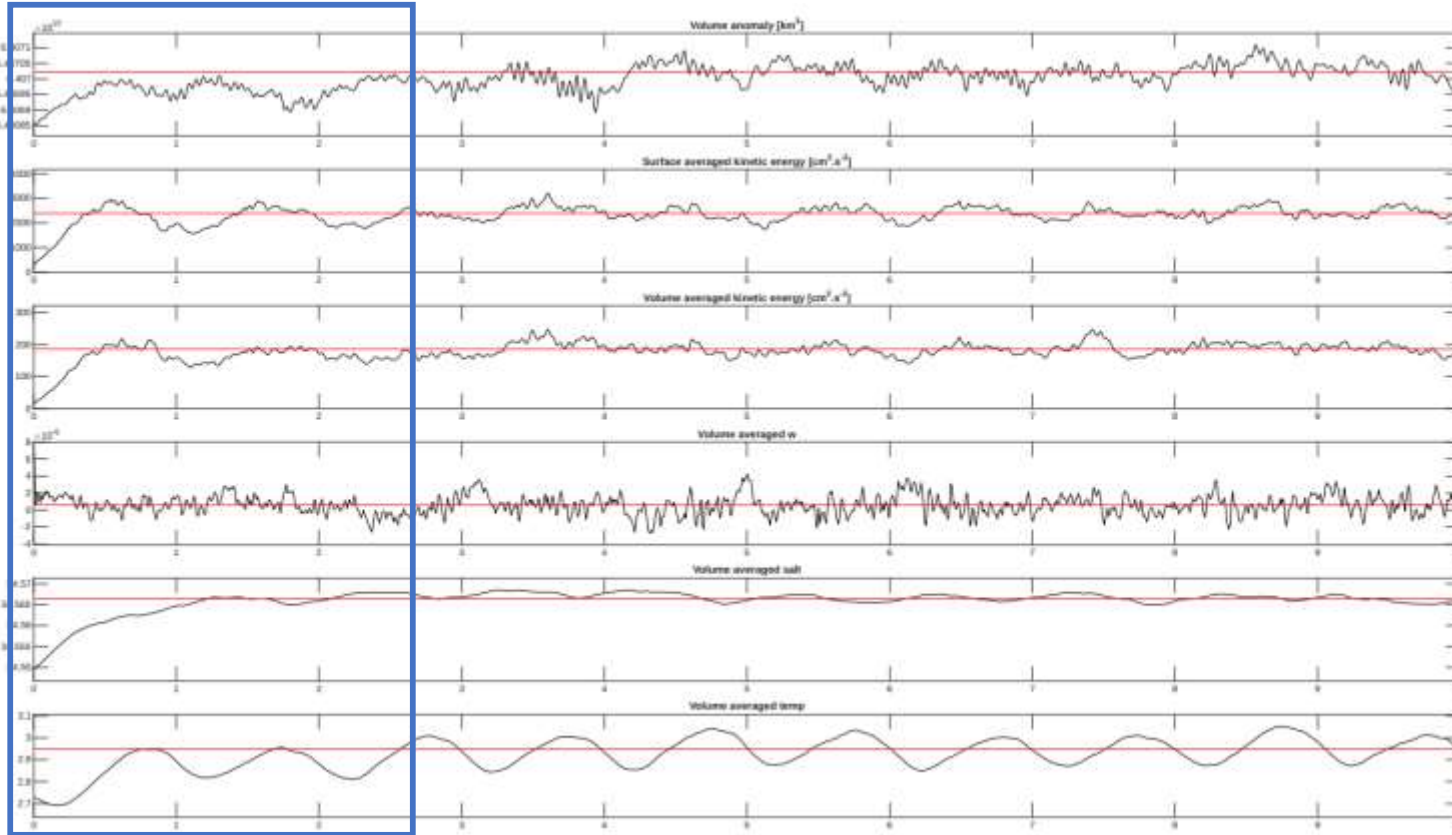
→ ad_cfl

La méthode du time-splitting : gagner en stabilité et en efficacité de calcul:

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

Le pas de temps externe résout les équations 2D de surface libre, capture les ondes rapides et respecte la condition CFL.

Diagnostiques : vérification de la stabilité du modèle



Spin-up:

Modèle à l'état d'équilibre

Fig. 2 : Diagnostiques effectuées par croco_diags sur notre modèle

- Vérification de la stabilité du modèle avec **croco_diags**
- **Stabilité:** à partir de la 3ème année
- Période d'exploitation fiable : années 3 à 10 de la simulation.

Trajectoire

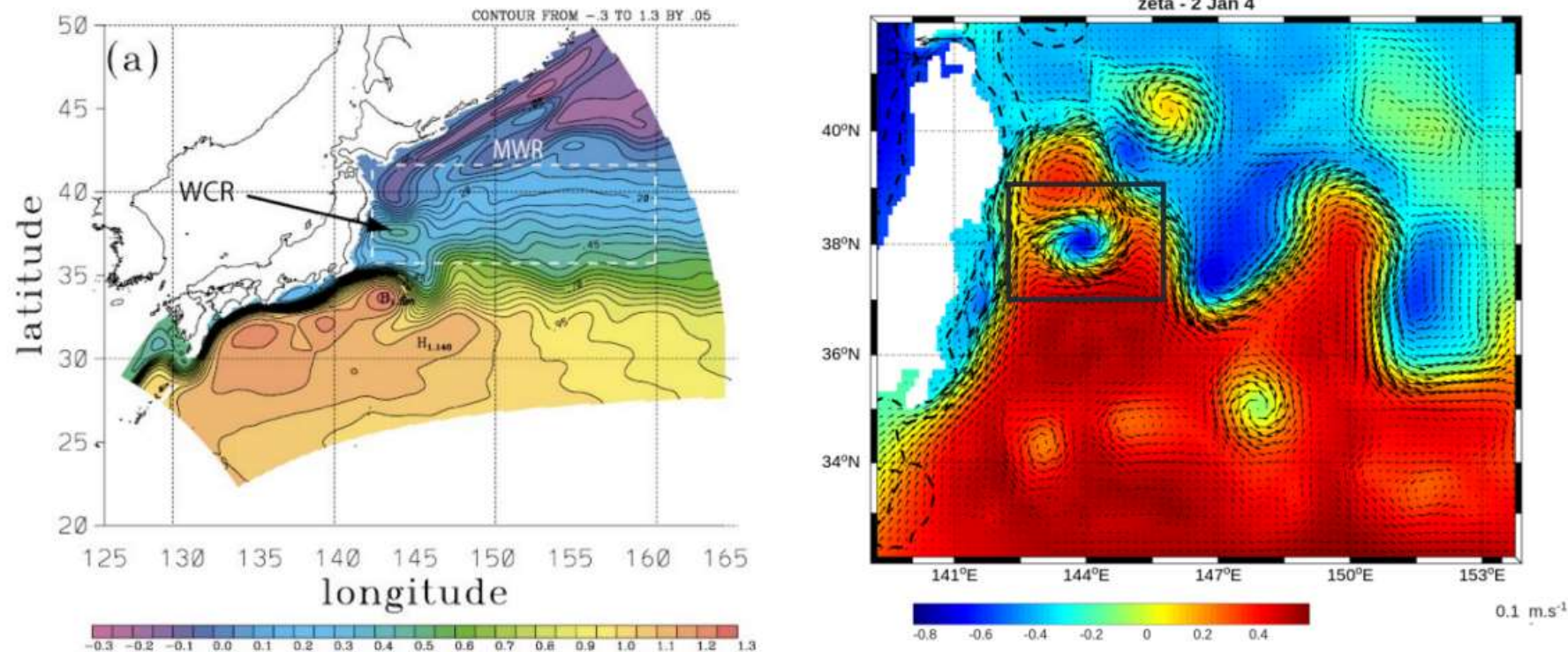


Fig.4: Climatologie de la hauteur de surface (SSH) moyennée de modélisation , (a) Résultat de (Mitsudera H et al. 2004

- Reproduction des deux courants (Oyashio et Kuroshio)
- Confluence bien marquée

Dynamique:

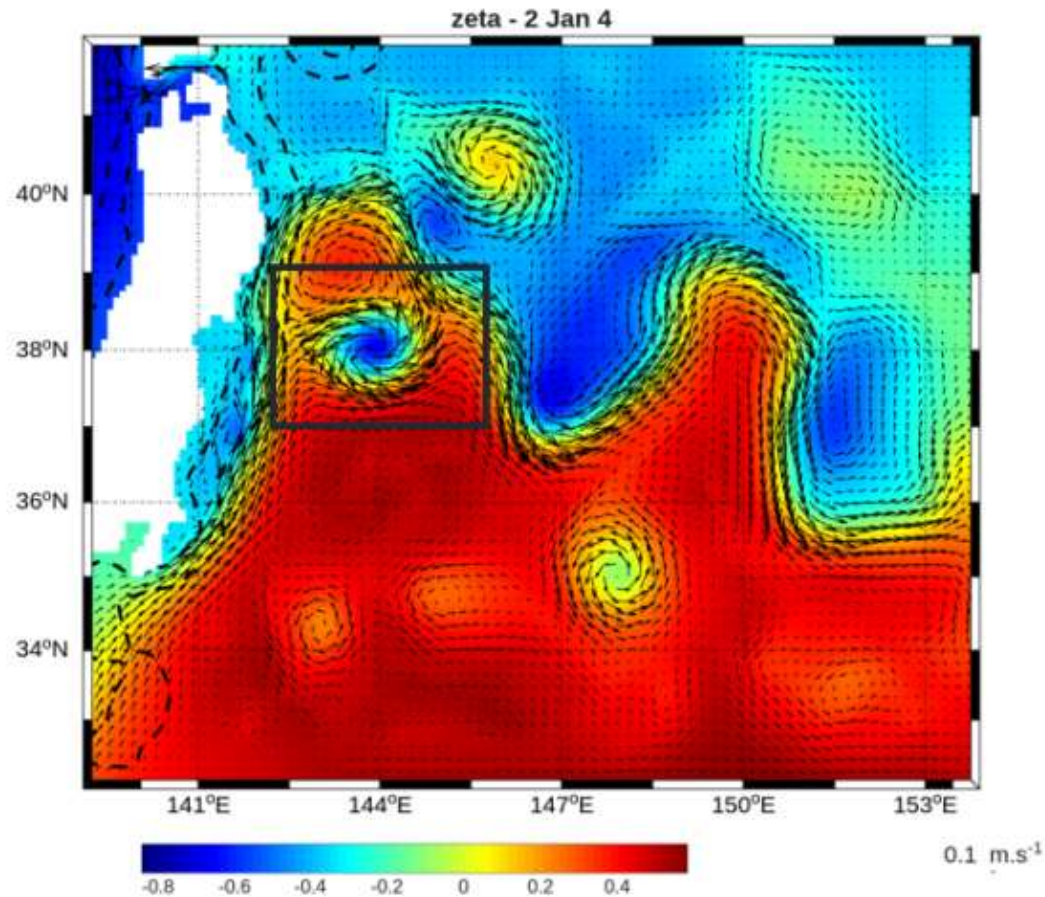


Fig.5: Résultat de la simulation de la confluence des deux courants avec CROCO

- Une activité tourbillonnaire importante est observée.
- Structures de méso-échelle
- Elles sont liées aux instabilités baroclines.
- Elles favorisent le mélange des masses d'eau.

Température:

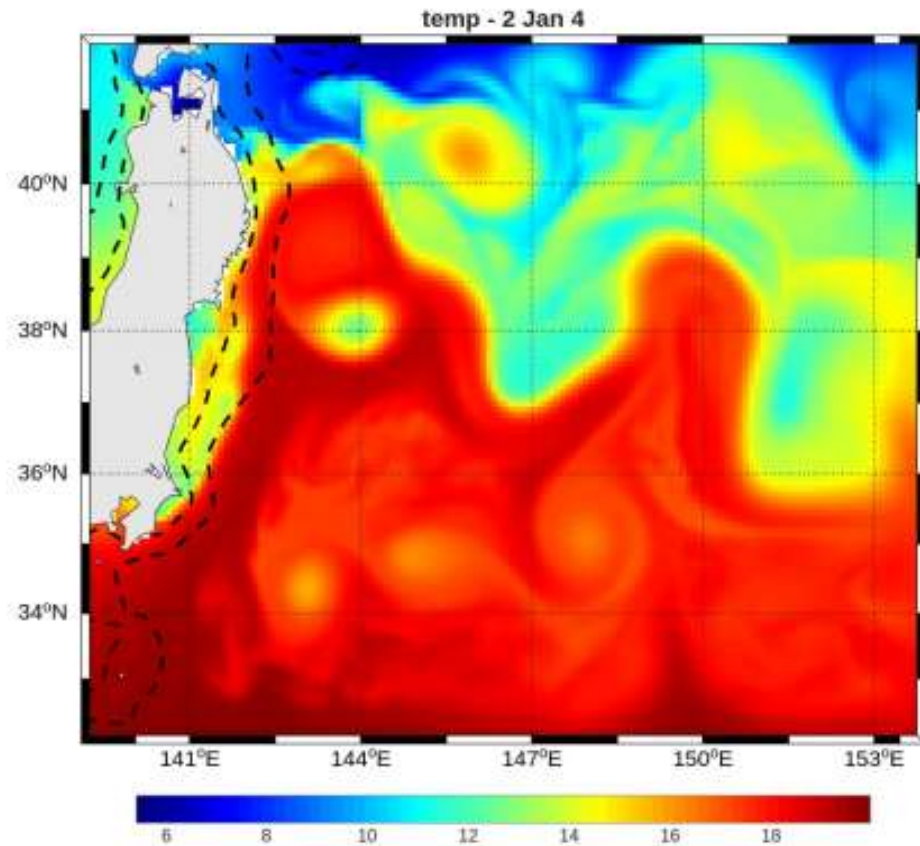


Fig.6: Température de surface SST

- Différence de température.
- Interaction entre masse d'eau chaude et froide

Comparaisons

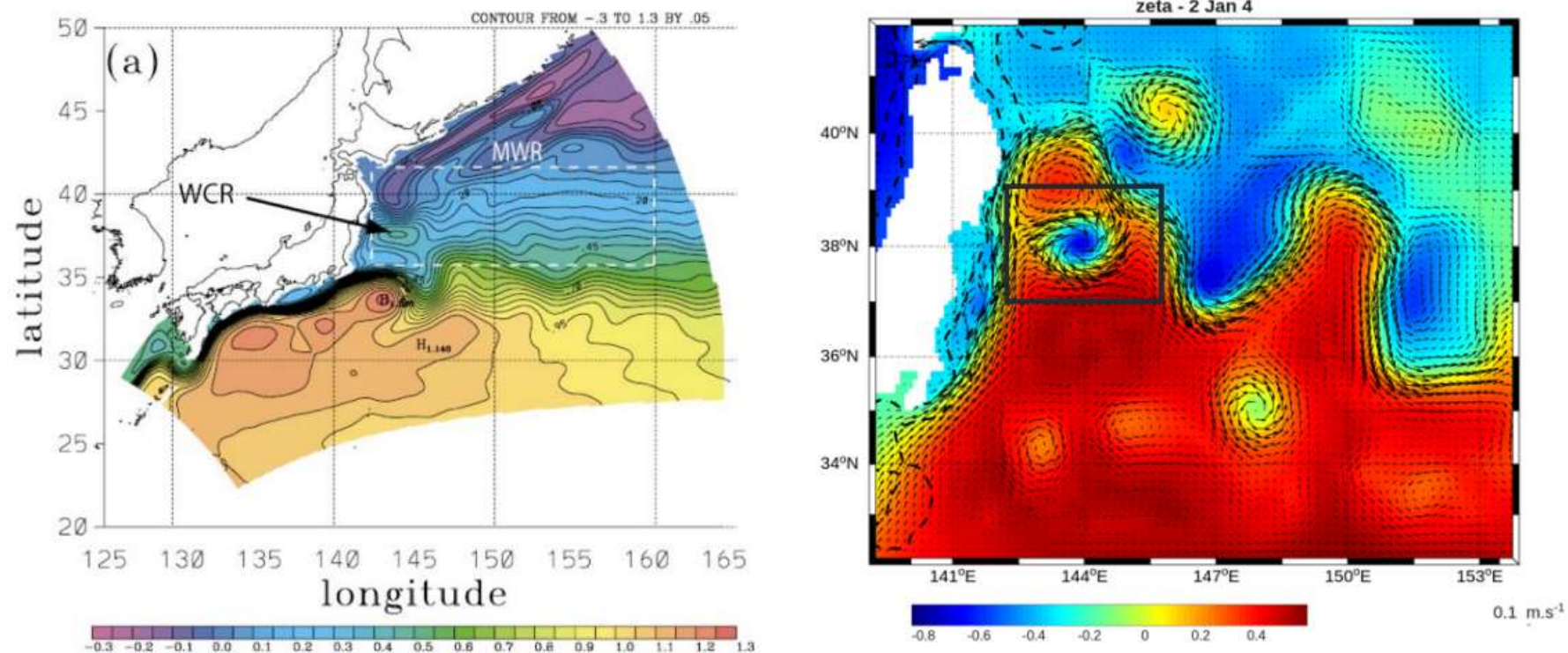


Fig.4 : Climatologie de la hauteur de surface (SSH) moyennée de modélisation , (a) Résultat de (Mitsudera H et al. 2004, (b) Résultat de la simulation de la confluence des deux courants avec CROCO

- Déplacement vers le Nord du Kuroshio

Conclusion et limites

- Bonne représentation générale de la confluence Kuroshio / Oyashio
- Contraste des masses d'eau
- Présence de tourbillons
- Kuroshio trop diffus
- Jet principal peu structuré

Contraintes

- La résolution élevée augmente le temps de calcul.
- La taille du domaine est limitée.
- Certaines étapes numériques sont coûteuses (temps de calcul).

Améliorations possibles

- Augmentation résolution spatiale
- Meilleure représentation méso-échelle
- Intégration Okinawa / Kyushu
- Sensibilité conditions aux limites

Références:

- Zhao Jing et al. "Mesoscale SST dynamics in the Kuroshio–Oyashio extension region". In : Journal of Physical Oceanography 49.5 (2019), p. 1339-1352.
- Humio Mitsudera et al. "Numerical study on the Oyashio water pathways in the Kuroshio–Oyashio confluence". In : Journal of physical oceanography 34.5 (2004), p. 1174-1196.