



# Sensibilité de la circulation thermohaline aux flux globaux en eau douce. Implication pour le devenir de la THC

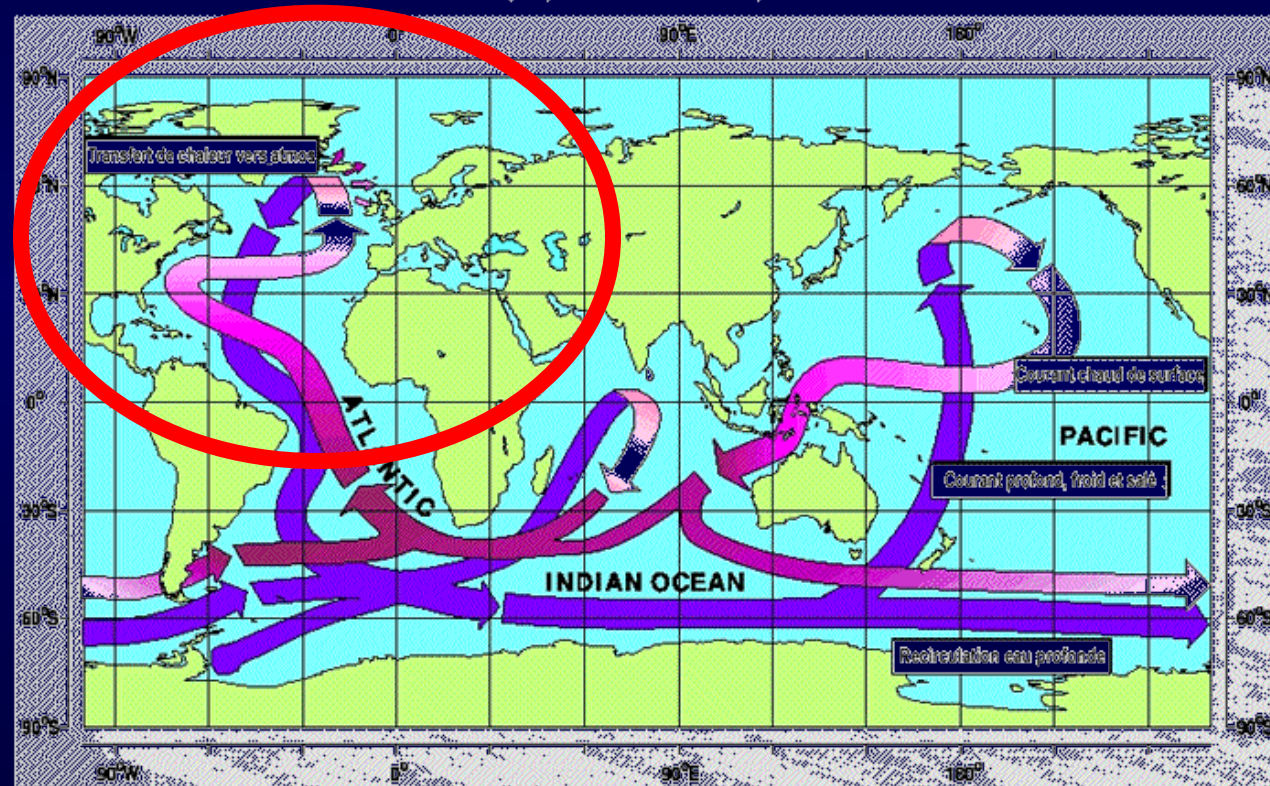
- Didier Swingedouw (LSCE)
- Directrice de Thèse : Pascale Braconnot
- Encadrant : Pascale Delecluse, Éric Guilyardi, Olivier Marti

# La circulation thermohaline

- Formation localisée des eaux profondes
- Transport de chaleur méridien = redistribution du flux solaire
- 15 à 20 Sverdrup par hémisphère

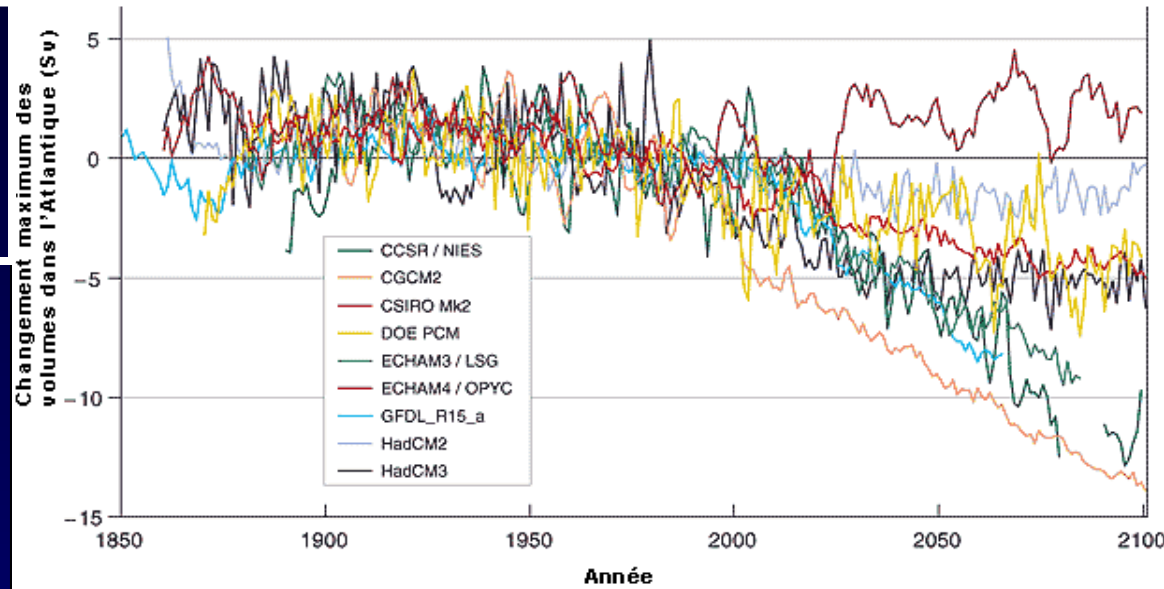
## Circulation thermohaline atlantique

Adapté par Maier-Reimer d'après Broecker



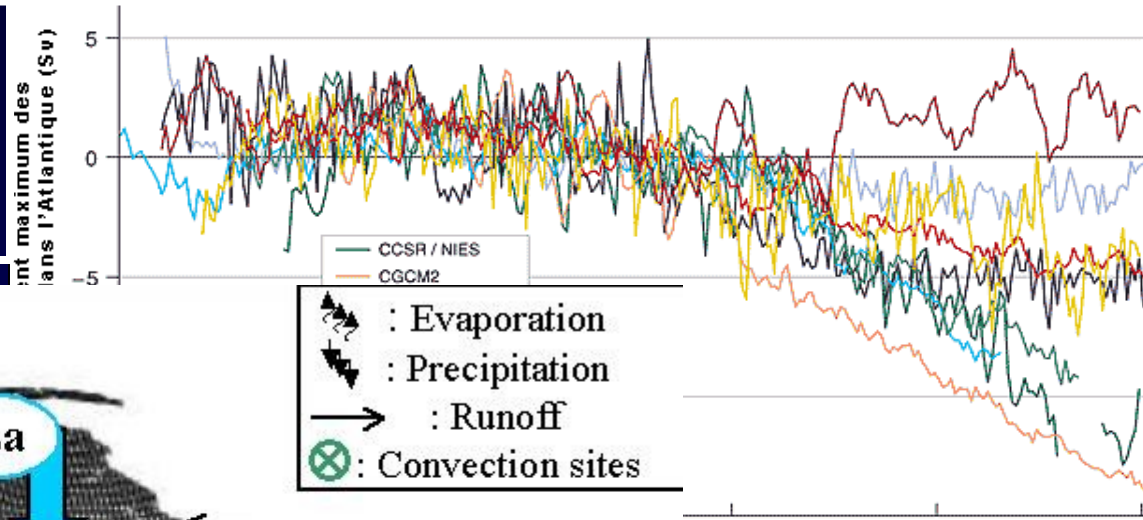
# Incertitude sur le devenir de la THC

## Indice THC IPCC (max. fonction courant méridienne)



# Incertitude sur le devenir de la THC

Indice THC IPCC (max. fonction courant méridienne)

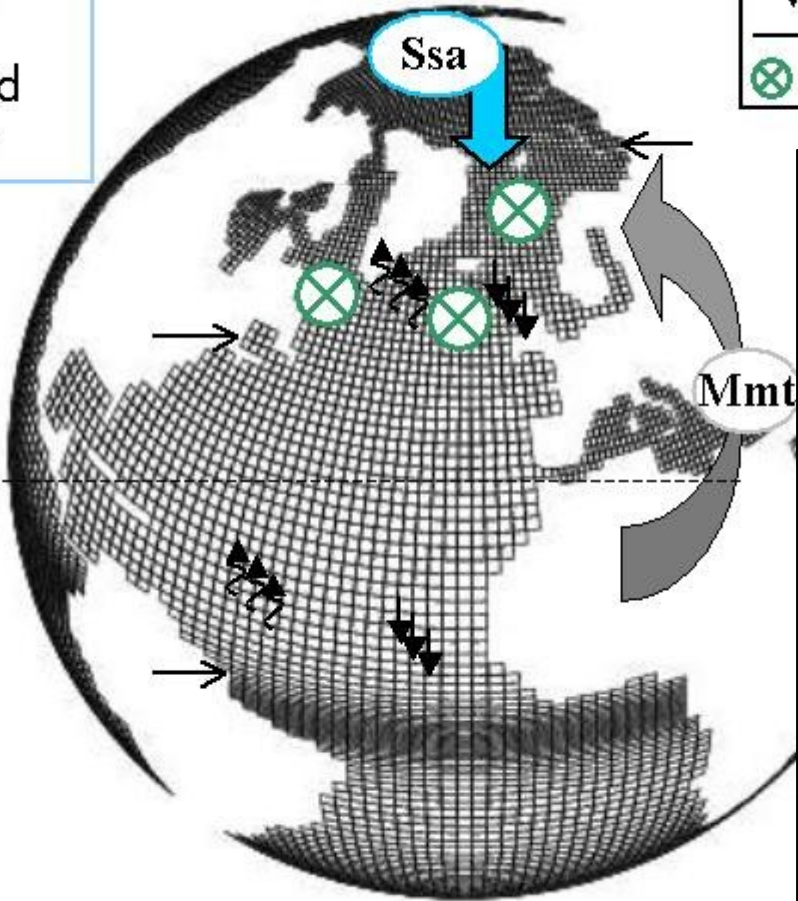


**Ssa:** Southward salt advection

**Nsa:** Northward salt advection

$E < P + R$

$E > P + R$

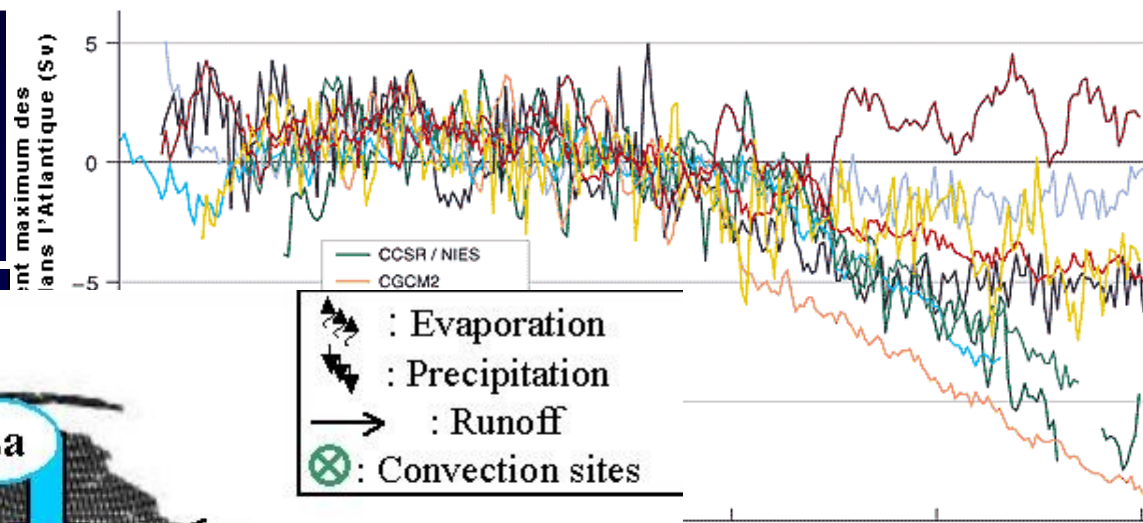


- ↕ : Evaporation
- ↕ : Precipitation
- : Runoff
- ⊗ : Convection sites

- Les scénarii IPCC montrent une large palette de comportement pour le futur de la circulation thermohaline
- Ces différences sont surtout dues à des différences dans les changements de cycle hydrologique
- Ex : Dixon (1999)

# Incertitude sur le devenir de la THC

Indice THC IPCC (max. fonction courant méridienne)

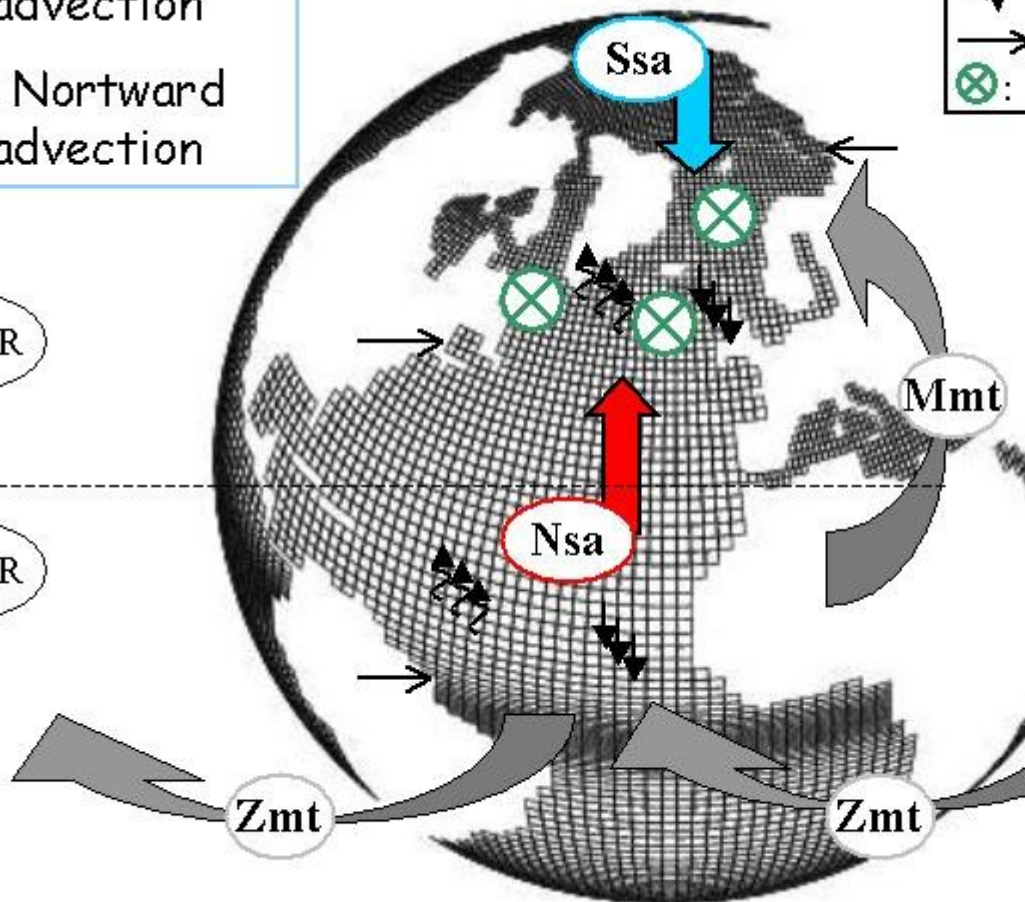


**Ssa:** Southward salt advection

**Nsa:** Northward salt advection

$E < P + R$

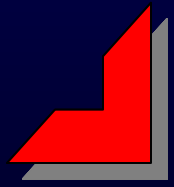
$E > P + R$



- Les scénarii IPCC montrent une large palette de comportement pour le futur de la circulation thermohaline
- Ces différences sont surtout dues à des différences dans les changements de cycle hydrologique
- Ex : Dixon (1999) vs Latif (2000)

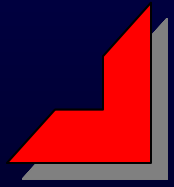


# Cette étude:

- But : Quantifier l'impact des flux d'eau douce globaux sur la THC, illustrant pour chaque processus :  
**Échelles de temps et Intensité**
  - Outil : Modèle couplé IPSL-CM4
- 

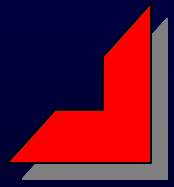


# Plan

1. Le modèle couplé de l'IPSL
    1. Description
    2. Validation
  2. Sensibilité aux flux d'eau douce
    1. Sensibilité des sites de convection
    2. Compréhension biais modèle
  3. Comportement de la THC dans le futur dans ce modèle
- 



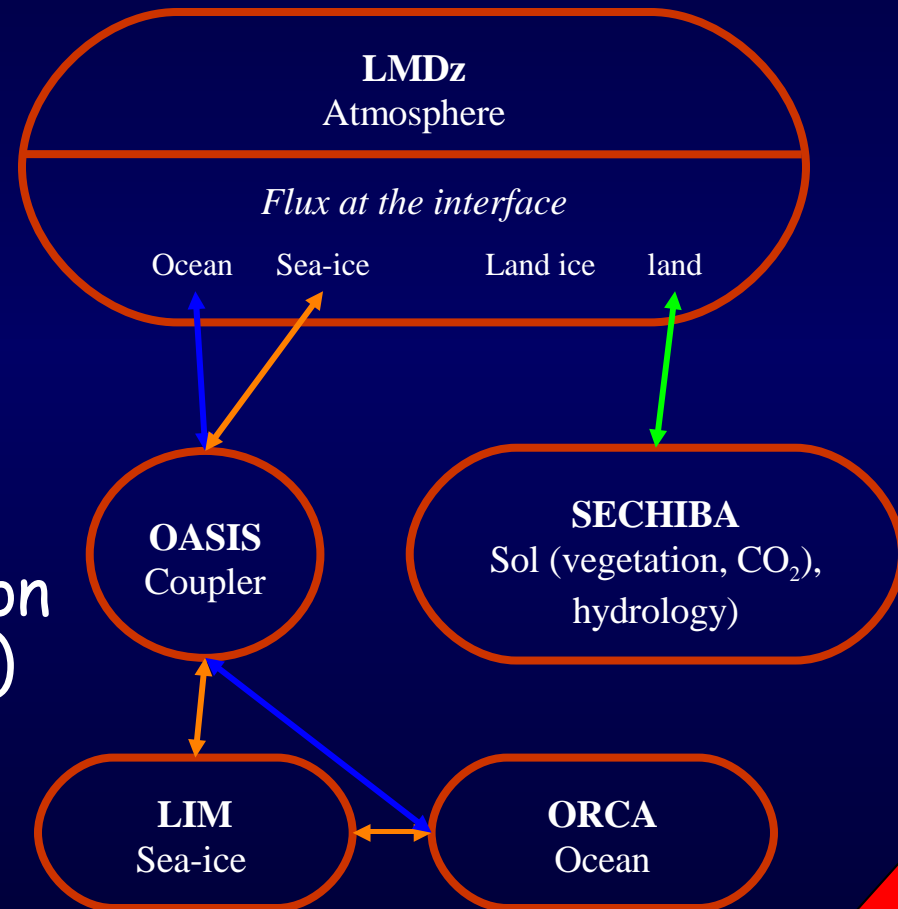
# Plan

1. Le modèle couplé de l'IPSL
    1. Description
    2. Validation
  2. Sensibilité aux flux d'eau douce
    1. Sensibilité des sites de convection
    2. Compréhension biais modèle
  3. Comportement de la THC dans le futur dans ce modèle
- 

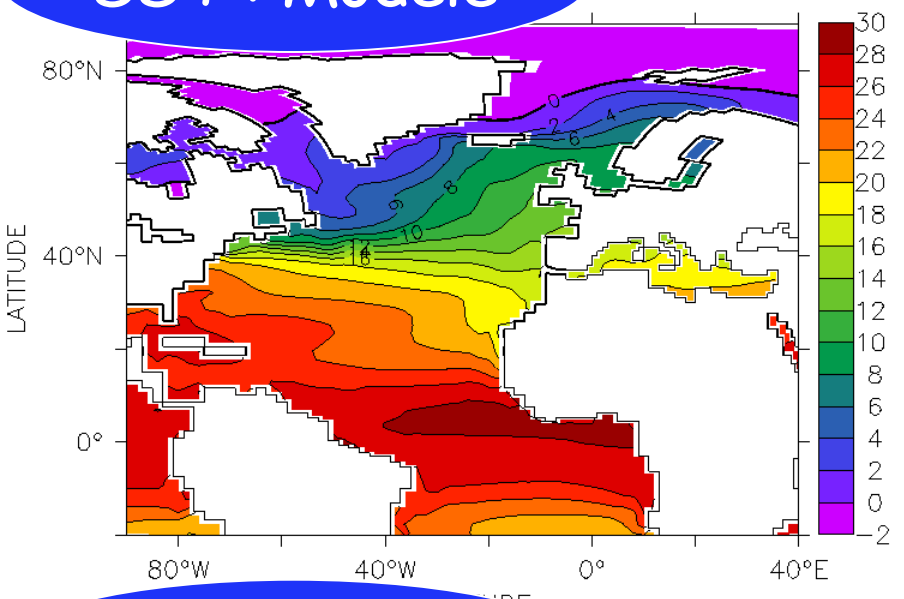


# Description du modèle couplé

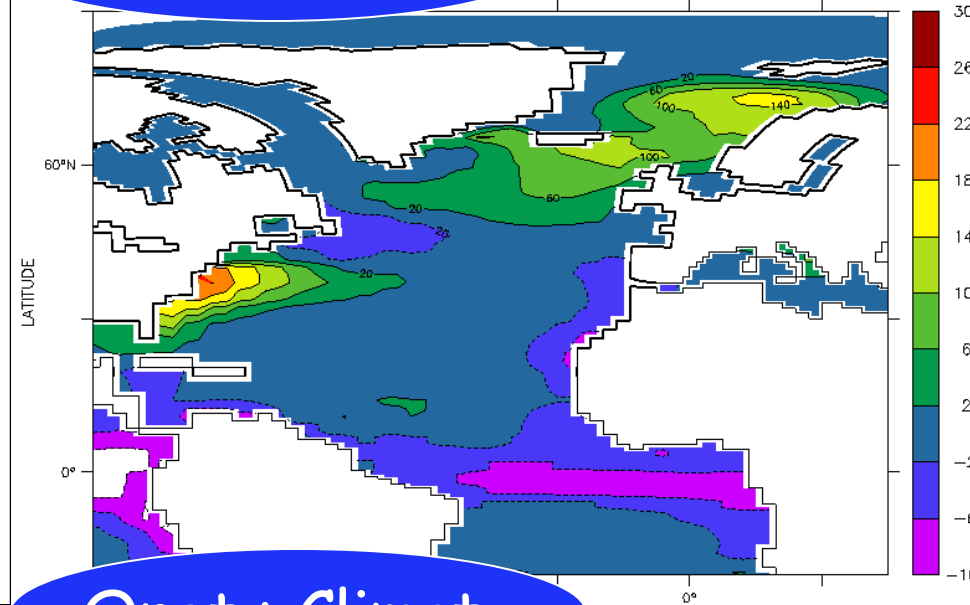
- IPSL-CM4 : Résolution de 2 degré
- Couplage entre Océan-Atmosphère-Glace (ORCALIM-LMDz)
- Océan :
  - ❖ Paramétrisation tourbillon (Gent-Mc Williams 1990)
  - ❖ Paramétrisation TKE (Blanke 1993)
  - ❖ Surface libre (Roulet 2000)



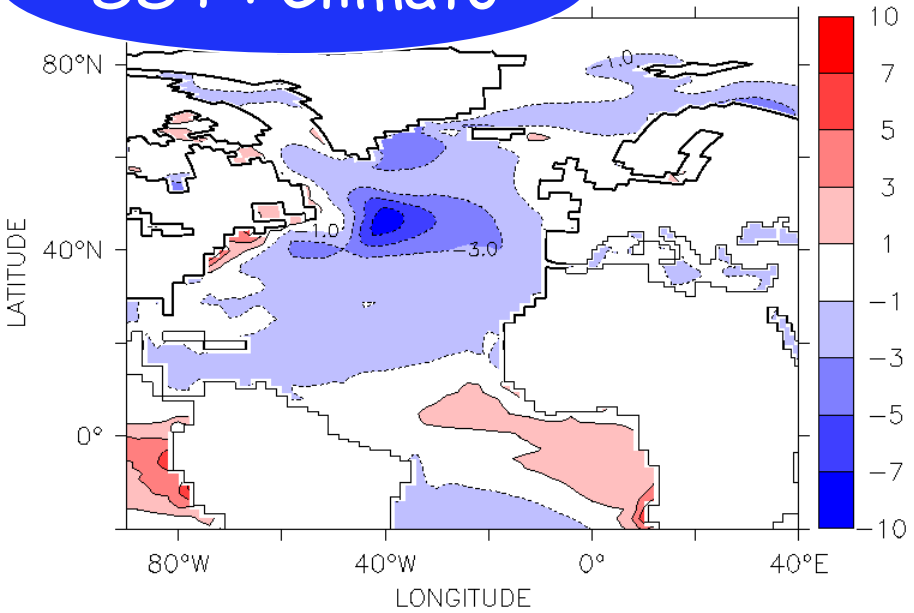
# SST : Modèle



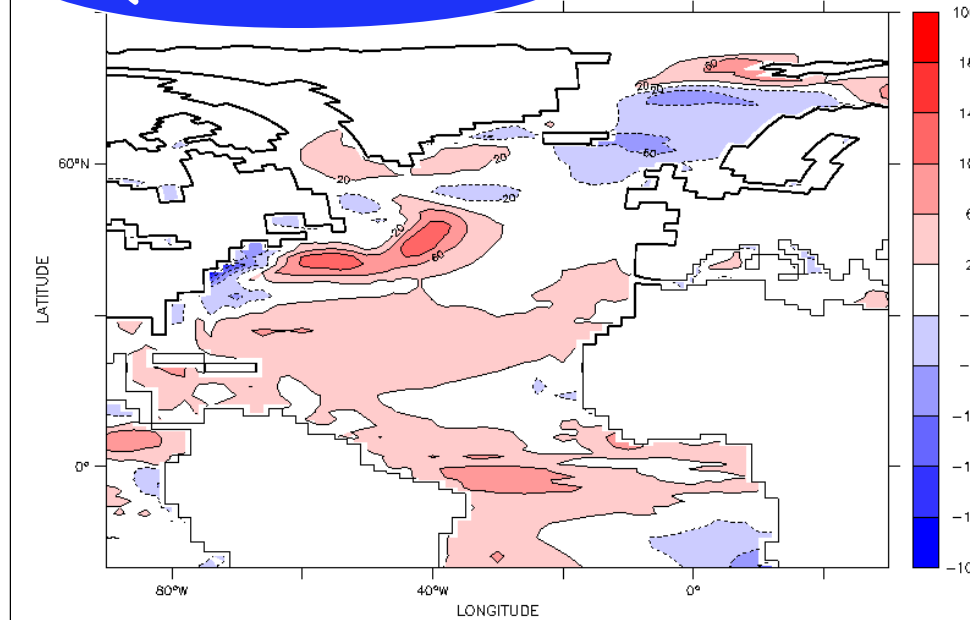
# Qnet : Modèle



# SST : Climato



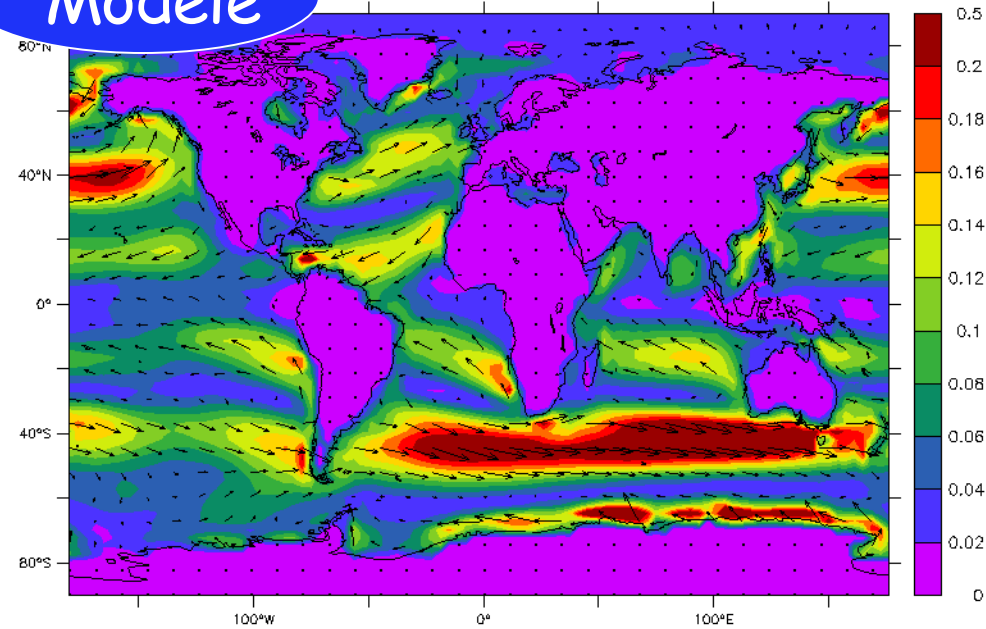
# Qnet : Climato



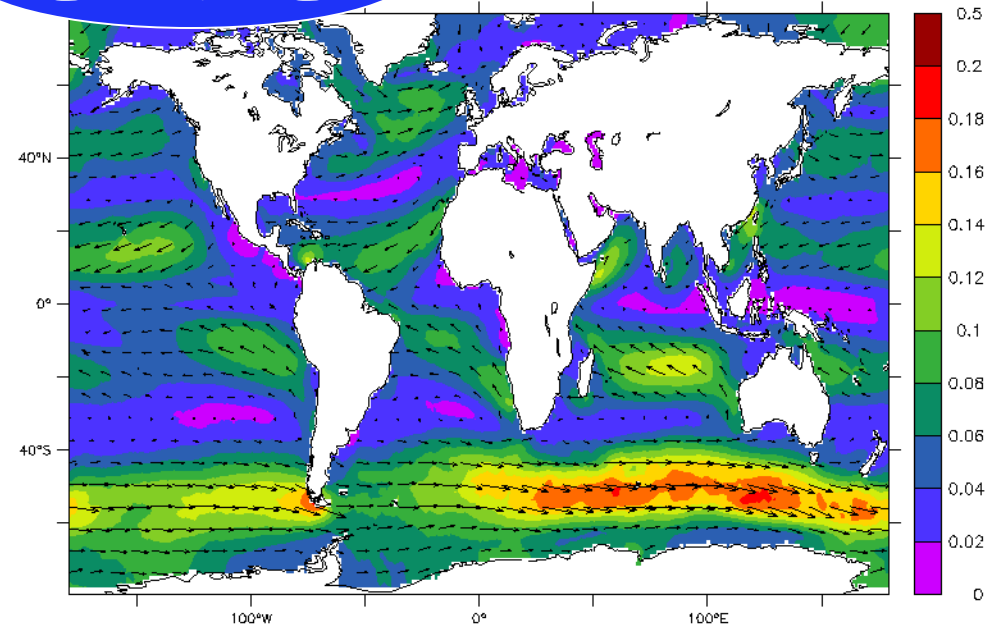
# Vent

- Mauvaise représentation du Gulf Stream
- Cellule de vent atmosphérique trop vers le Sud

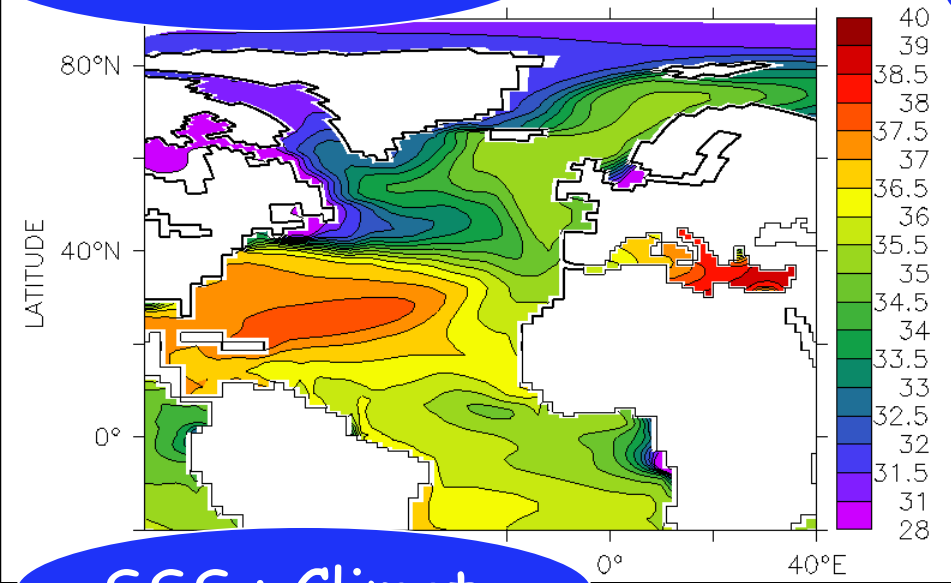
Modèle



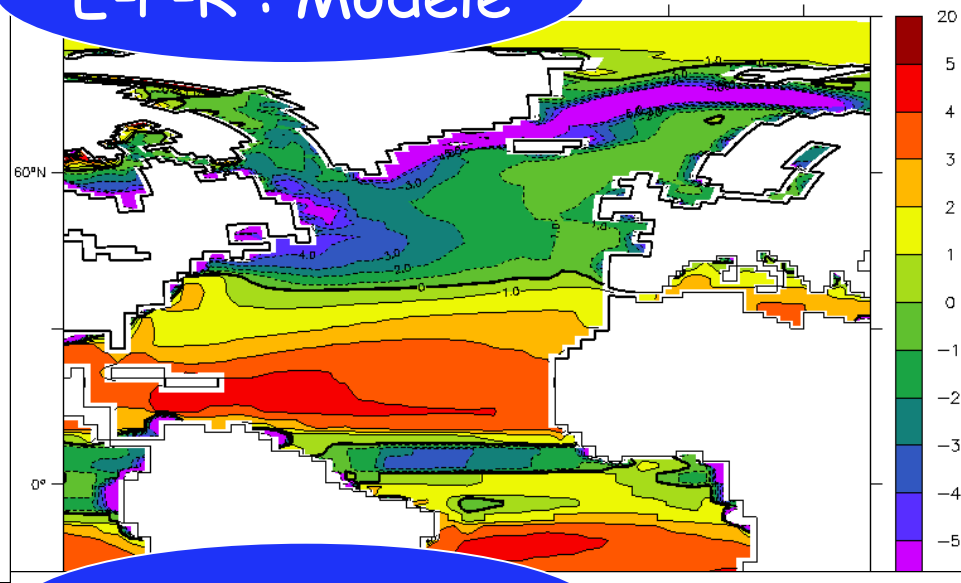
ERS-NCEP



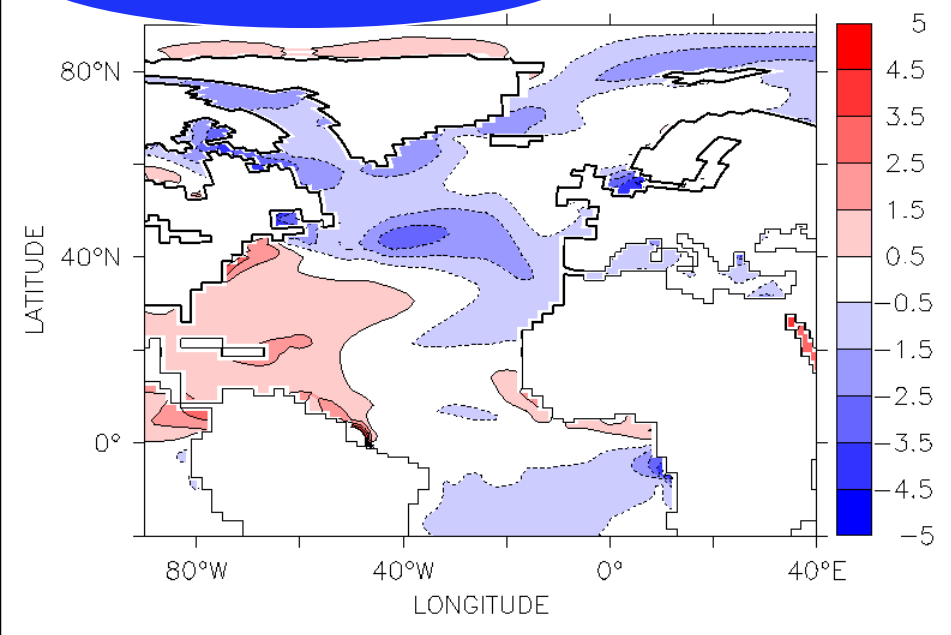
# SSS : Modèle



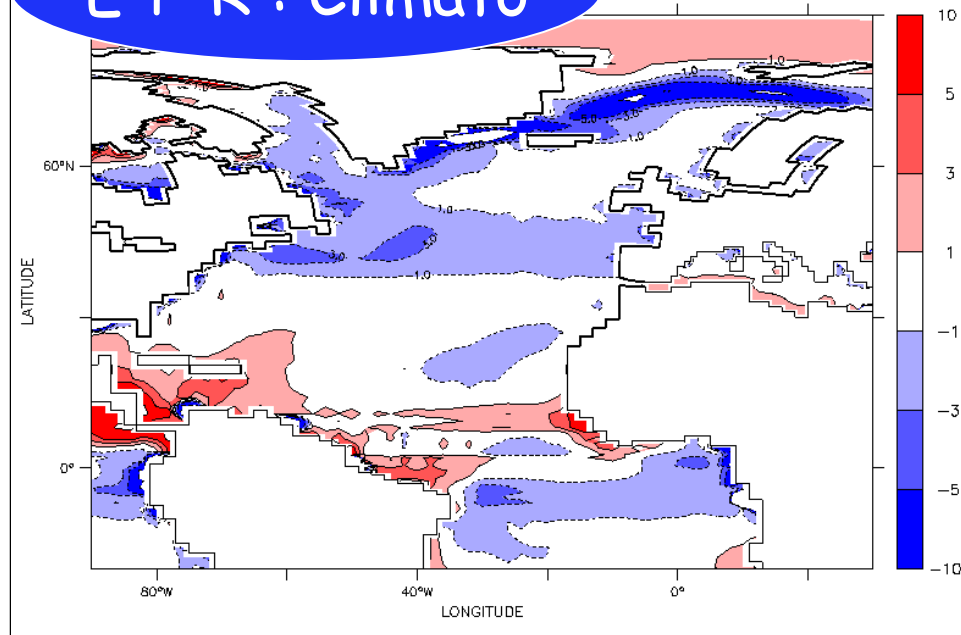
# E-P-R : Modèle



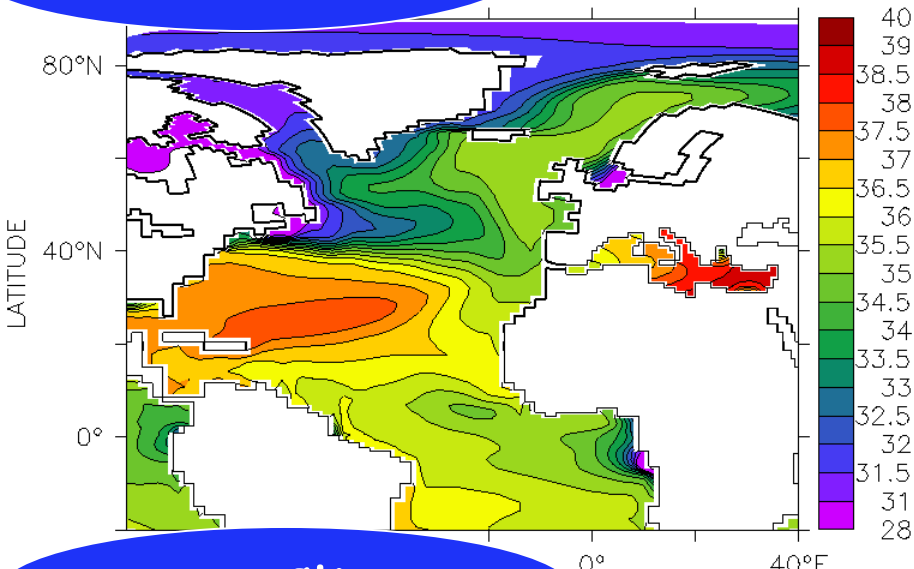
# SSS : Climato



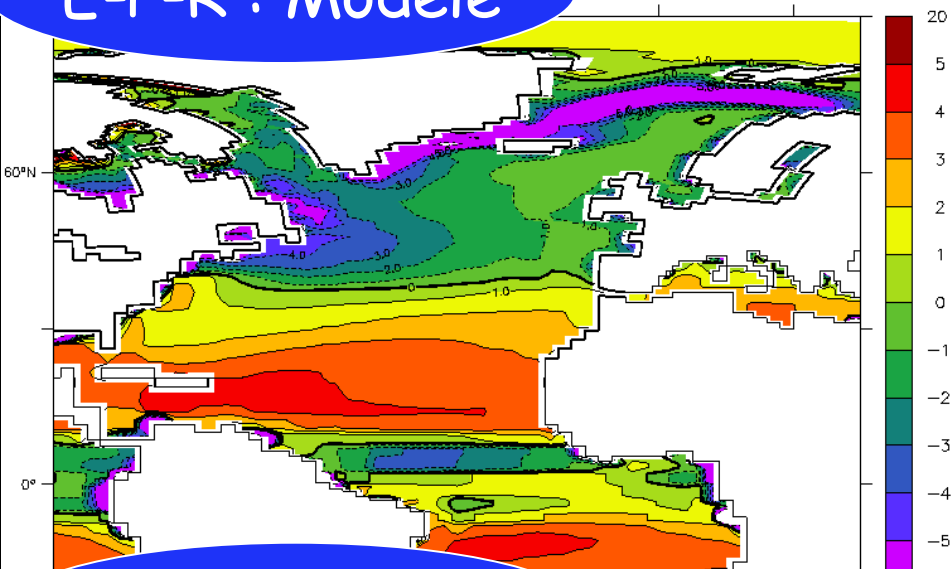
# E-P-R : Climato



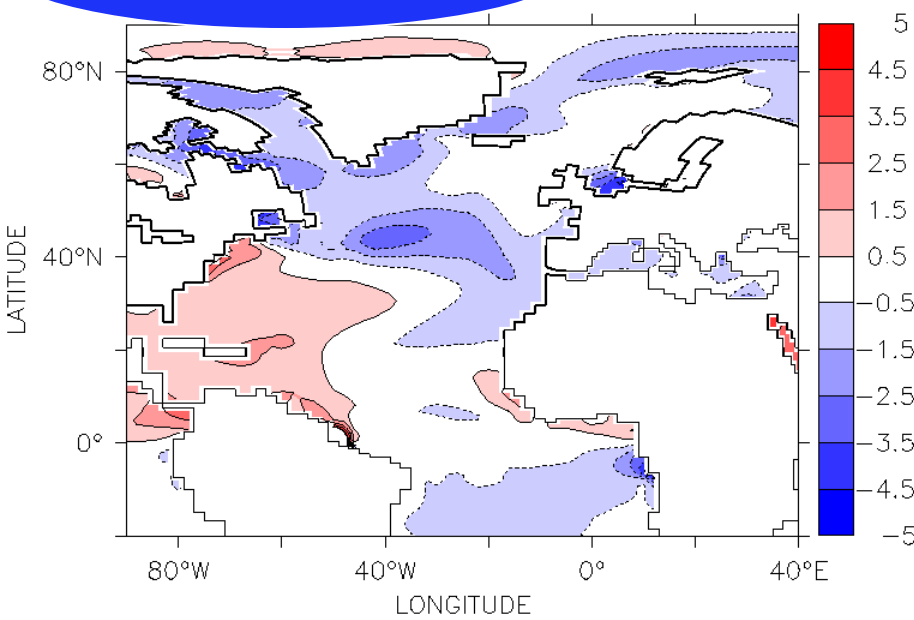
# SSS : Modèle



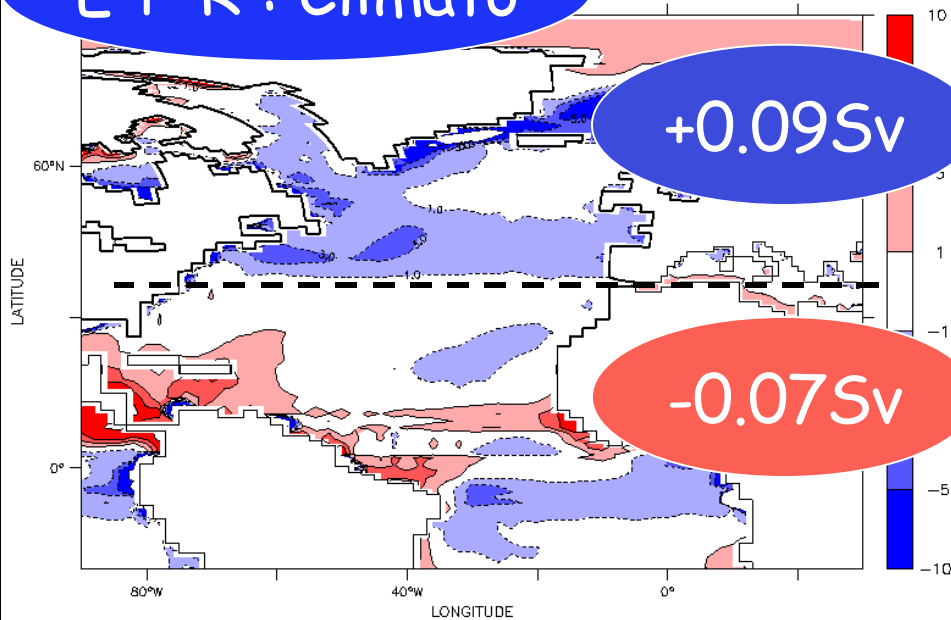
# E-P-R : Modèle



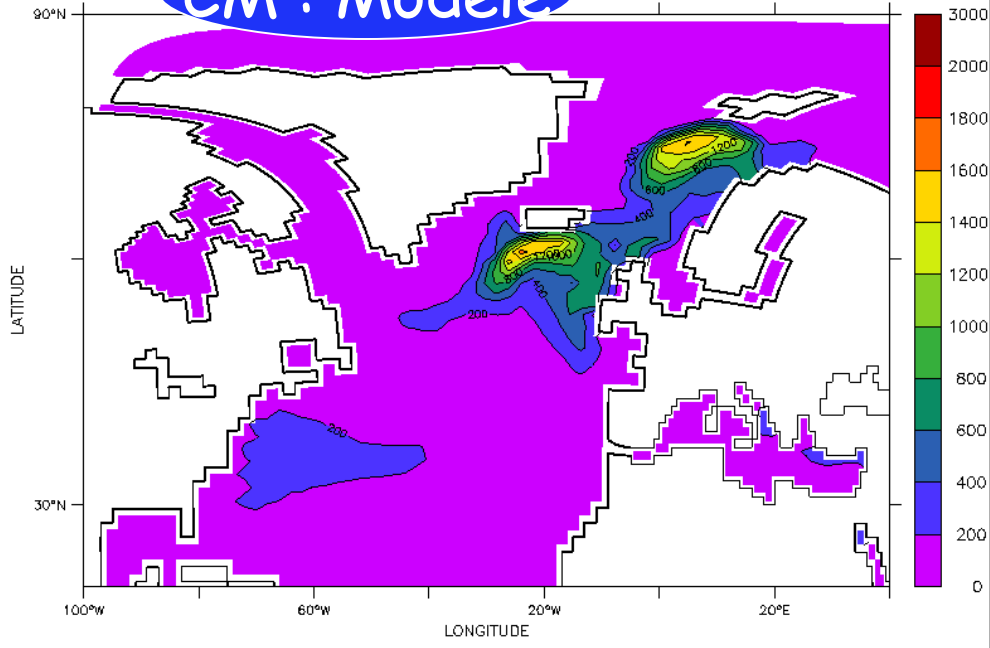
# SSS : Climato



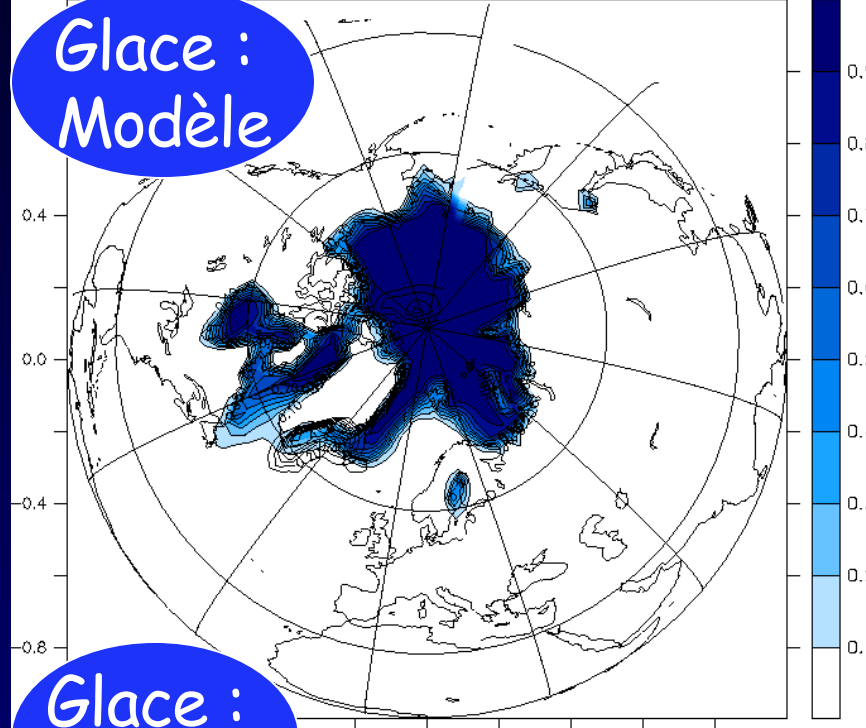
# E-P-R : Climato



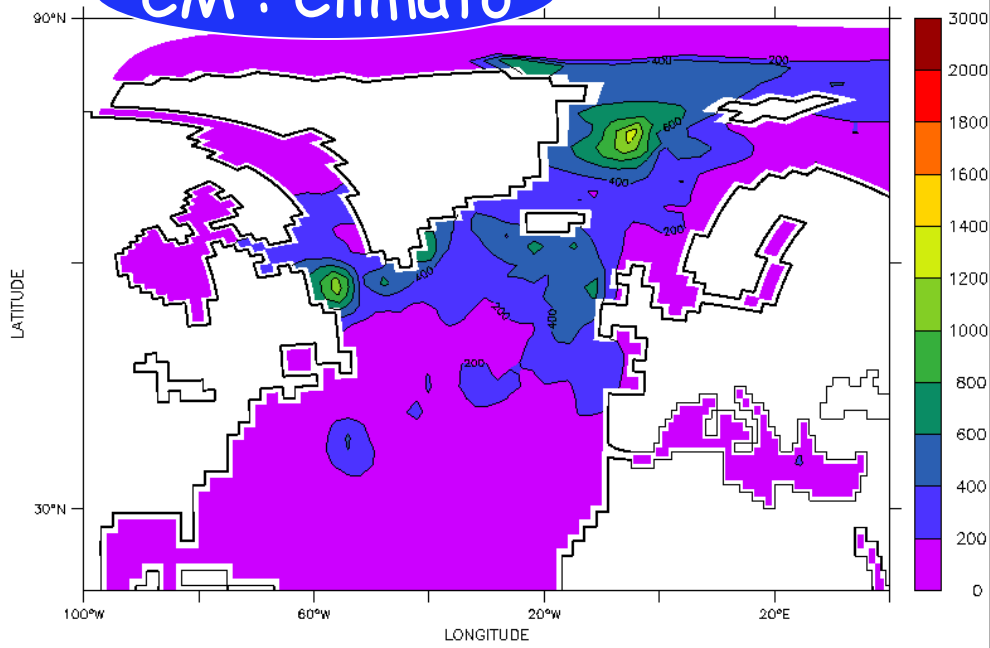
CM : Modèle



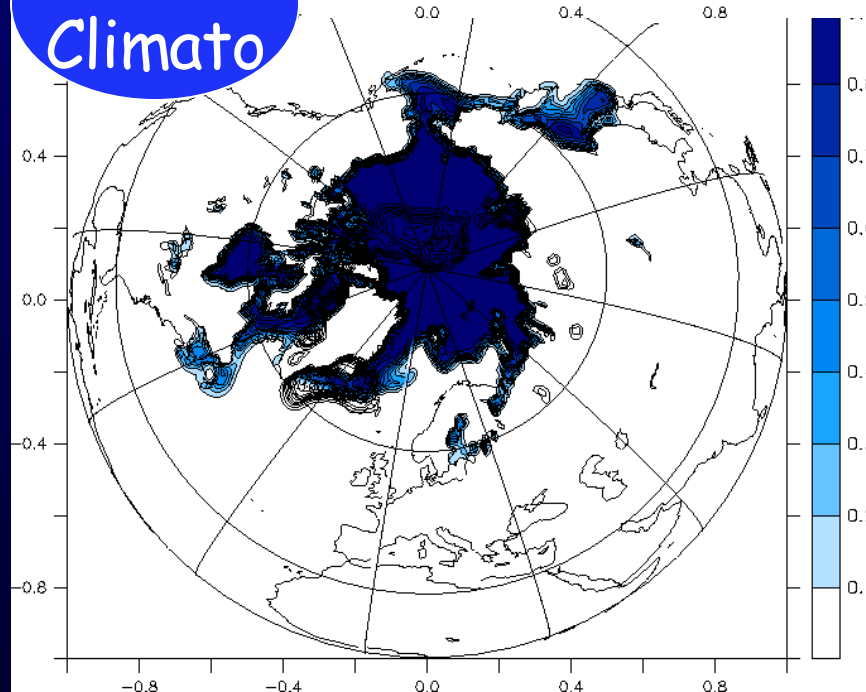
Glace :  
Modèle



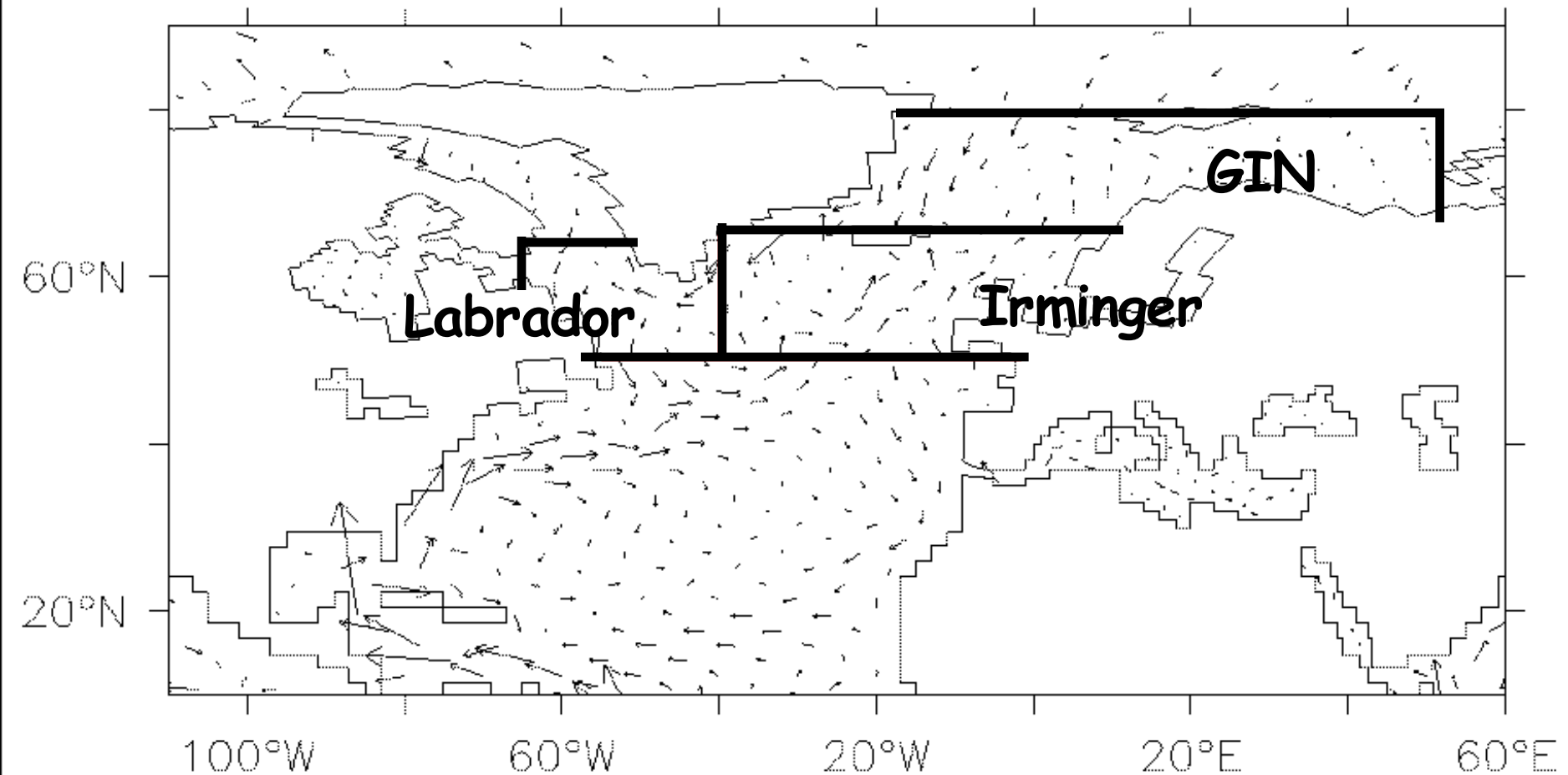
CM : Climato



Glace :  
Climato



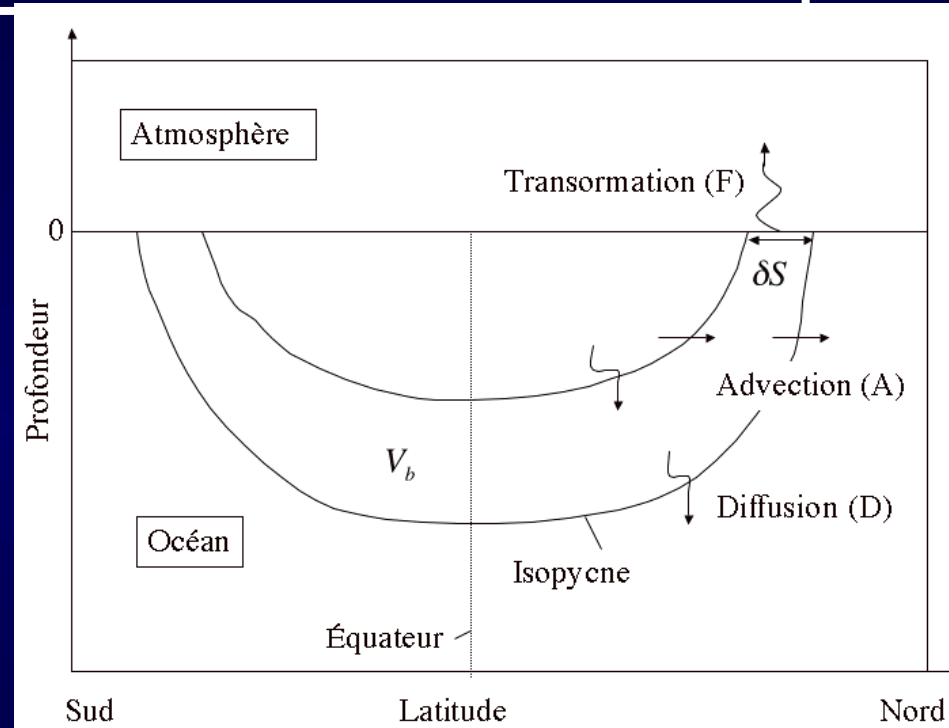
# Définition zones convection



# Aspect Thermodynamique

Équilibre  
diabatique :

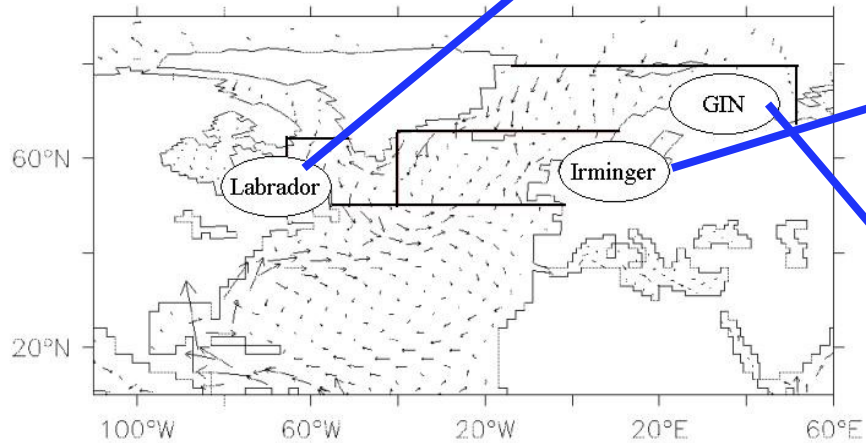
- Équilibre flux de surface diffusion
- Consommation en profondeur par diffusion
- **Formation** en surface par flux atmosphérique



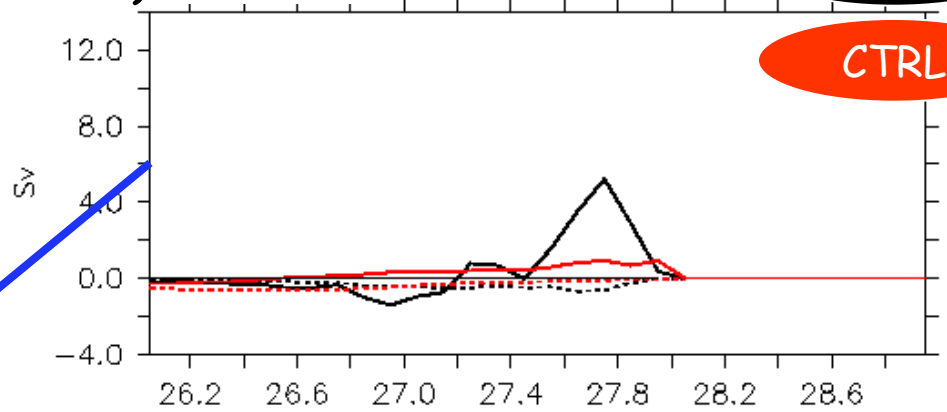
$$\frac{\partial V_b}{\partial t} = - \frac{\partial F}{\partial b} - \frac{\partial^2 D}{\partial b^2}$$



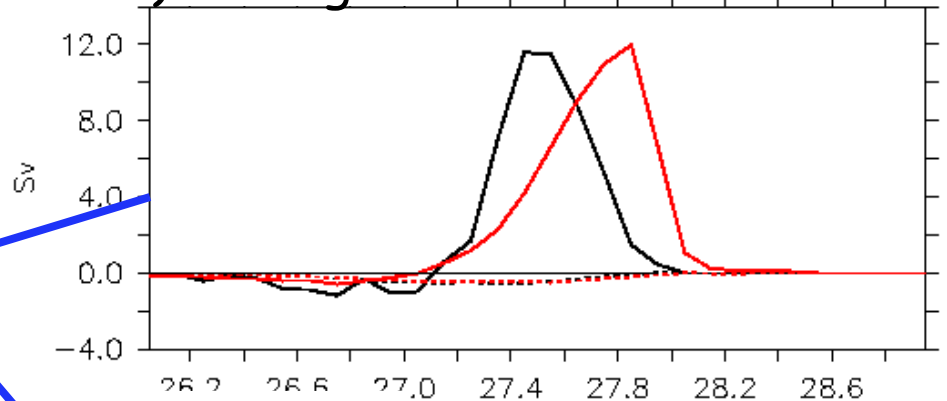
# Transformation de surface



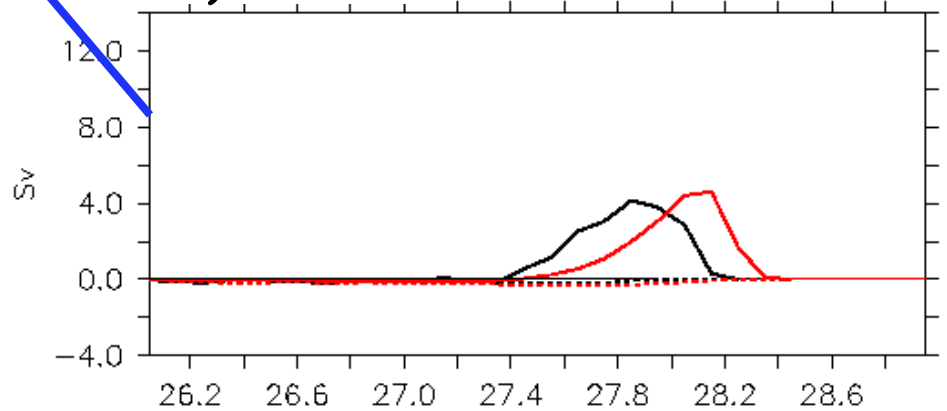
a) Labrador



b) Irminger



c) GIN



Climato

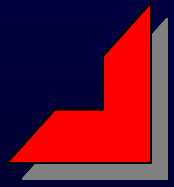
CTRL

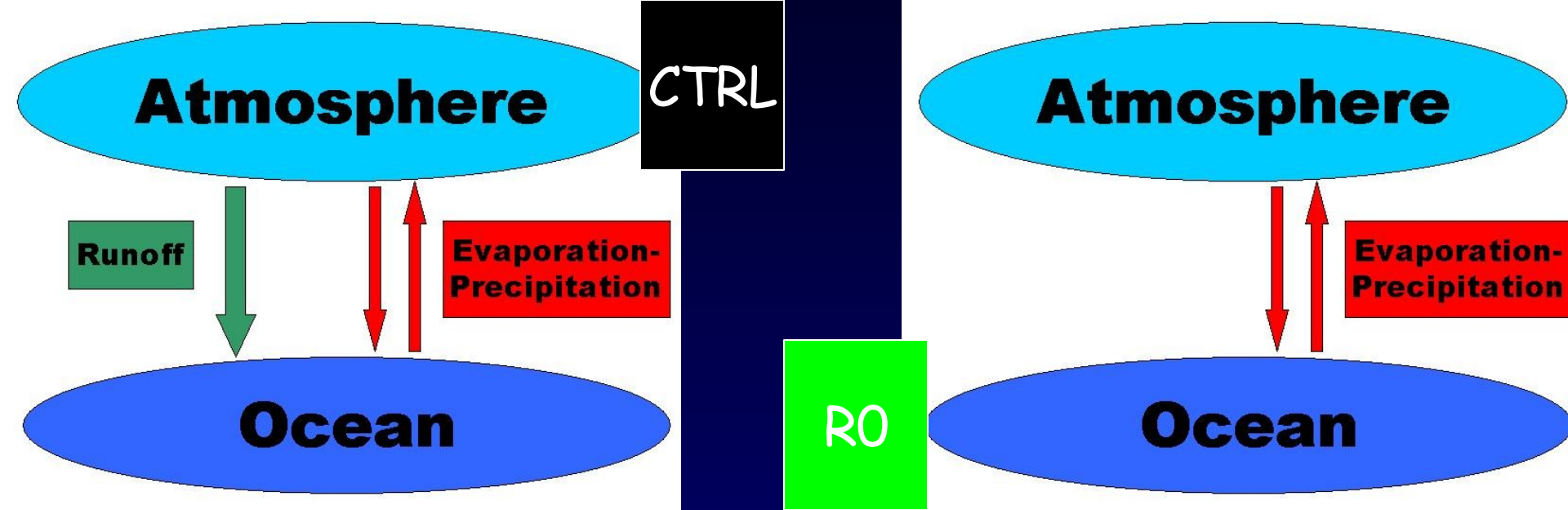
# Validation modèle

- Dans la gamme des modèles couplés existants
- Tassement vers l'équateur des cellules de vent modifie la circulation de surface
- THC de 11 Sv / 15 Sv (Ganachaud et Wunsch 2000) à cause de l'absence de convection en mer du Labrador

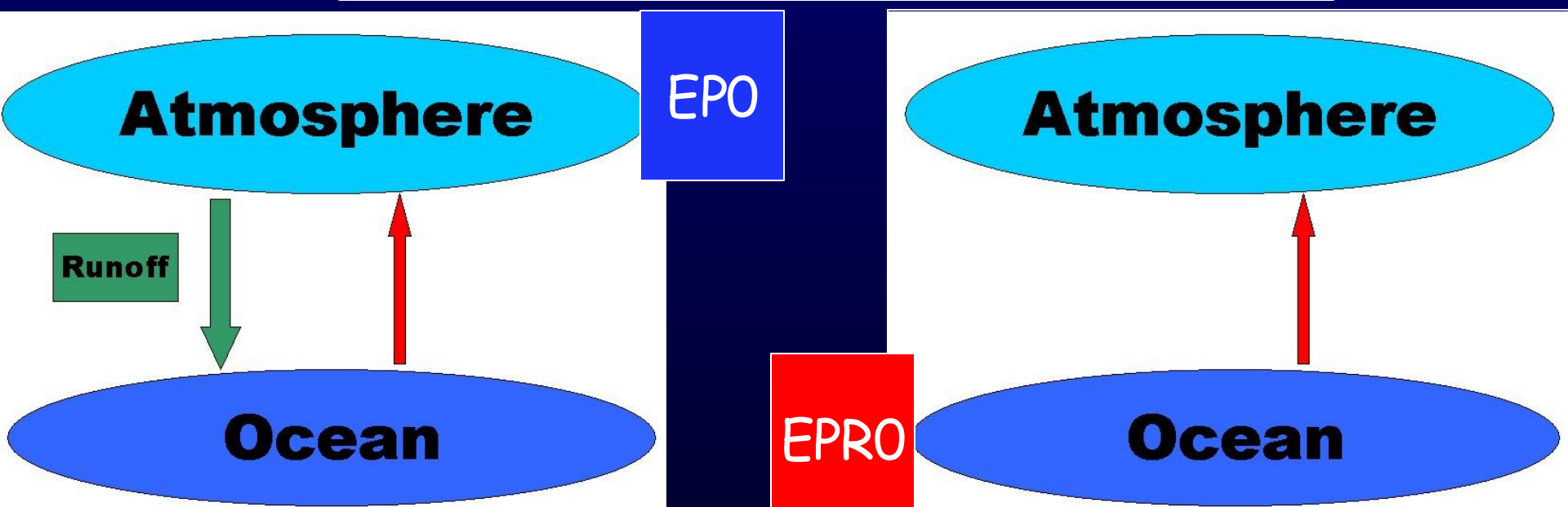


# Plan

1. Le modèle couplé de l'IPSL
    1. Description
    2. Validation
  2. Sensibilité aux flux d'eau douce
    1. Sensibilité des sites de convection
    2. Compréhension biais modèle
  3. Comportement de la THC dans le futur dans ce modèle
- 



## Expériences de sensibilité

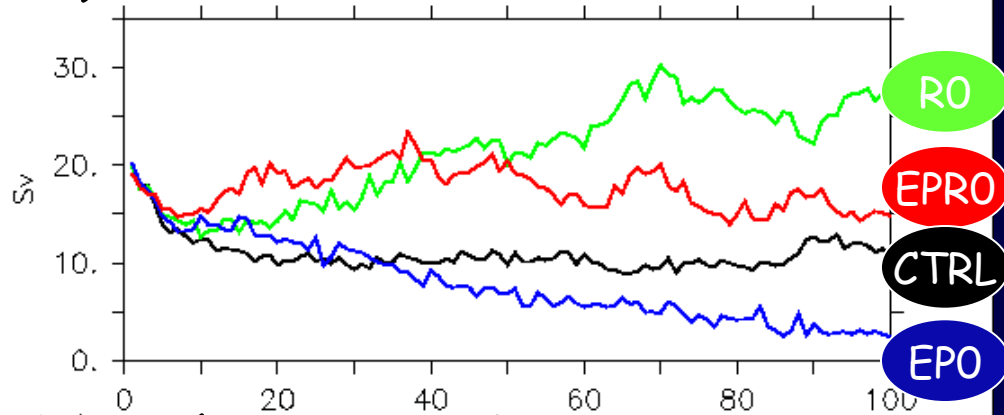


# Réponse de la THC sur 100 ans

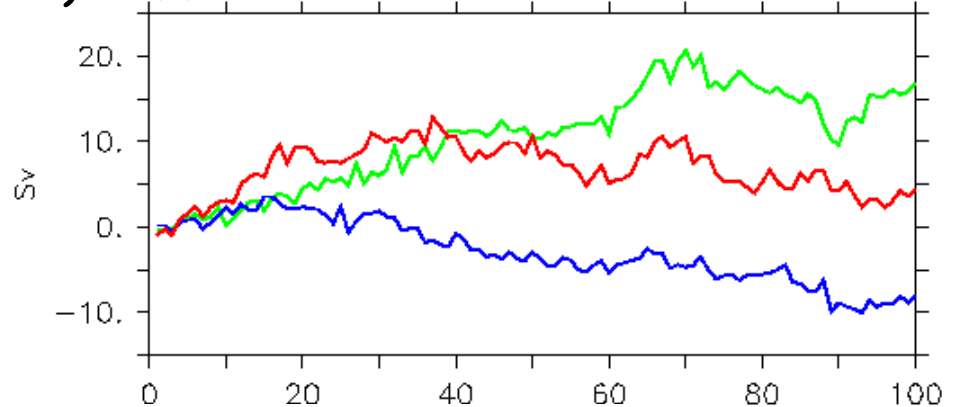
- EPO diminue jusqu'à 3 Sv
- RO augmente jusqu'à 30 Sv
- EPRO est pratiquement la somme de EPO et RO sur 60 ans = Linéarité sur cette échelle de temps

**EPRO = EPO + RO**

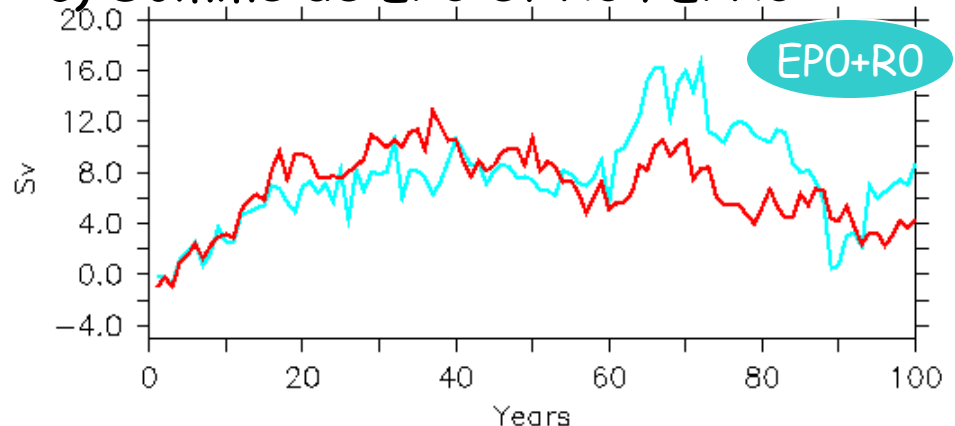
a) Indice THC



b) Différence avec le CTRL



c) Somme de EPO et RO / EPRO

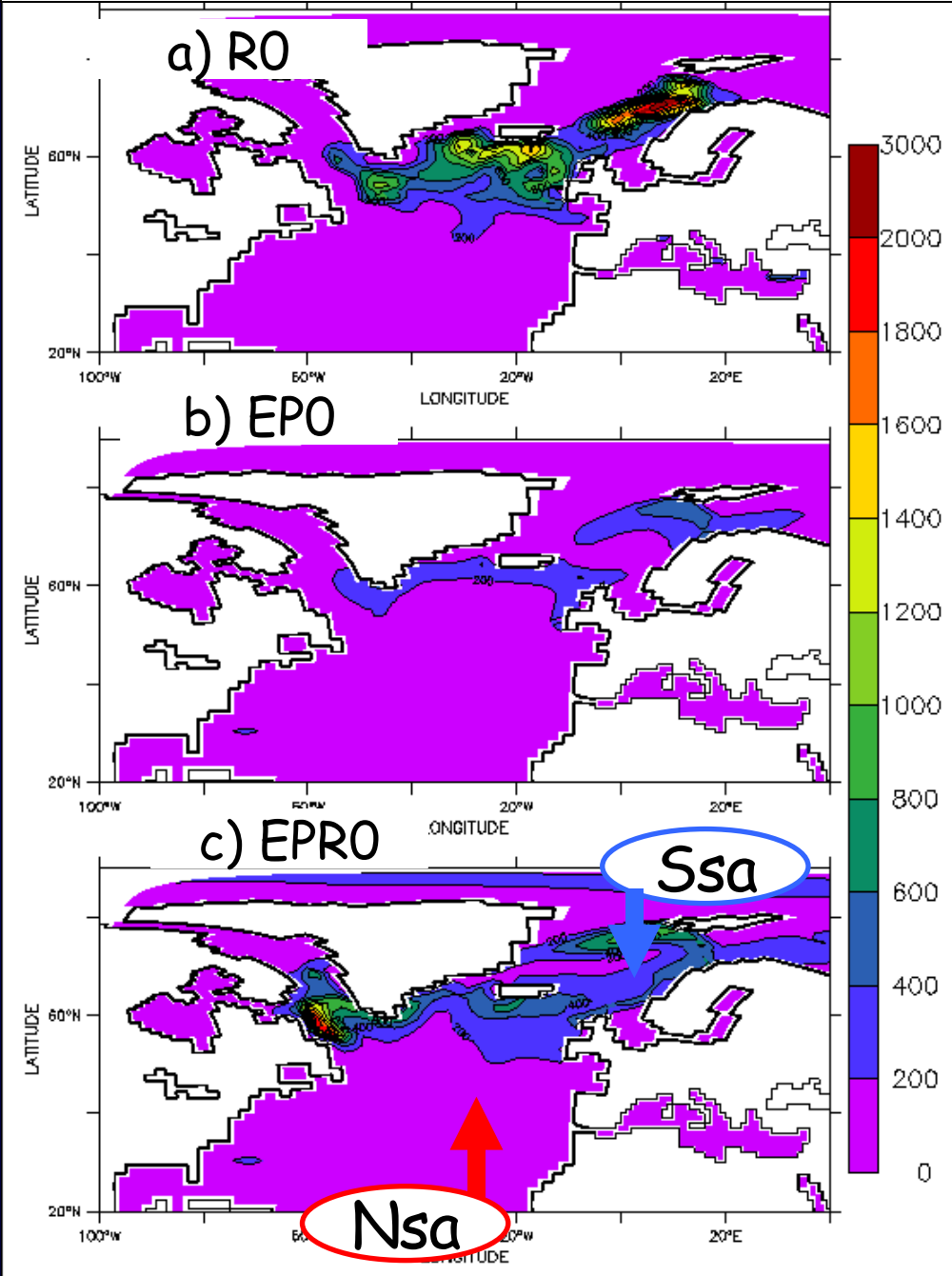


# Modification des sites de convection

- La convection est amélioré dans R0
- La Convection disparaît dans EPO
- Dans EPRO échange de site convectif : Labrador  $\leftrightarrow$  Irminger

Influence différente de Nsa et Ssa sur la stratification des sites de convection

Profondeur de la couche mélangée : années 50-100

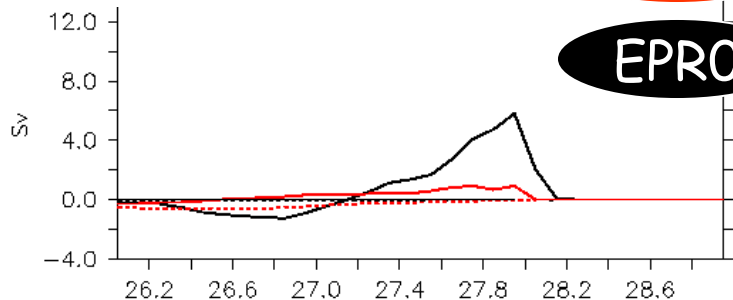


# Modification des sites de convection

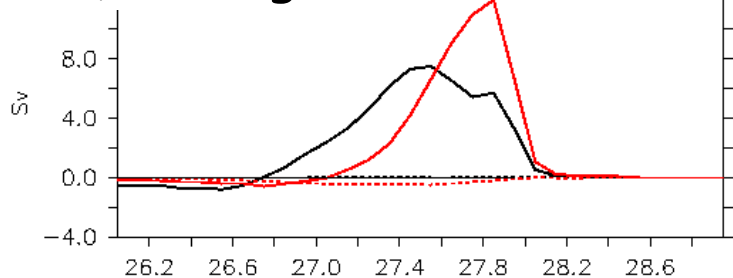
a) Labrador

CTRL

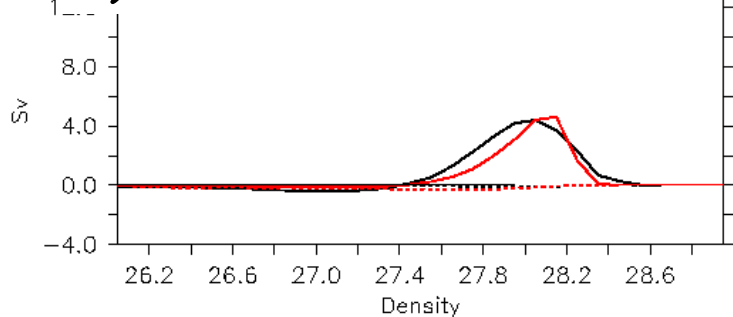
EPRO



b) Irminger

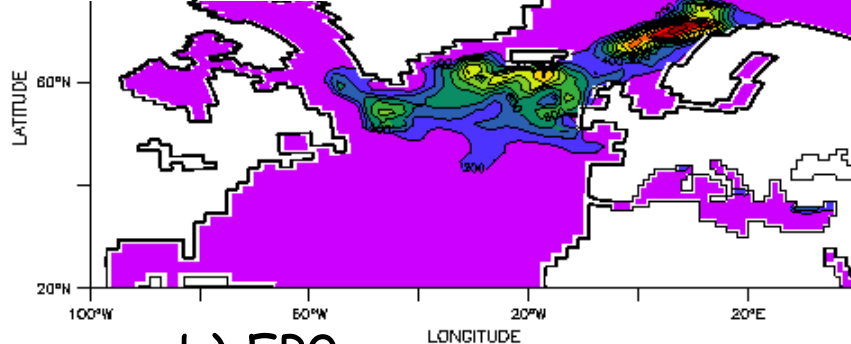


c) GIN

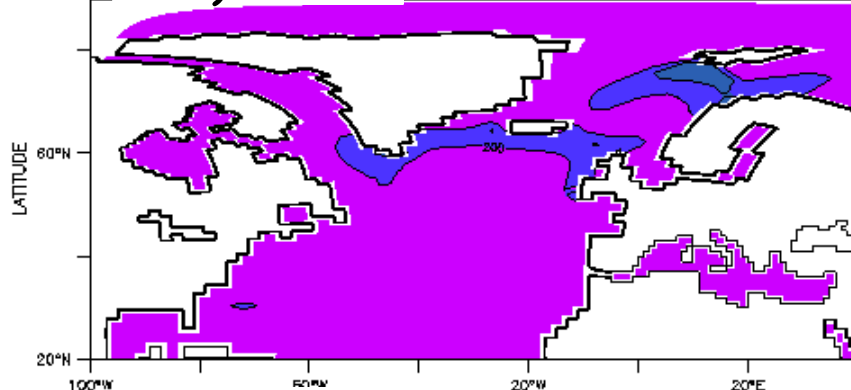


## Profondeur de la couche mélangée : années 50-100

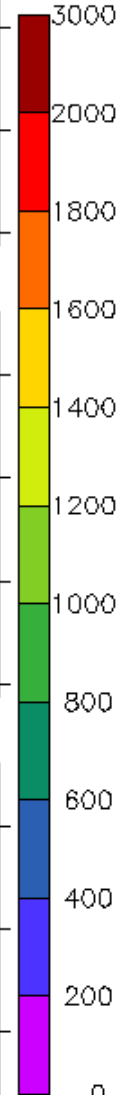
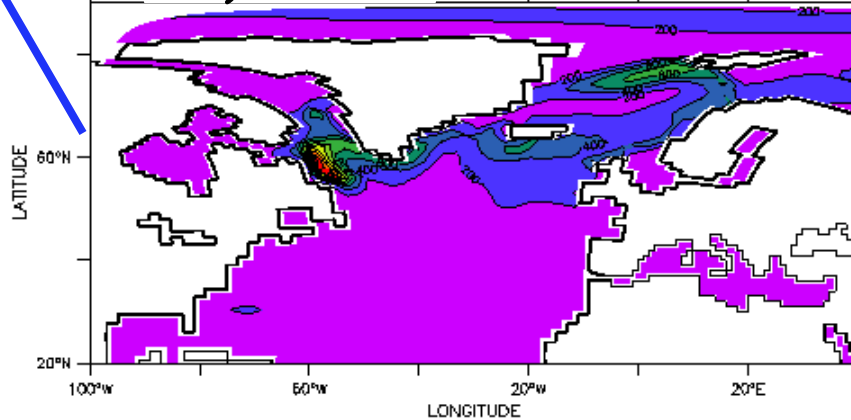
a) R0



b) EPO



c) EPRO



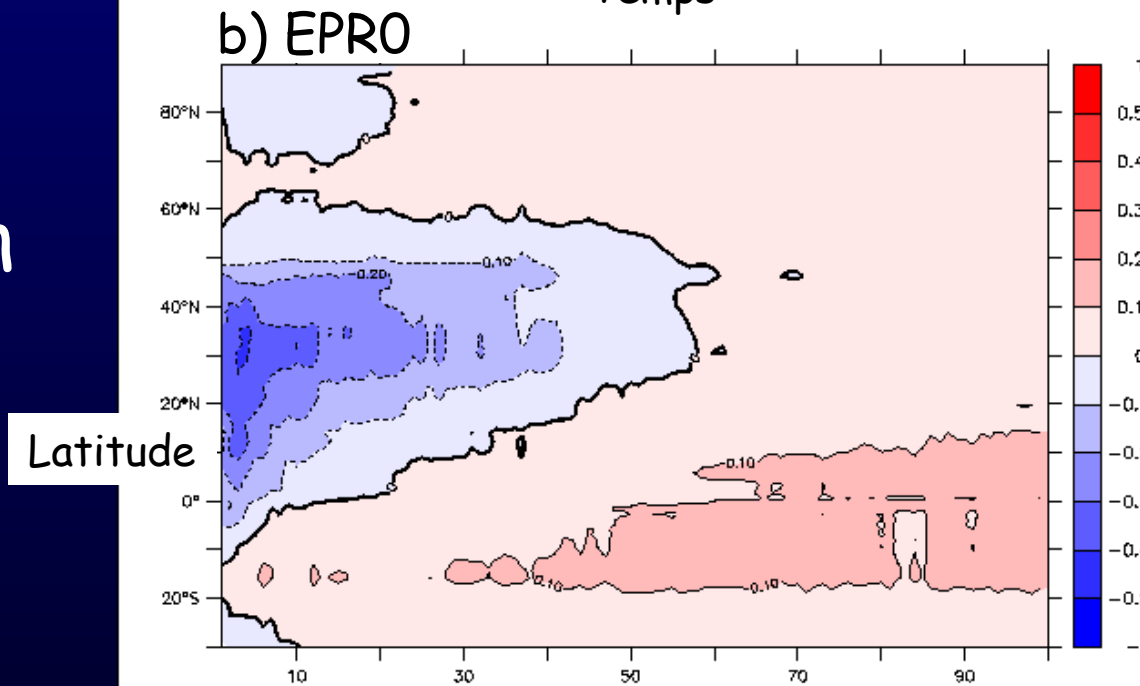
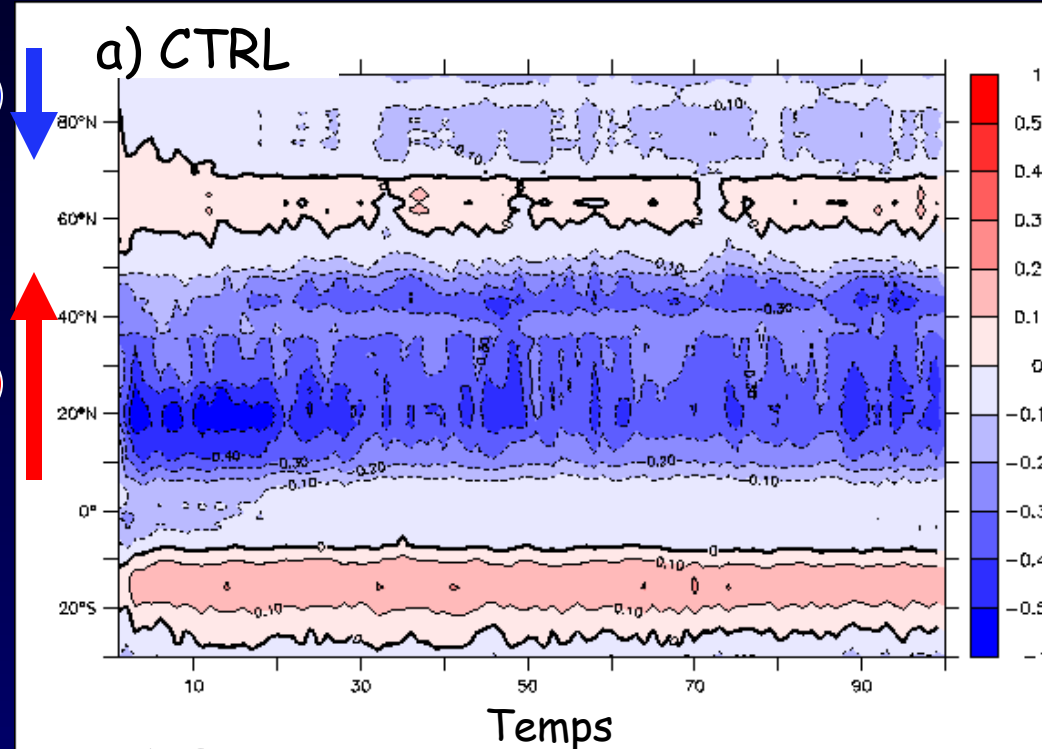
# Transport d'eau douce

$$F_{OT} = -\frac{1}{S_0} \int \bar{v} \bar{S} dz$$

➤ Ssa disparaît en 20 ans, 60 ans pour Nsa

Ssa

Nsa

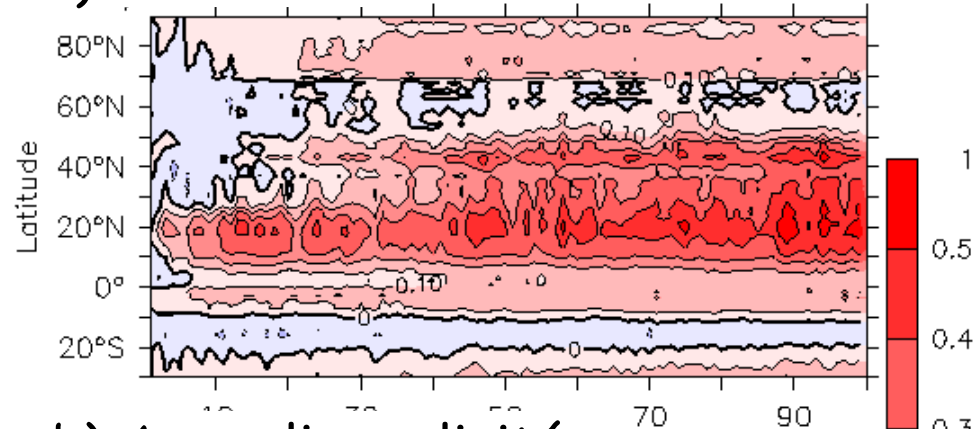




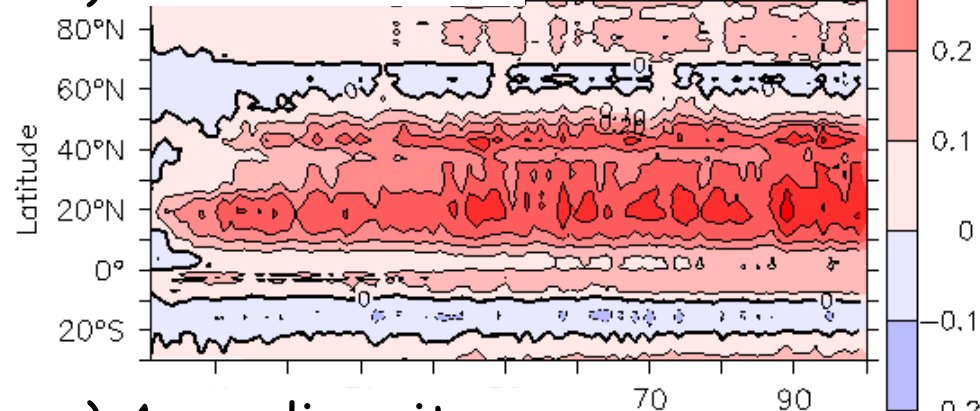
# Changement transport dû aux anomalies en Sel

- Décomposition en anomalies de vitesse et de salinité
- Anomalies de salinité domine le signal

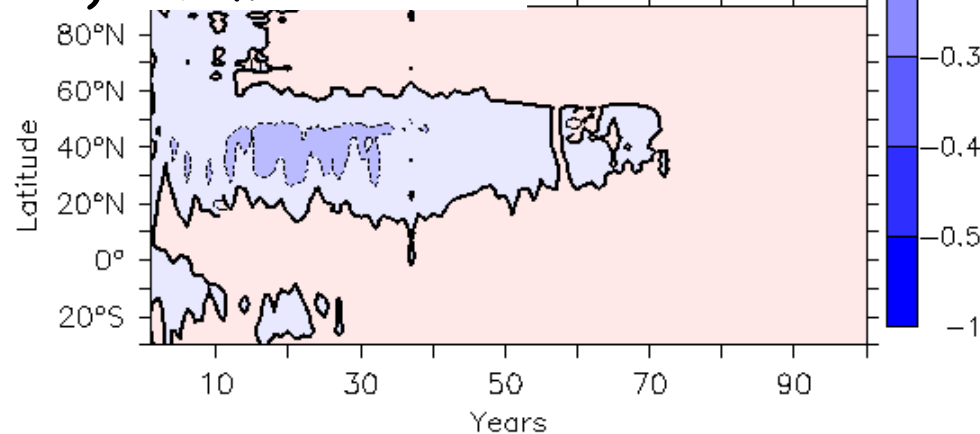
a) EPRO-CTRL



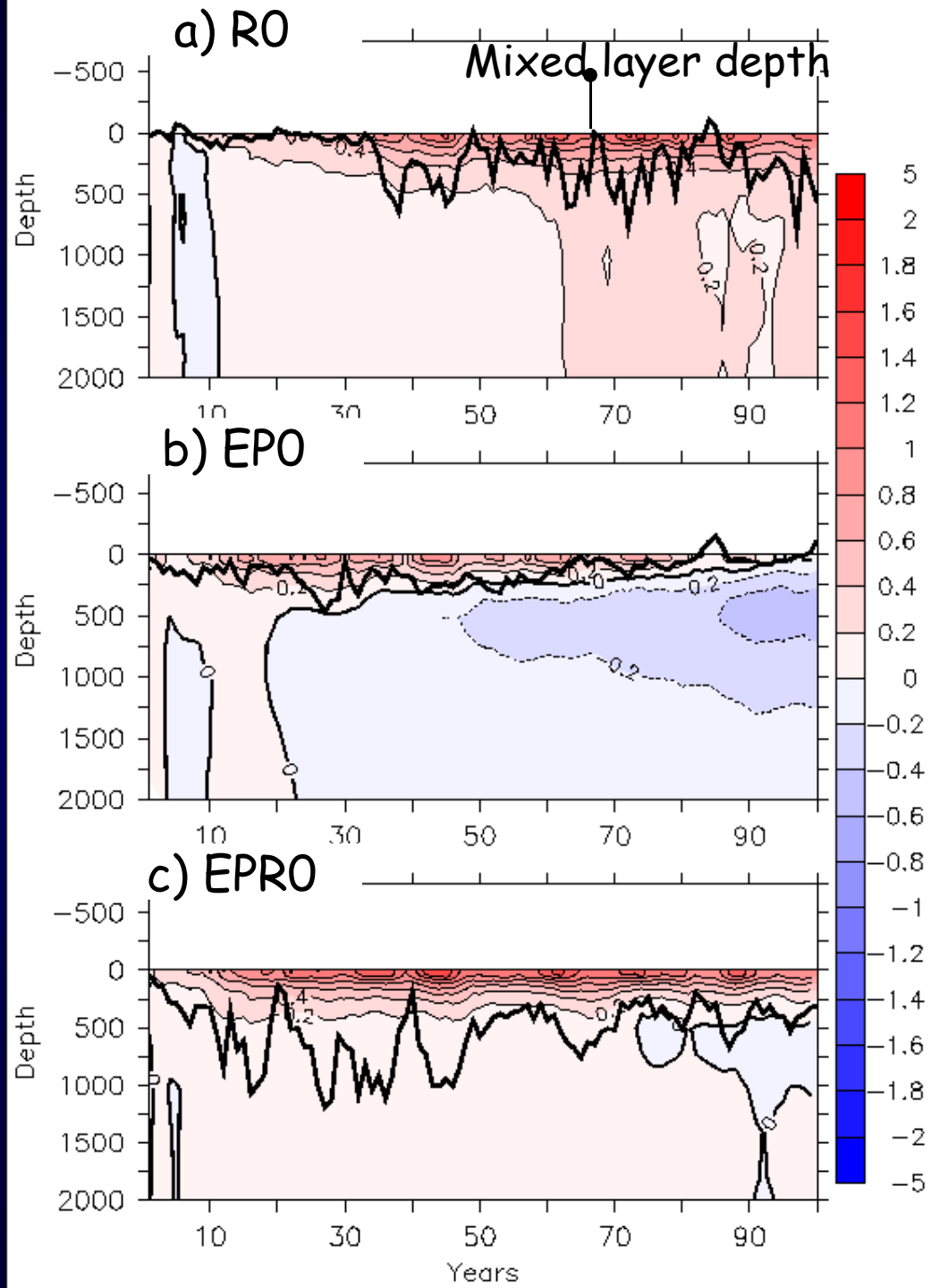
b) Anomalies salinité



c) Anomalies vitesse

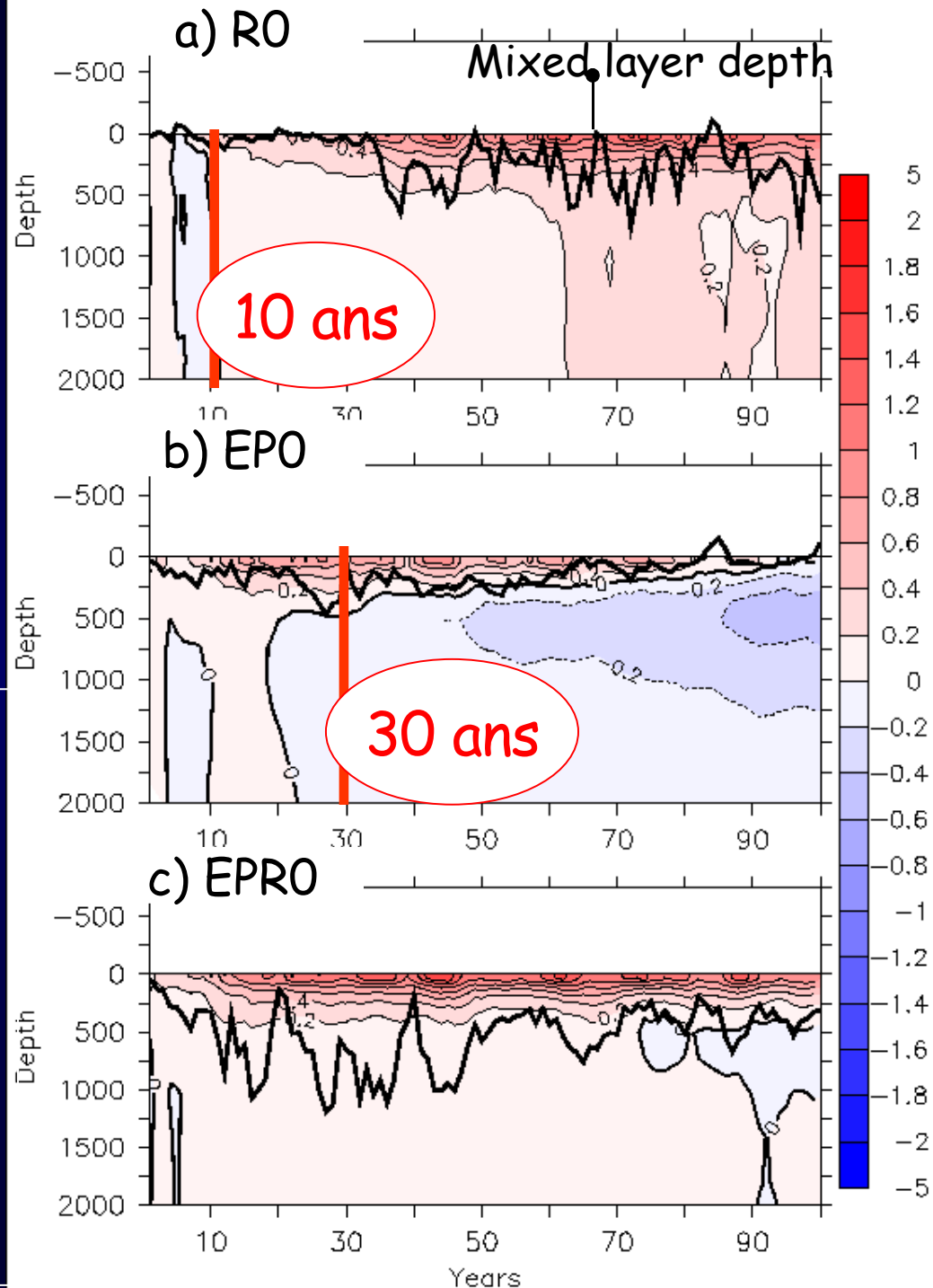


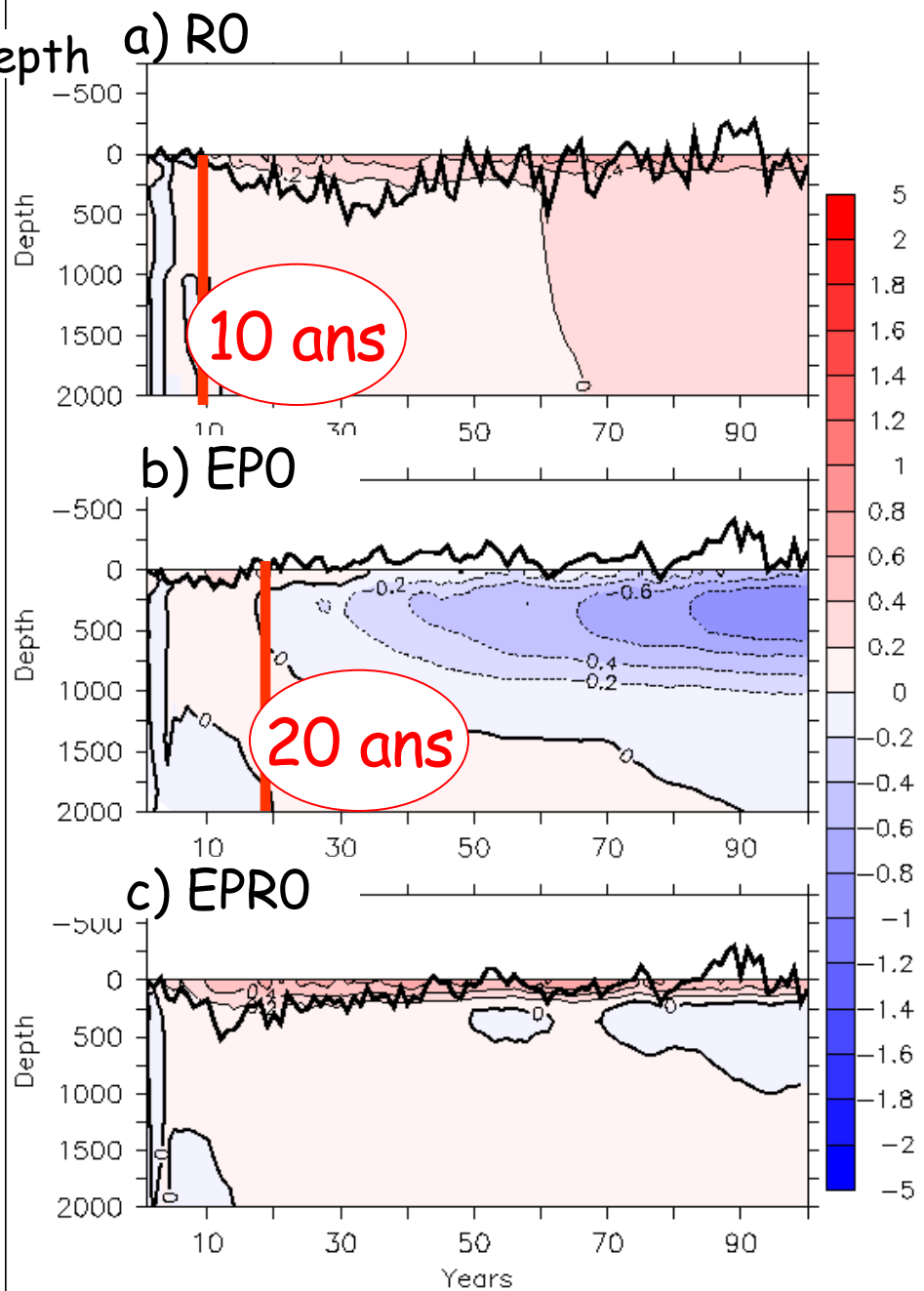
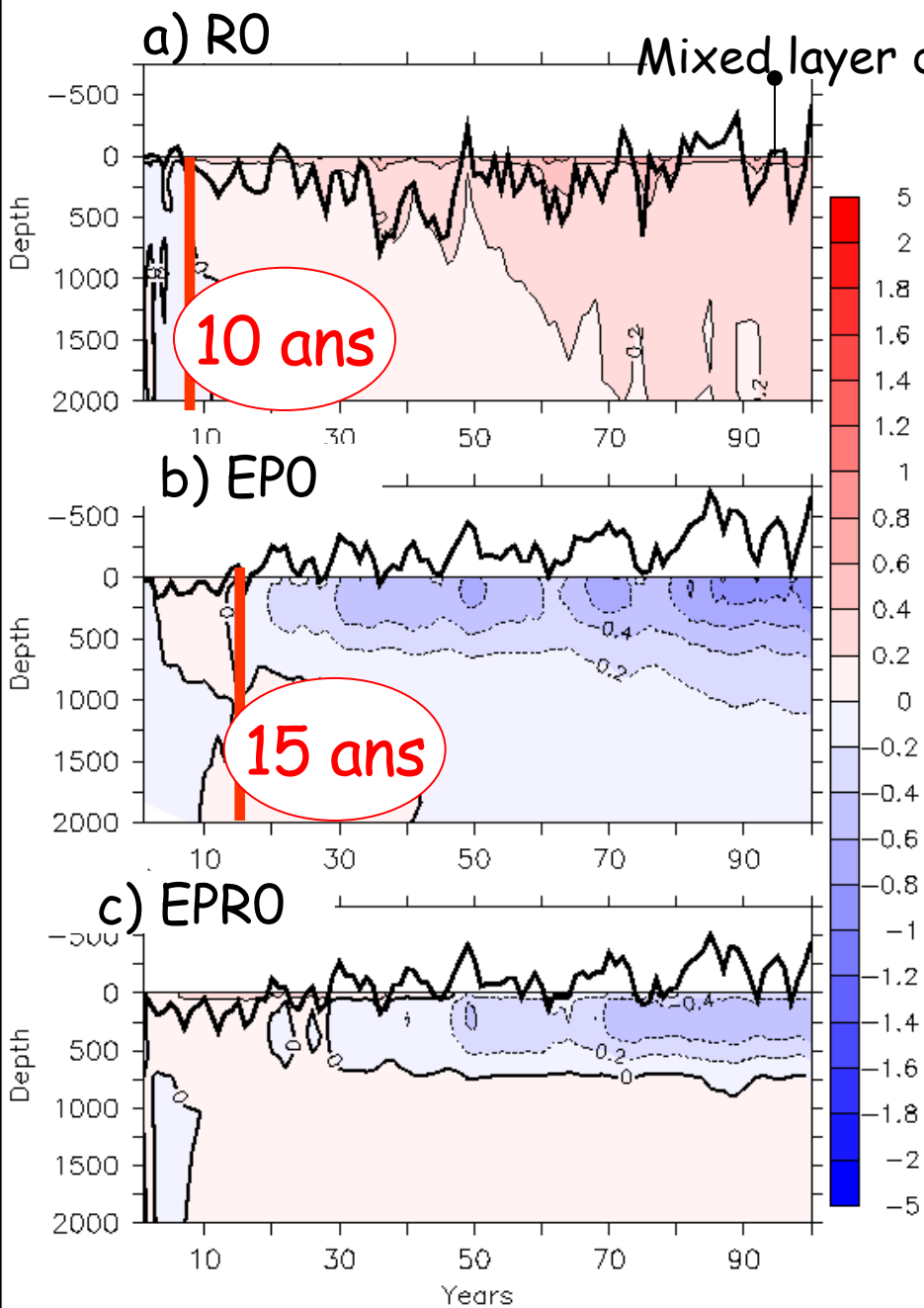
# Changement de stratification par rapport au CTRL dans la mer du Labrador



# Changement de stratification par rapport au CTRL dans la mer du Labrador

- Diminution  $S_{sa}$  => Anomalies + en 10 ans
- Diminution  $N_{sa}$  => Anomalies - en 30 ans
- Mer du Labrador est surtout sensible à  $S_{sa}$  et au forçage local en eau douce





# Résumé de la sensibilité des sites de convection

	Labrador Sea	Irminger Sea	GIN Seas
Eaux salées du Sud	+ (30 ans)	+ (15 ans)	+ (20 ans)
Eaux douces du Nord	- (10 ans)	- (10 ans)	- (10 ans)
<b>Global</b>	-	+	/

+: augmente la convection

-: limite la convection

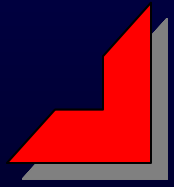
/: Effet neutre, les processus se compensent

# Conclusions étude sensibilité

- Les sites de convection sont sensible à des **composantes différentes du cycle** hydrologique : Labrador / Irminger (Wood 1999). **Échelle de temps de 10 à 40 ans** cohérent avec Vellinga (2002)
- **Flux eau douce globaux** amortissent la THC, i.e. le forçage local dominant la réponse de la THC sur 100 ans i.e pendant la **réponse transitoire** (/Saenko, 2003)
- Résultats dépendant du modèle, mais offre un **cadre pour analyser** la dispersion de la THC due aux flux d'eau douce dans les scénarii IPCC.

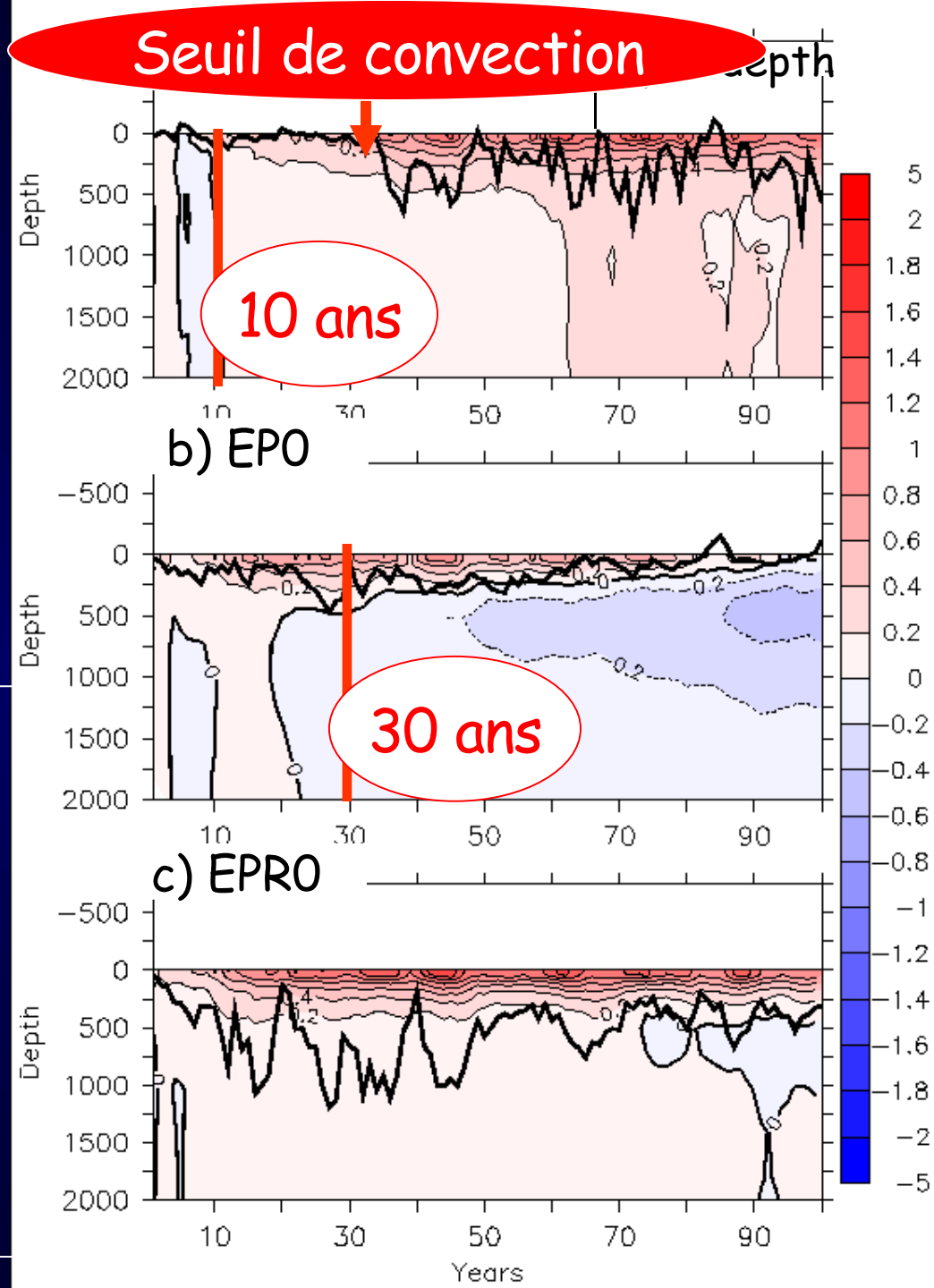


# Plan

1. Le modèle couplé de l'IPSL
    1. Description
    2. Validation
  2. Sensibilité aux flux d'eau douce
    1. Sensibilité des sites de convection
    2. Compréhension biais modèle
  3. Comportement de la THC dans le futur dans ce modèle
- 

# Changement de stratification par rapport au CTRL dans la mer du Labrador

- Diminution  $S_{sa}$  => déstabilisation CM en **10 ans**
- Diminution  $N_{sa}$  => Stabilisation CM en **30 ans**
- Mer du Labrador **est surtout** à  $S_{sa}$  et au forçage local en eau douce





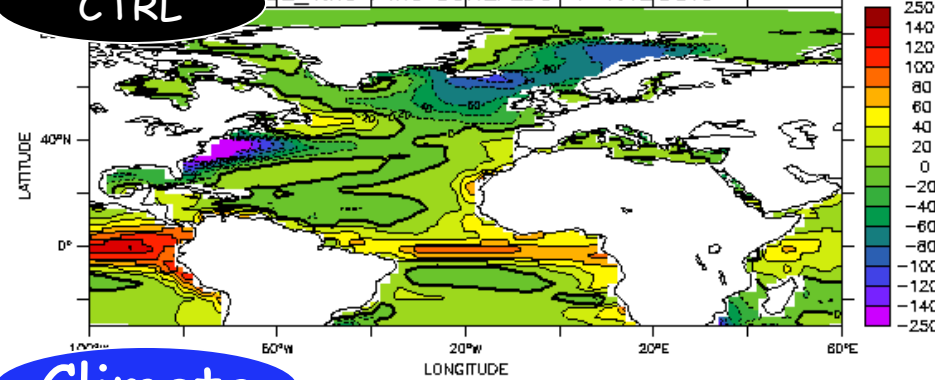
# Seuil de convection en mer du Labrador

- Modèle de dilution simple
  - => Seuil de 0.06 Sv/décade > Biais sur la région HL de 0.09 Sv
- Donc : en **15 ans** si la **moitié** du biais en forçage en eau douce se retrouve en Mer du Labrador, la convection est bloqué, avec le seuil observé.

# Amélioration des Flux de chaleur dans EPRO (lien Gulf Stream)

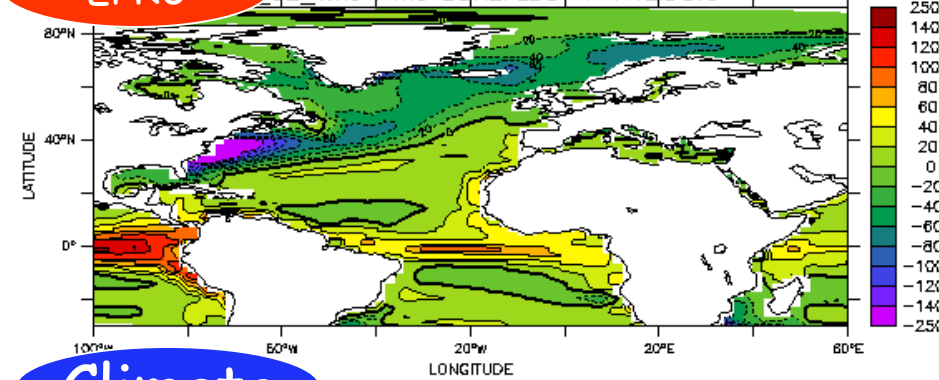
CTRL

SE\_T.nc ; mo+SQHEFLD0, l=1:12@ave

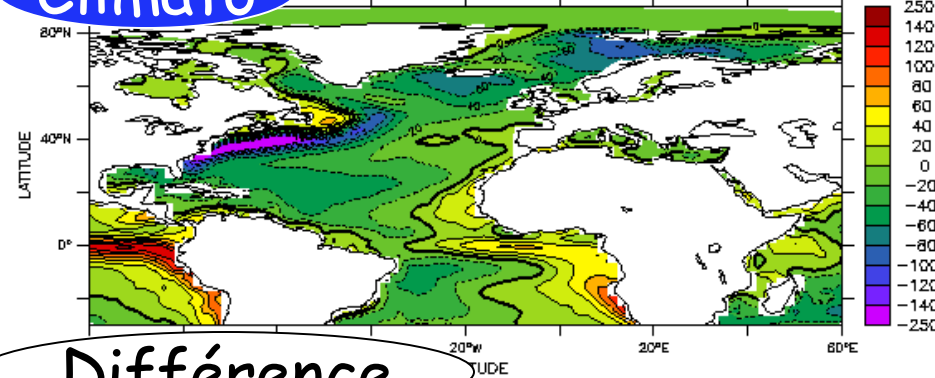


EPRO

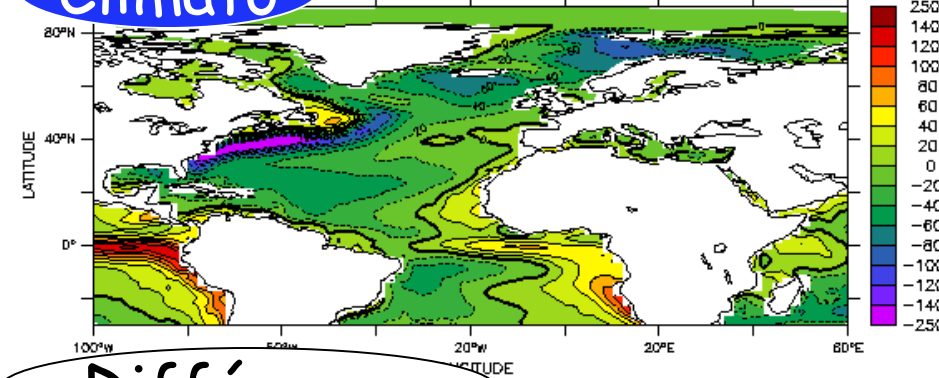
SE\_T.nc ; mo+SQHEFLD0, l=1:12@ave



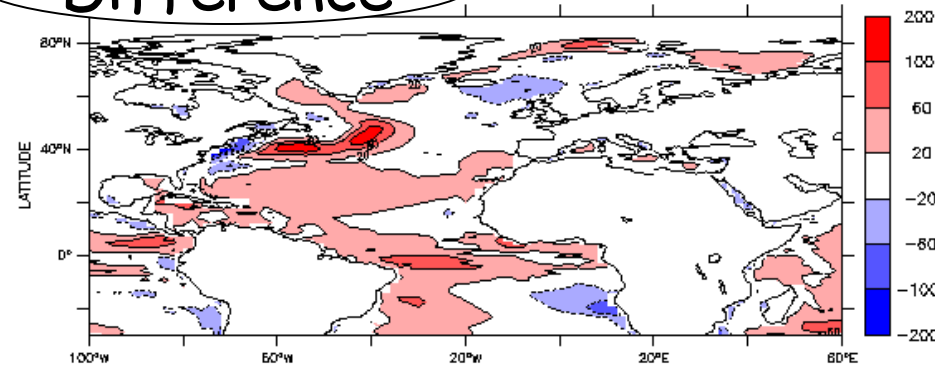
Climato



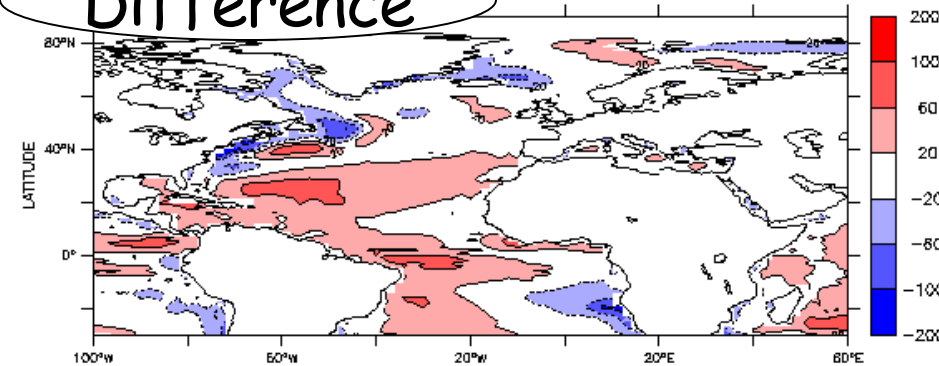
Climato



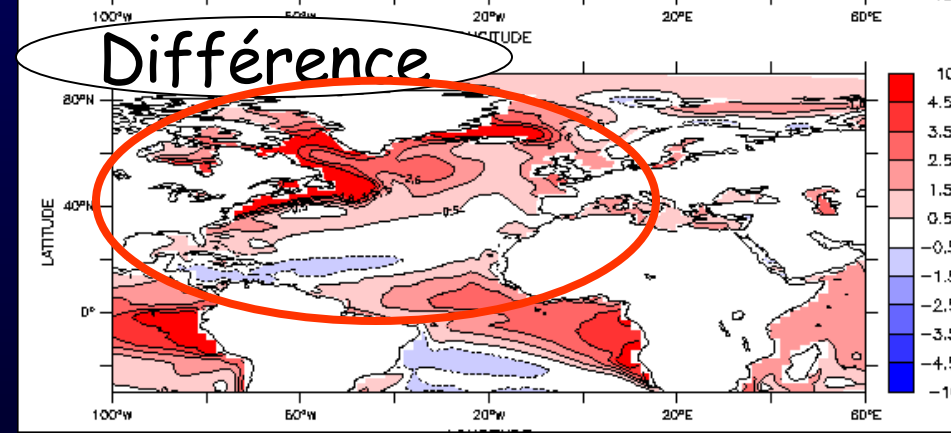
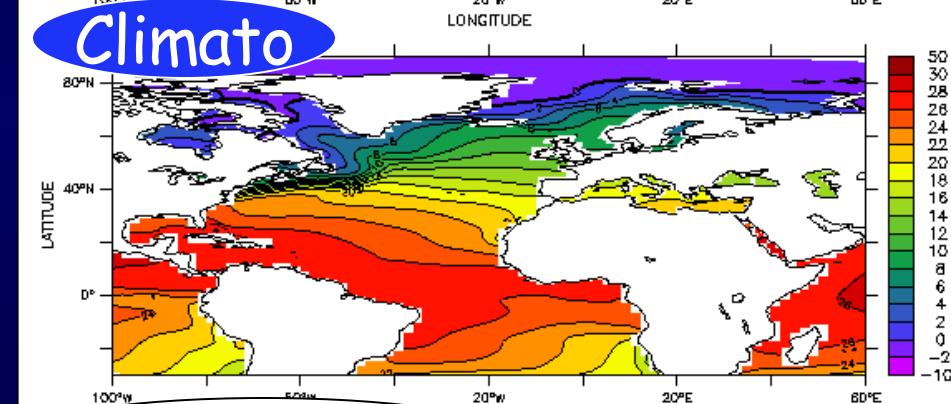
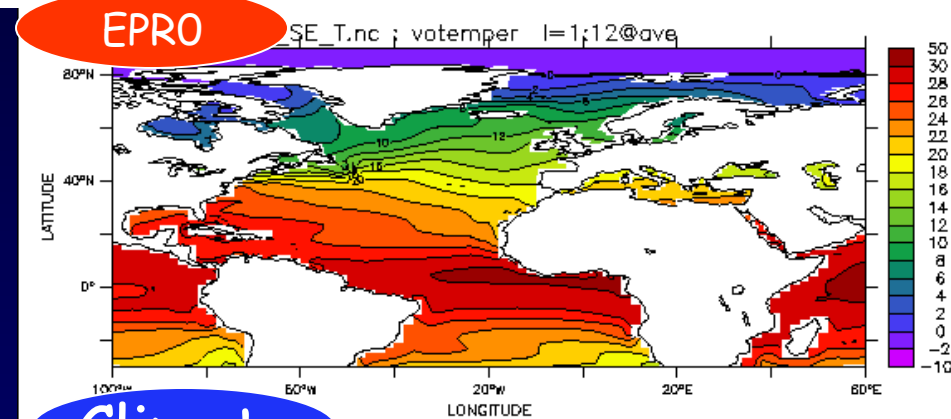
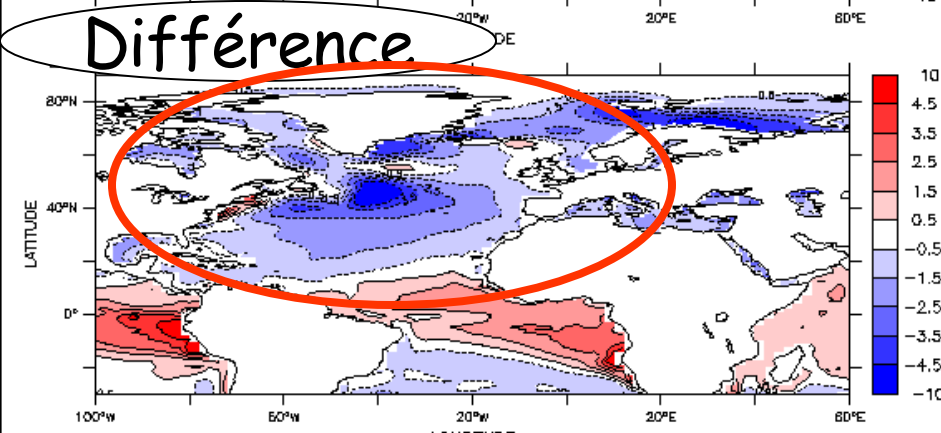
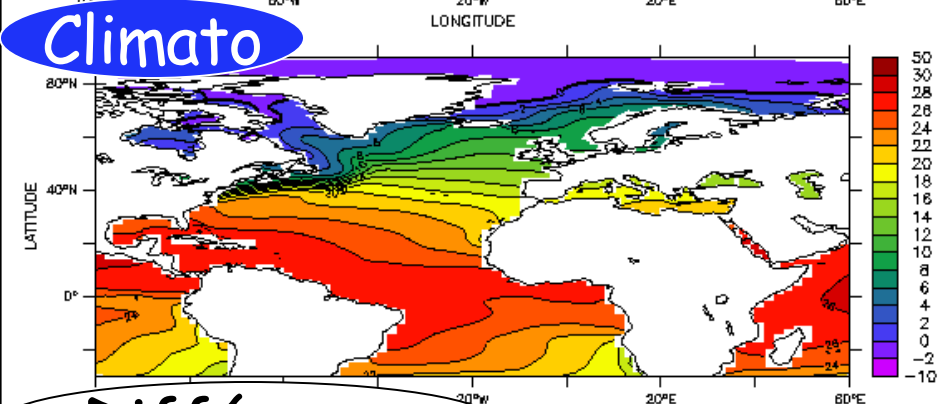
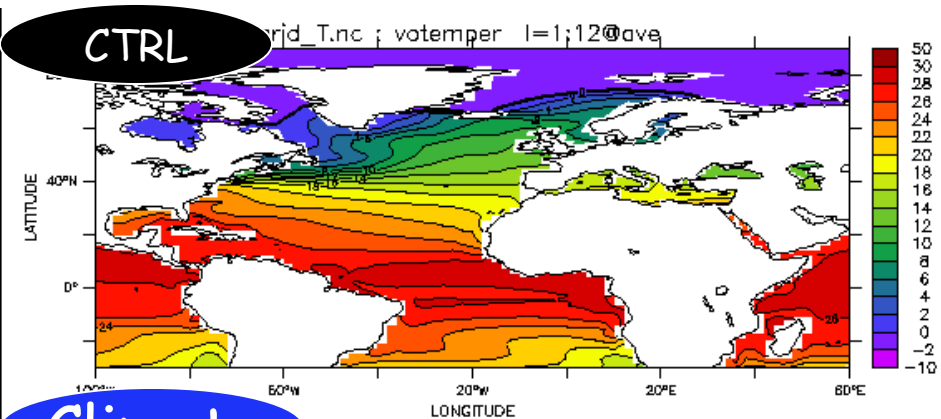
Différence



Différence

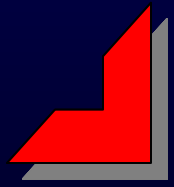


# Suppression biais froid en SST



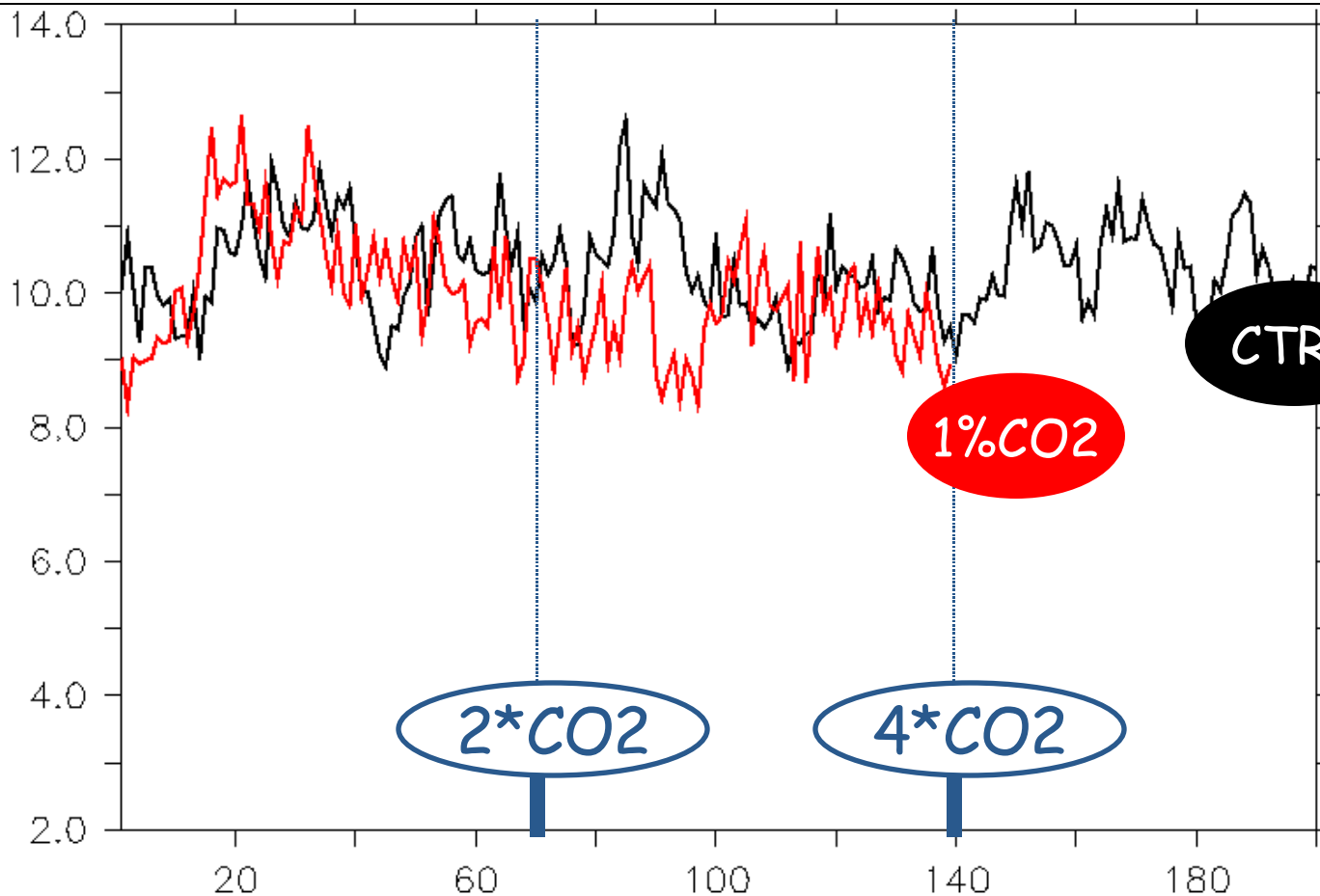


# Plan

1. Le modèle couplé de l'IPSL
    1. Description
    2. Validation
  2. Sensibilité aux flux d'eau douce
    1. Sensibilité des sites de convection
    2. Compréhension biais modèle
  3. Comportement de la THC dans le futur dans ce modèle
- 

# Scénario idéalisé : Augmentation 1% CO<sub>2</sub>/an

Indice THC : changement climatique/ CTRL

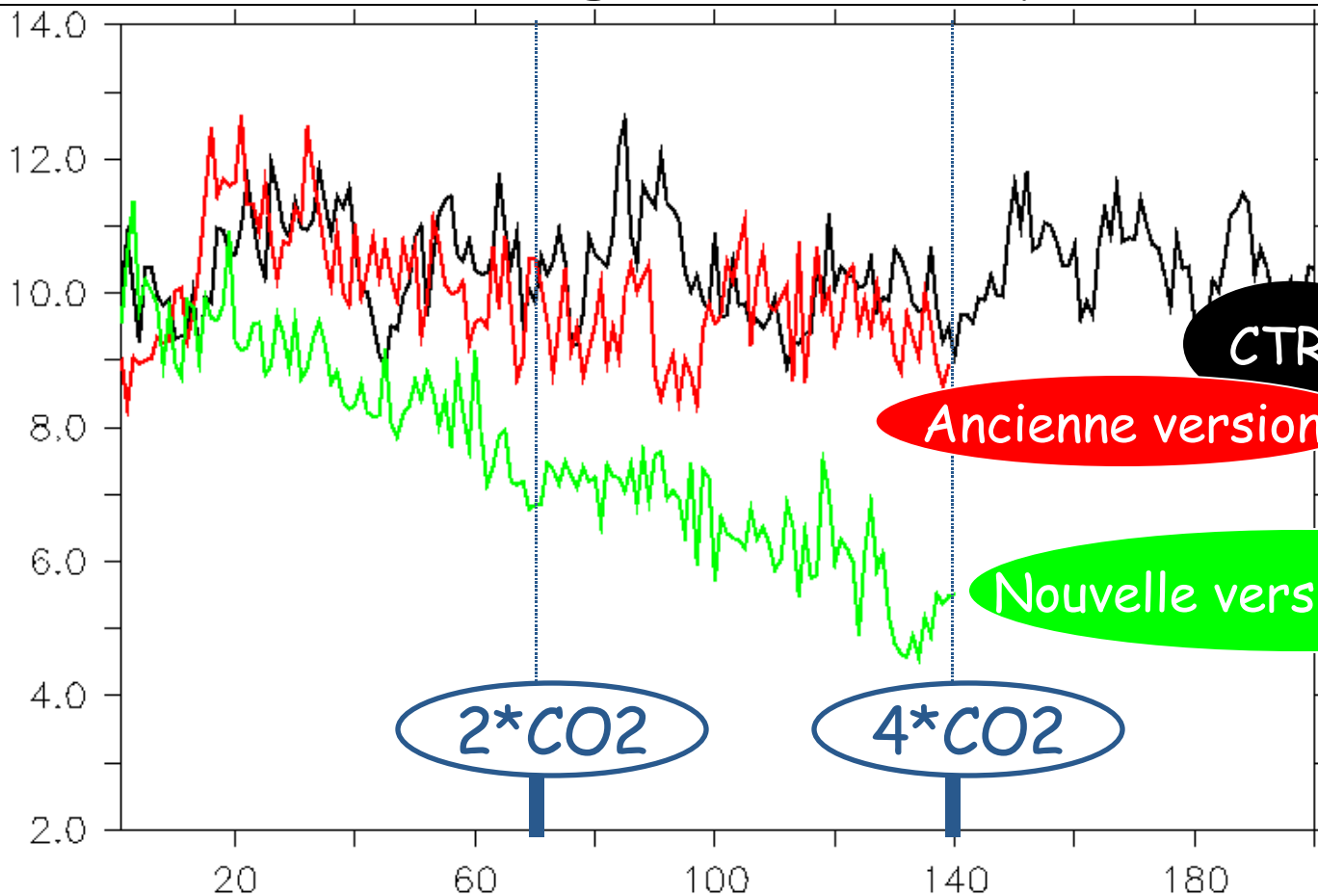


Sv

Années

# Scénario idéalisé : Augmentation 1% CO<sub>2</sub>/an

Indice THC : changement climatique/ CTRL



Sv

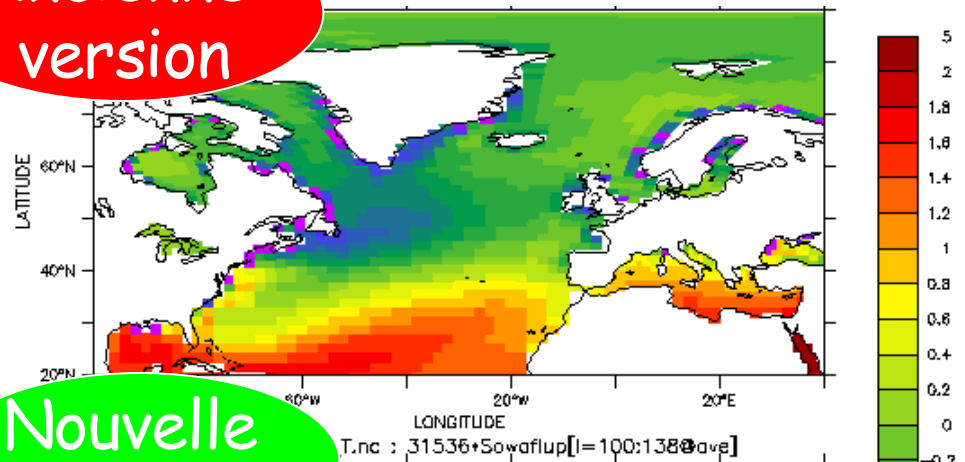
Années

# Forçage Eau douce dans nouvelle version

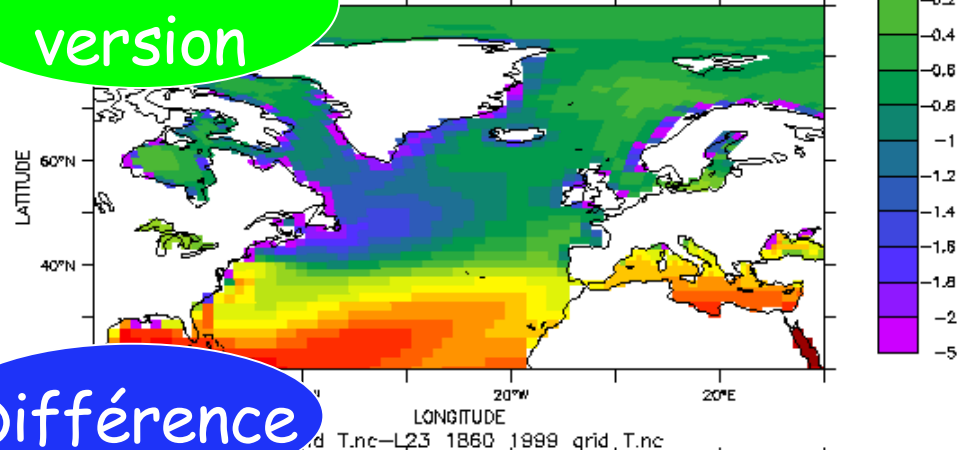
Fermeture eau douce: prise en compte de la fonte des glaciers et des calottes représente 95 % des différences de changement de forçage en eau douce aux hautes latitudes entre les deux versions

Ancienne version

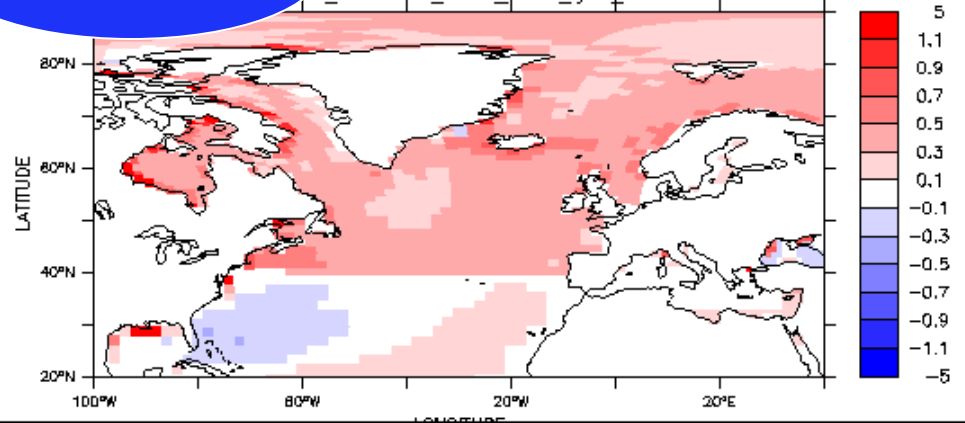
E-P-R (mm/an)



Nouvelle version



Différence



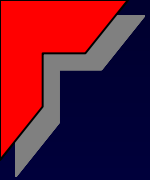
# Mise en place d'une méthodologie : Impact climatique

- Les flux d'eau douce issues des **glaciers** sont déterminants
- **Comparaison** de 2 THC différentes en un scénario, avec mêmes conditions initiales et même version de modèle (en cours)
- Étude de l'impact :
  - ❖ «**horizontal**» = transport de chaleur et compensation atmosphérique (local)
  - ❖ «**vertical**» = stockage de chaleur (global)
  - ❖ Influence sur la **sensibilité climatique**
  - ❖ **Rétroactions** des autres composantes (glace de mer, nuage...)

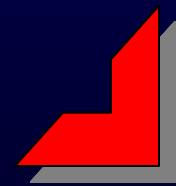


# Conclusions

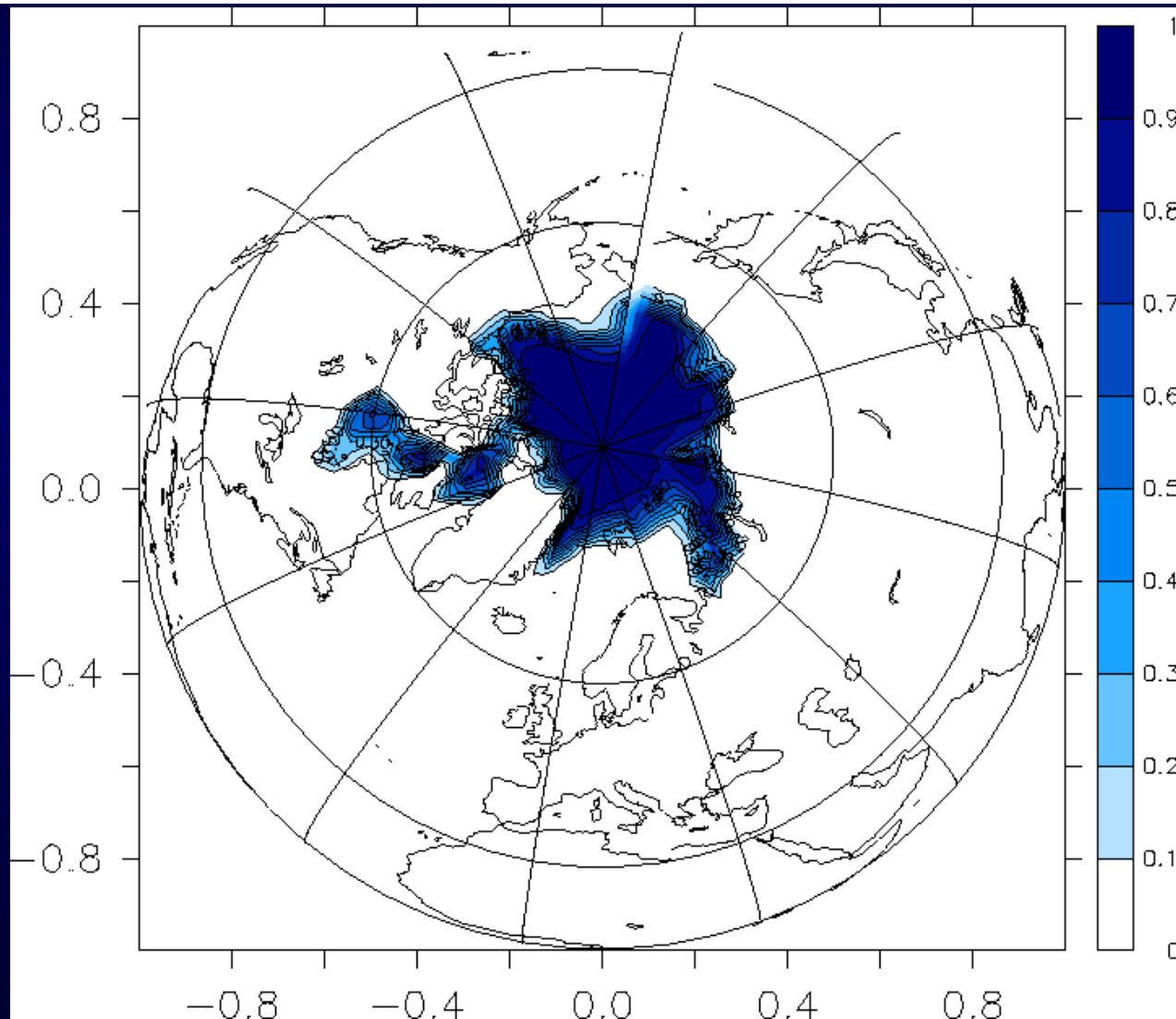
- **Biais modèle mieux compris** offre la perspective de pouvoir les corriger (excès eau douce haute latitude)
- Sensibilité des sites de convection permet de mieux comprendre la **sensibilité aux changements climatiques**
- Étude de l'influence de la THC sur **le cycle du carbone** (avec Laurent Bopp et Aude Matras)
- **Comparaison aux données** plus poussées pour affiner la compréhension des mécanismes en jeu : Section Ovide (avec Pascale Lherminier, Ifremer)
- Mise en place du **diagnostique lagrangien** pour mieux capter la dynamique de la THC (avec Sabrina Speich)



Merci



# Changement couverture de glace dans EPRO



# Rétroaction Glace en mer du Labrador

