

An aerial photograph of the ocean with white-capped waves. The sky is a mix of pale yellow and light blue, suggesting a sunset or sunrise. The text is overlaid on the upper half of the image.

MODELISATION DE LA CIRCULATION OCEANIQUE AUTOUR DES ÎLES D'HAWAII

I- INTRODUCTION

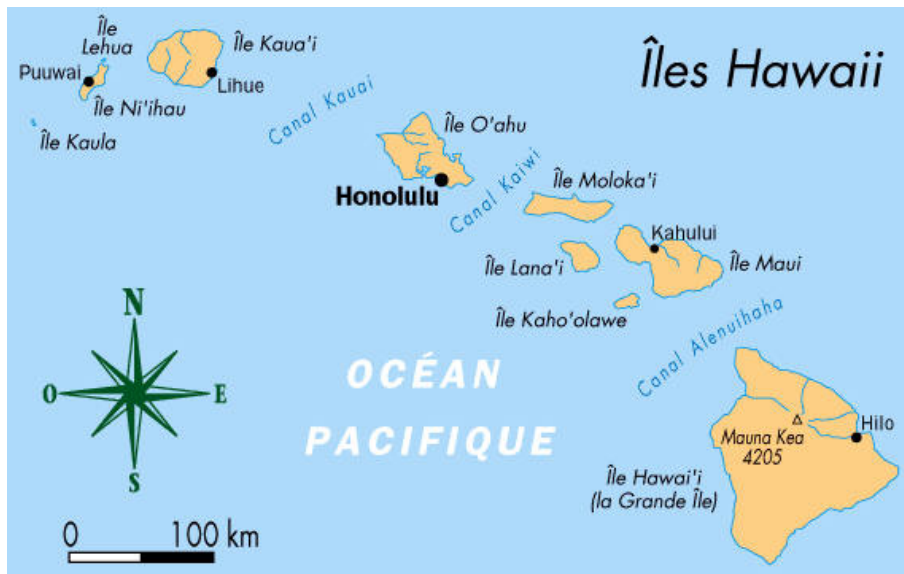
—→ Utilisation du modèle ROMS

—→ Dynamique complexe

—→ OBJECTIFS :

- Analyse du climat + Circulation océanique
→ Etude des variations de température
et de salinité
- Modélisation du tourbillon cyclonique OPAL

→ Caractéristiques de la zone d'étude



- Longitude : $154^{\circ}40'$ - $162^{\circ}W$
Latitude : $16^{\circ}55'$ – $23^{\circ}N$
- Plus longue chaîne d'île au monde (2451 km de long)
- Topographie élevée
- Climat de type tropical

II- Modèle ROMS

- **Equations résolues par le modèle**
- **Discrétisation des équations**
- **Données**
- **Implémentation du modèle pour l'archipel d'Hawaii**

→ Equations résolues par le modèle

$$\left| \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + U \cdot \nabla u - fv &= -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial x} + A_h \nabla_h^2 u + A_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \end{aligned} \right.$$

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

$$\left| \begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + U \cdot \nabla v + fu &= -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial y} + A_h \nabla_h^2 v + A_v \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \end{aligned} \right.$$

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

$$\left| \begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial t} + U \cdot \nabla T &= K_h \nabla_h^2 T + K_v \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \end{aligned} \right.$$

$$\left| \begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial t} + U \cdot \nabla S &= K_h \nabla_h^2 S + K_v \frac{\partial^2 S}{\partial z^2} \end{aligned} \right.$$

Système de 5 équations

+ Equations de fermeture

+ Conditions aux frontières

+ Conditions aux limites

= Système d'équations fermées

→ **Discrétisation des équations**

- **Discrétisation spatiale :**

Grille Arakawa C sur l'horizontale

Grille sigma sur la verticale

- **Discrétisation temporelle :**

Séparation du pas de temps (Time splitting)

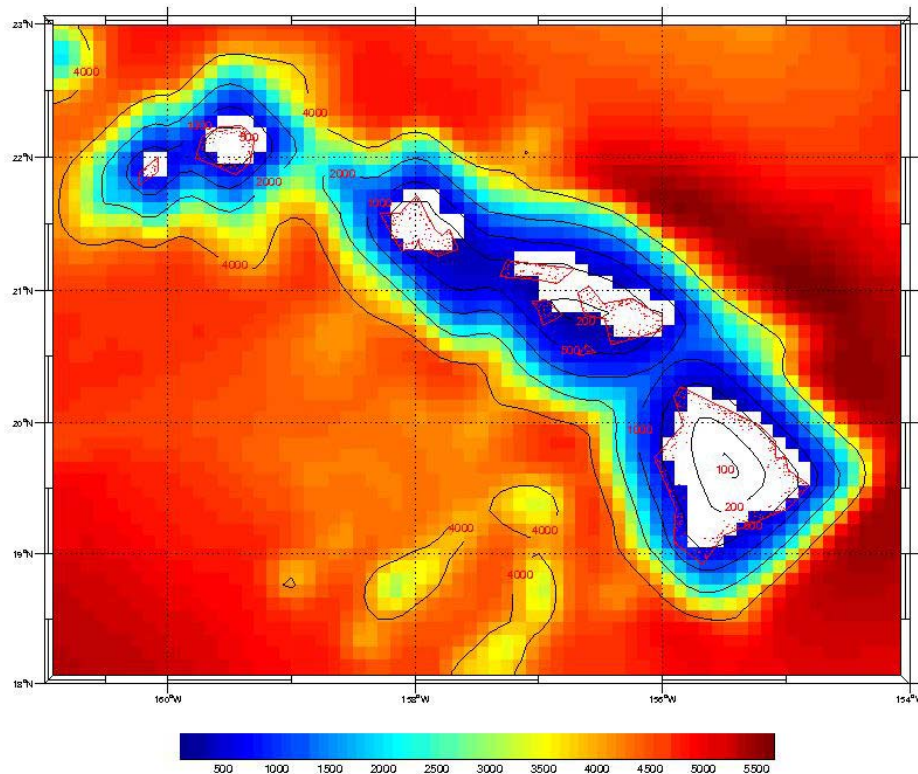
- **Critère de stabilité du type CFL (Courant-Friedrichs-Levy)**

→ **Les données**

- **COADS : Données de forçage en surface**

- **WOA : Données de température et de Salinité**

→ Implémentation du modèle



- Construction de la grille :

Lonmin=154°W - Lonmax=161°W

Latmin=18°N – Latmax=23°N

Frontières ouvertes : Nord, Sud, Est, Ouest

Résolution : $dl=1/10^\circ$

Script *make_grid.m* → Figure de la bathymétrie + paramètres de la grille

L=70, M=54, N=32

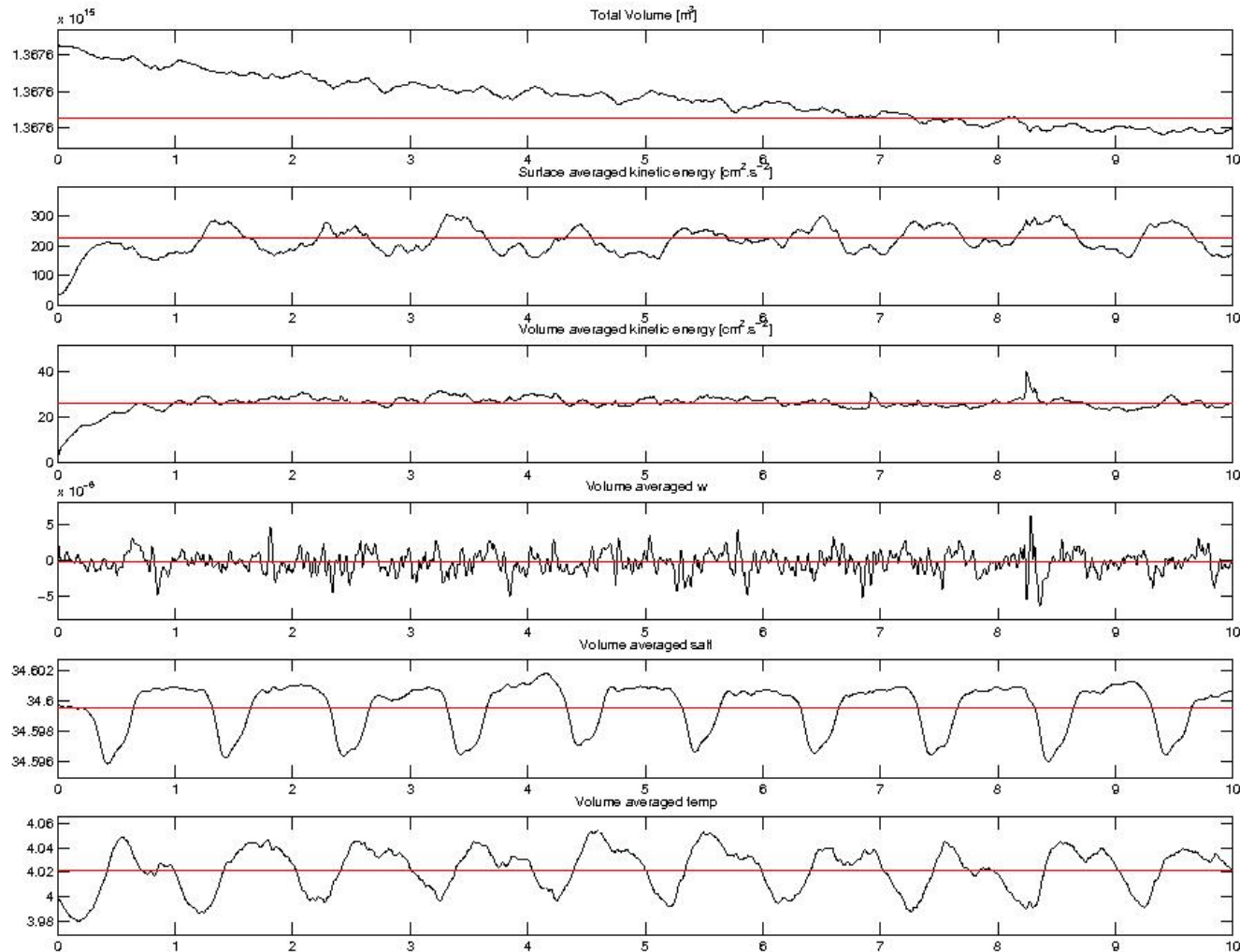
- Mise en place des forçages et des conditions initiales :

Script *make_forcing.m* et *make_clim.m*

- Calcul du pas de temps interne et externe

Script *ad_cfl.m* → $\Delta t_i=720s$, $\Delta t_e=12s$

- Diagnostic du modèle :



III- RESULTATS

→ Etude saisonnière de T et S

Climat tropical Hawaïen

Circulation océanique régional

→ Modélisation du tourbillon Opal

Mécanisme de formation de ce tourbillon

Simulations effectuées

Comparaison des résultats avec une publication

→ Etude saisonnière de T et S

- **Caractéristiques du climat Hawaïen**

Température douce toute l'année

Humidité modérée

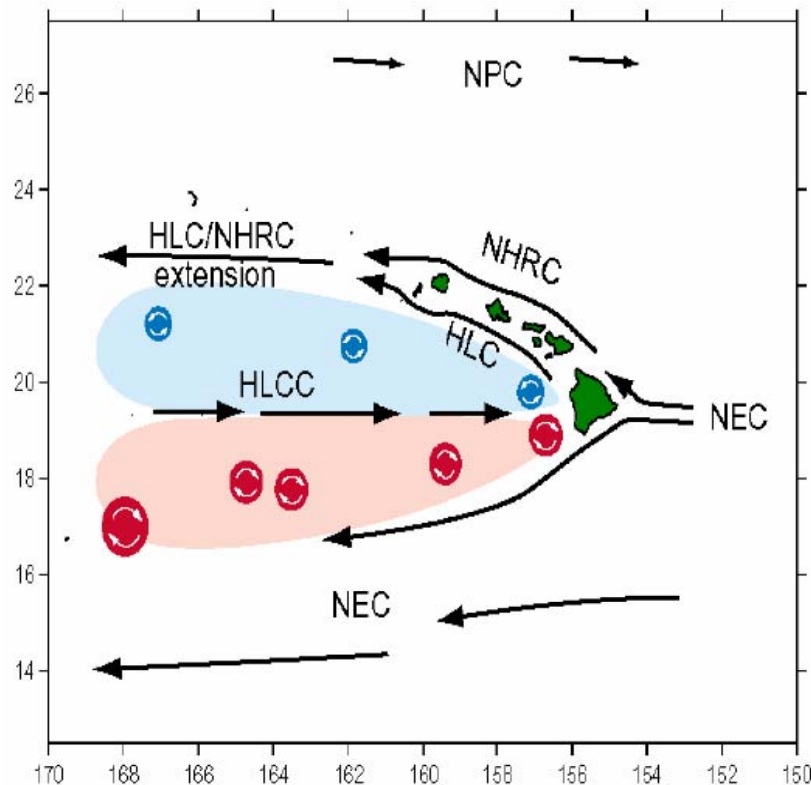
→ Variation temporelle du climat faible

Présence persistante de l'Alizée du Nord

Séparation climatique entre la côte Est (au vent) et la côte Ouest (sous le vent)

→ Variation spatiale du climat importante

- **Circulation océanique régionale**



Lumpkin (1998)

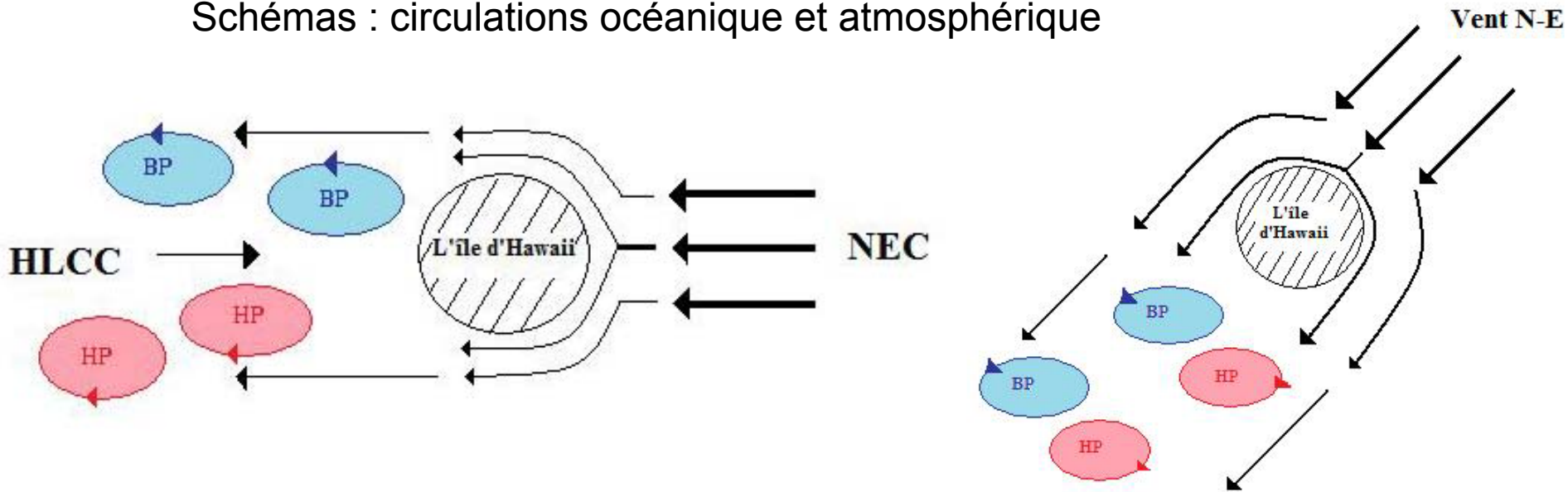
➤ **Séparation du NEC au niveau de l'île d'Hawaii**

➤ **Séparation du flux atmosphérique identique**

Présence d'île → Perturbation des circulations atmosphérique et océanique

➤ Mécanisme de formation de ces tourbillons

Schémas : circulations océanique et atmosphérique



Comparaison avec l'écoulement d'un fluide laminaire avec un nombre de Reynolds élevé au niveau d'un obstacle fixe

$$Re = \frac{U \cdot d}{\nu}$$

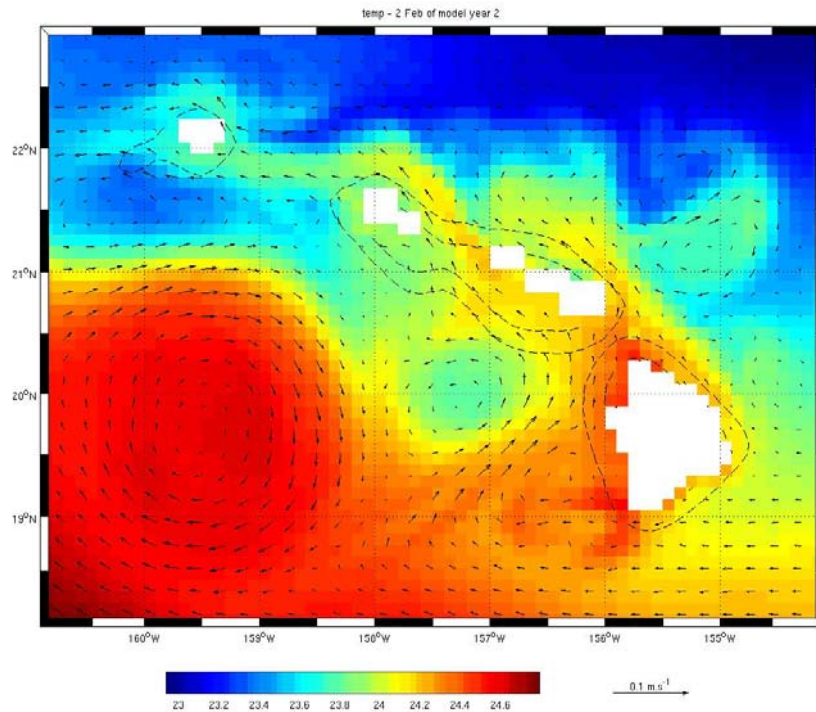
U: Vitesse du courant Nord equatorial (m/s)

d: diamètre l'île d'Hawaii (m)

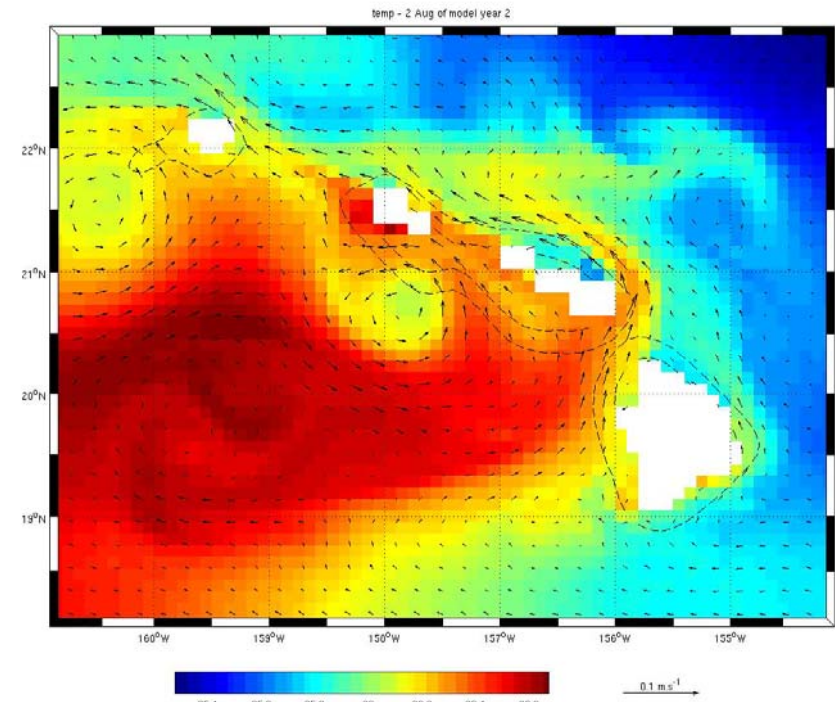
ν: Viscosité turbulente (m²/s)

$$Re = \frac{3 \cdot 10^{-1} * 10^5}{10^{-2}} = 3 \cdot 10^2$$

- Evolution de la température



Température de surface au mois de Février



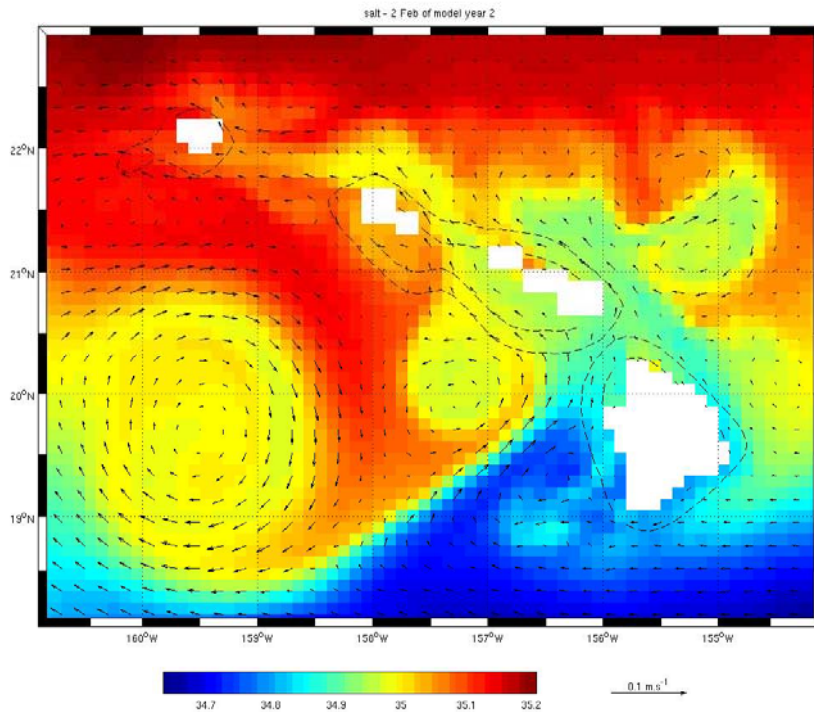
Température de surface au mois d'Aout

Variations saisonnières : $23 < T < 24,7^{\circ}\text{C}$ (février) $25,3 < T < 26,6^{\circ}\text{C}$ (aout)

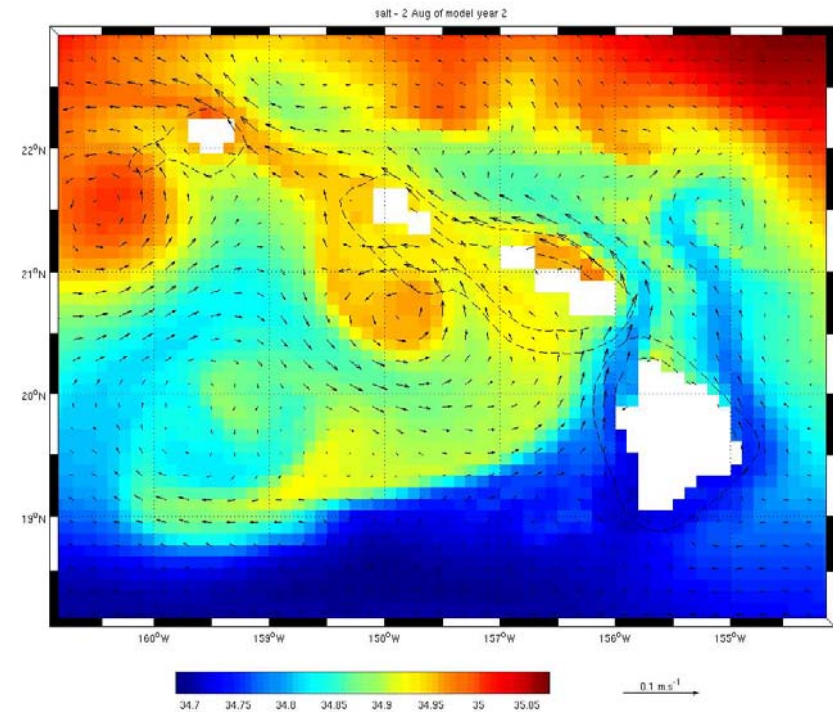
**Variations spatiales entre les eaux bordant le versant au vent et sous le vent :
Différence de 1°C**

Influence des tourbillons cycloniques et anticycloniques

- Evolution de la salinité



Salinité de surface au mois de Février



Salinité de surface au mois d'Aout

Variations saisonnières : $34,7 < S < 35,1$ (février/aout)

Diminution Alysée Nord l'été → augmentation de la pluviométrie

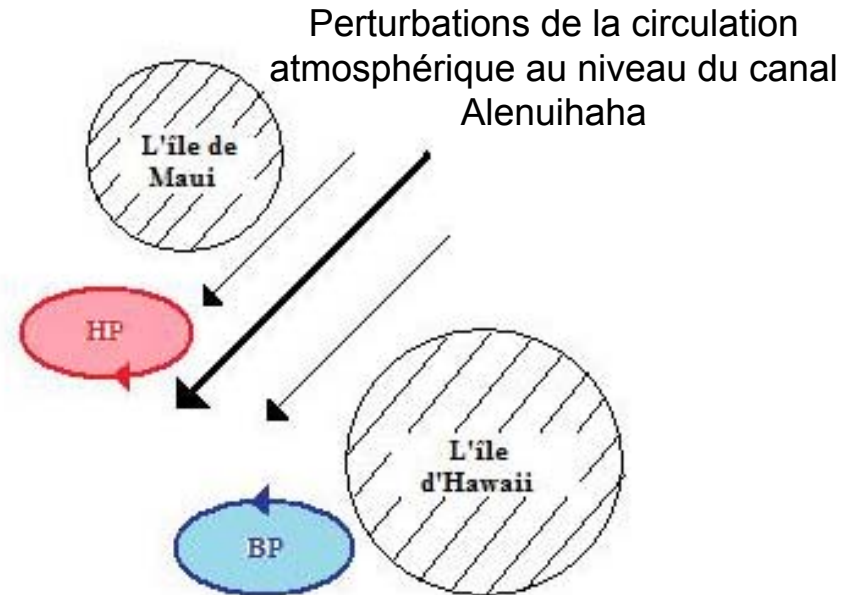
Variation spatiale entre les eaux bordant la ville d'Hilo (=35) et la ville d'Honolulu (=34,8)

Influence des tourbillons

→ Modélisation du tourbillon Opal

• Mécanisme de formation de tourbillon

- **Accélération du vent → instabilités**
- **Vent+Effet de Coriolis → Transport des eaux de surface → phénomènes de divergence et de convergence (Théorie d'Ekman)**



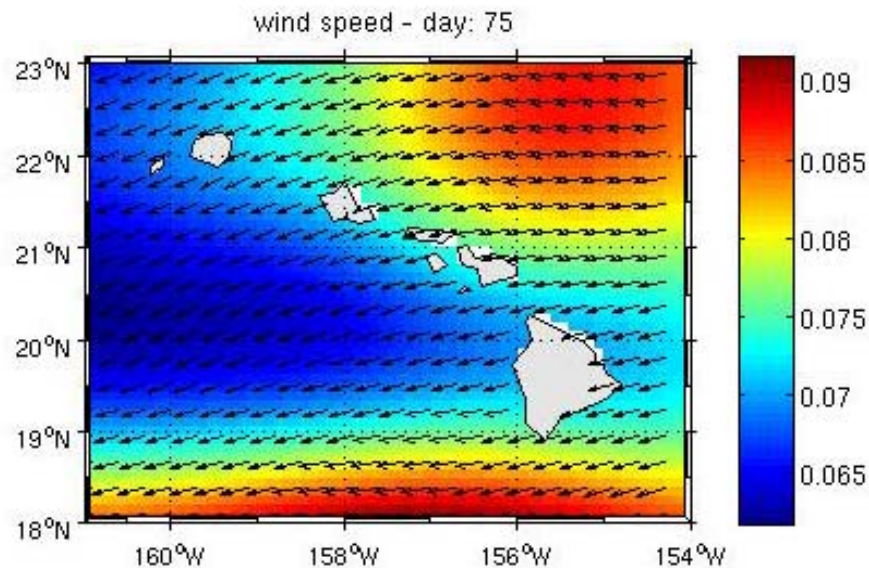
- **Mécanisme de formation de tourbillon autour d'îles : Accélération du vent lors de son passage entre deux îles accolées (Smith & al., 1993)**
- **Le tourbillon cyclonique OPAL est généré pendant des conditions de fortes et persistantes rafales de vent du Nord-est accélérées au niveau du canal Alenuihaha (Dickey & al., 2008)**

- **Simulations effectuées**

1- Implémentation du modèle décrite précédemment

Données de forçage du modèle : COADS

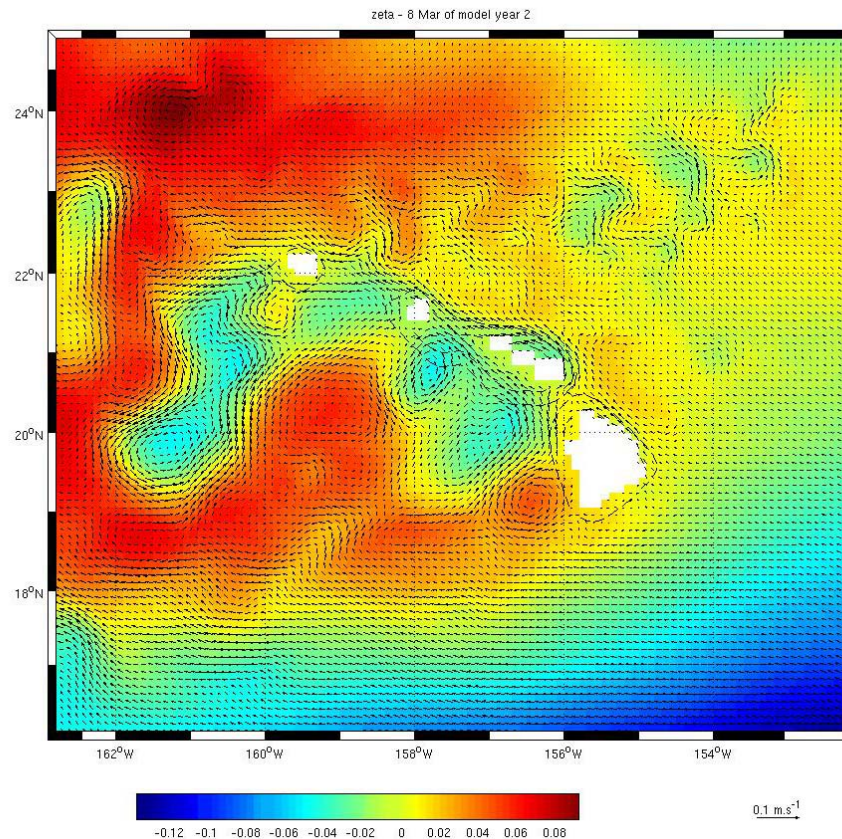
Analyse des vecteurs et vitesse du vent au mois de Mars



Aucune amplification du vent à la sortie du canal d'Alenuihaha

2- Domaine de simulation plus grand

Analyse des vecteurs et vitesse du vent → Aucune amplification



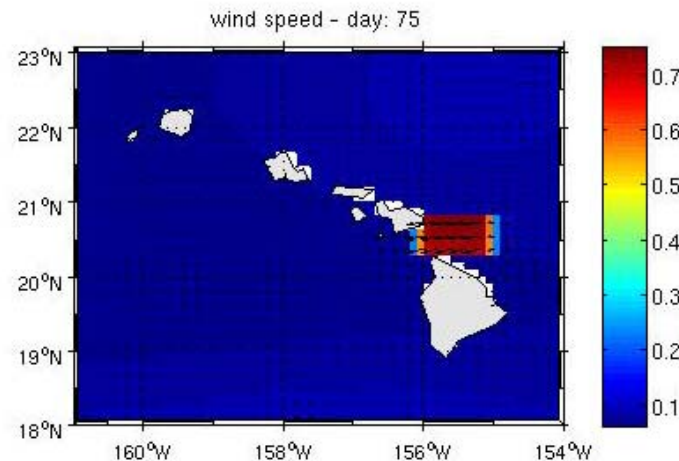
Analyse des vecteurs du courant et du champ d'élévation la 8 Mars

→ Circulation océanique régionale (Lumpkin, 1998)

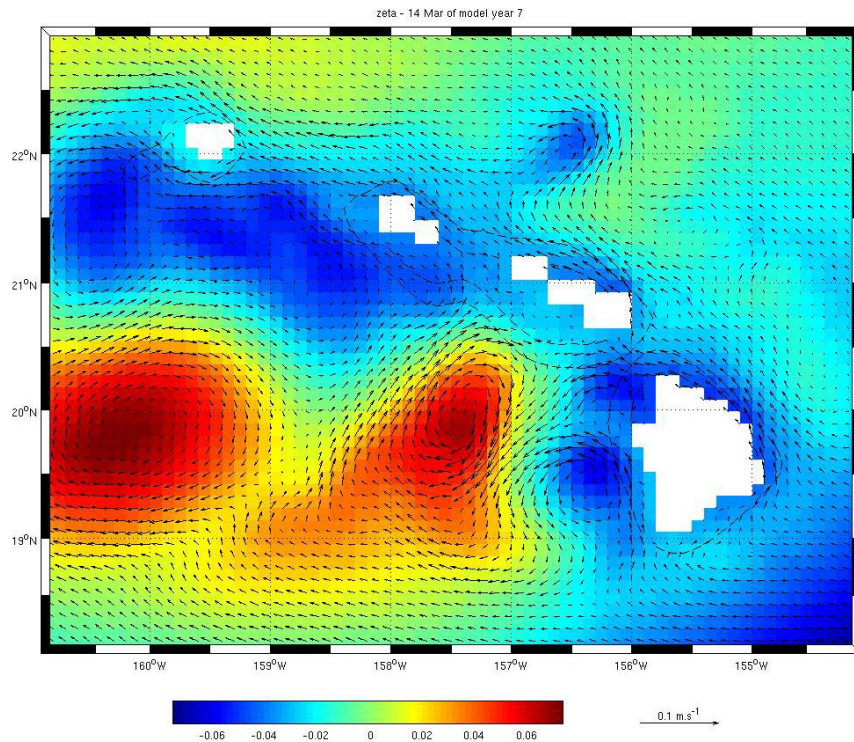
3- Deuxième base de données existe pour les forçages en surface = QuikSCAT

Utilisation QuikSCAT → Formation d'un tourbillon cyclonique mais avec des caractéristiques physiques beaucoup plus faibles qu'en réalité (Calil & al., 2008)

4- Modification du script *make_forcing.m* → impose une augmentation du vent dans le canal d'Alenuihaha



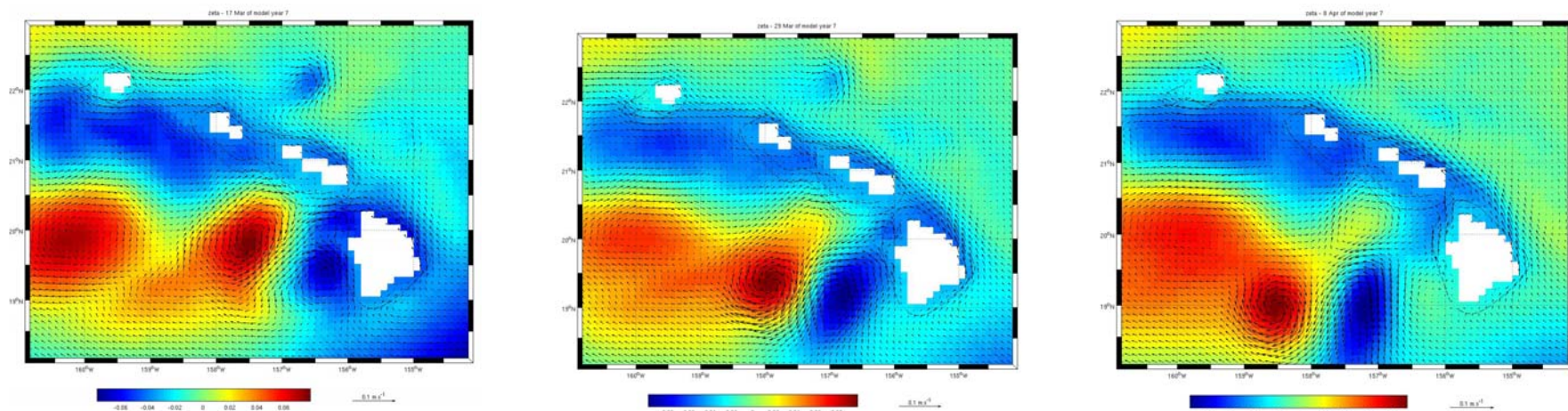
Visualisation du résultat



**Analyse du champ
d'élévation en surface le 14
Mars → Formation du
tourbillon cyclonique OPAL**

- Comparaison avec des résultats issues de la publication de Dickley & al. (2008)

➤ Comparaison de la trajectoire du cyclone



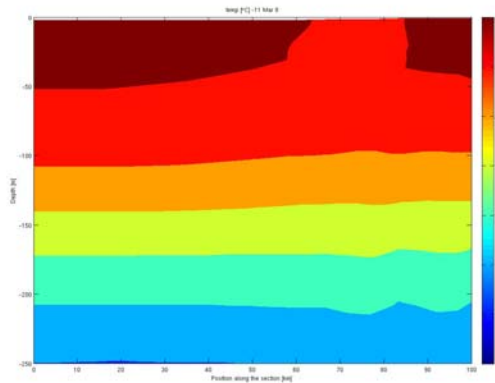
Champ d'élévation le 17/03/07, le 29/03/07, le 08/04/07

Déplacement vers le Sud ensuite vers l'ouest

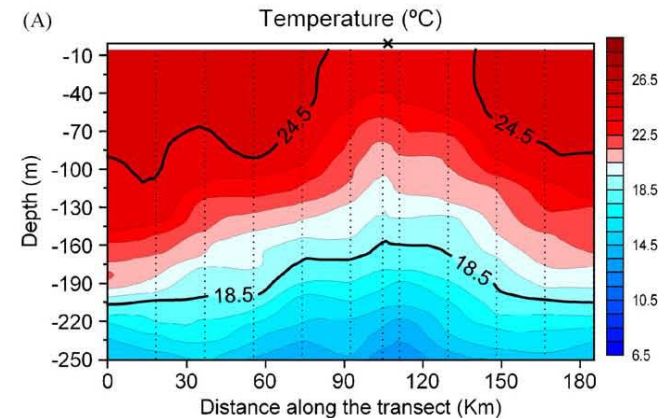
Dans la publication : Déplacement du cyclone OPAL vers le sud et ensuite vers l'est.

➔ Propagation des tourbillons problématique

➤ Comparaison d'un profil vertical en fonction de la température



Profil issu de les données de ROMS

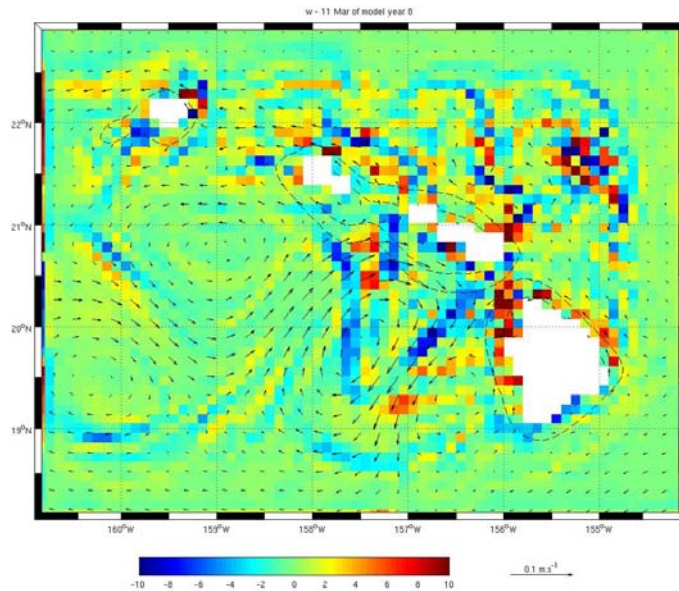


Profil issu de la publication

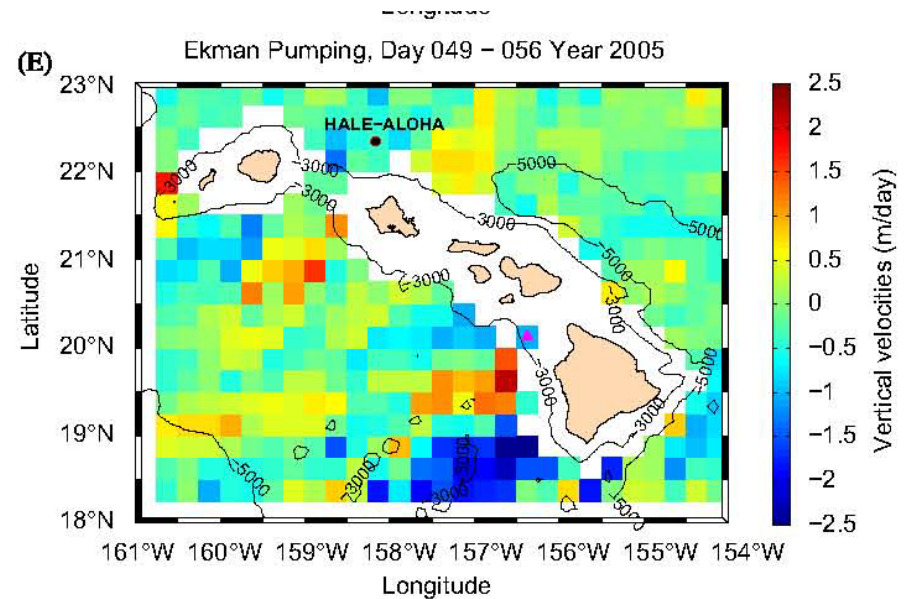
Différence : Remontée des isothermes

Similitude : 'Outcropping' d'une isotherme

➤ Comparaison de la composante verticale de la vitesse du courant



Résultat simulé par ROMS



Résultat issu de la publication

Zones d'upwelling → $w = +2,5$ m/jour

Zone de downwelling → $w = -2,5$ m/j

IV- CONCLUSION

- Ile d'Hawaii → Rôle important dans la circulation océanique et atmosphérique → Formation de tourbillons cycloniques et anticycloniques
- Tourbillon + Alysée Nord → Variations locales de la température et de la salinité des eaux
- Les structures du vent à méso-échelle doivent être incluses dans le forçage des modèles océaniques
- Résultats difficiles à généraliser → Perturbations locales des flux dues à la présence de ces îles
- Mêmes perturbations observées aux îles Canaries et aux îles du Cap-Vert