

***Variabilité saisonnière de la circulation méridienne de
retournement dans l'Atlantique : comparaison modèle IPSL_CM5A
et données à 26°N***

Robin Waldman

Encadré par
Juliette Mignot,
Claude Frankignoul



1) Introduction

- a) La circulation méridienne de retournement dans l'Atlantique
- b) Observations de la MOC
- c) La MOC dans les modèles de circulation générale
- d) Le modèle IPSL_CM5A

2) L'AMOC dans le modèle IPSL_CM5A

- a) Circulation moyenne
- b) Variabilité saisonnière
- c) Cycle saisonnier à 26°N
- d) Validation du run de contrôle

3) Décomposition de l'AMOC à 26°N

- a) Les trois composantes
- b) Le Gulf Stream
- c) La composante d'Ekman
- d) Le transport géostrophique

4) Conclusions / perspectives

1) Introduction

a) La circulation méridienne de retournement dans l'Atlantique

- Importance climatique : transfert de chaleur, stockage de CO2
- La définition mathématique

- Non-divergence des vitesses intégrée zonalement sur le bassin :

$$\int_{x_W}^{x_E} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) dx = \int_{x_W}^{x_E} \left(\frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) dx = \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} = 0$$

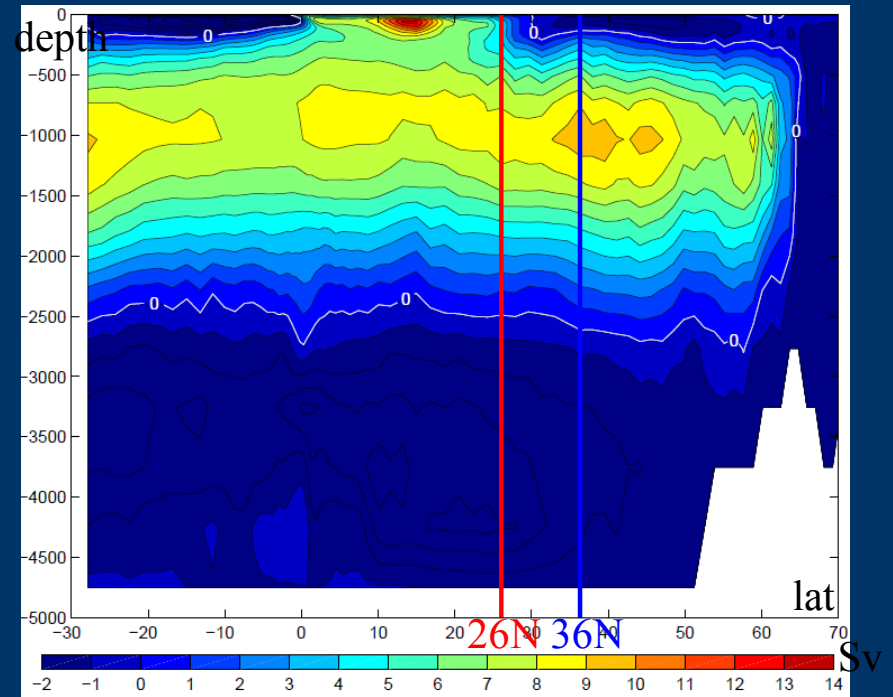
- D'où définition d'une fonction de courant :

$$\begin{cases} \frac{\partial \Psi}{\partial z} = -V \\ \frac{\partial \Psi}{\partial y} = W \end{cases}$$

- Dédution du transport méridien intégré, la MOC :

$$AMOC(y) = \max_{z \in [0; z_{bottom}]} (\Psi(y, z))$$

- Visualisation



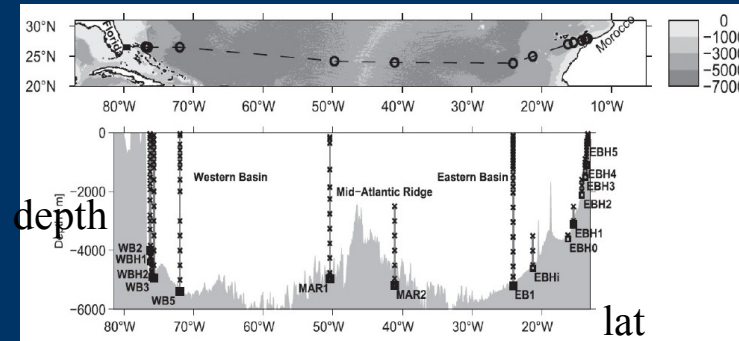
Un exemple de MOC : l'AMOC moyenne du modèle IPSL_CM5A (contrôle)

1) Introduction

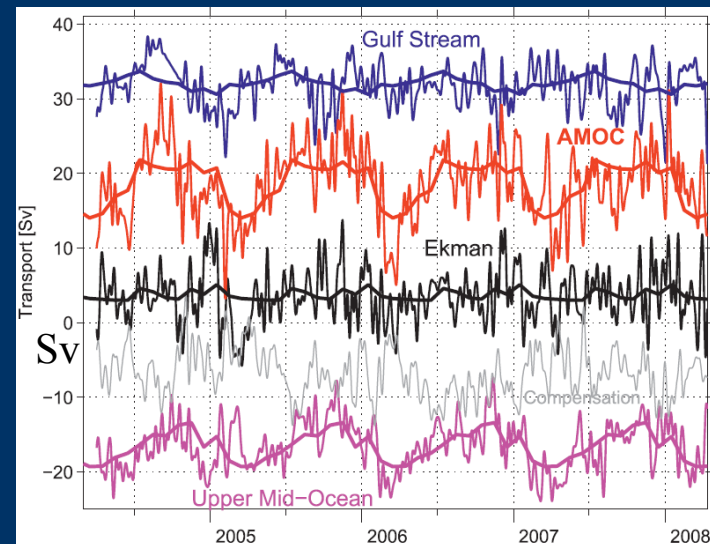
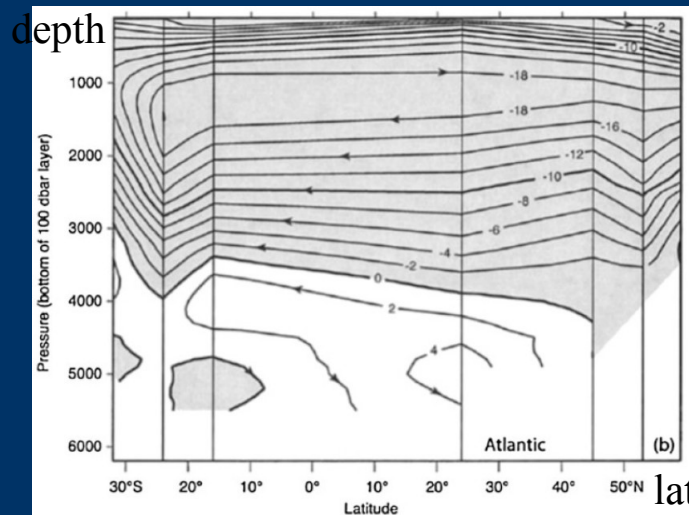
b) La MOC dans les observations

- Les estimations de l'AMOC :
 - Par mesures hydrographiques : 14 à 19 Sv (Talley et al 2003)
 - Par initialisation d'un modèle océanique (Stammer et al 2002) : 14-21 Sv
 - Par estimation de la plongée d'eaux (Smethie et al 2003) : 17-18 Sv

- Variabilité saisonnière : le programme RAPID



Section
RAPID



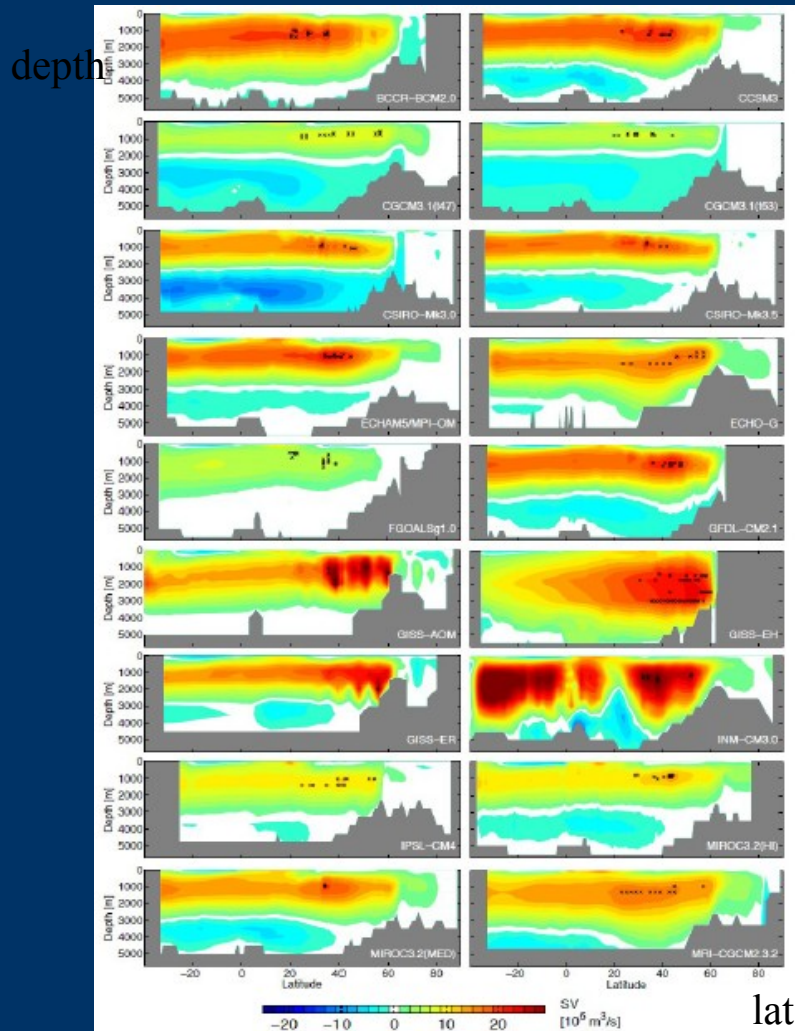
Séries
temporelles
RAPID : séries
passe-bas 10 jours
(fin) et moyennes
saisonnières
(épais) (Kanzow
et al 2010)

Sections hydrographiques : Talley et al 2003
(en Sv)

1) Introduction

c) La MOC dans les modèles de circulation générale

- Une grande variabilité de représentations



- Motivations de l'étude :

- Comparaison modèles – données : évaluation des GCMs / exploration des mécanismes
- Choix de l'échelle saisonnière

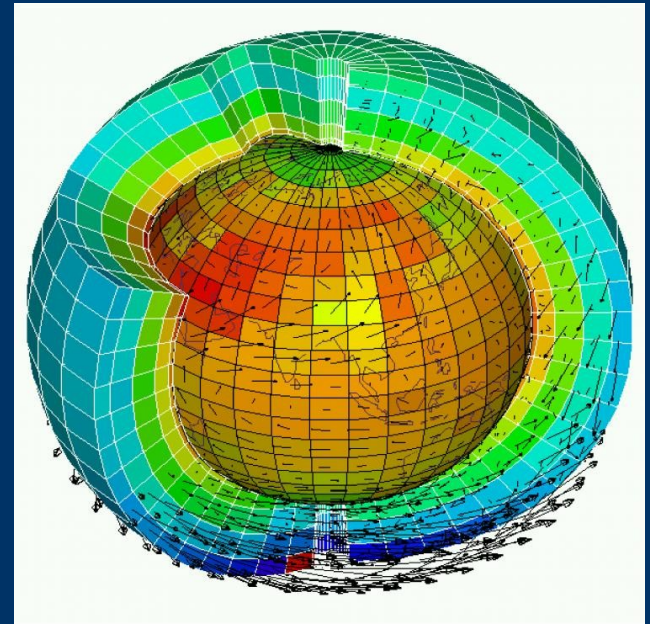
AMOC moyenne des 18 modèles ayant servi pour l'AR4 du IPCC (Medhaug et al 2011)

1) Introduction

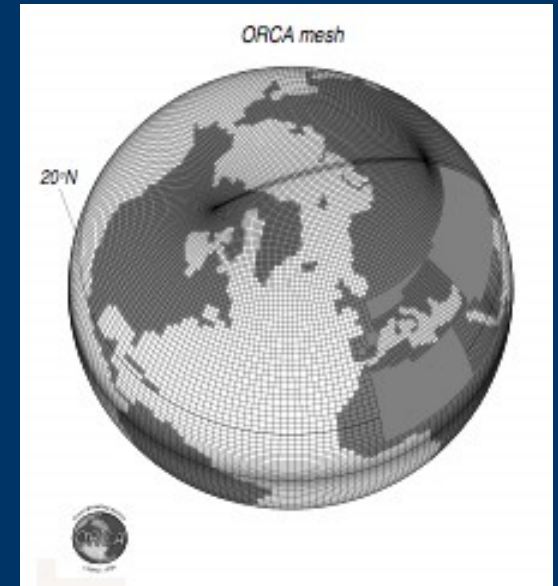
c) Le modèle IPSL_CM5A

- Modèle climatique couplé : couplage atmosphère - océan
- Résolution :
 - Atmosphérique : version basse résolution (96x96, $\sim 2^\circ$ à l'équateur)
 - Océanique : 182x149, curvilinéaire, $\sim 2^\circ$
- Simulation d'intérêt : contrôle, forçages préindustriels, 1000 ans de simulation

Grille
LMDz



Grille
ORCA2



1) Introduction

- a) La circulation méridienne de retournement
- b) Observations de la MOC
- c) La MOC dans les modèles de circulation générale
- d) Le modèle IPSL_CM5A

2) L'AMOC dans le modèle IPSL_CM5A

- a) Circulation moyenne
- b) Variabilité saisonnière
- c) Cycle saisonnier à 26°N
- d) Validation du run de contrôle

3) Décomposition de l'AMOC à 26°N

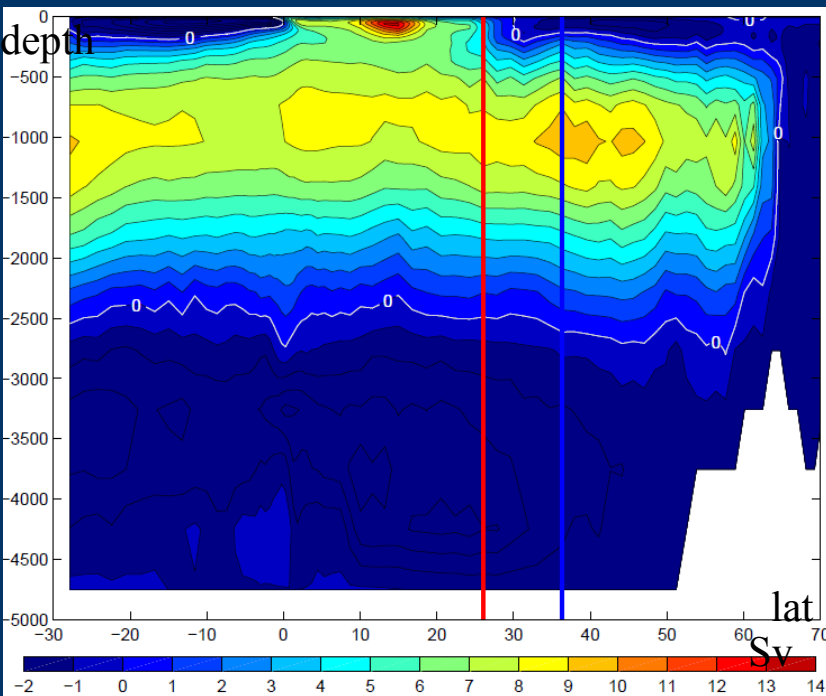
- a) Les trois composantes
- b) Le Gulf Stream
- c) La composante d'Ekman
- d) Le transport géostrophique

4) Conclusions / perspectives

2) L'AMOC dans le modèle IPSL_CM5A

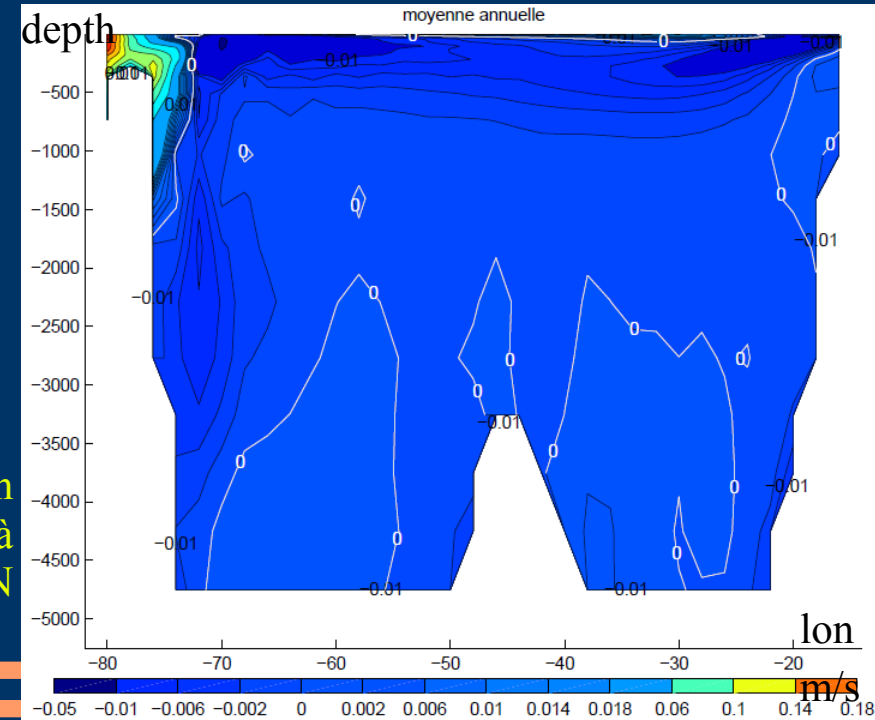
a) Circulation moyenne

- Sur le plan méridien :
 - Une AMOC trop faible : $\sim 8,7\text{ Sv}$ à 26°N
 - Un « Level of no motion » à 1000m : cohérent avec RAPID (Kanzow et al 2010)
 - Autres structures : cellules de surface, zone de plongée d'eaux trop au sud, AABW
- A 26°N :
 - Un gulf Stream étendu : $\sim 800\text{ km} \times \sim 1500\text{ m}$; vitesses réduites (max 20 cm/s)
 - Courant intérieur : de surface vs profond
 - Autres structures : DWBC, AABW, bord Est



Section
méridienne de
l'AMOC
atlantique
(contrôle)

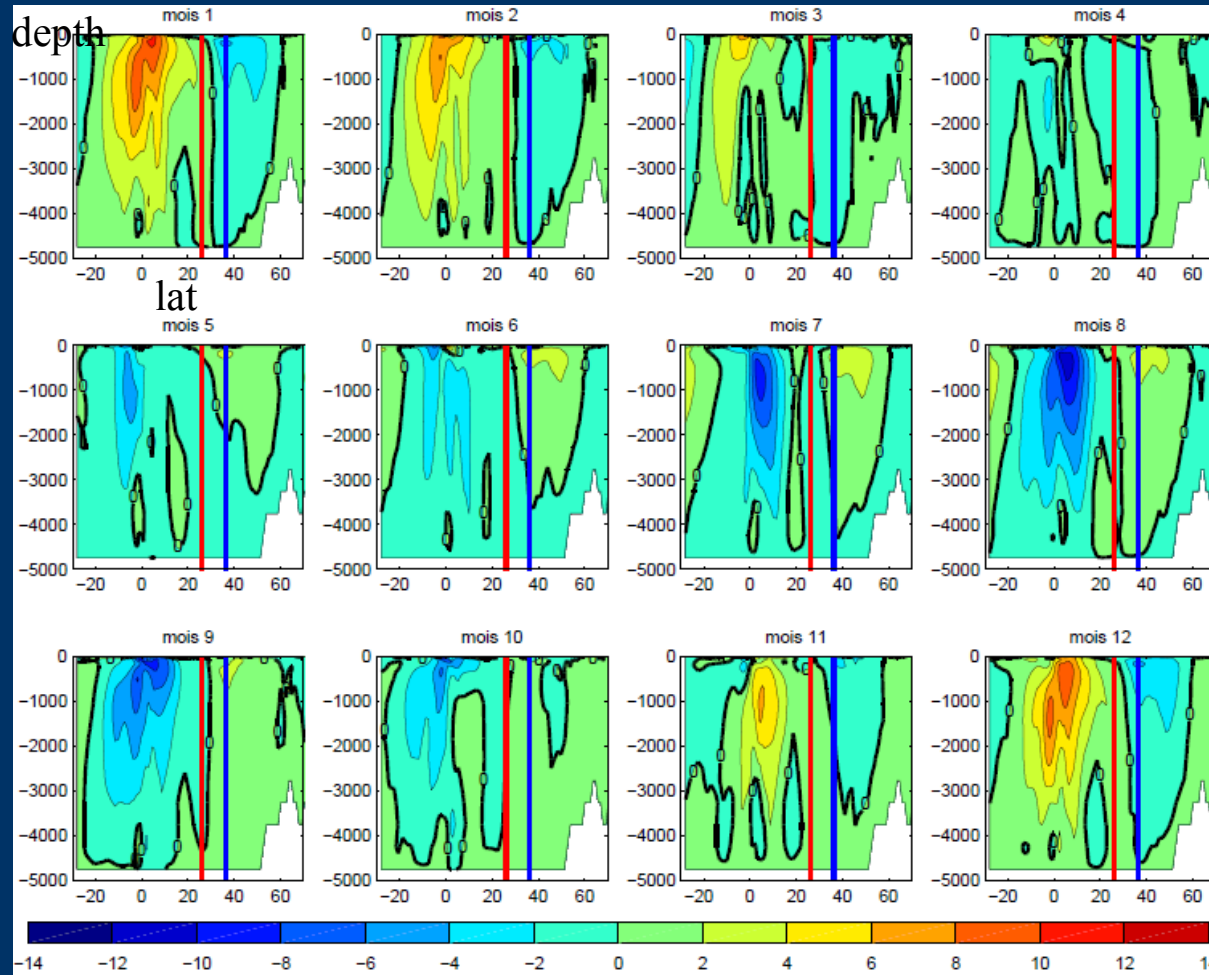
Section
zonale à
 26°N



2) L'AMOC dans le modèle IPSL_CM5A

b) Variabilité saisonnière

- Un dipôle de part et d'autre de 30°N



Anomalie saisonnière de l'AMOC sur le plan méridien

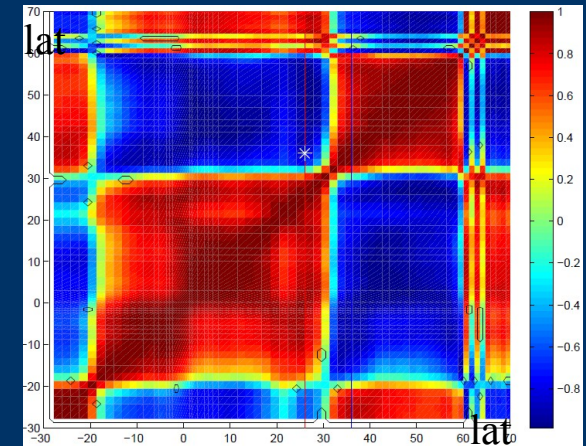
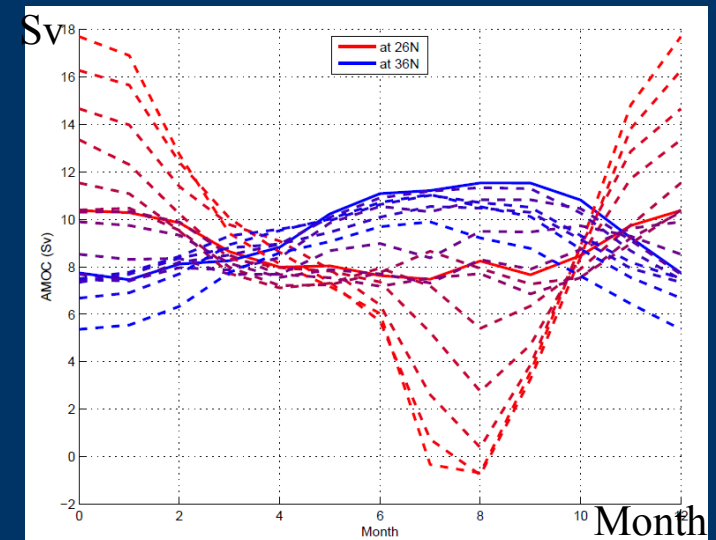


Diagramme de corrélations inter-latitudes

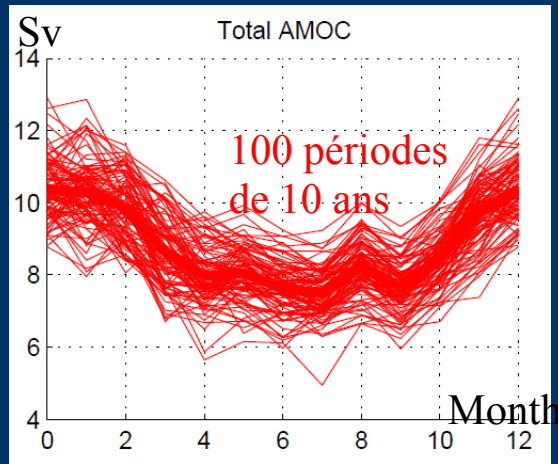
Variations saisonnières entre 5 et 50°N



2) L'AMOC dans le modèle IPSL_CM5A

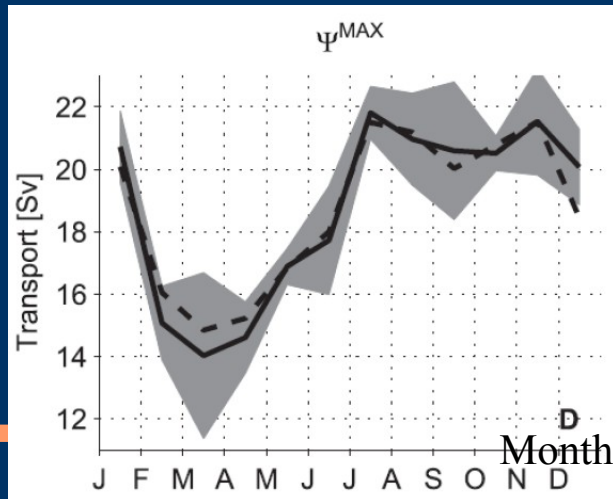
c) Cycle saisonnier à 26°N

- Un cycle en déphasage avec les observations
- Un cycle persistant sur la simulation

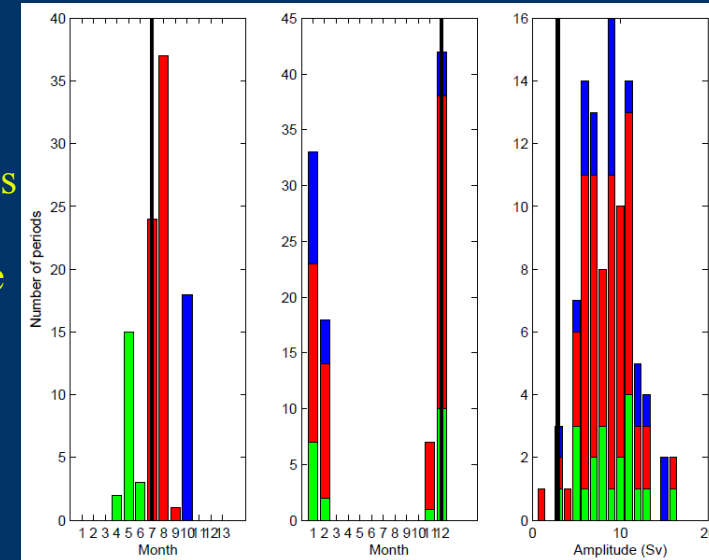


Modèle

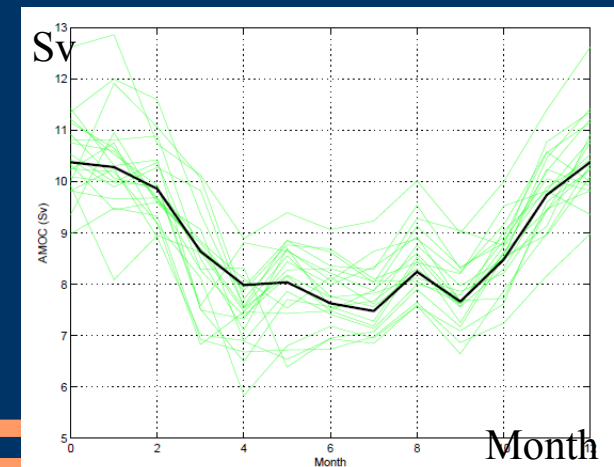
Variations saisonnières à 26°N
Données RAPID



Comparaison des périodes
de 10 ans : min (gauche),
max (centre) et amplitude
(droite) du cycle



Cycles à minimum au
printemps (vert), cycle
moyen (noir)

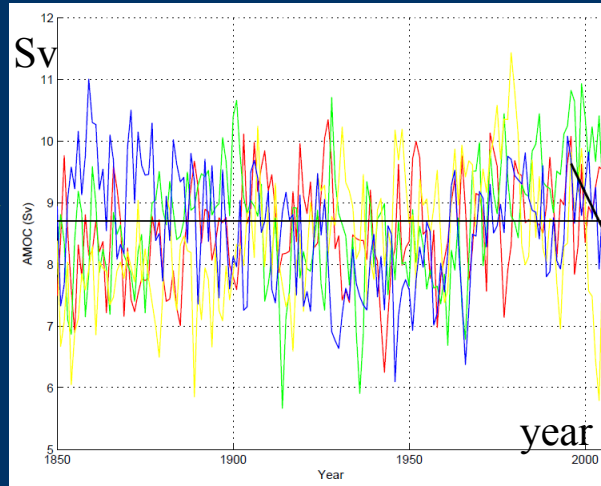


2) L'AMOC dans le modèle IPSL_CM5A

d) Validation de la simulation de contrôle

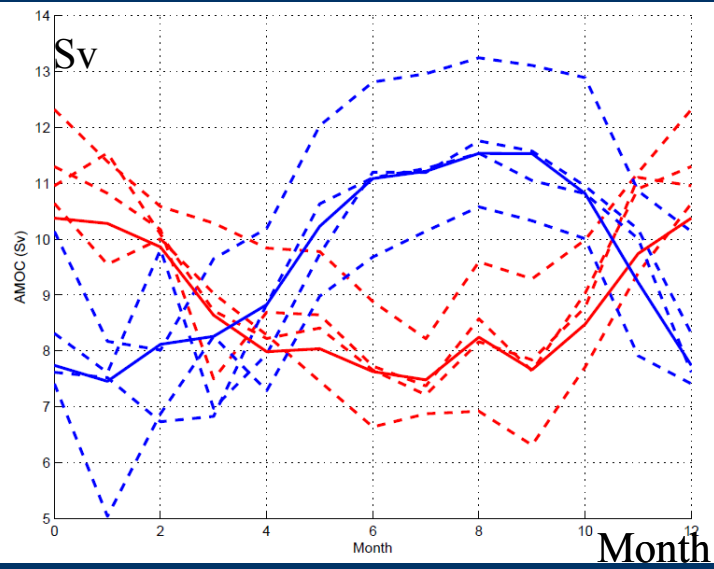
- Comparaison à la simulation historique : période plus réaliste

4 séries temporelles d'AMOC à 26°N ; ligne noire : AMOC moyenne dans le contrôle

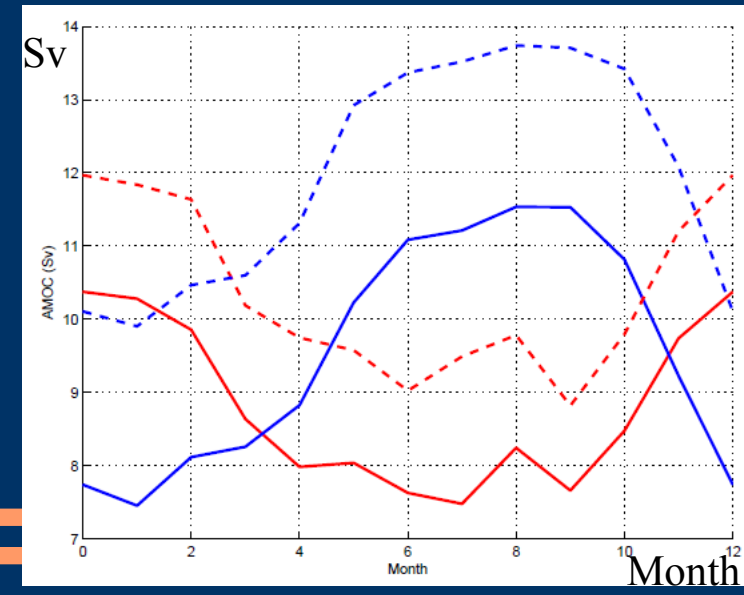


- Comparaison à la version à moyenne résolution : sensibilité à la résolution atmosphérique

➤ Les conclusions restent inchangées



Cycles saisonniers de l'AMOC en contrôle (traits pleins) ; dans les historiques (pointillée, gauche) ; dans la version moyenne résolution (pointillés droite)



1) Introduction

- a) La circulation méridienne de retournement
- b) Observations de la MOC
- c) La MOC dans les modèles de circulation générale
- d) Le modèle IPSL_CM5A

2) L'AMOC dans le modèle IPSL_CM5A

- a) Circulation moyenne
- b) Variabilité saisonnière
- c) Cycle saisonnier à 26°N
- d) Validation du run de contrôle

3) Décomposition de l'AMOC à 26°N

- a) Les trois composantes
- b) Le Gulf Stream
- c) La composante d'Ekman
- d) Le transport géostrophique

4) Conclusions / perspectives

3) Décomposition de l'AMOC à 26°N

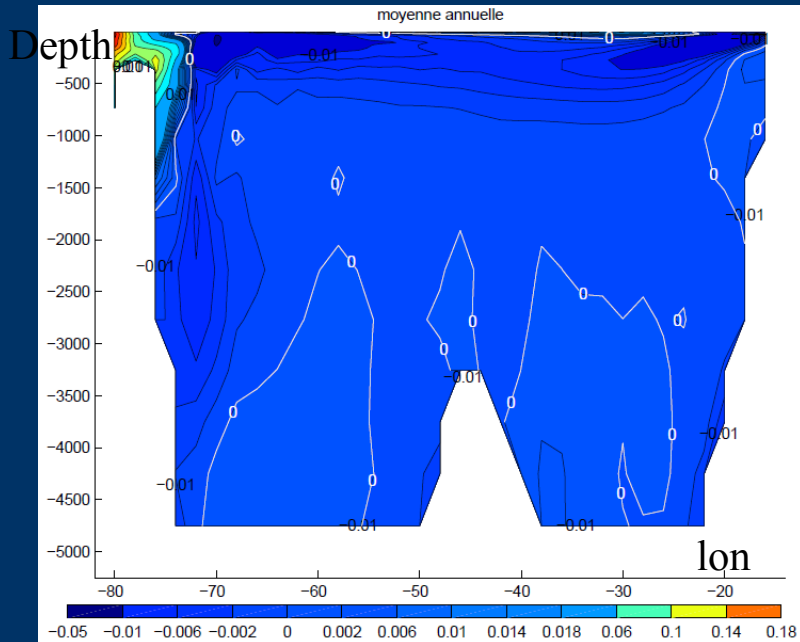
a) Les 3 composantes

- Décomposition de l'AMOC

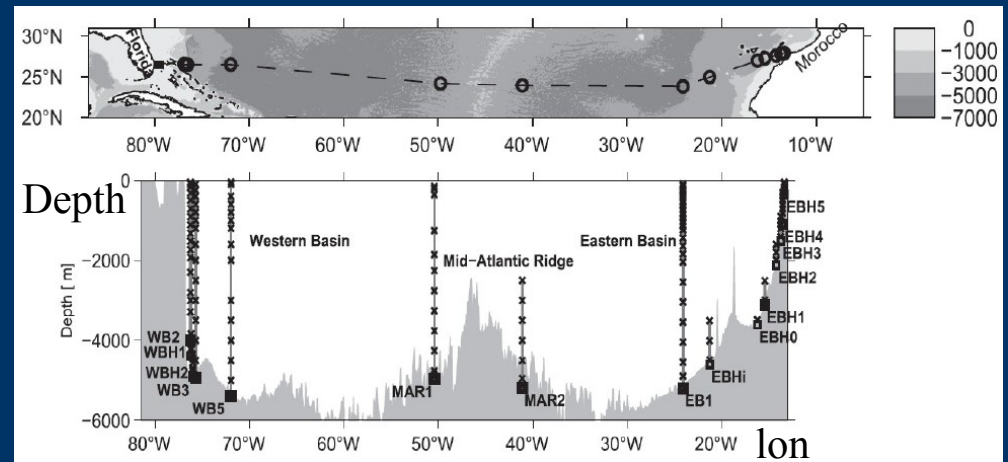
$$AMOC(y) = \max_{z \in [0; z_{bottom}]} (\Psi(y, z)) = \int_{z_{min}}^0 \left(\int_{x_W}^{x_E} (v_g + v_{Ek} + v_{GS}) dx \right) dz = T_g + T_{Ek} + T_{GS}$$

- Visualisation à 26°N : des définitions différentes entre modèle et données

Section à 26°N dans
le modèle



Section à 26°N dans
les données RAPID



3) Décomposition de l'AMOC à 26°N

b) Le Gulf Stream

- Obtention de la composante
- Évaluation du résultat

$$T_{GS} = \int_{S_{GS}} v dS_{GS}.$$

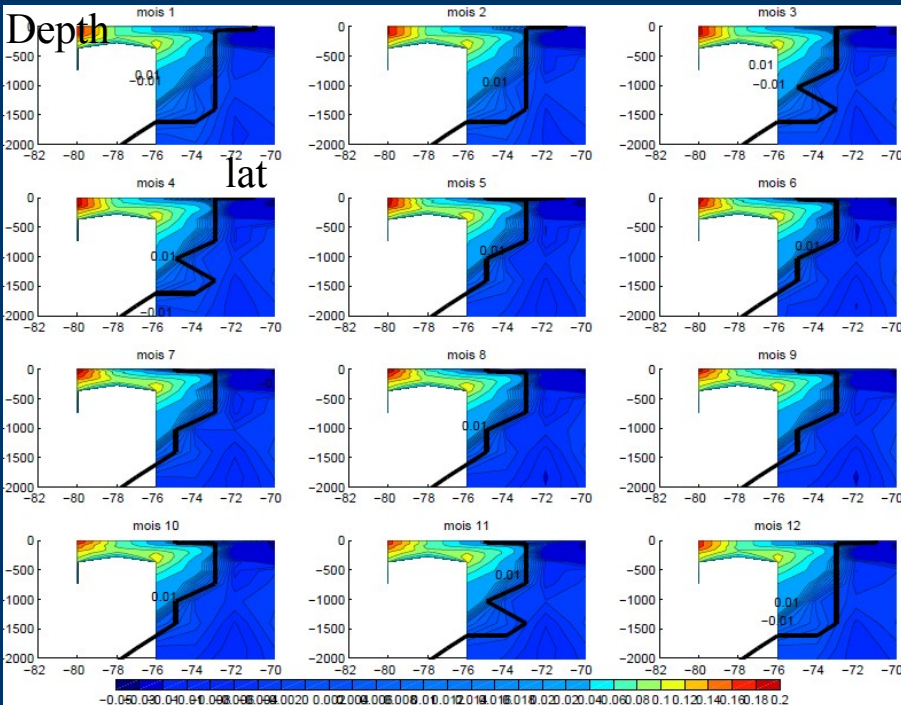
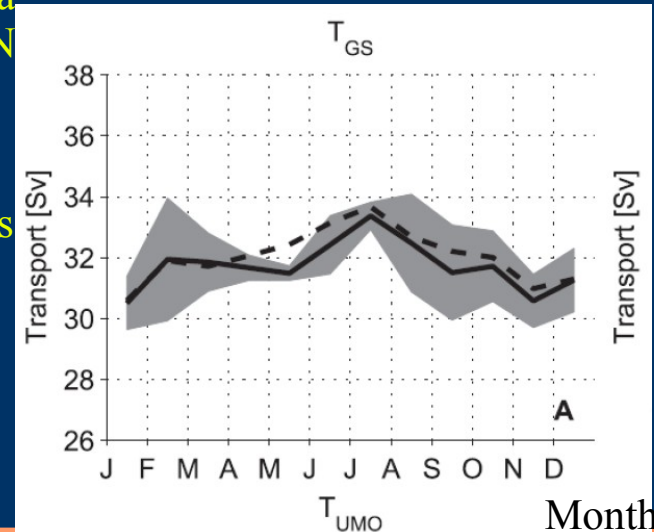
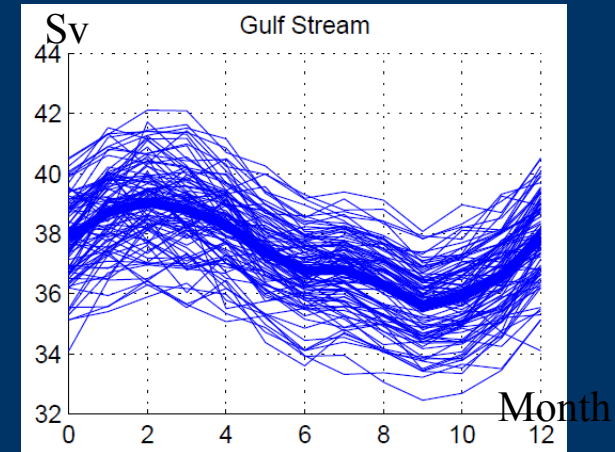
➤ Définition du Gulf Stream

Modèle

Variations
saisonnnières du
Gulf Stream à
26°N

Variations
saisonnnières
de l'extension
du Gulf
Stream

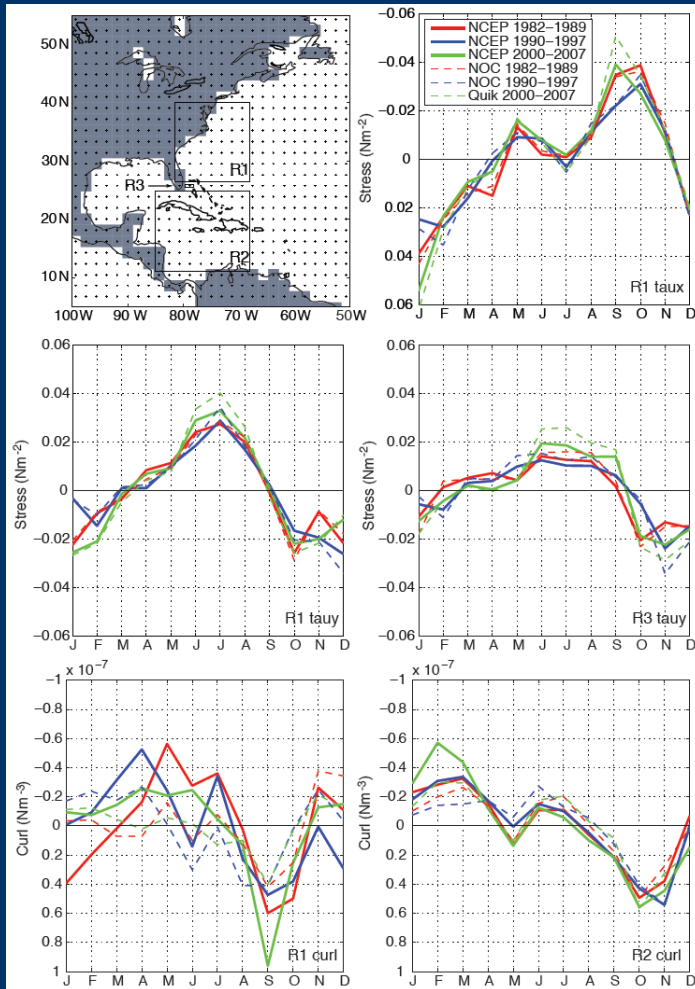
Données
RAPID



3) Décomposition de l'AMOC à 26°N

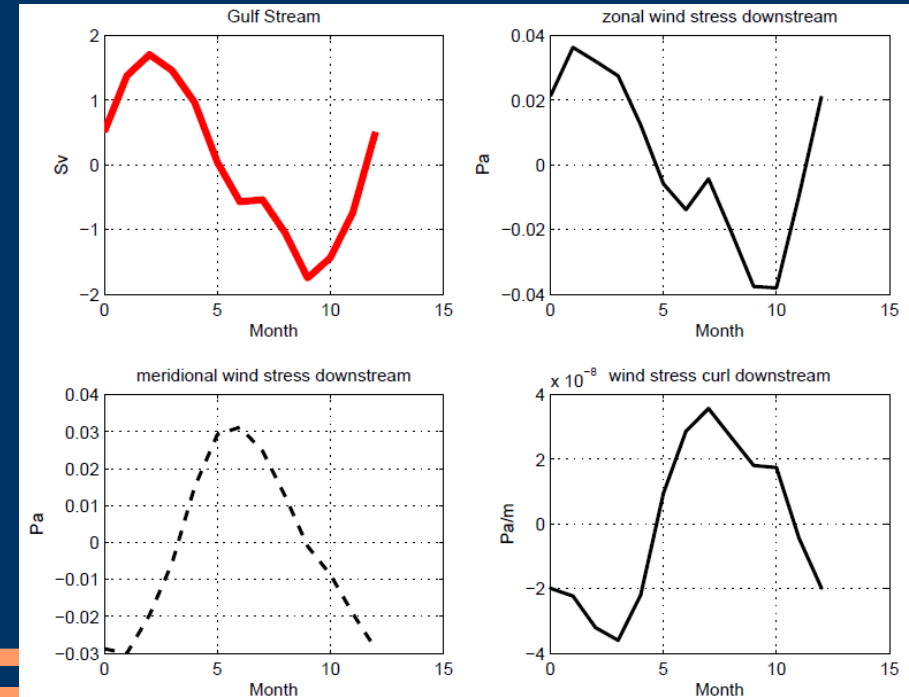
b) Le Gulf Stream

- Causes possibles du cycle : équilibre de Sverdrup avec l'intérieur ; forçage local, amont et aval par le vent ou un équilibre local de Sverdrup.



Les forçages dans les observations (Atkinson et al 2010)

Les forçages dans le modèle : cycle du GS, de la taux, tau_y et du curl(tau) dans la région R1



3) Décomposition de l'AMOC à 26°N

c) Le transport d'Ekman

- Obtention de la composante :
 - Équation zonale du mouvement

$$-f \cdot (v_g + v_{Ek}) = \frac{1}{\rho_0} \cdot \left(-\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial \tau_x^t}{\partial z} \right)$$

- Composante d'Ekman

$$v_{Ek} = -\frac{1}{\rho_0 f} \cdot \frac{\partial \tau_x^t}{\partial z}.$$

- Intégration verticale sur la couche d'Ekman

$$V_{Ek} = \int_{\delta}^0 v_{Ek} \cdot dz = \int_{\delta}^0 \left(-\frac{1}{\rho_0 f} \cdot \frac{\partial \tau_x^t}{\partial z} \right) \cdot dz = -\frac{1}{\rho_0 f} \cdot \tau_x.$$

- Contribution totale

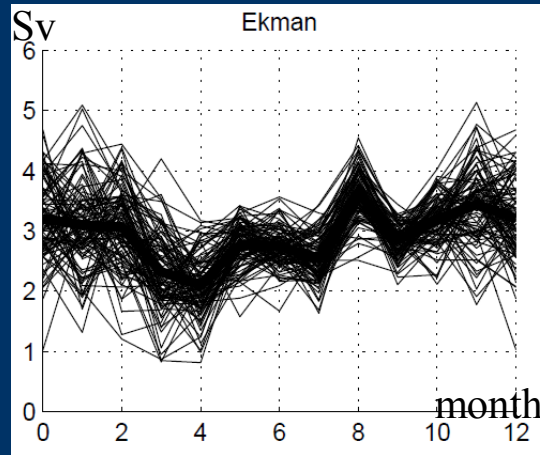
$$T_{Ek} = \int_{\Delta x_{int}} V_{Ek} \cdot dx.$$

3) Décomposition de l'AMOC à 26°N

c) Le transport d'Ekman

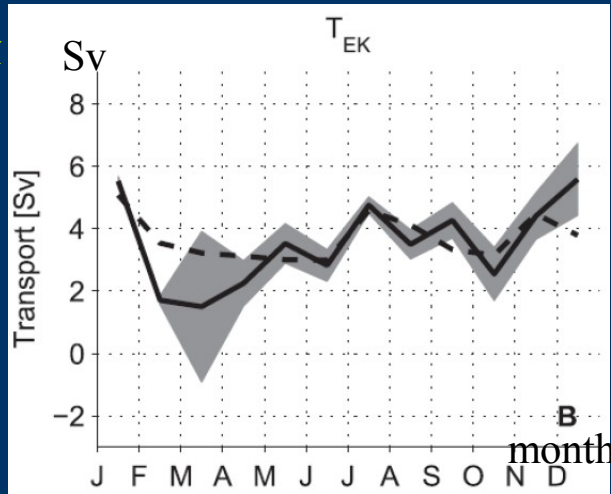
- Évaluation du résultat : cycles proches, pas de cycle clair

Modèle



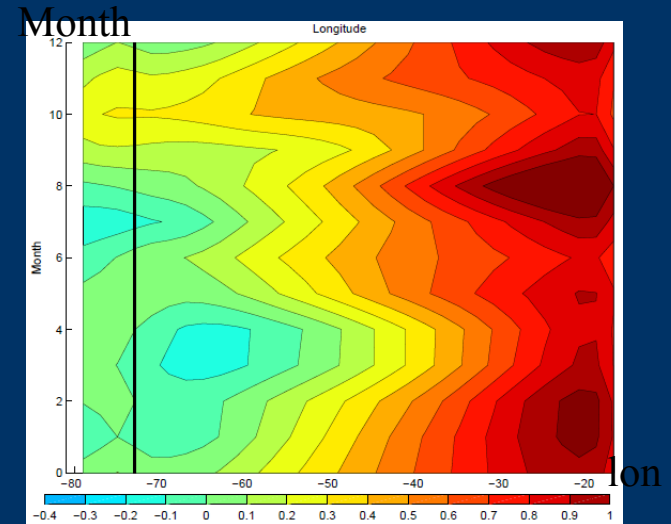
Variations
saisonnnières du
transport
d'Ekman (Sv) à
26°N

Données
RAPID



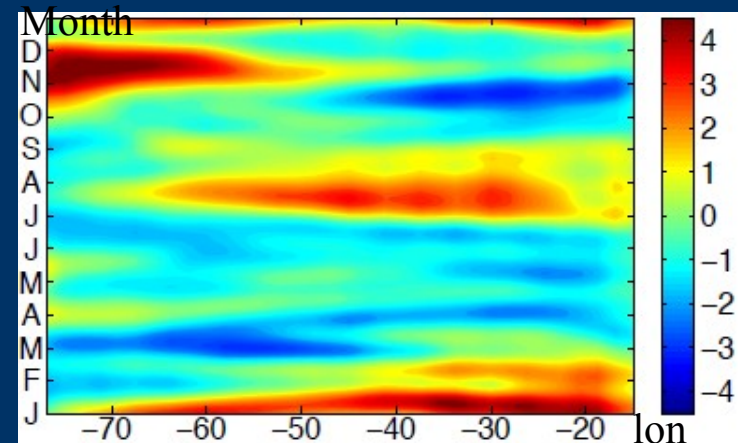
- Un forçage atmosphérique proche entre modèle et observations

Modèle



Variation
saisonnnière de la
section zonale
du transport
d'Ekman (m2/s)
à 26°N

Données
NCEP 2004-
2008
(Atkinson et
al 2010)



3) Décomposition de l'AMOC à 26°N

d) Le transport géostrophique

- Obtention de la composante :
 - Méthode « cinématique » : une moyenne globale sur le bassin

$$T_g = AMOC - (T_{GS} + T_{Ek}).$$

- Méthode « dynamique » : une carte des vitesses géostrophiques

➤ Équation zonale du mouvement

$$-f \cdot (v_g + v_{Ek}) = \frac{1}{\rho_0} \cdot \left(-\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial \tau_x^t}{\partial z} \right)$$

➤ Composante géostrophique, avec l'hydrostatisme : vent thermique

$$\frac{\partial v_g}{\partial z} = -\frac{g}{\rho_0 \cdot f} \cdot \frac{\partial \rho}{\partial x}$$

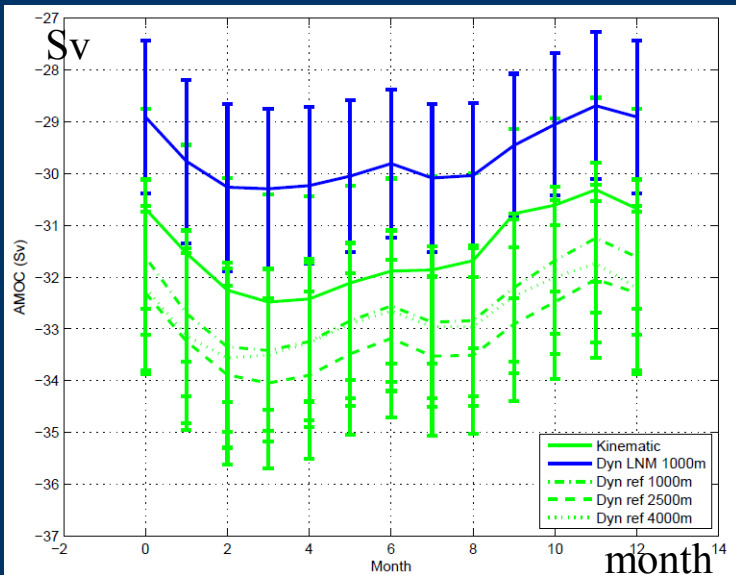
➤ Intégration du vent thermique

$$v_g(x, z) = -\frac{g}{\rho_0 \cdot f} \cdot \int_{z_{min}=1000}^z \left(\frac{\partial \rho}{\partial x} \right) (x, z') dz'.$$

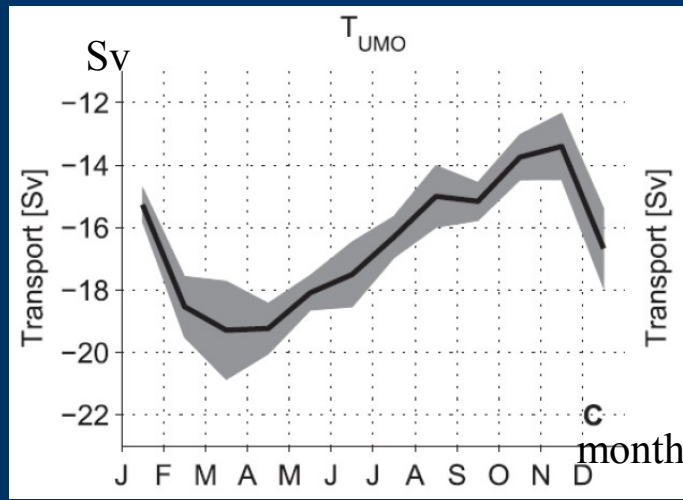
3) Décomposition de l'AMOC à 26°N

d) Le transport géostrophique

- Évaluation du résultat

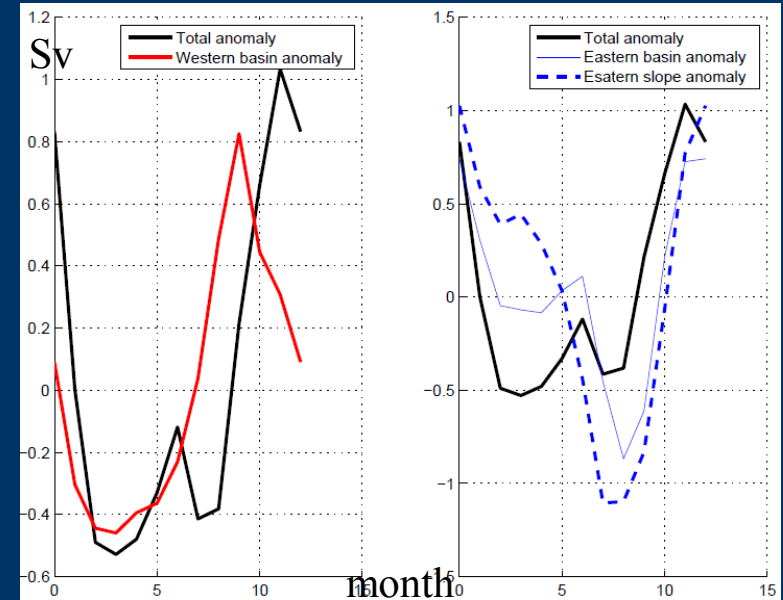


Cycle du transport géostrophique (Sv)

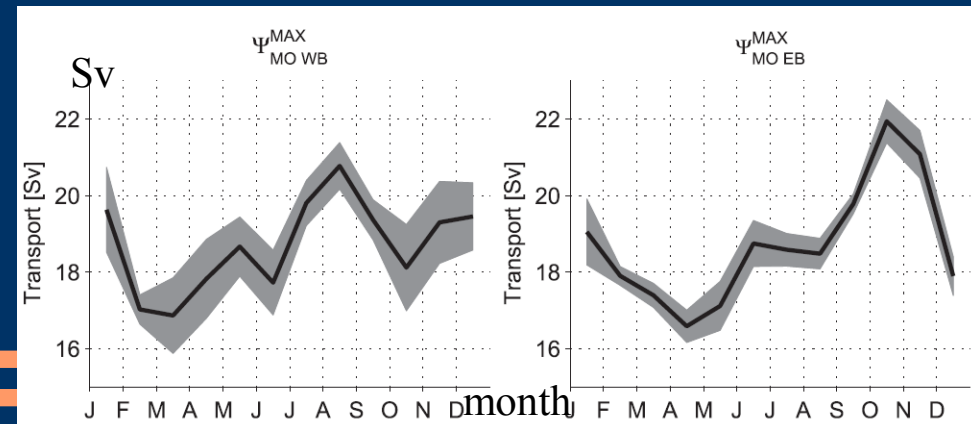


Observations
RAPID(Kanzow et al 2010)

Modèle



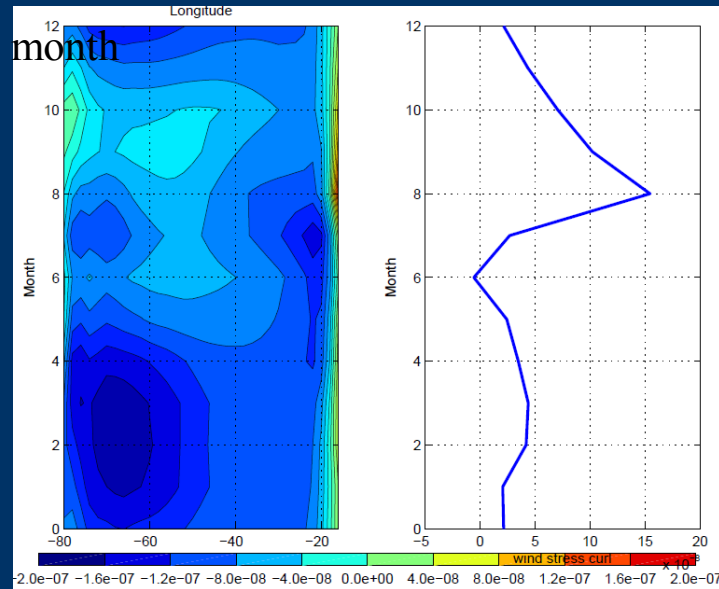
Cycle du transport géostrophique (Sv) dans la moitié ouest (gauche) et est (droite) (en anomalie dans le modèle)



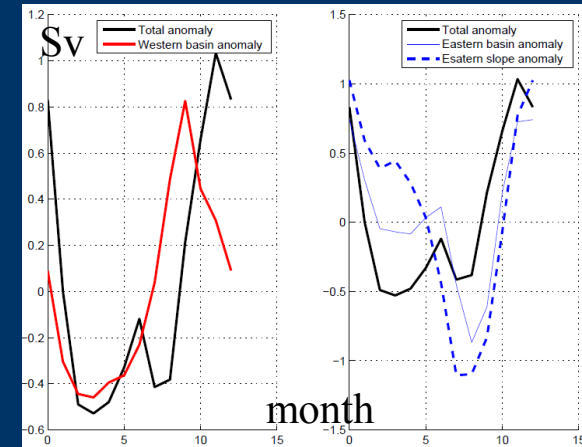
3) Décomposition de l'AMOC à 26°N

d) Le transport géostrophique

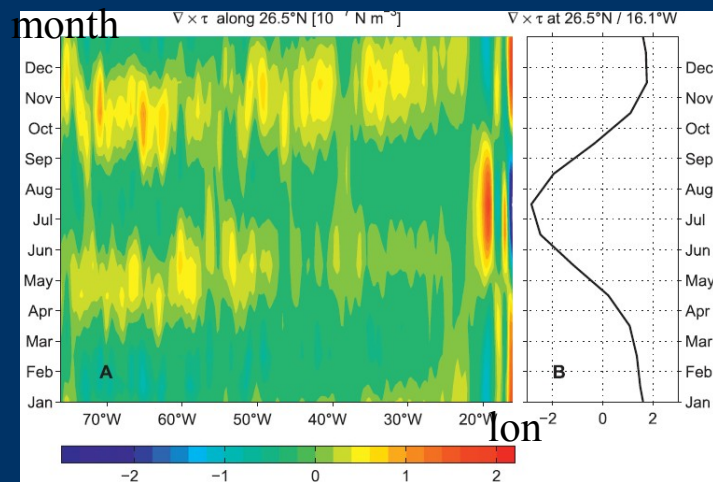
- Un forçage par une suction d'Ekman possible, mécanismes différents :



Modèle

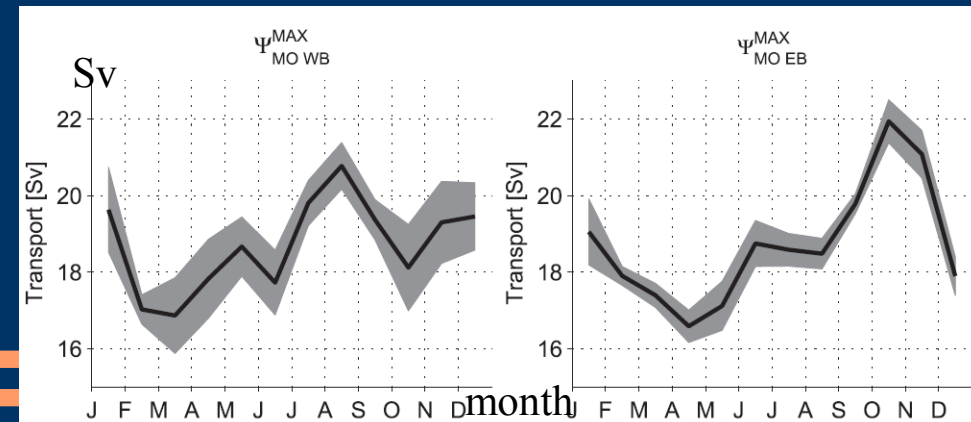


Cycle du transport géostrophique (Sv) dans la moitié ouest (gauche) et est (droite) (en anomalie dans le modèle)



Cycle du Curl(τ) à 26°N

Observations
RAPID
(Kanzow et al
2010 et
Atkinson
2010)

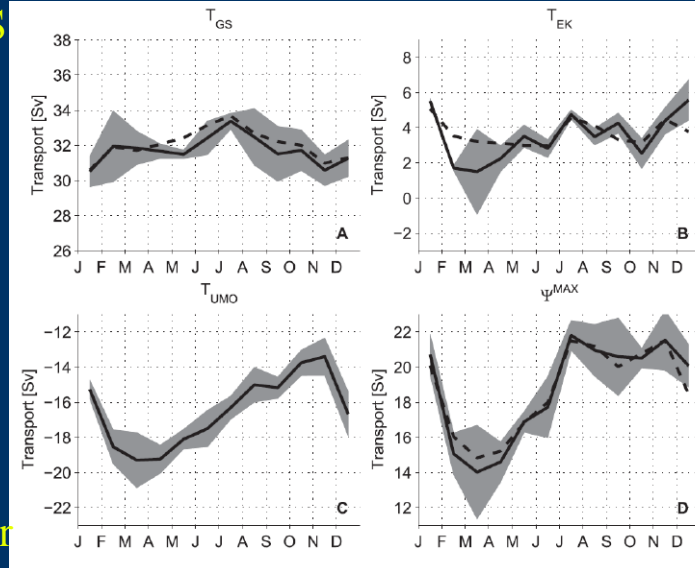


4) *Conclusions / perspectives*

- Conclusions principales :
 - Plusieurs domaines de variabilité saisonnière dans le modèle
 - Un biais systématique avec les données à 26°N
 - Décomposition de l'AMOC : cycle du Gulf Stream biaisé
 - Origine des biais en cours d'investigation : premières conclusions
 - Perspectives :
 - Approfondir les mécanismes à l'œuvre pour chaque composante
 - Lien avec le transport méridien de chaleur
 - Échelle de cohérence méridienne de cette variabilité
 - Cycle saisonnier à d'autres latitudes : tropiques « profondes », moyennes latitudes
 - Cas des scénarios climatiques
-
-

Les trois composantes de l'AMOC et le total

GS



Ek

Résultats
RAPID
(Kanzow et al
2010)

Géostr

AMOC

- Variabilité interannuelle

- Cohérence méridienne en variabilité interannuelle

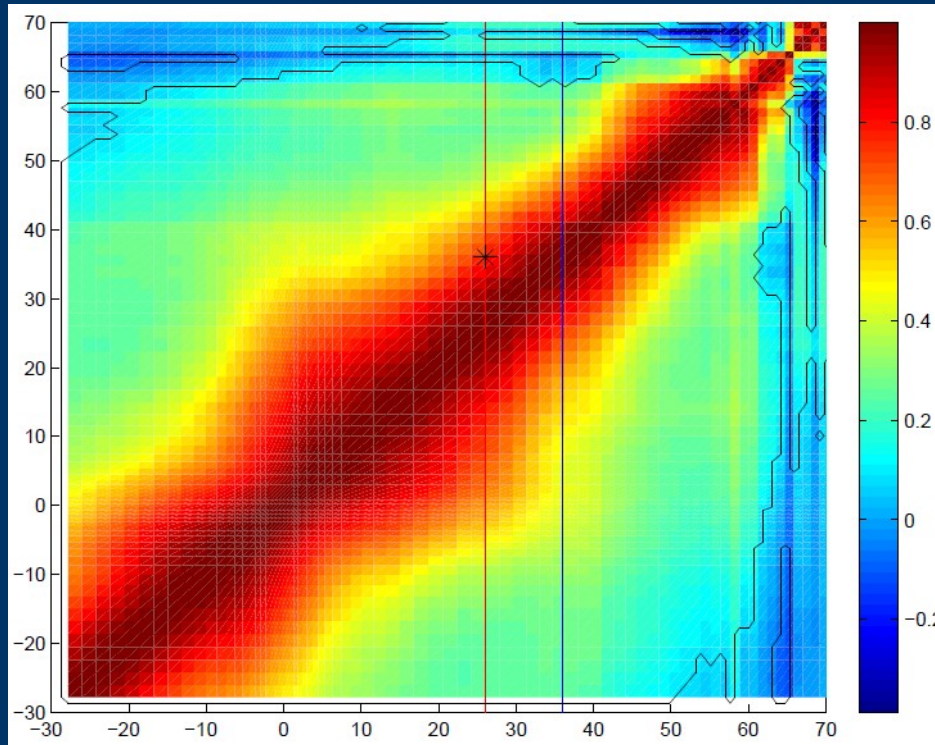
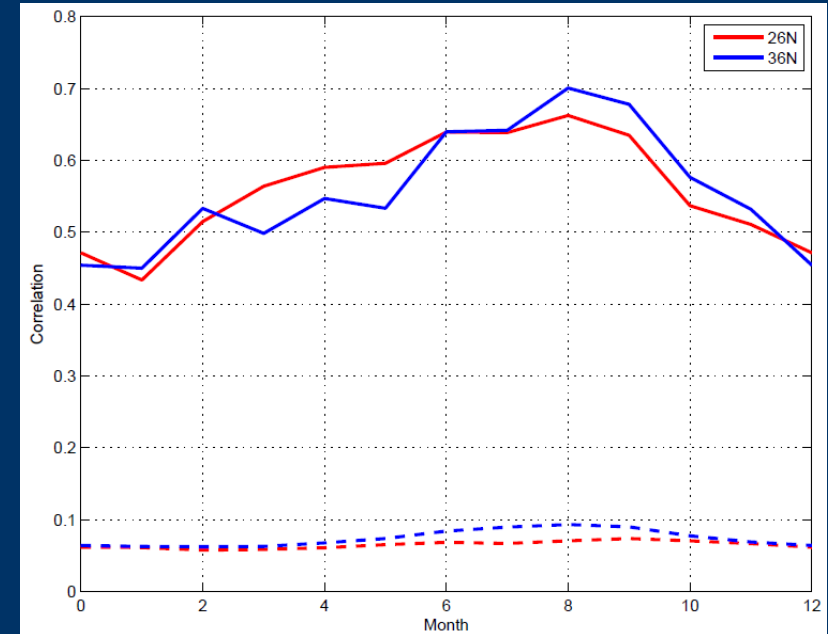


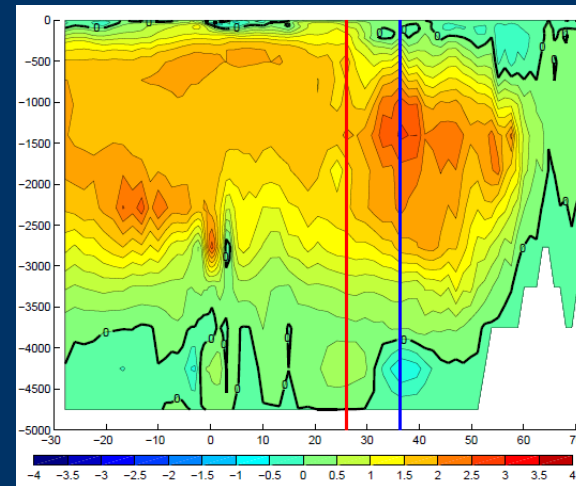
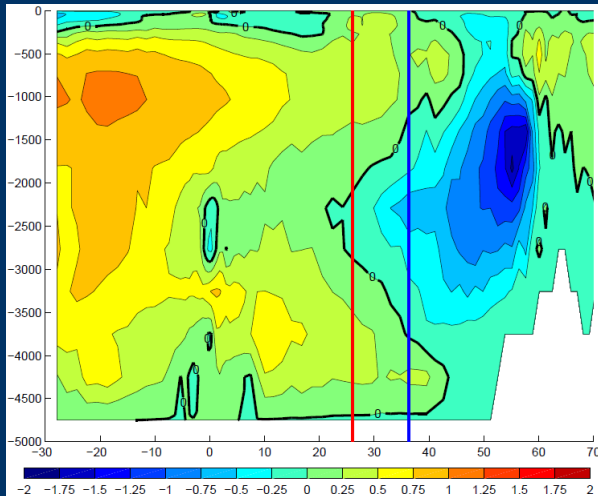
Diagramme de corrélation de l'AMOC à différentes latitudes

- Corrélation de la moyenne annuelle aux mois de l'année

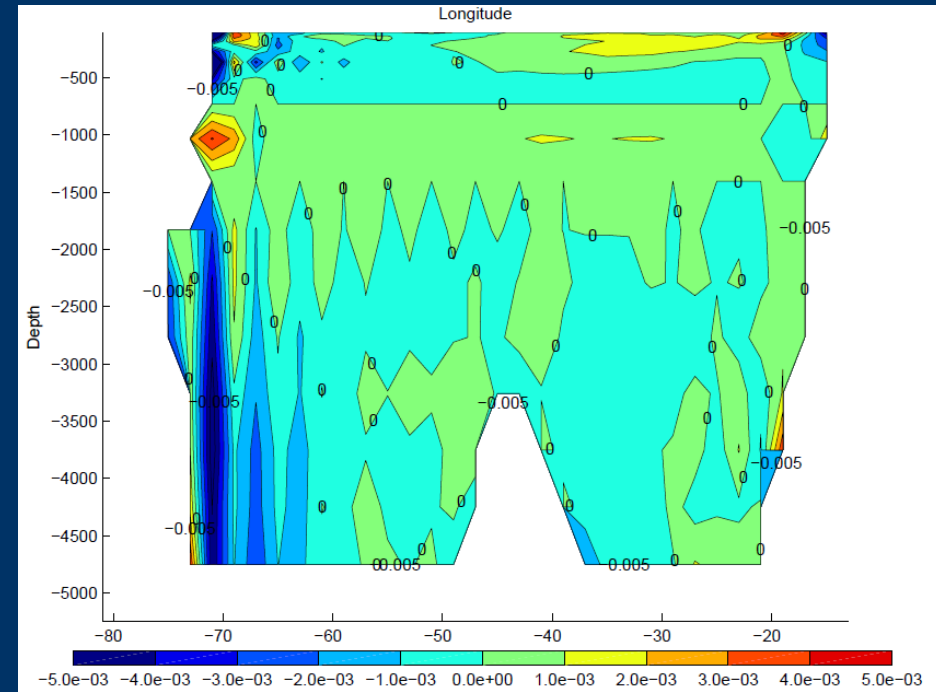
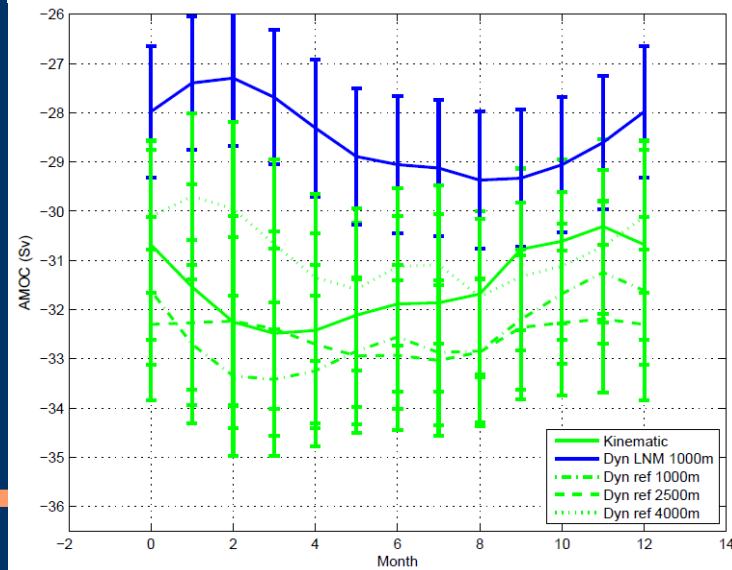
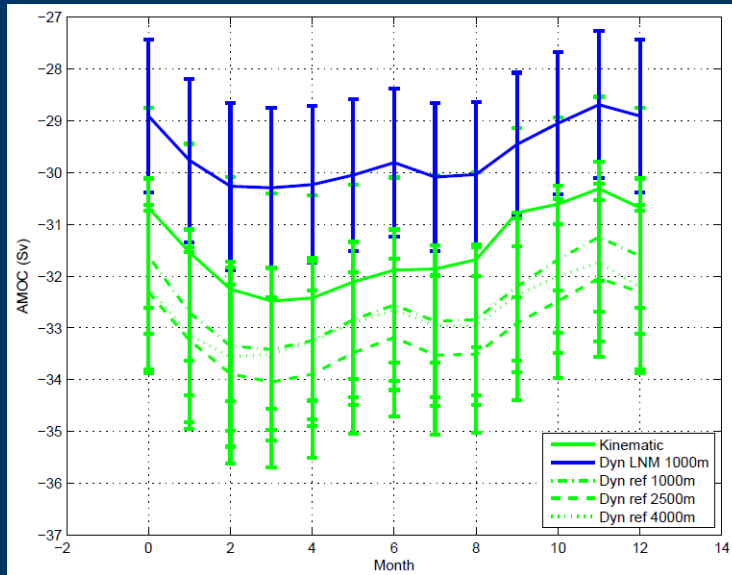


Sections méridiennes des anomalies de la simulation historique et à basse résolution

- Historique, moyenne résolution



Différentes méthodes d'intégration du vent thermique



Cycle saisonnier Gulf Stream

