

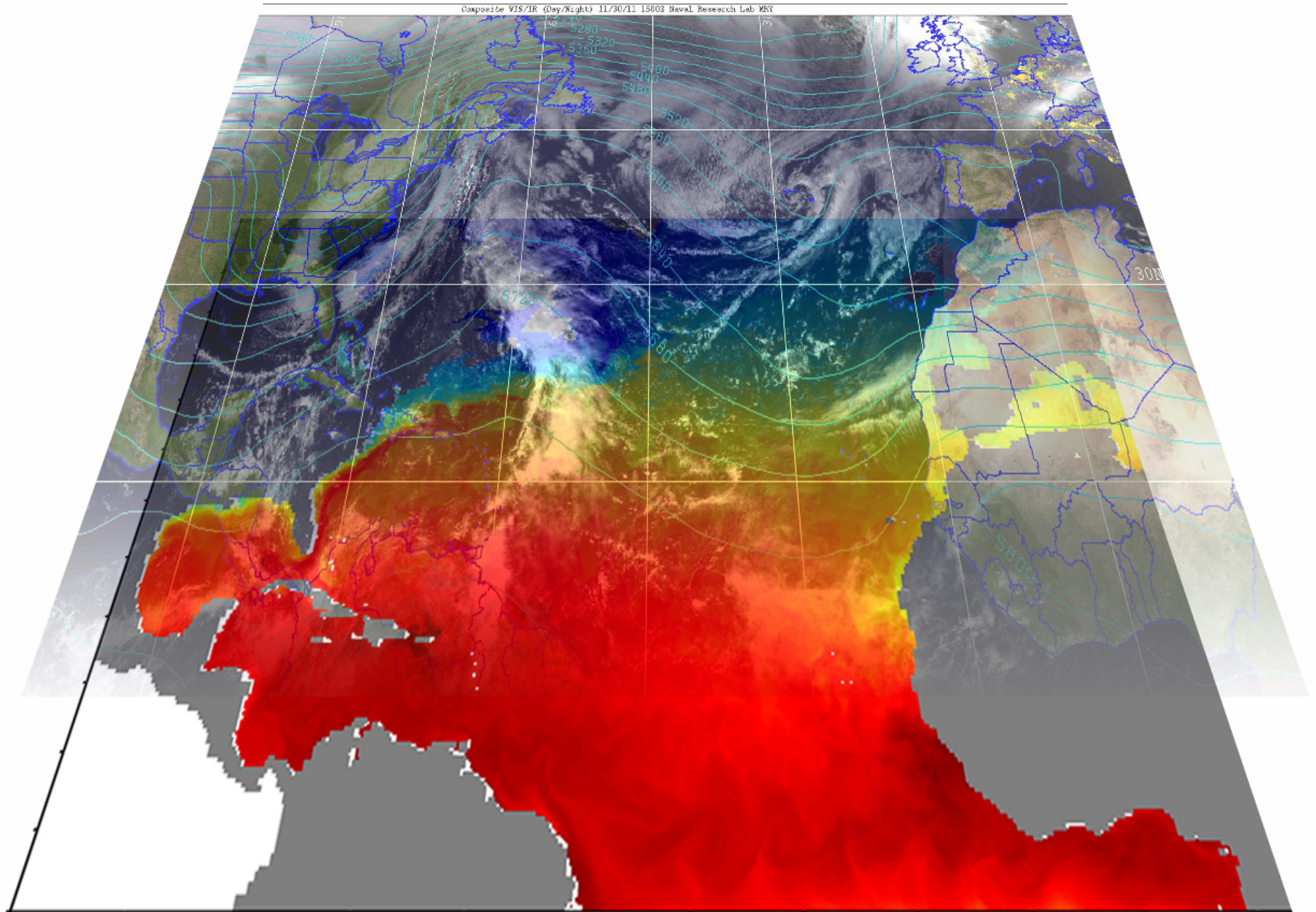
# **Quelles échelles océaniques représenter pour modéliser le climat des latitudes moyennes ?**

**Guillaume Lapeyre**

**Laboratoire de Météorologie Dynamique/IPSL, Paris**



# Le système océan-atmosphère : une large gamme d'échelles



# Variabilité atmosphérique aux latitudes moyennes

1. Echelle des tempêtes : temps météorologique
  - $\sim 1000\text{km}$ , 1 à 6 jours  $\Rightarrow$  haute fréquence
2. Echelle des rails des tempêtes
  - $\sim 10000\text{km}$ , 10 jours à 1 mois  $\Rightarrow$  variabilité intra-saisonnière
  - Interactions courant-jet d'altitude avec tempêtes
3. Variabilité basse fréquence : climat
  - $\sim 10000\text{km}$ , saisons, multi-décénal
  - peu affectée par la variabilité "intrinsèque" de l'atmosphère
  - liée à des forçages externes (océan, tropiques, stratosphère)

# Variabilité océanique aux latitudes moyennes

## 1. Echelle de la circulation générale

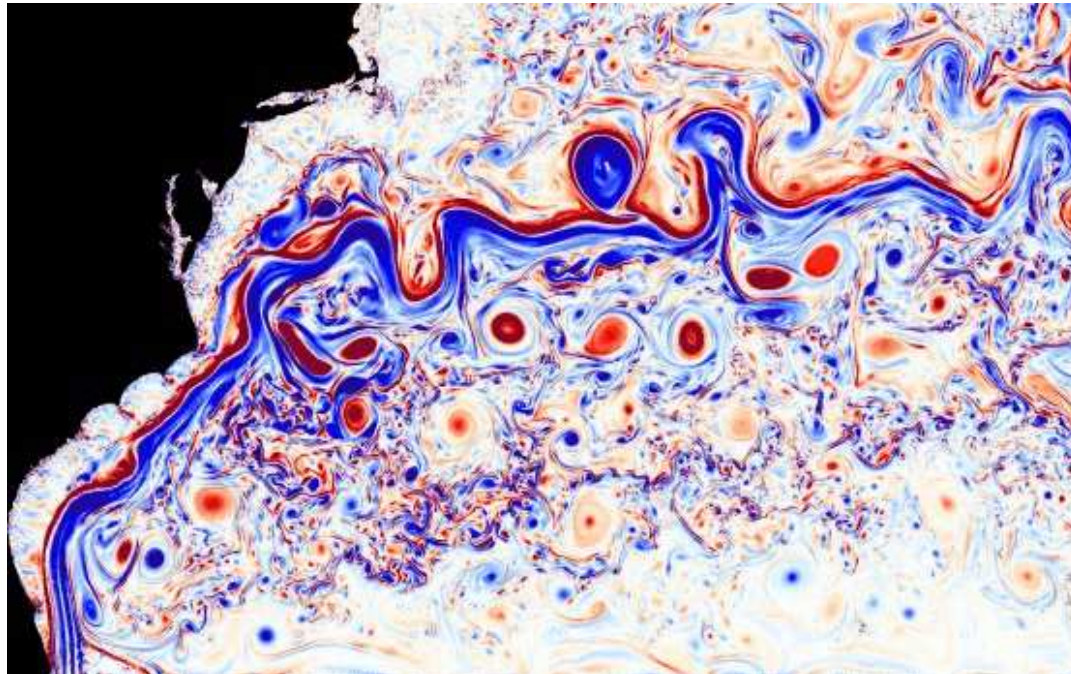
- Gyres océaniques, grands courants (Gulf Stream, Kuroshio)
- $\sim 10000\text{km}$ , saisons, multi-décennal

## 2. Echelle des tourbillons océaniques

- $\sim 200\text{km}$ , semaines à mois

## 3. Echelle des filaments entre les tourbillons

- $\sim 10\text{km}$ , quelques jours



# Deux milieux / deux mécanismes

## Effet mécanique

$$\frac{d\mathbf{u}_{oce}}{dt} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \boldsymbol{\tau}}{\partial z} + \dots$$

$\boldsymbol{\tau}$  tension de vent

## Effet thermodynamique

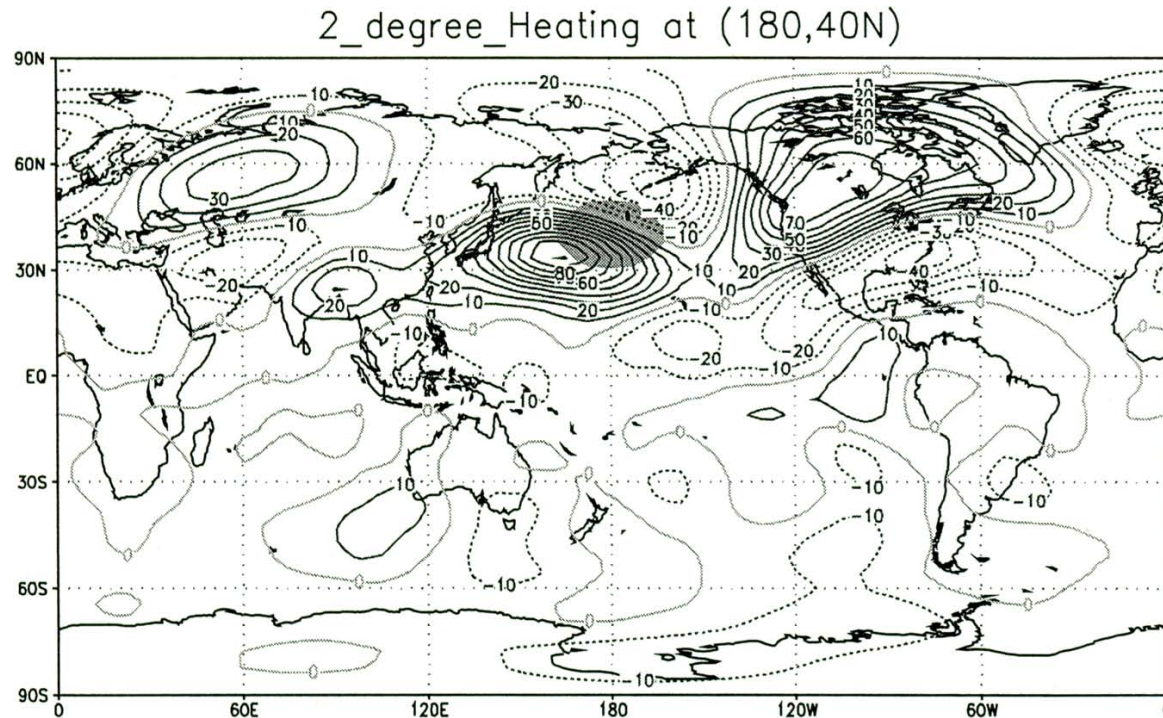
$$\frac{dT_{atm}}{dt} = Q$$

$Q$  Echange de chaleur air-mer

- Le premier effet met en mouvement l'océan
- Le second effet induit un changement de circulation atmosphérique
  
- **Couche de mélange océanique** :  $\sim 100\text{m}$
- **Couche limite atmosphérique** :  $\sim 1000\text{m}$

***Interactions océan-  
atmosphère à grande échelle***

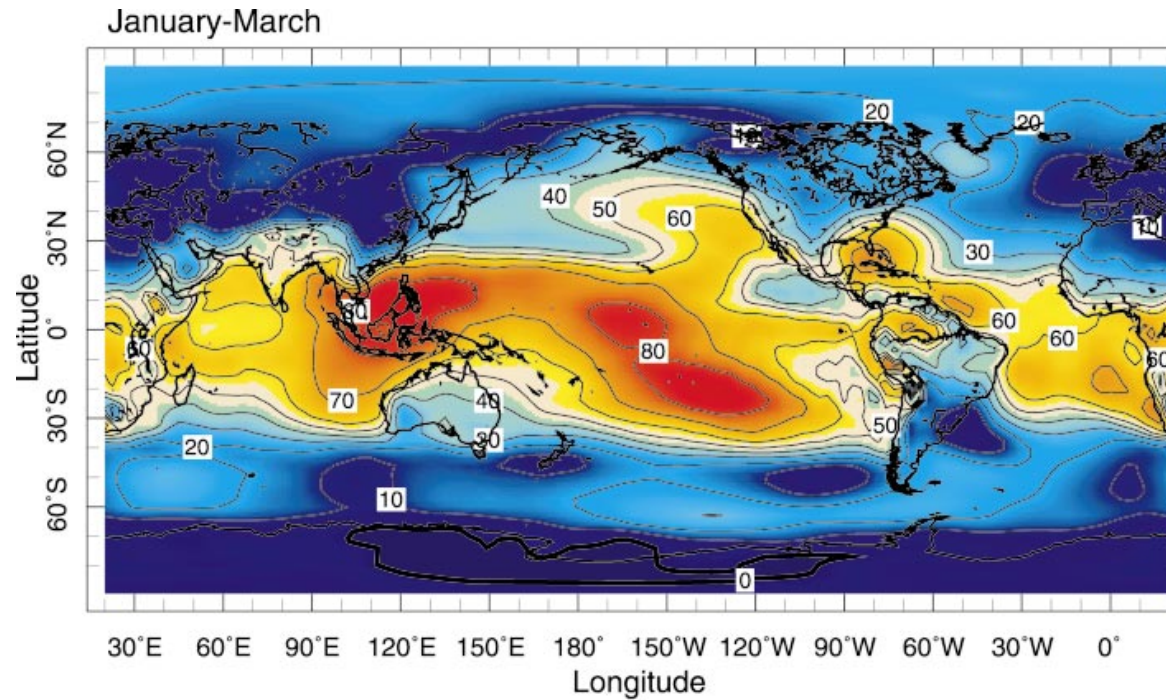
# Réponse à une anomalie de température océanique



- Anomalie de 2°K sur une région de 1000 × 1000km
- Propagation sur tout l'hémisphère
- **Réponse faible à un forçage fort**

(Peng et al. 1997)

# Variabilité atmosphérique forcée par l'océan



Rapport  $V_{\text{forcée}}/V_{\text{interne}}$  (en %)  
de variance inter-annuelle de la pression de surface

- Aux tropiques, 60% de la variabilité atmosphérique est attribuable à l'océan
- Seulement 30% aux latitudes moyennes

(Kushnir et al. 2002)

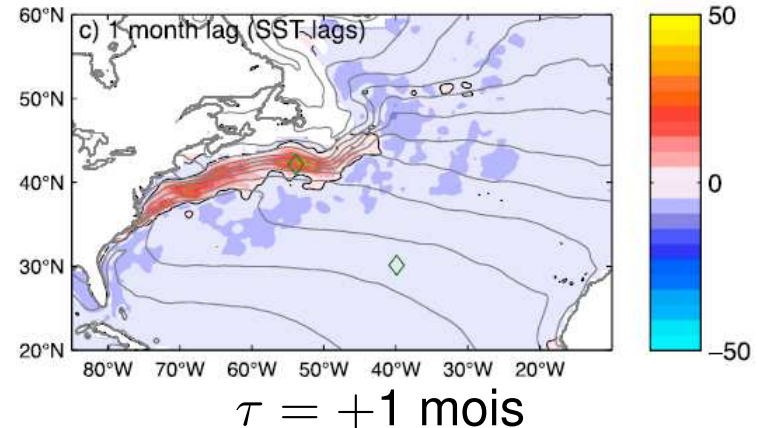
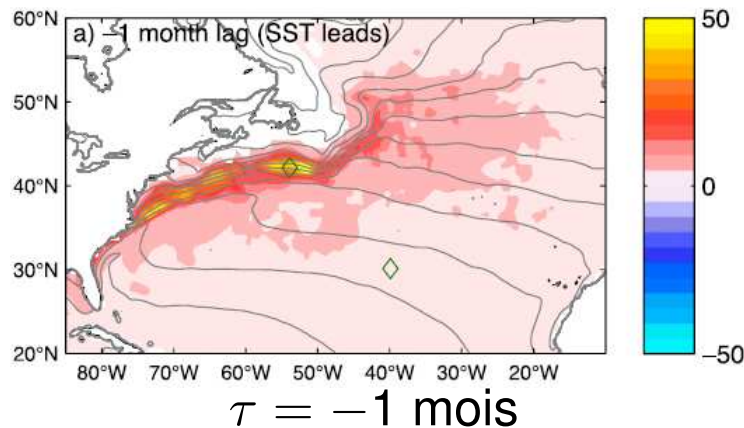


# Variabilités atmosphérique et océanique

$$\frac{\partial TSO}{\partial t} = \underbrace{Q}_{\text{flux air-mer}} + \underbrace{D_o}_{\text{dynamique océanique}}$$

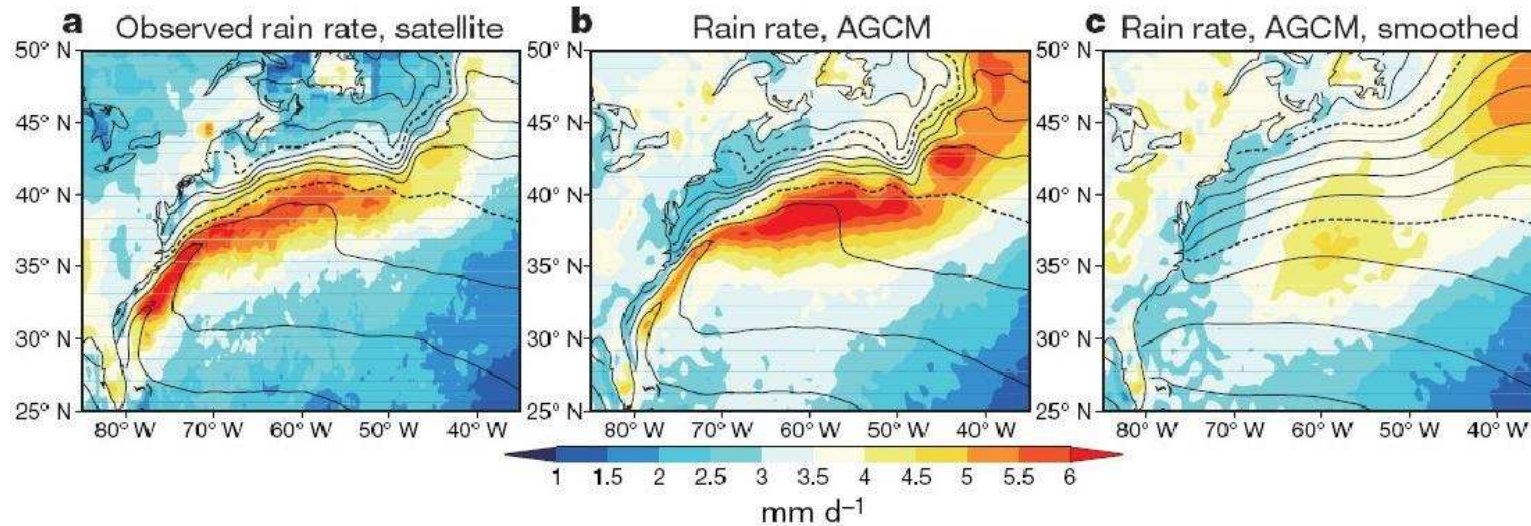
$$\frac{\partial T_{atm}}{\partial t} = -Q + \underbrace{D_{atm}}_{\text{dynamique atmosphérique}}$$

Lagged-covariance:  $\langle TSO(t + \tau)Q(t) \rangle$  (Bishop et al. 2017)



- **Signe opposé** : la TSO répond au flux de chaleur
  - ◆ Système forcé par la variabilité atmosphérique
  - ◆ Centre du bassin Atlantique
- **Même signe** : le flux de surface est corrélé à la TSO
  - ◆ Système forcé par la variabilité océanique
  - ◆ Région du Gulf Stream

# Rail des tempêtes et front océanique

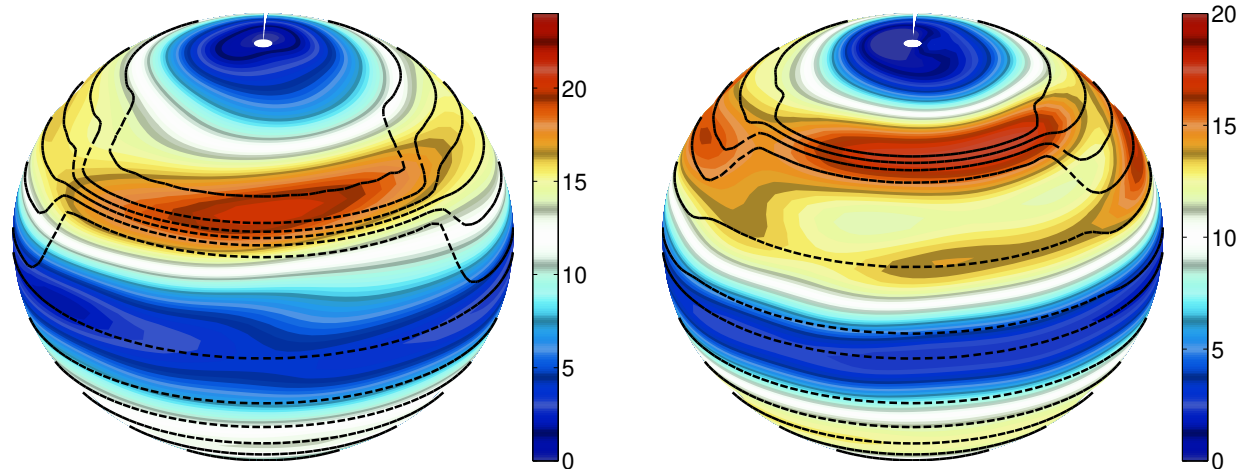


(Minobe et al. 2008)

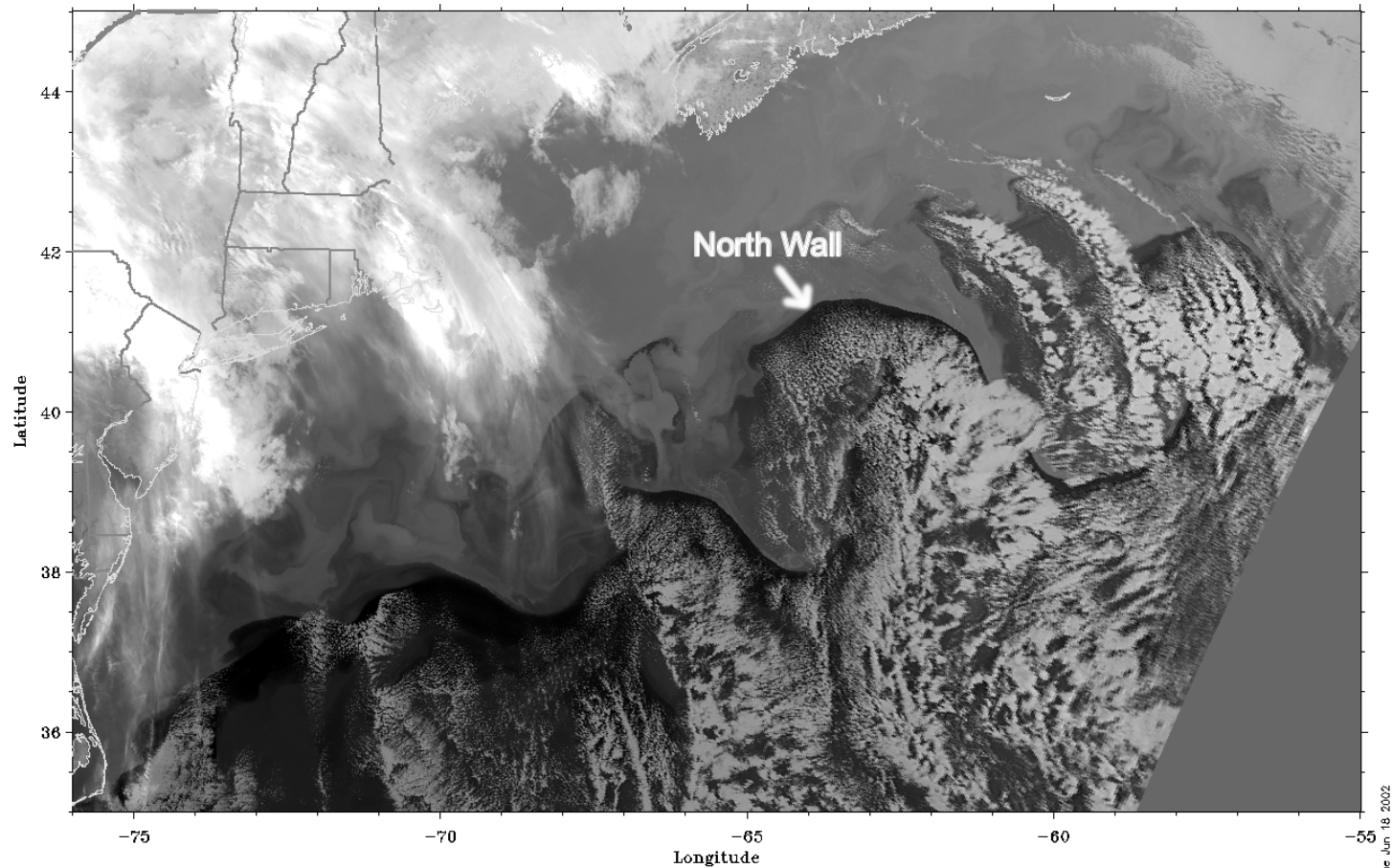
**Ancrage du courant-jet  
au dessus du front de TSO**

(modèle Quasi-Géostrophique)

Deremble et al. (2012)



***Effets de l'océan  
sur la couche limite atmosphérique***



AVHRR Channel 4 inverted.  
NOAA-16 AVHRR 2002 Apr 08 07:13 UT

COPYRIGHT © 2002 by the OCEAN REMOTE SENSING GROUP, JOHNS HOPKINS UNIVERSITY APPLIED PHYSICS LABORATORY

Roy Sherrin, Tue Jun 18 2002

- Variabilité spatiale des nuages en lien avec les échelles océaniques  $\sim 200\text{km}$   
(Young et Sikora, 2003)

# 2 mécanismes

## Ajustement de pression (Lindzen et Nigam, 1987)

WARM  
AIR

COLD  
AIR

$$\frac{\partial P}{\partial z} = -\rho g = \frac{\rho_0 g}{\theta_0} \theta$$

Low pressure

High pressure

WARM SST

COLD SST

TSO chaude

température  
chaude

basse  
pression

TSO froide

température  
froide

haute  
pression

# 2 mécanismes

## Ajustement de pression (Lindzen et Nigam, 1987)

WARM  
AIR

COLD  
AIR

$$\frac{\partial P}{\partial z} = -\rho g = \frac{\rho_0 g}{\theta_0} \theta$$

Low pressure

High pressure

TSO chaude

température  
chaude

basse  
pression

WARM SST

COLD SST

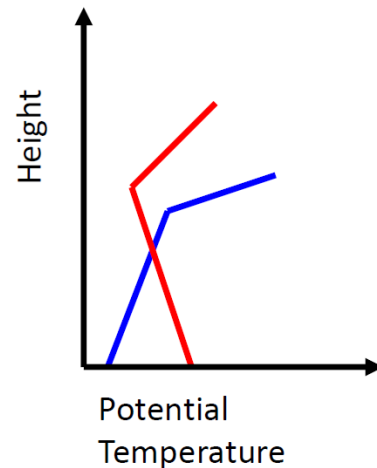
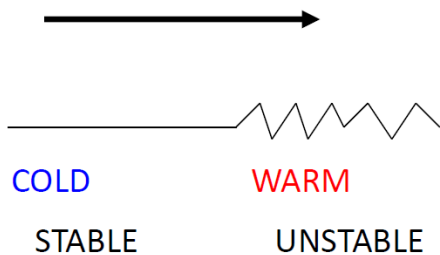
TSO froide

température  
froide

haute  
pression

## Mélange de quantité de mouvement (Wallace et al. 1989)

Air flowing from cold to  
warm water



TSO chaude

Couche  
limite  
instable

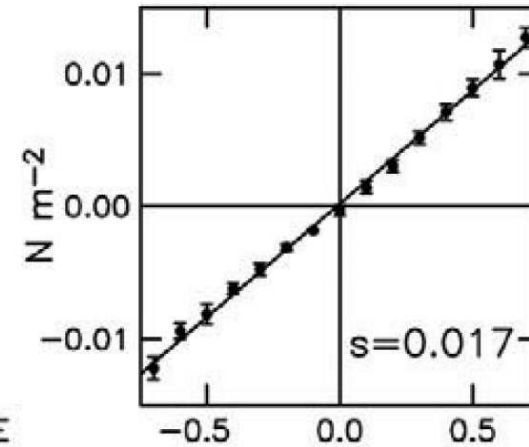
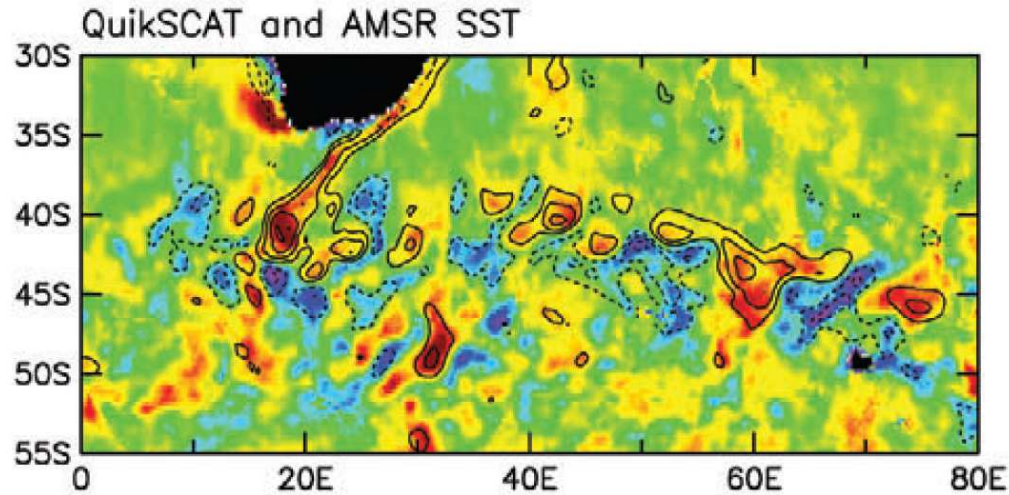
vents  
plus forts

TSO froide

Couche  
limite  
stable

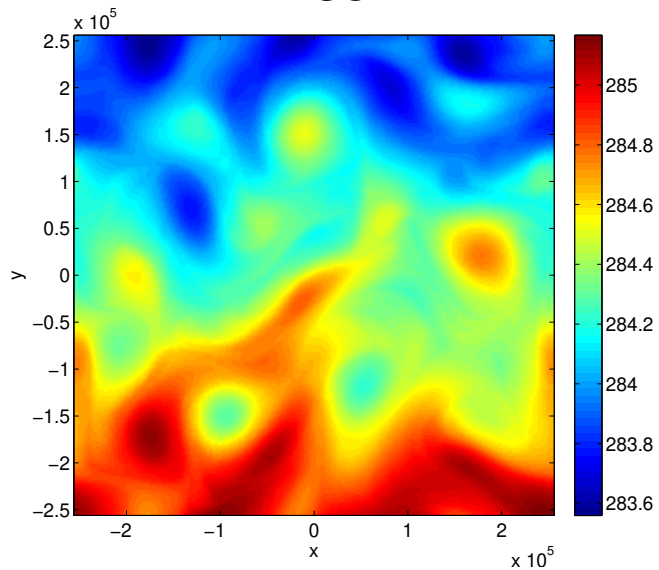
vents  
plus faibles

# Signature des anomalies de TSO sur la couche limite

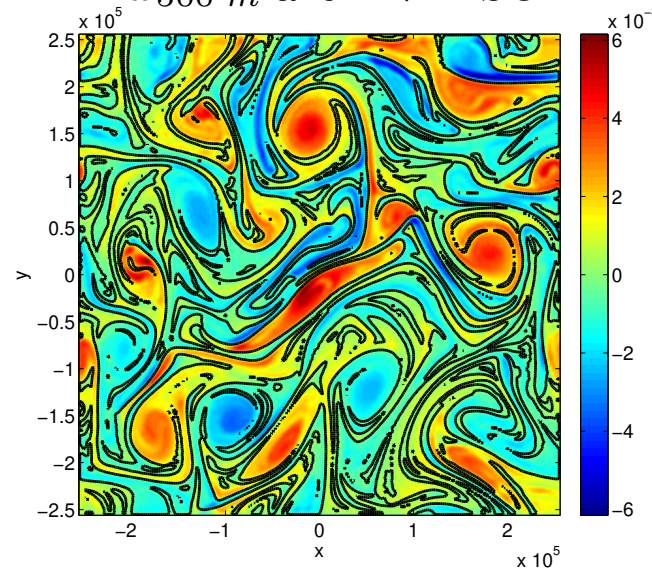


Chelton et al. 2004

TSO



$w_{500\text{ m}}$  and  $-\nabla^2 TSO$

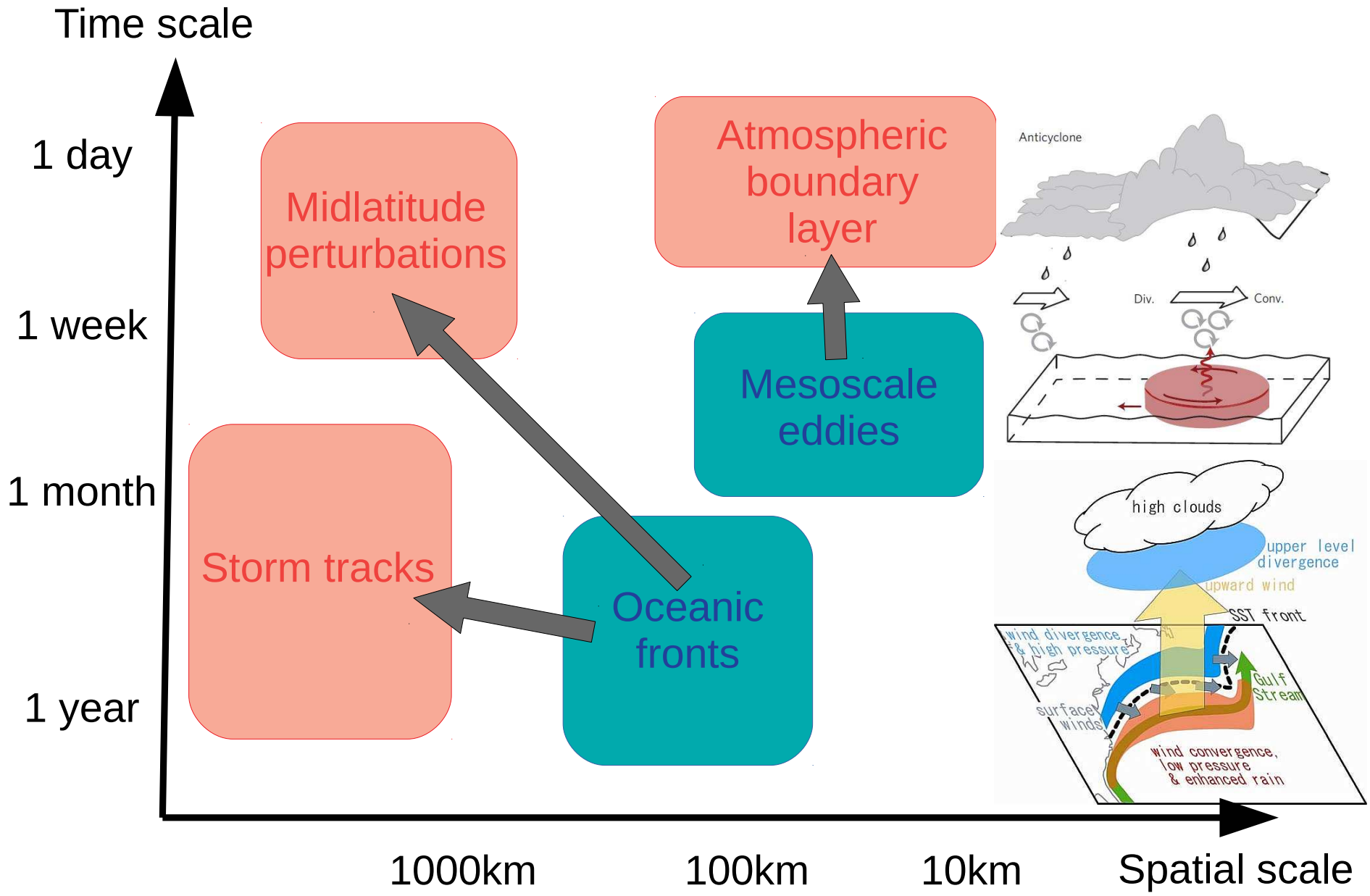


Impact sur  
les vitesses verticales  
(Lambaerts et al. 2013)

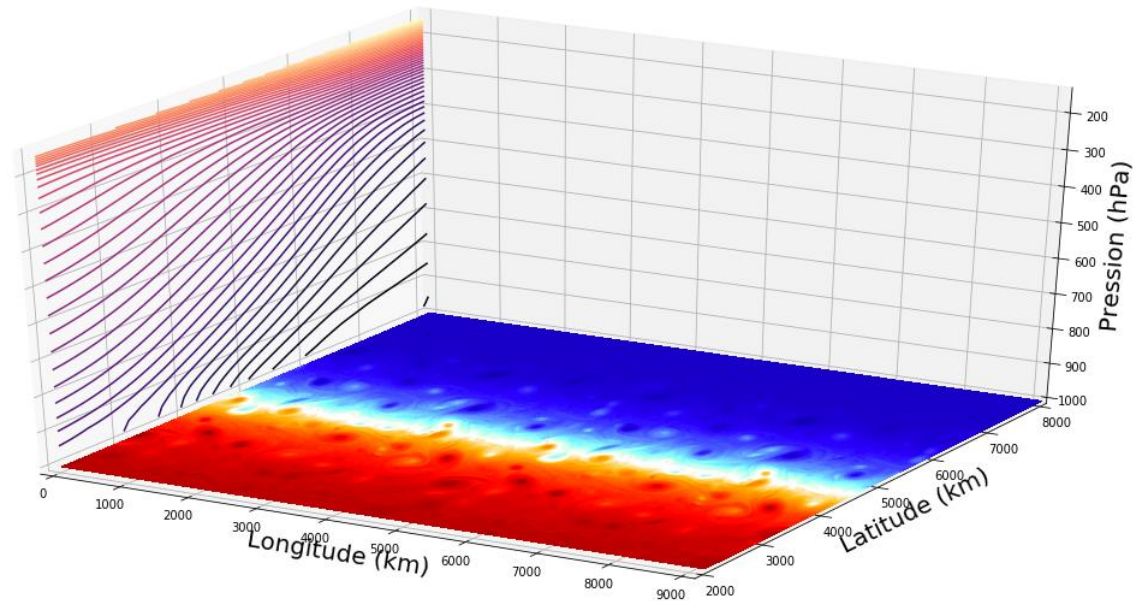
**Les fines échelles océaniques ont une empreinte dans l'atmosphère**

***Effets des tourbillons océaniques  
sur le rail des tempêtes***



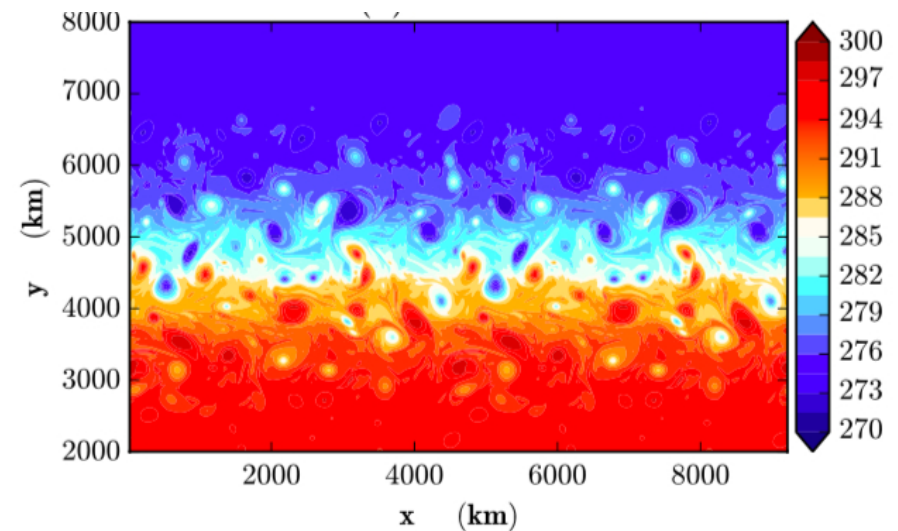


# Simulation idéalisée

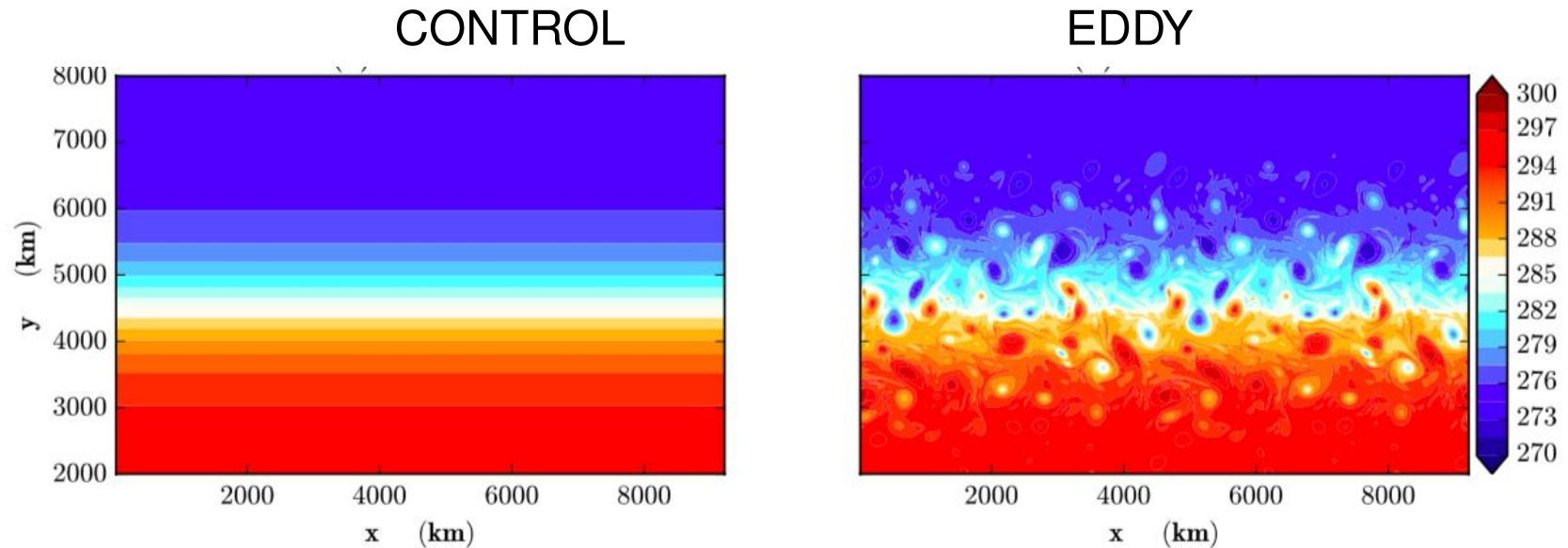


## Modèle atmosphérique réaliste WRF :

- Rail des dépressions idéalisé
- Canal périodique réentrant en x
- Domaine  $9000 \times 9000 \times 20\text{km}$
- Résolution : 18km (horizontale) et 80 niveaux verticaux
- Paramétrisations classiques des flux air-mer, de la couche limite atmosphérique, de la convection, de la microphysique des nuages

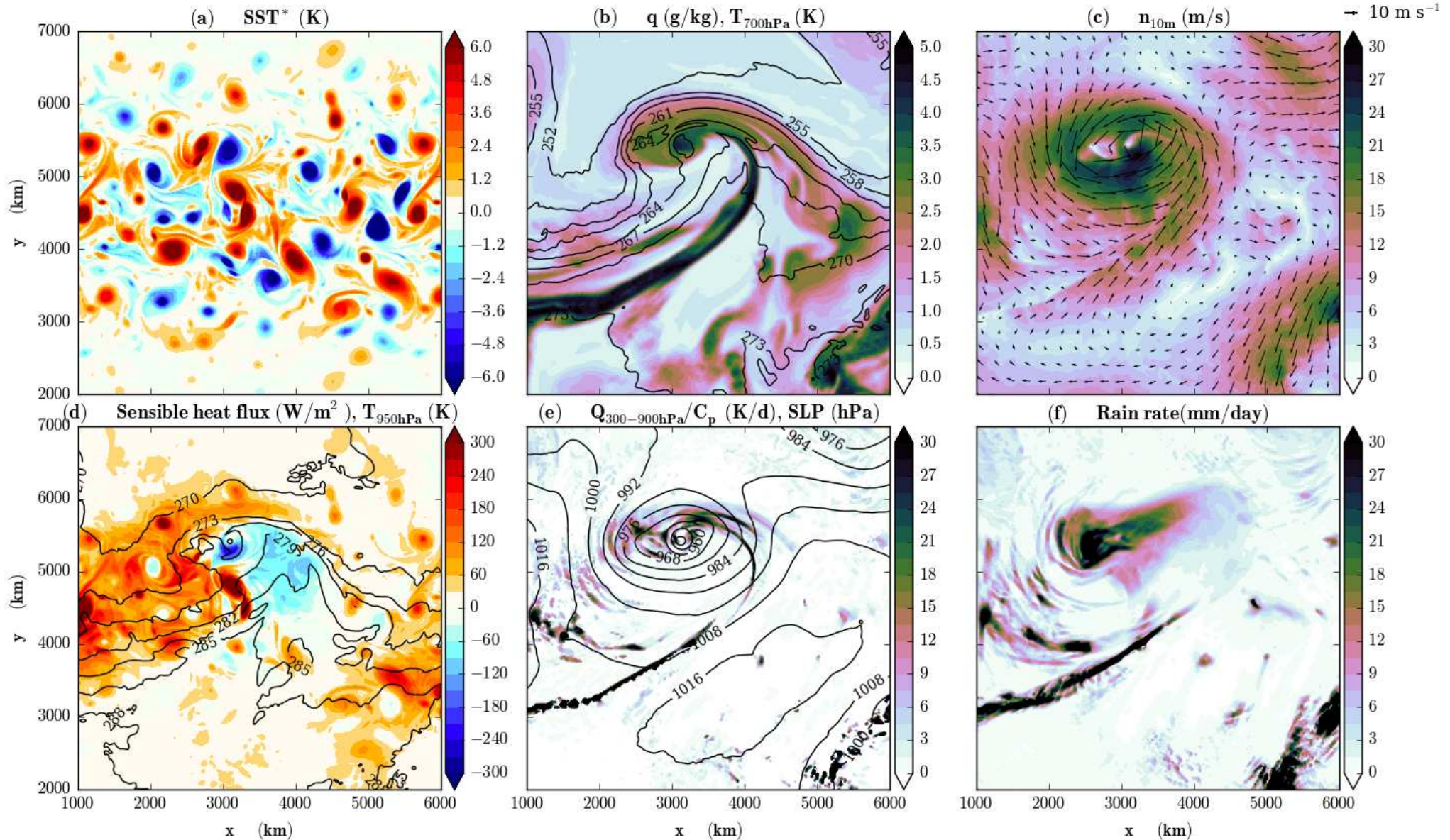


# Effet des tourbillons océaniques : 2 simulations

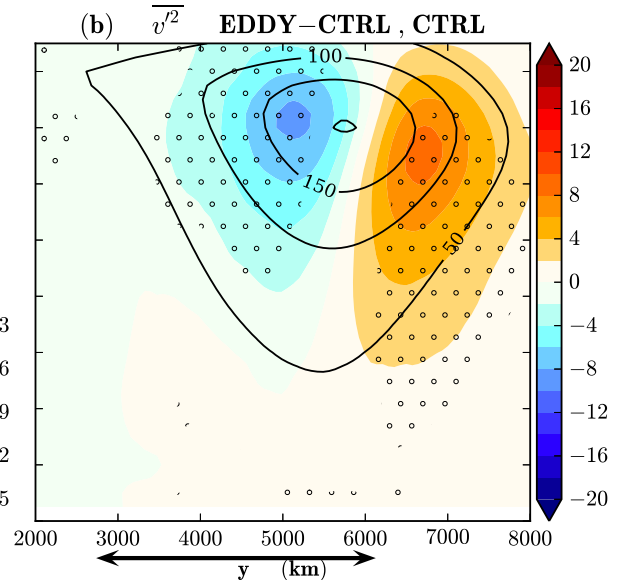
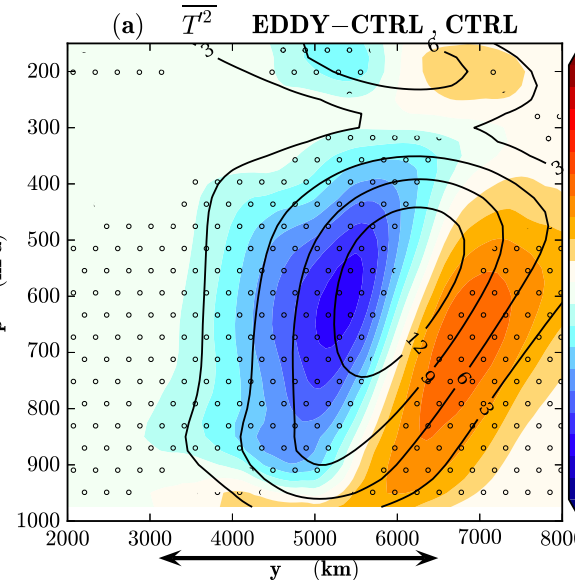
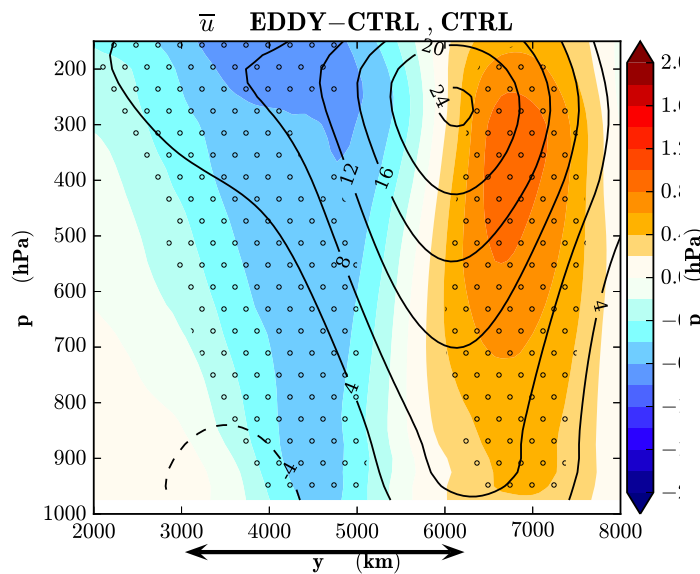


- Front océanique
- Même moyenne zonale de TSO entre CONTROL et EDDY
- Partie tourbillonnaire venant d'une simulation océanique
- Champ de température de surface de l'océan fixe dans le temps

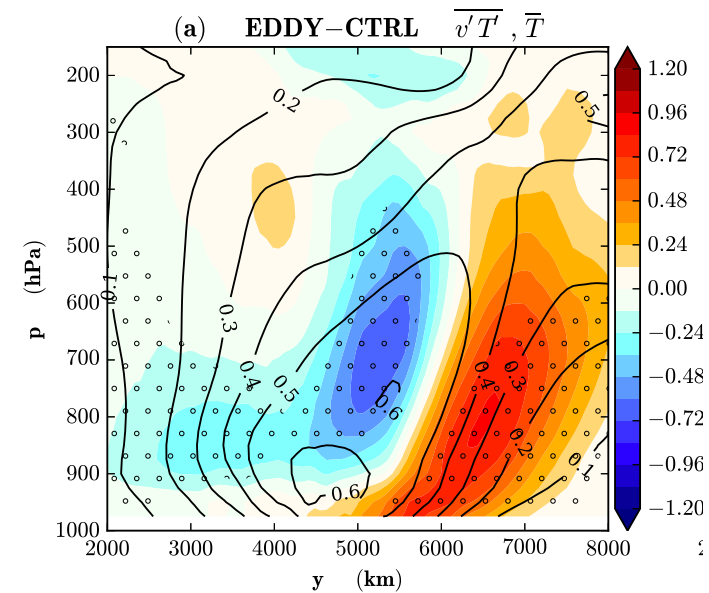
# Champs instantanés de la simulation EDDY



# Effet des tourbillons océaniques sur le rail des tempêtes

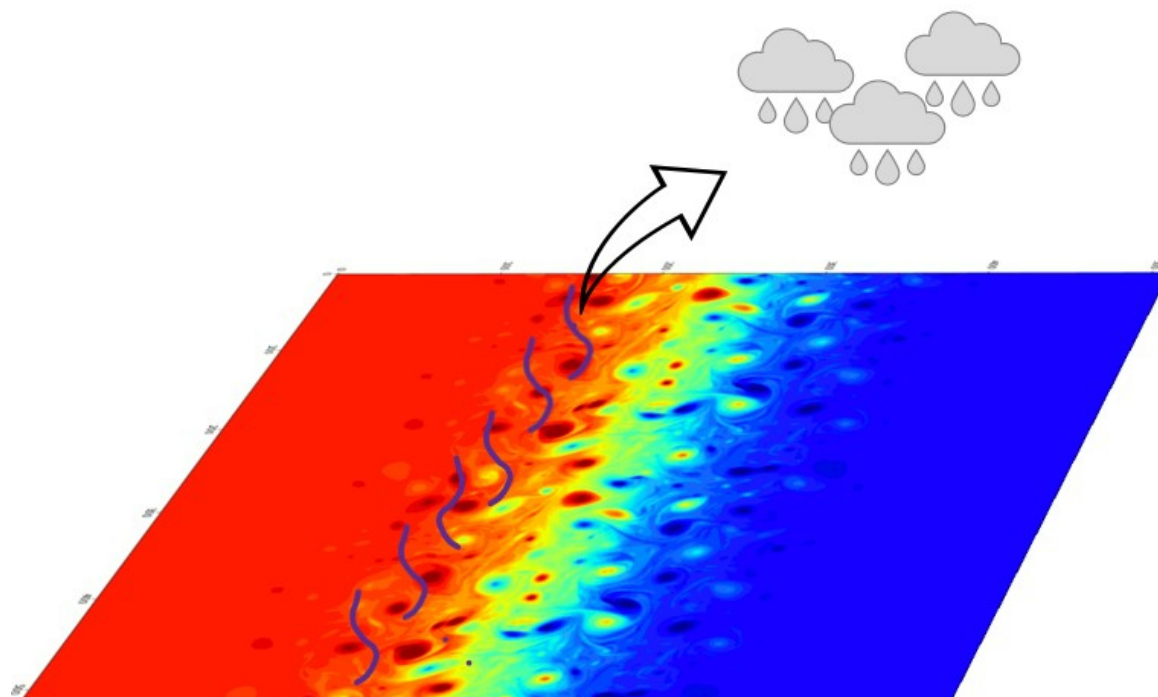


- Déplacement vers le pôle du courant-jet
- Déplacement vers le pôle du rail des tempêtes
- Chauffage et humidification de l'atmosphère



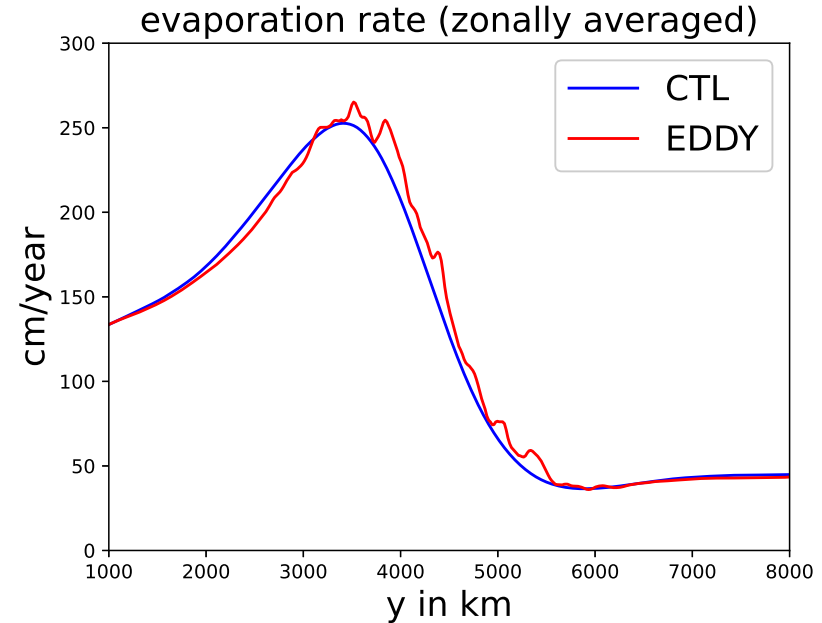
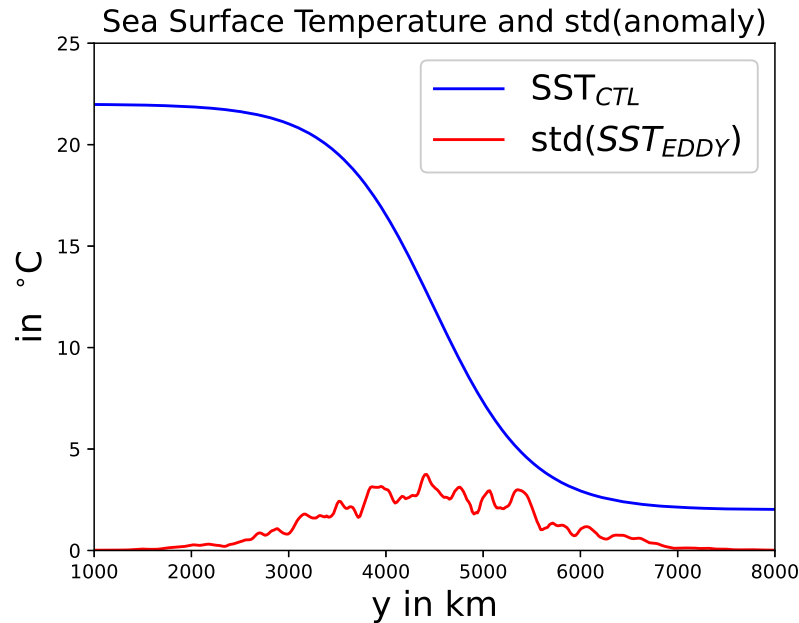
(Foussard et al. 2019b)

# Scenario



- **Evaporation plus forte** du côté chaud du front de TSO
- Transport de la vapeur d'eau vers le pôle et en altitude par les perturbations atmosphériques
- **Dégagement de chaleur latente plus intense** en altitude
- Modification du gradient méridien de température
- **Modification du courant-jet à travers la relation du vent thermique**

# Flux de surface : évaporation



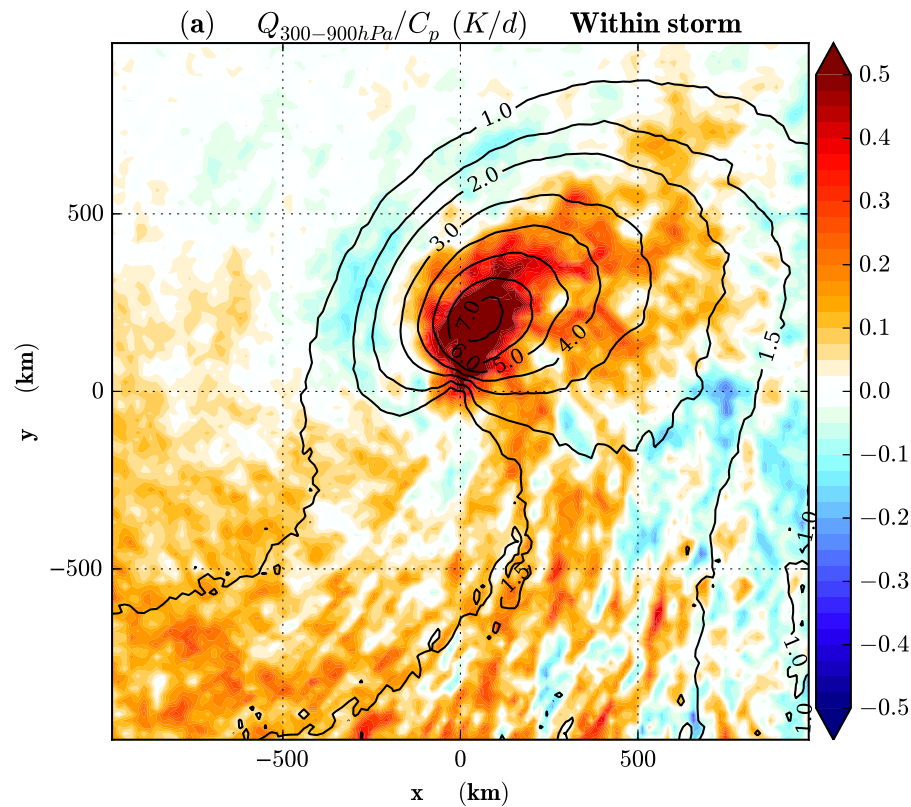
Evaporation plus forte en présence des tourbillons

$$E = C_d \underbrace{|\mathbf{u}|}_{|\bar{\mathbf{u}}| + \alpha TSO'} \left( \underbrace{q_{sat}(TSO)}_{q_{sat}(\overline{TSO}) + \frac{dq_{sat}}{dT} TSO'} - q_{atm} \right)$$

$$= A + B TSO' + C TSO'^2 + \dots$$

**Non-linéarité des flux par rapport à la TSO**

# Dégagement de chaleur latente au sein des tempêtes



## Composite du chauffage diabatique centré sur les tempêtes

- Contours : CONTROL
  - ◆ Le dégagement de chaleur latente a lieu au cœur des tempêtes
- Couleurs : EDDY-CONTROL
  - ◆ En présence des tourbillons océaniques, le chauffage est plus fort



# ***Conclusions***

# Quelles échelles océaniques représenter ?

- Les anomalies de TSO de grande échelle ( $\sim 1000\text{km}$ ) ont un effet faible sur le climat des latitudes moyennes
- Les fronts de TSO tels que le Gulf Stream ancrent le courant-jet au dessus d'eux

Les échelles de 100km (tourbillons océaniques) ont un effet sur

- la couche limite atmosphérique (vents, nuages, etc.)
- le rail des tempêtes
  - ◆ Importance des flux de surface
  - ◆ Mécanisme lié aux processus humides

# Conclusions

Augmenter la résolution spatiale n'est pas l'unique solution pour améliorer les modèles

Dans les GCMs, nécessité d'avoir

- de forts gradients de TSO dans les régions comme le Gulf Stream
- des anomalies de TSO liées aux tourbillons océaniques
- une bonne représentation des processus humides
- de bons schémas de couche limite et des flux air-mer
  - ◆ ou paramétrisation de l'effet des tourbillons sur les flux :

$$u = \bar{u} + \alpha TSO'$$

- ◆ utilisé par Renault et al. (2016) pour améliorer la représentation du Gulf Stream

# Bibliographie

---

Bruno Deremble, Guillaume Lapeyre and Michael Ghil, 2012.

*Atmospheric dynamics triggered by an oceanic SST front in a moist quasigeostrophic model*

J. Atmos Sci., 69, 1617-1632.

Julien Lambaerts, Guillaume Lapeyre, Riwal Plougonven and Patrice Klein, 2013.

*Atmospheric response to sea surface temperature mesoscale structures*

J. Geophys. Res. Atmos., 118, 9611-9621.

Alexis Foussard, Guillaume Lapeyre et Riwal Plougonven, 2019a.

*Response of surface wind divergence to mesoscale SST anomalies under different wind conditions* J. Atmos.

Sci., 76, 2065-2082.

Alexis Foussard, Guillaume Lapeyre et Riwal Plougonven, 2019b.

*Storm tracks response to oceanic eddies in idealized atmospheric simulations.*

J. Climate, 32, 445-463.