

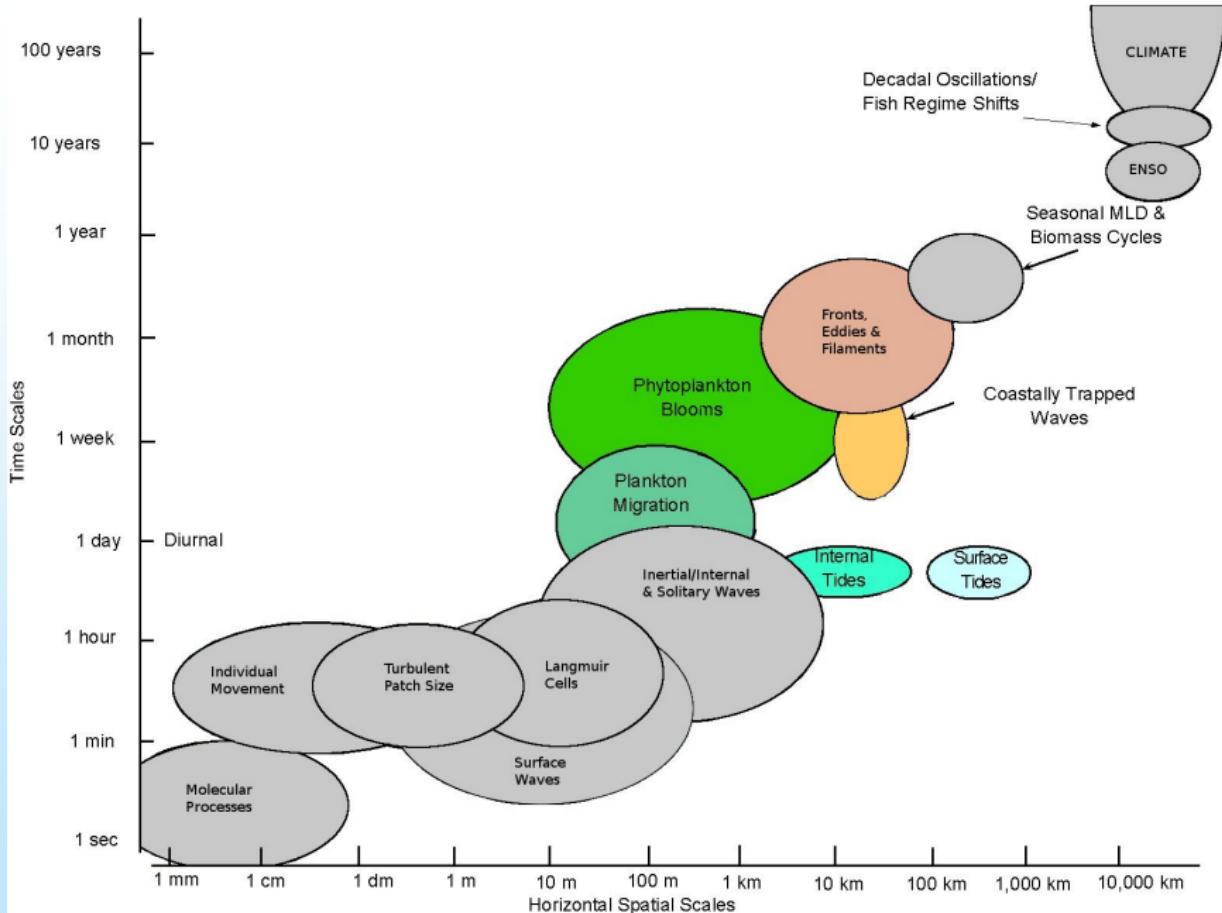
# Inversion des images à haute-résolution pour le contrôle de la dynamique à plus large échelle provenant de l'altimétrie

Lucile Gaultier, Jacques Verron, Pierre Brasseur, Jean-Michel Brankart

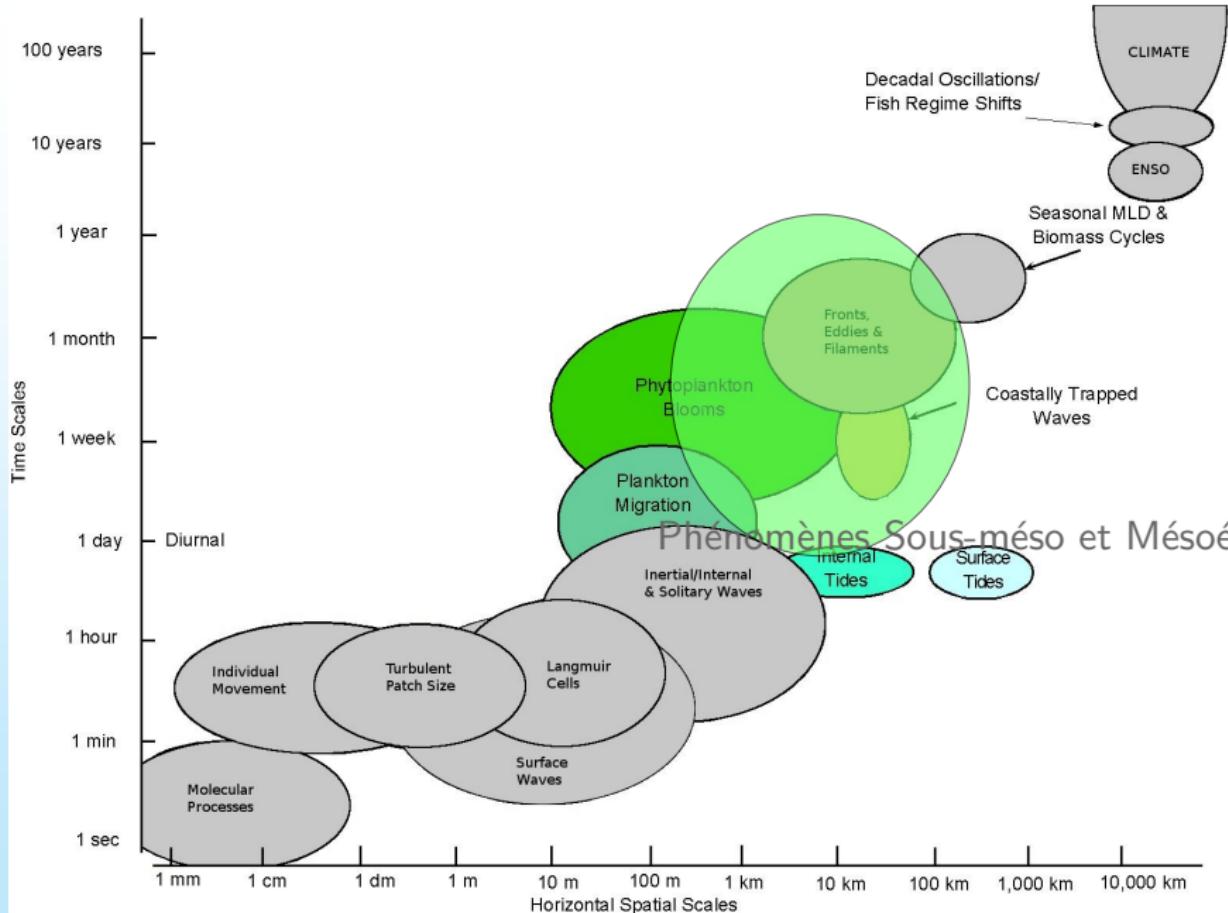
5 décembre 2011



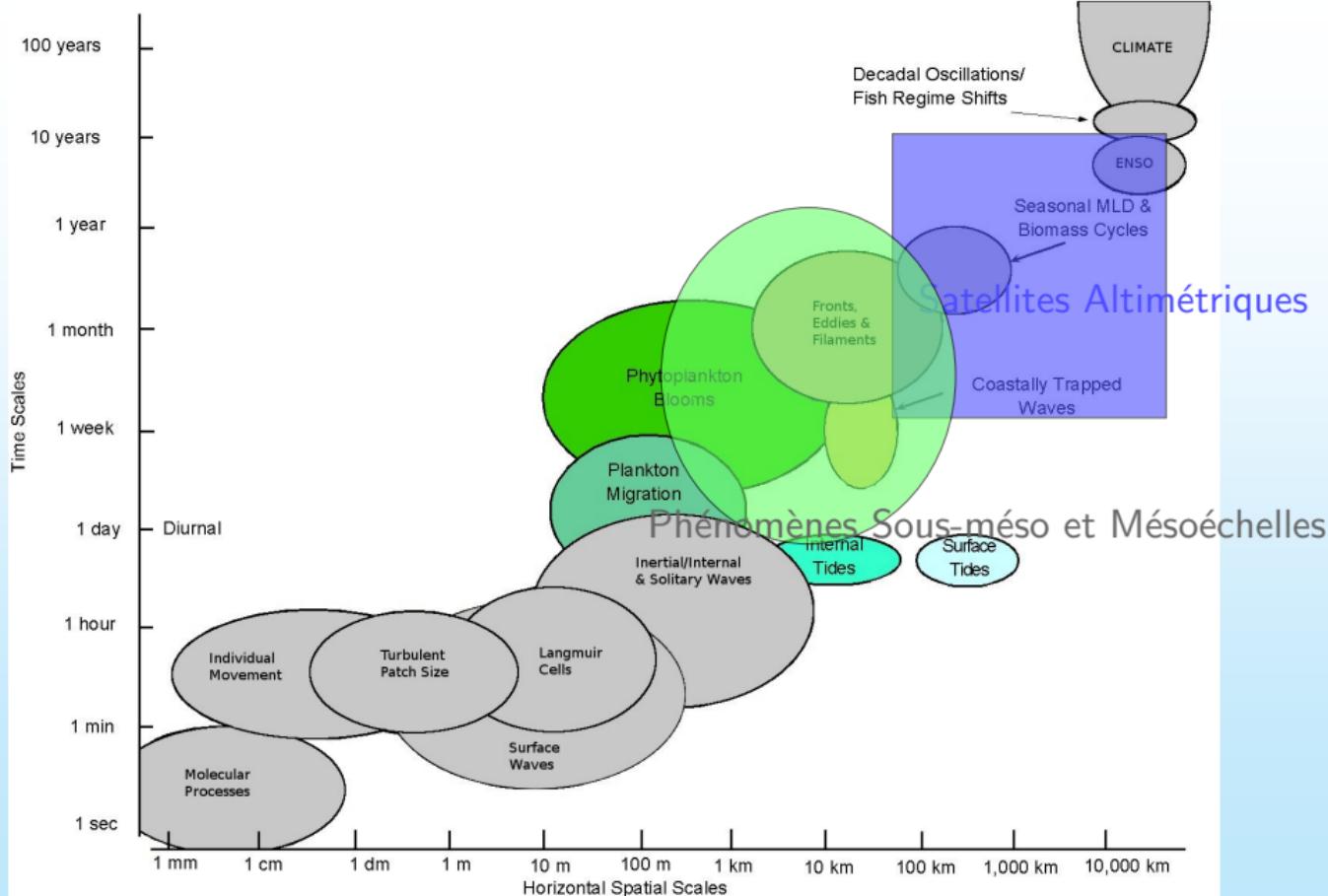
# Dynamiques méso et sous-mésoéchelles



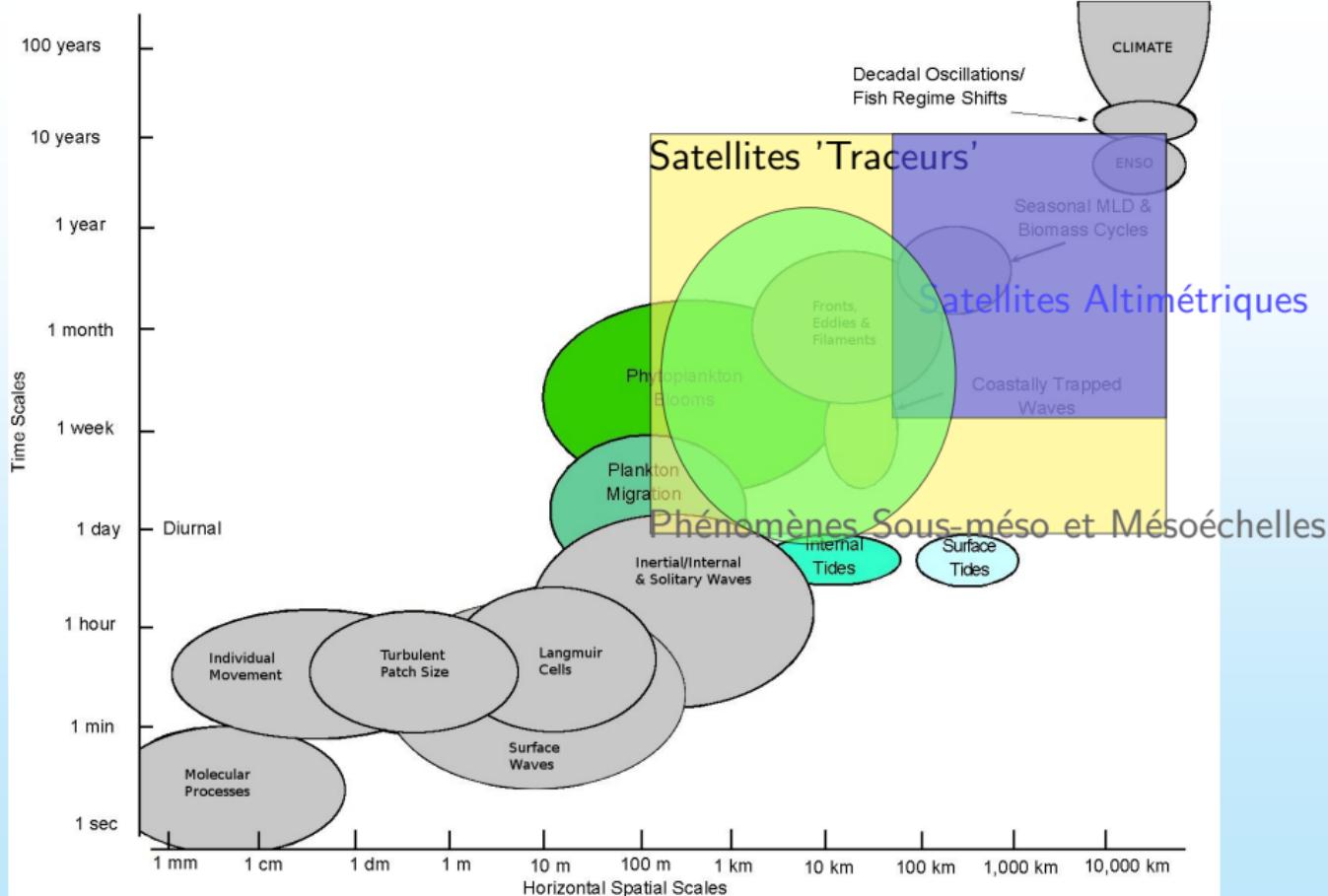
# Dynamiques méso et sous-mésoéchelles



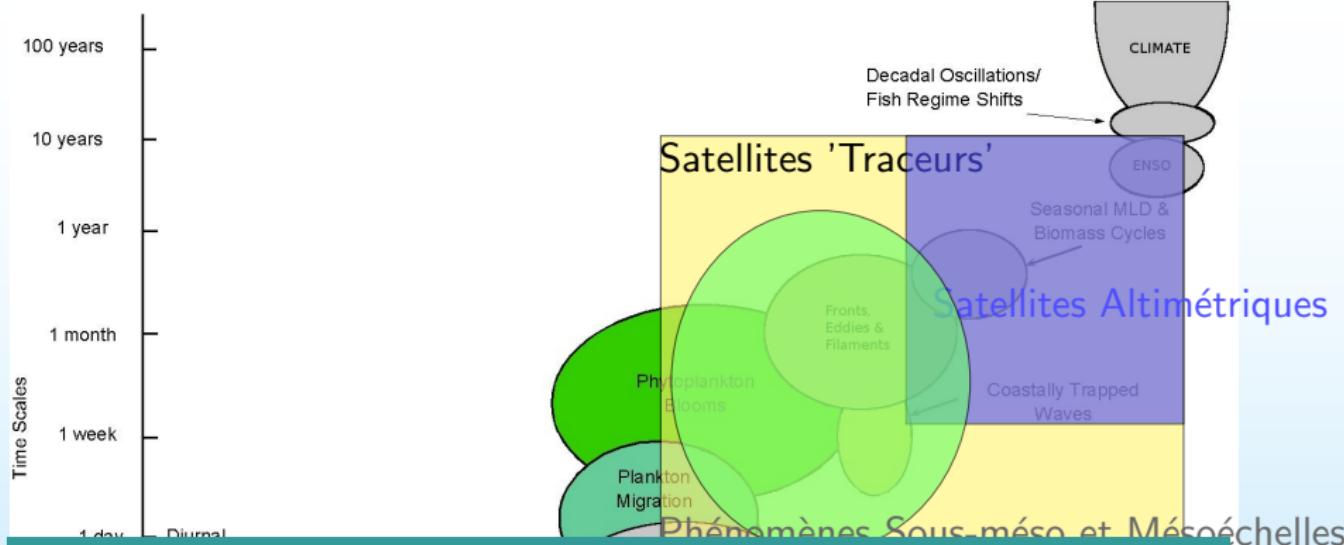
# Dynamiques méso et sous-mésoéchelles



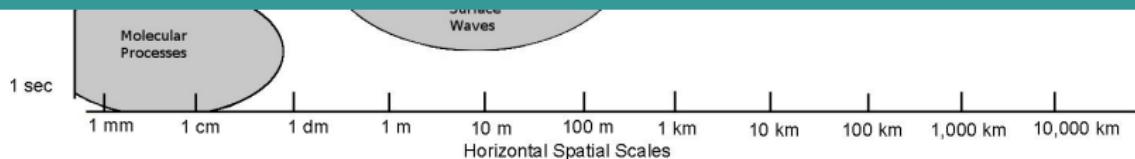
# Dynamiques méso et sous-mésoéchelles



# Dynamiques méso et sous-mésoéchelles



- Sous-échantillonnage de l'altimétrie : utilisation des données biogéochimiques et SST
- Projets SWOT : satellites altimétriques haute-résolution, nécessité de gérer un grand nombre de données



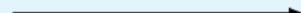
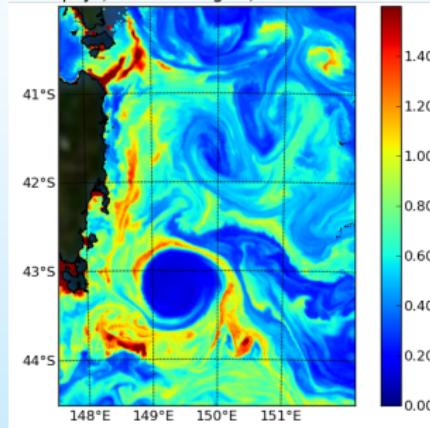
# Plan

- 1 Philosophie de l'étude
- 2 Processus d'inversion d'images
- 3 Exemple
- 4 Conclusion

# Philosophie de l'étude

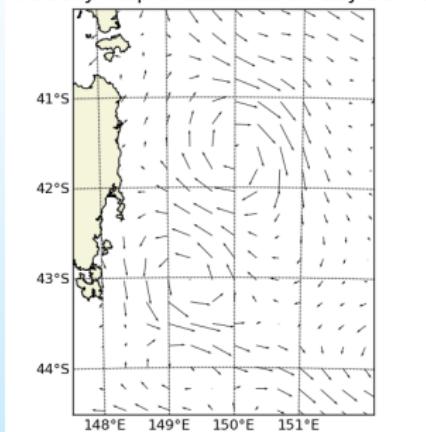
## Image traceur Sous-mésoéchelle

Chlorophyll, Tasmania region, 24 December 2004



## Champ mésoéchelle

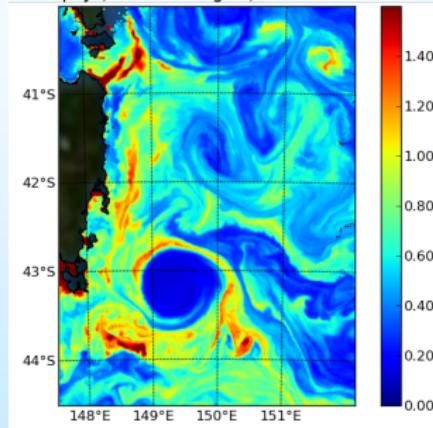
Velocity map in tasmania on day 20079



# Philosophie de l'étude

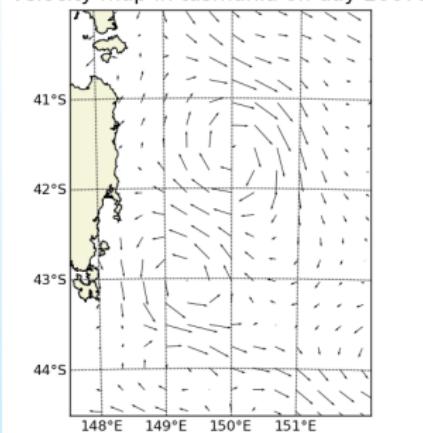
## Image traceur Sous-mésoéchelle

Chlorophyll, Tasmania region, 24 December 2004



## Champ mésoéchelle

Velocity map in tasmania on day 20079



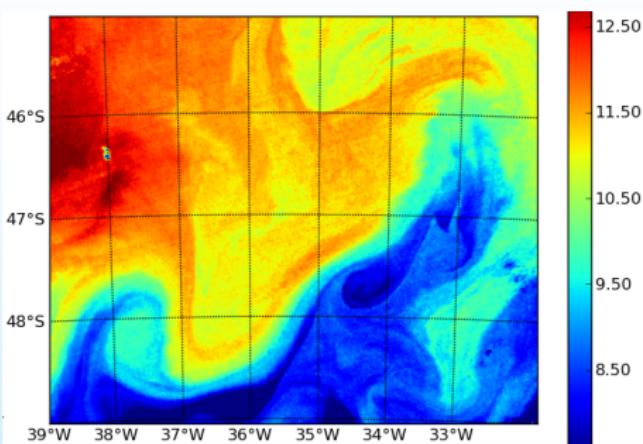
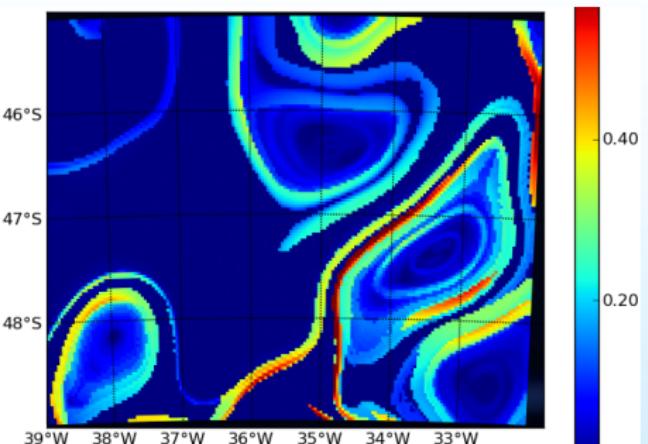
L'inversion d'information traceur à sous-mésoéchelle n'a jamais été faite auparavant



On doit trouver la correction à appliquer sur l'estimation de la vitesse la plus compatible avec l'information contenue dans le traceur

- La mesure directe de la différence entre la vitesse  $\vec{u}$  et **Traceur** n'est pas possible
- Nécessité de trouver une variable intermédiaire (proxy)
- Utilisation de *Finite-Size Lyapunov Exponents* (FSLE) en tant que proxy

# Le champ de FSLE est-il une variable intermédiaire fiable ?



Les FSLE mesurent l'étirement du fluide

- Lien entre la dynamique sous-mésoéchelle et les structures filamentaires des traceurs. (Lehahn & al, 2008, d'Ovidio & al, 2004)

# Méthode

- Fonction coût :

$$J(u) = \|\lambda(u) - \lambda_{obs}\| + \text{background term}$$

La fonction coût est fortement non linéaire avec de nombreux minima locaux.

- On explore le sous-espace d'erreurs afin de trouver la vitesse qui minimise la fonction coût.

On calcule un échantillon de vitesses grâce à une décomposition en vecteurs propres d'un ensemble de vitesses observées :

$$\mathbf{u}_k = \bar{\mathbf{u}} + \sum_{i=0}^n \underbrace{a_k^i}_{\text{Eigenvalue}} \underbrace{\mathbf{u}^i}_{\text{EOF}}$$

Le nombre de degré de liberté est réduit, on utilise 50 EOFs.

# Etude exploratoire

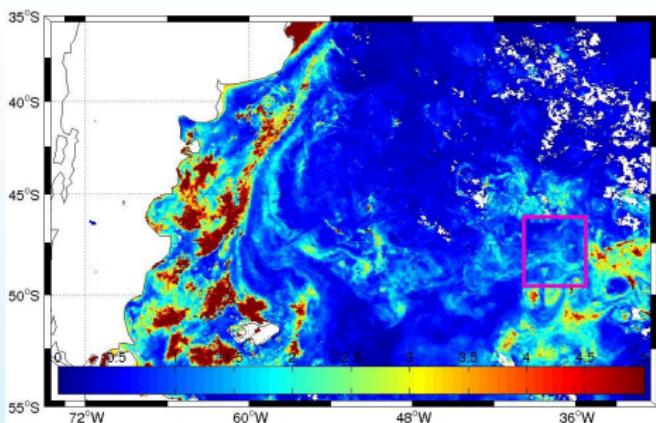
- **Step 1 :** Le FSLE convient-il à notre étude ?

Inversion d'images synthétiques sous-mésoéchelles pour contrôler la dynamique à plus large échelle (Expérience jumelle)

- **Step 2 :** Comparer les images sous-mésoéchelles observées et le proxy

Inversion d'images traceur à sous-mésoéchelle pour contrôler la dynamique à plus large échelle

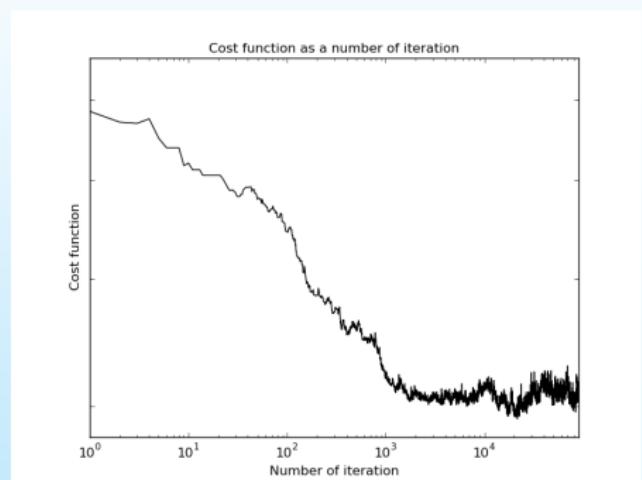
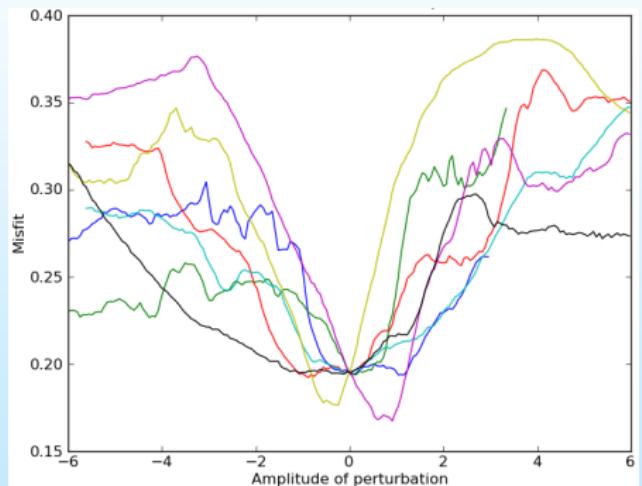
# Etude d'une petite zone : dans l'océan Sud Atlantique



- **Echelle de temps** : de 1998 à Juin 2009, 595 champs de vitesses
- **Champs de vitesses** : Données altimétriques provenant d'AVISO
- **Résolution** :  $1/3^\circ$ , nombre de points de grille :  $13 \times 17$
- **Résolution FSLE** :  $1/48^\circ$ , nombre de points de grille :  $99 \times 130$
- **Image traceur** : SST ou Chlorophylle (capteur MODIS, produit L2)
- **Résolution nécessaire à la détection de filaments** :  $1/100^\circ$

# Etude de la fonction coût : inversion complète

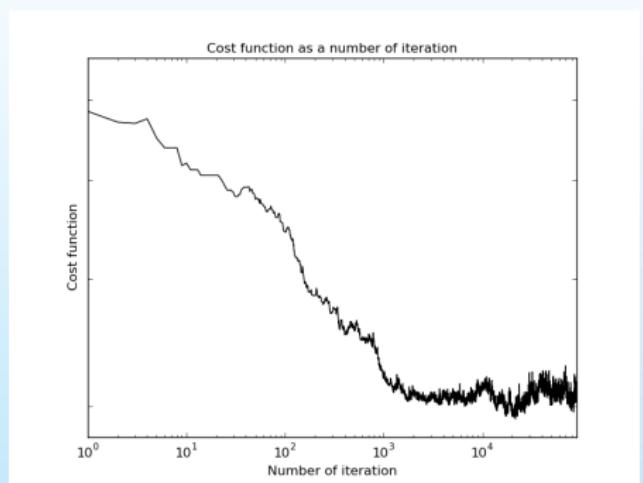
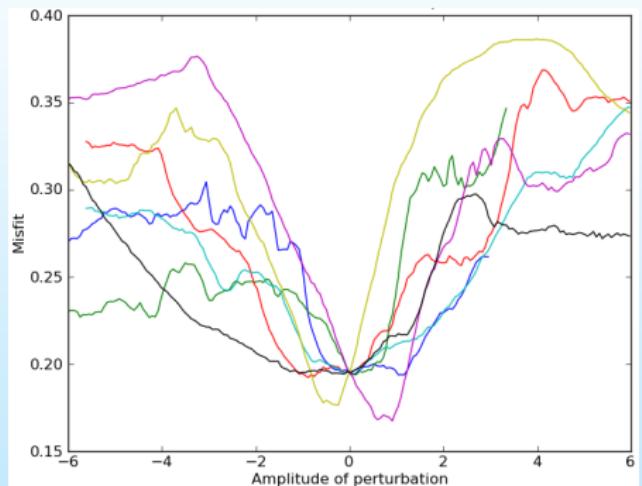
## STEP 2



Fonction coût :  $J(u) = \|\lambda(u) - \lambda_{obs}\| + \text{background term}$

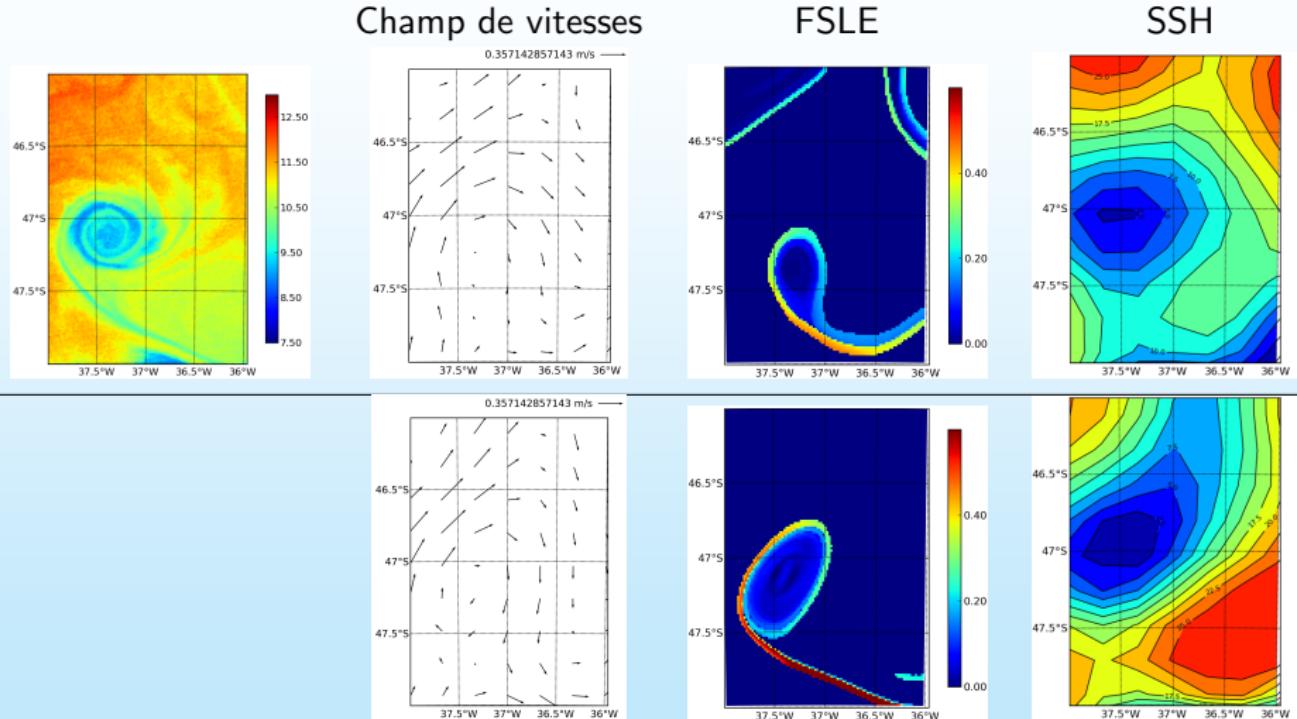
# Etude de la fonction coût : inversion complète

## STEP 2



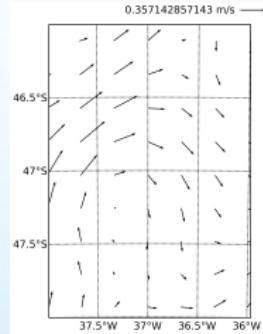
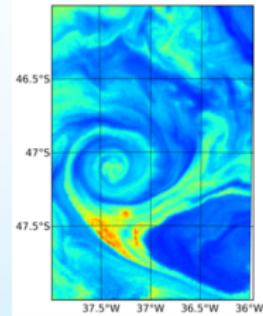
Simulated Annealing (recuit simulé) utilisé pour décroître la fonction coût

# Correction du champ de vitesses à l'aide de la SST

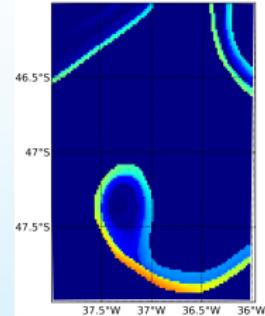


# Correction du champ de vitesses à l'aide de la Chl

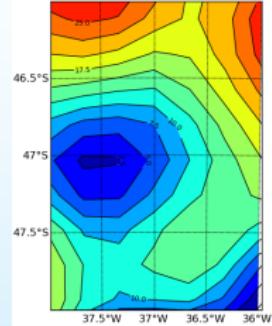
Champ de vitesses



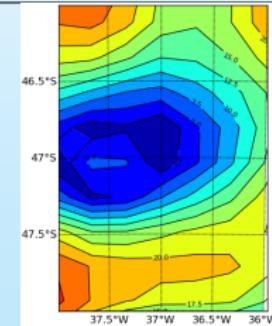
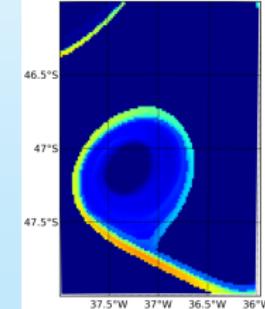
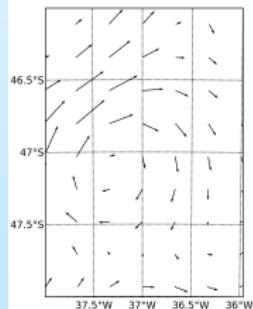
FSLE



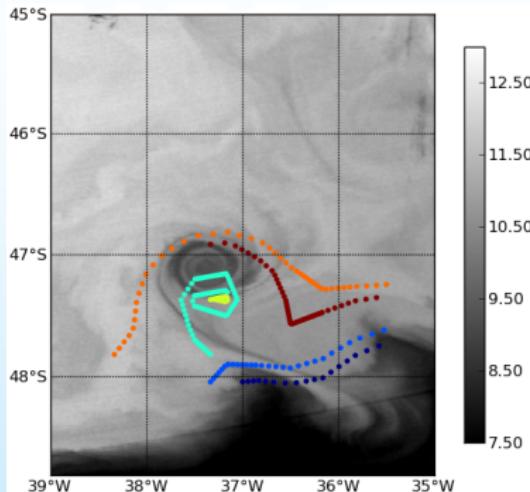
SSH



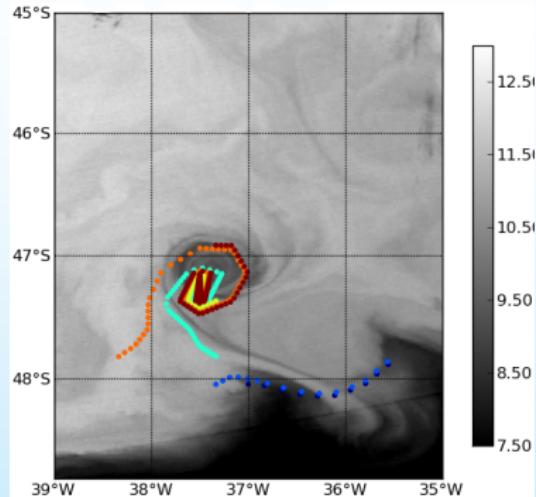
0.357142857143 m/s



# Résultats : Trajectoires Lagrangiennes (traceur : SST)



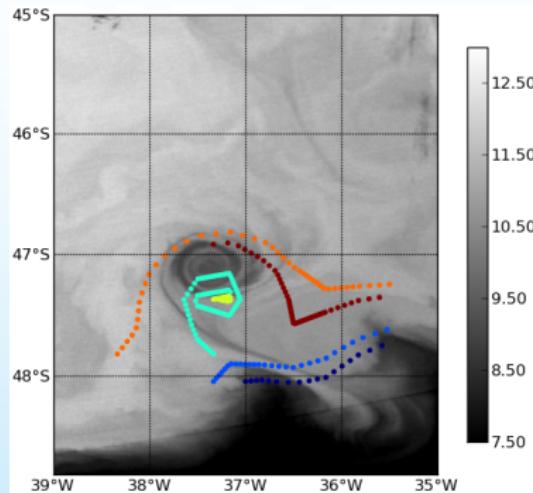
*Trajectoires lagrangiennes issues du champ de vitesses observé*



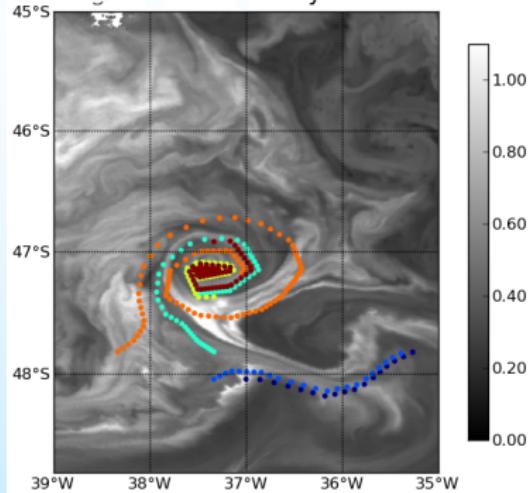
*Trajectoires lagrangiennes issues du champ de vitesses corrigé*

- Les trajectoires des six particules sont représentées sur un champ de température de surface (SST, °C)
- Ces trajectoires suivent les structures filamentaires du traceur SST

# Résultats : Trajectoires Lagrangiennes (traceur : Chl)



*Trajectoires lagrangiennes issues du champ  
de vitesses observé*



*Trajectoires lagrangiennes issues du champ  
de vitesses corrigé*

- Les trajectoires des six particules sont représentées sur un champ de Chlorophylle ( $\text{mg.m}^{-3}$ )
- Ces trajectoires suivent les structures filamentaires du traceur

# Conclusion

L'inversion d'information image à sous-mésoéchelle pour le contrôle des circulations à plus grande échelle est possible

- Les données altimétriques et les images traceurs sont complémentaires
- Les informations contenues dans les traceurs peuvent compenser le manque de résolution des données altimétriques (SSH).
- Les données haute-résolutions SST ou couleur de l'océan sont utiles pour le contrôle de la dynamique océanique.

# Conclusion

## Prochaines étapes

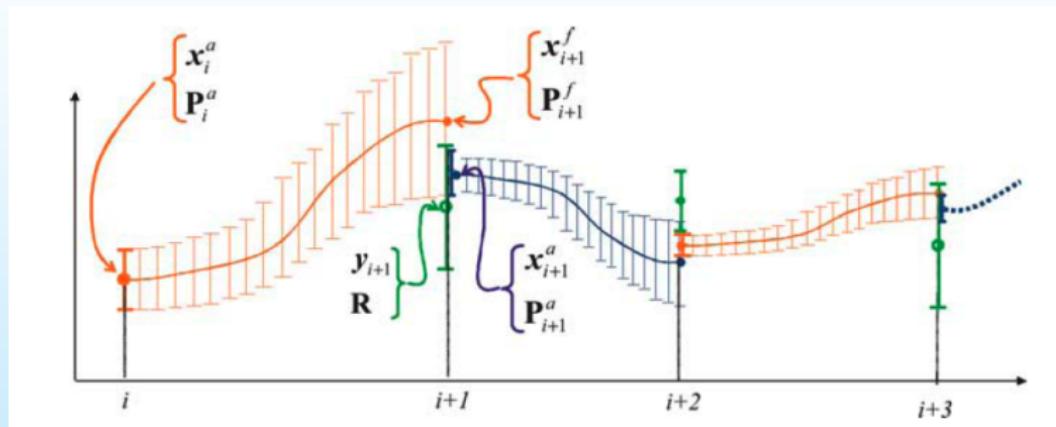
- Mise en place d'un modèle couplé physique-biogéochimie idéalisé.
- Inversion d'une image sous-mésoéchelle dans ce modèle
- Quantifier l'apport de la correction sur la vitesse, grâce à la connaissance de la vérité (expérience jumelle).

## Perspectives

- Assimilation de donnée traceur sous-mésoéchelles au sein d'un modèle couplé physique-biogéochimie.

Merci de votre attention

# Data Assimilation



*Conceptual representation of filtering with sequential assimilation, Brasseur, 2006*

# Sub-mesoscale

Sub-mesoscales are scales defined by a Rossby number of order one

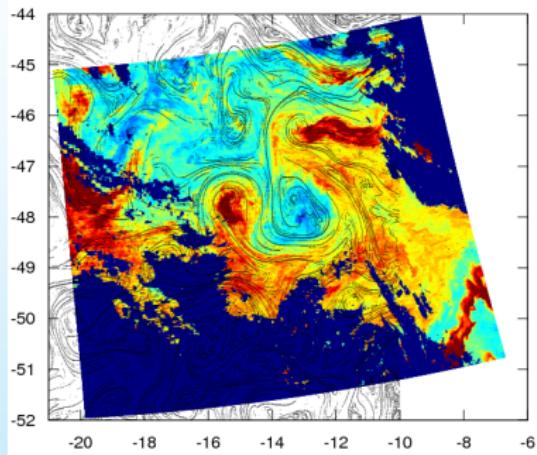
$$R_o = \frac{\text{inertial force}}{\text{Coriolis force}} = \frac{U}{fL}$$

It is characterized by ageostrophic circulation : strain dominates over rotation.

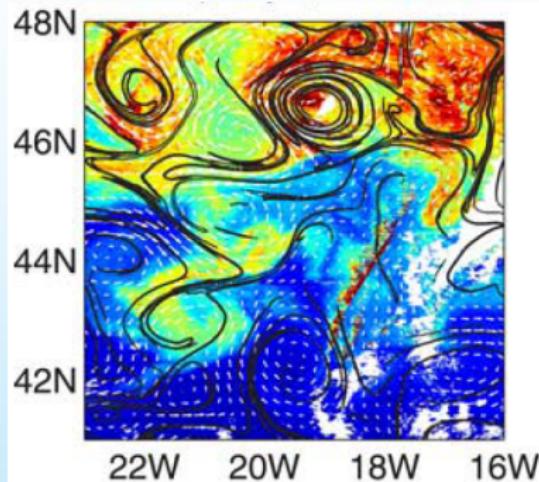
Three major ingredients :

- frontogenesis
- straining by the mesoscale turbulent field
- sub-mesoscale baroclinic instability.

# Connection between FSLE and tracer filaments



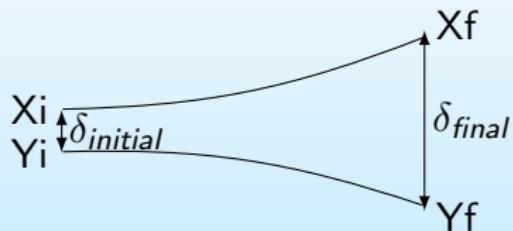
*Chlorophyll, South Atlantic, d'Ovidio & al,  
2004*



*Chlorophyll, Pomme area, Lehahn & al,  
2008*

# Physical meaning of Lyapunov Exponents

Lyapunov exponents are defined as the exponential rate of separation, averaged over time



FSLE

$$\lambda = \frac{1}{T} \times \log\left(\frac{\delta_{final}}{\delta_{initial}}\right)$$

Lyapunov exponents constitute Lagrangian transport barriers between different regions (Lehahn & al (2007)).