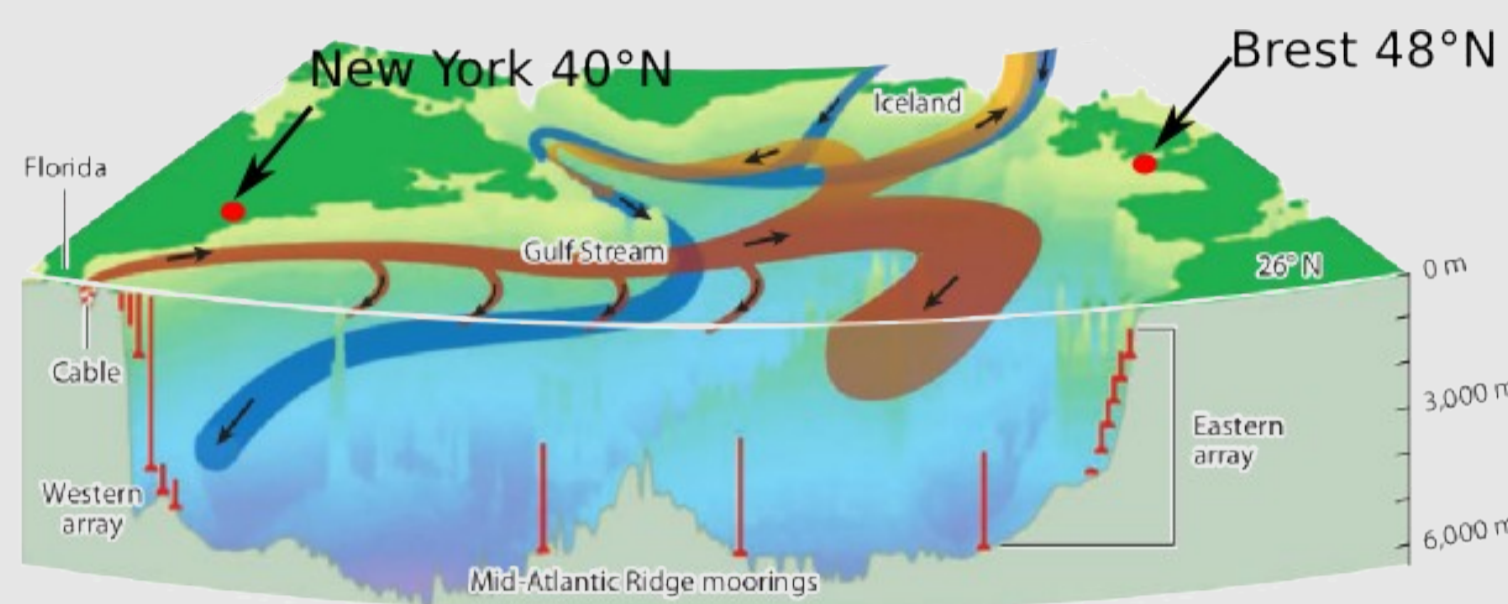


Lien entre le Gulf Stream et l'AMOC

- A grande échelle, l'**océan Atlantique** est caractérisé par :
 - Un transport d'**eaux chaudes et salées** vers le Nord en **surface**
 - Un transport d'**eau froide** vers le Sud en **profondeur**
- Il en résulte un transport net de chaleur du Sud vers le Nord
- Le **Gulf Stream**, un courant de surface d'**eau chaude et salée**, qui s'écoule vers le Nord le long de la côte Est américaine, est un **élément prépondérant** de la circulation grande échelle de l'**océan Atlantique**

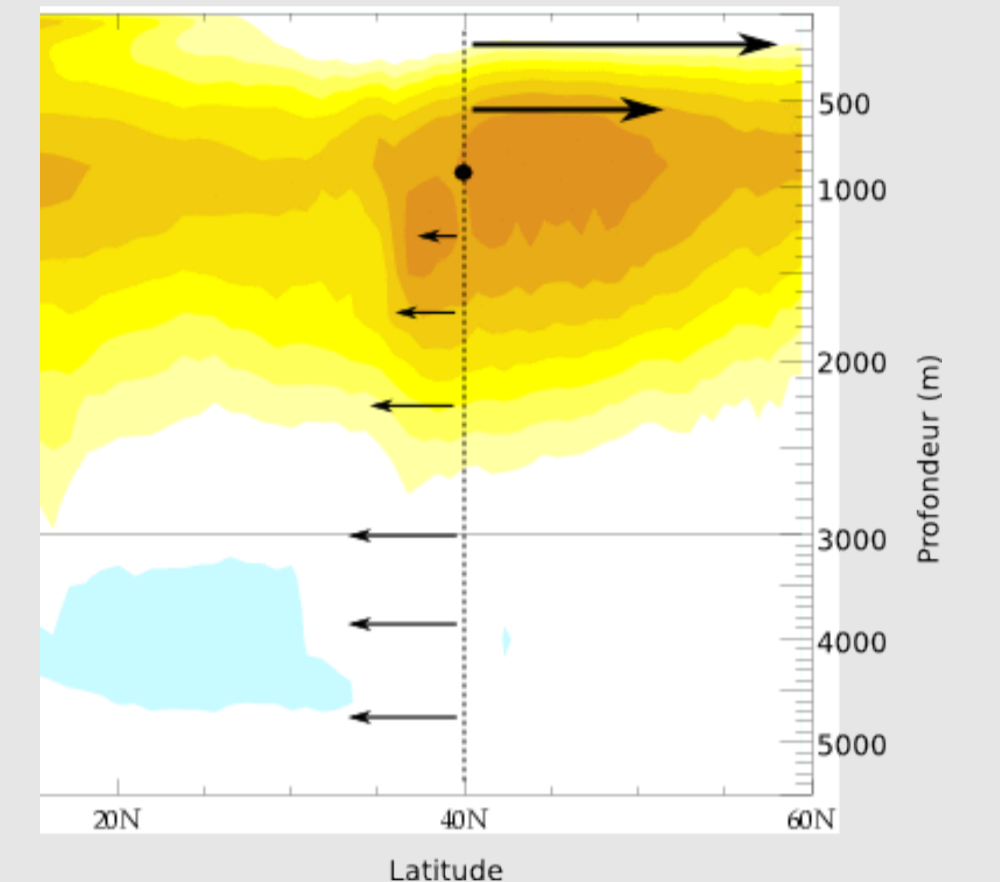
- La **Circulation Méridienne de Retournement Atlantique (AMOC pour Atlantic Meridional Overturning Circulation)** caractérise la circulation Nord/Sud dans l'**océan Atlantique**
- Elle est définie comme la somme des **vitesse méridiennes** v (+ vers le nord, - vers le sud), du bord est (x_e) au bord ouest (x_w)
- Dans un plan latitude/profondeur, sa formule mathématique s'écrit :
- Contribution du **Gulf Stream** pour l'AMOC à 26°N = **~50%**⁽¹⁾

$$AMOC = \int_{-h}^z \int_{x_w}^{x_e} v \cdot dx \cdot dz$$



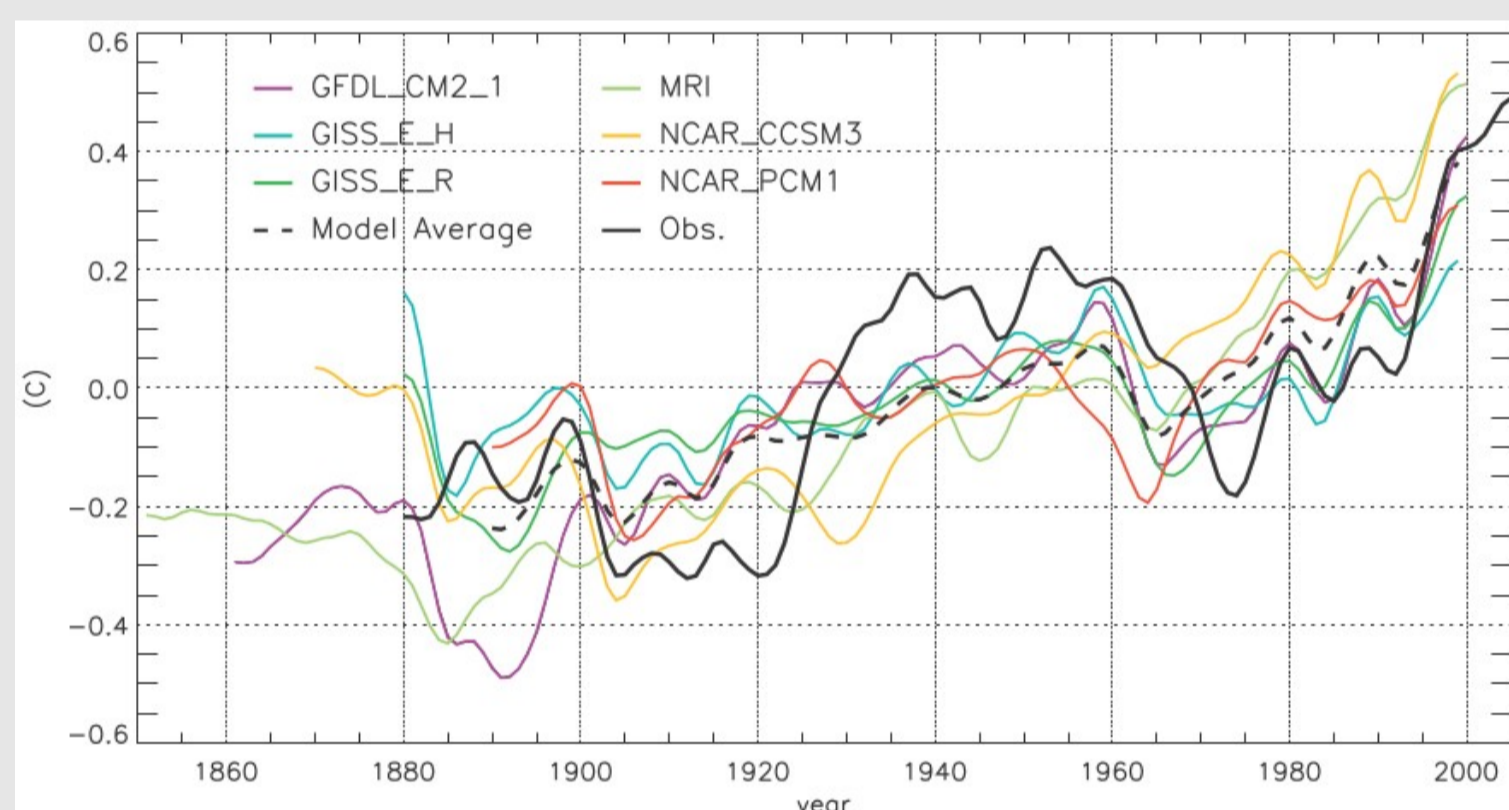
Coupe Est-Ouest de l'océan Atlantique à 26°N. Le Gulf Stream est représenté le long de la côte Est américaine. L'épaisseur des courants n'est pas représentative de leur intensité. Figure adaptée de [Lozier, 2012].

Circulation Méridienne de Retournement Atlantique (AMOC) moyenne pour l'année 2013 entre 15°N et 60°N. Les flèches représentent de façon schématique les vitesses méridiennes à 40°N. L'AMOC moyenne est issue des réanalyses ORAS4 du Centre Européen de prévisions à moyens termes (ECMWF)



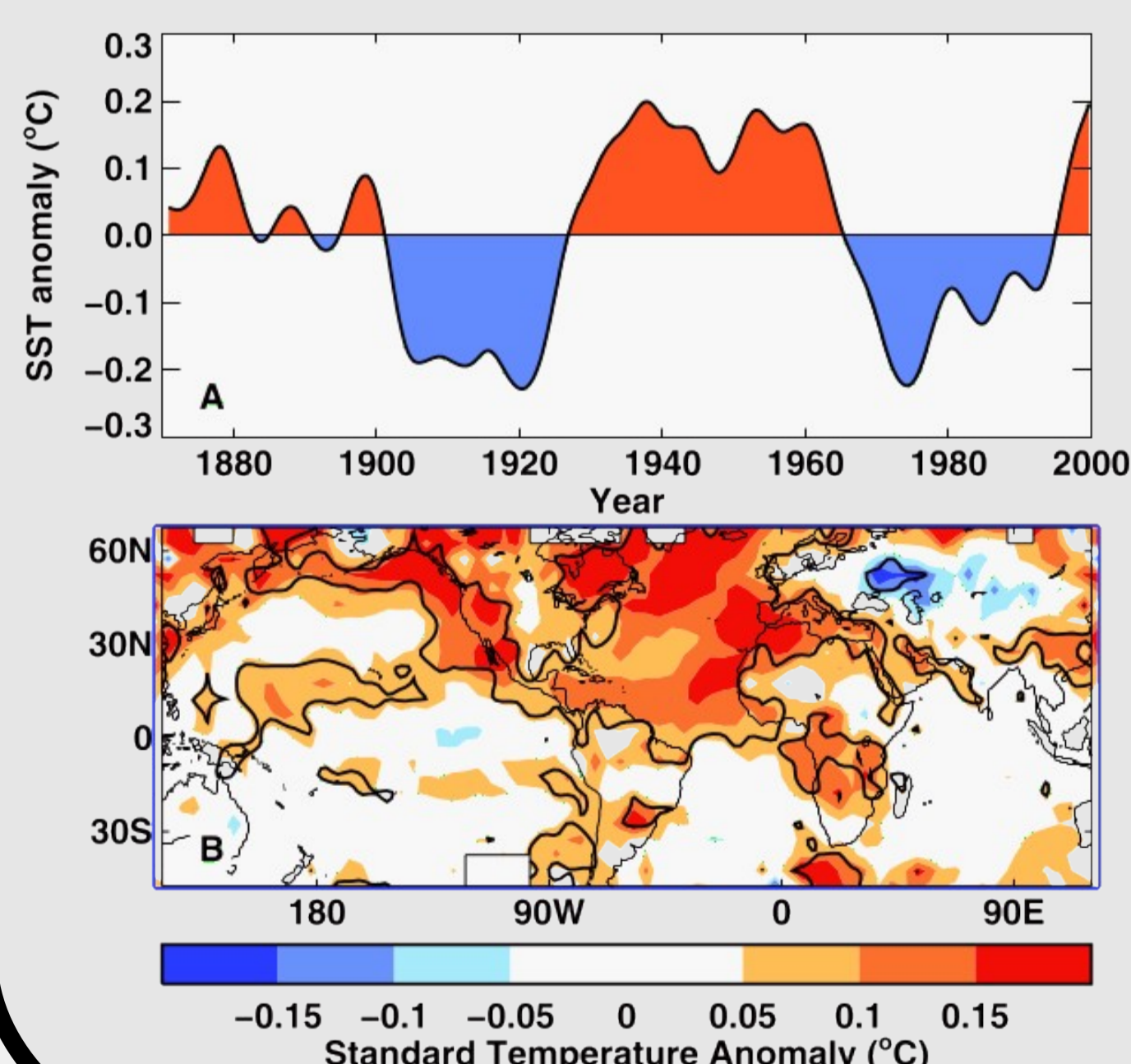
Quelle relation avec le climat ?

- Moitié du XX^{ème} siècle → aujourd'hui : forte augmentation de l'activité humaine
- Dérèglement climatique global
- **Réchauffement de la température de surface de l'océan (SST) Atlantique Nord**



Anomalies de Température de Surface de l'Océan (SST) dans l'Océan Atlantique Nord (10°-60°N ; 75°-75°W) dans les observations (courbe noire) et dans plusieurs modèles climatiques. Figure reproduite de [Ting et al., 2009]

- Forte **variabilité** de SST dans l'Atlantique Nord qui **interfère** avec le signal de réchauffement climatique → **AMO pour Atlantic Multidecadal Oscillation**
- Quelle est cette variabilité, comment la diagnostiquer et la comprendre?
 - périodicité : ~ 20-50 ans (multidécennale)
 - amplitude : ~ 0.1°C
 - **mécanismes** : ??



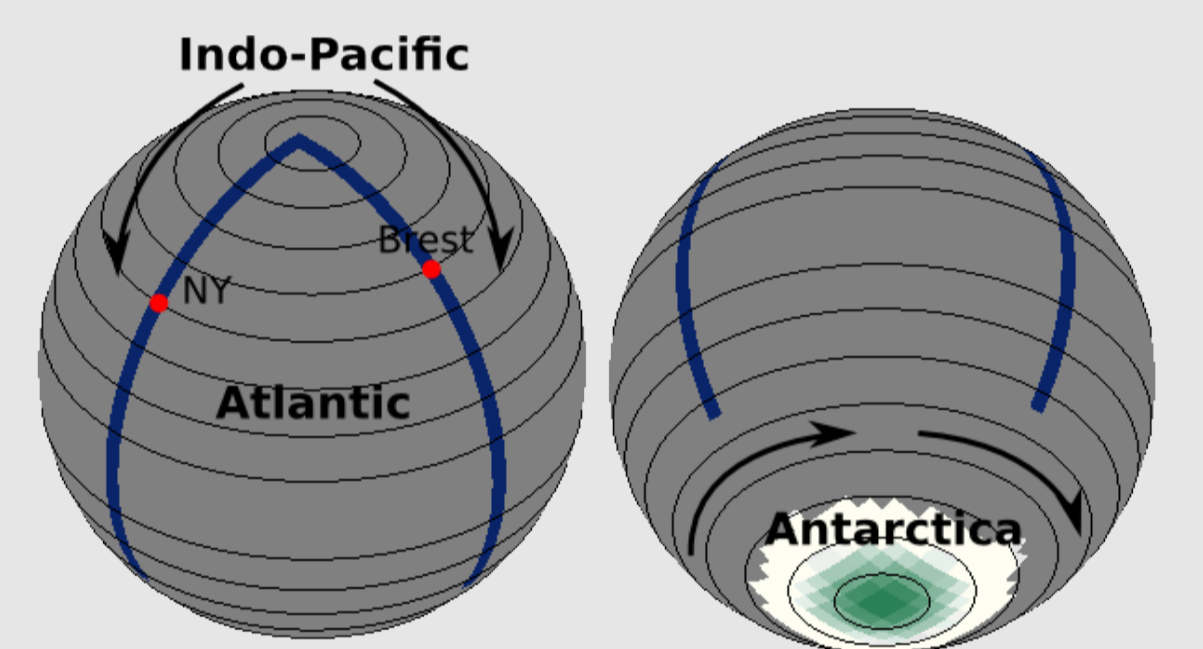
- Variations de l'AMO en relation avec la variabilité de l'AMOC⁽³⁾ dans les modèles
- Forte AMOC → fort transport de chaleur vers le Nord → SST plus chaude → phase positive de l'AMO

(A) Indice AMO déduit de la moyenne des SST dans l'Atlantique Nord à laquelle une tendance de réchauffement a été soustraite et (B) anomalies de températures de surface associées à l'indice AMO. Figure reproduite de [Knight et al., 2005]

Un modèle idéalisé

- Observations : trop courtes et trop peu étendues → utilisation de modèles numériques

- **Complexité des mécanismes** mis en jeu → on utilise un modèle 'idéalisé' (MITgcm⁽⁵⁾) :
 - Océan Atlantique = petit bassin
 - Océan Pacifique et Indien = grand bassin
 - Océan Antarctique = bassin circulaire avec glace de mer
- Bien que simple, il reproduit la dynamique grande échelle du climat terrestre, et notamment l'AMOC !



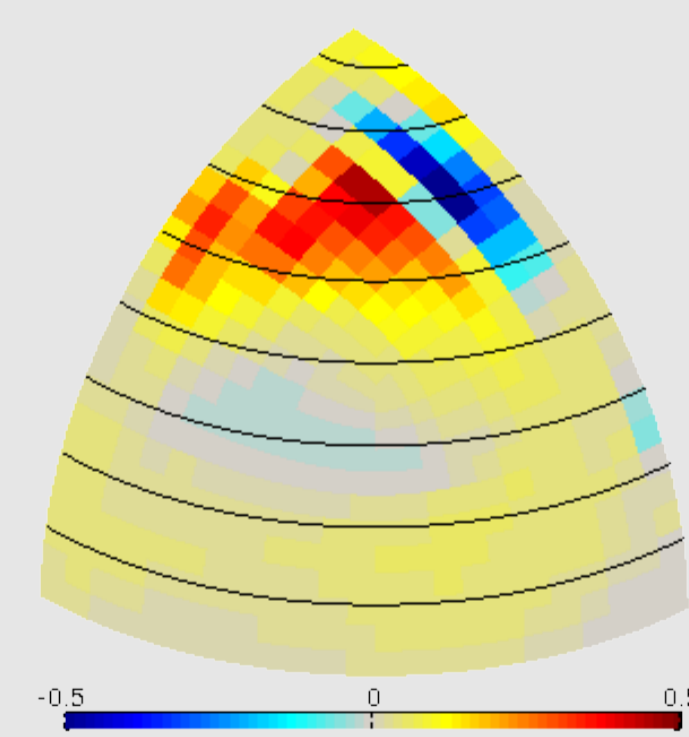
Géométrie idéalisée du modèle utilisé. L'océan a une profondeur constante de 3000 mètres, séparé par 2 barrières continentales, orthogonales l'une à l'autre.

Problématique ?

- L'AMOC présente une **variabilité aux échelles multidécennales à basse résolution**⁽²⁾ ; Mais qu'en est-il à plus **haute résolution** ?
- NB : la **résolution** d'un modèle peut être assimilée à un **zoom**

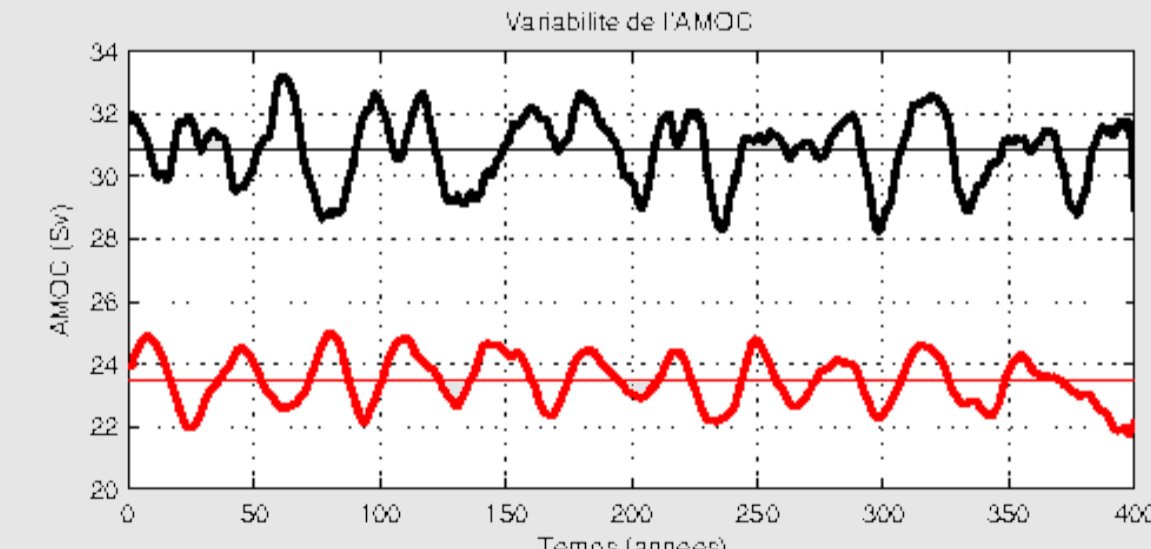
Basse résolution

- Variabilité **régulière** (32 ans)
- Propagation d'Est en Ouest d'anomalies de SST dans le nord du bassin Atlantique
- Faible couplage avec l'atmosphère



Haute résolution

- Variabilité plus **chaotique** (32 ans)
- Signature en SST fortement **amplifiée** le long du **bord Ouest**
- Fort couplage avec l'atmosphère



Séries temporelles de l'AMOC (centre) et anomalies de SST (en °C) associées pour la simulation à basse (rouge, gauche) et haute (noir, droite) résolution. La variabilité multidécennale de l'AMOC est peu sensible à la résolution, mais sa signature à la surface de l'océan, notamment pour la SST, est fortement modifiée.

CONCLUSIONS

La variabilité multidécennale de l'AMOC est peu sensible à la résolution horizontale du modèle

Différence importante de sa signature en surface, ainsi que de son couplage avec l'atmosphère

Les mécanismes fondamentaux sont-ils eux aussi modifiés?

(1) Bryden, H. L., Longworth, H. R., and Cunningham, S. A. (2005). Slowing of the atlantic meridional overturning circulation at 25°N. Nature, 10(1):82. 438(7068):655657.
 (2) Buckley, M. W., Ferreira, D., Campin, J.-M., Marshall, J., and Tulloch, R. (2012). On the relationship between decadal buoyancy anomalies and variability of the atlantic meridional overturning circulation. Journal of Climate, 25(23):80098030
 (3) Knight, J. R., Allan, R. J., Folland, C. K., Vellinga, M., and Mann, M. E. (2005). A signature of persistent natural thermohaline circulation cycles in observed climate. Geophysical Research Letters, 32(20).

(4) Lozier, M. S. (2012). Overturning in the north atlantic. Annual review of marine science, 4:291315
 (5) Marshall, J., Adcroft, A., Hill, C., Perelman, L., and Heisey, C. (1997). A nite-volume, incompressible navier stokes model for studies of the ocean on parallel computers. Journal of Geophysical Research: Oceans (19782012), 102(C3):57535766.
 (6) Ting, M., Kushnir, Y., Seager, R., and Li, C. (2009). Forced and internal twentieth-century sst trends in the north atlantic*. Journal of Climate, 22(6):14691481.