

L'Océan et les changements climatiques

vendredi 27 mai 2011
9 h 00 - 18 h 30

Ambassade Marguerite de Navarre
Collège de France
11, place Marcelin-Berthelot 75005 Paris

Matinée

- 9 h 00 Édouard BARD (Collège de France & CERCE, Aix-en-Provence)
Introduction et perspective sur le réchauffement actuel et l'absorption du CO₂ par l'océan
- 10 h 00 David ANTOINE (CNRS, Observatoire Océanologique de Villefranche-sur-Mer)
Changements récents de la biomasse océanique révélés par les observations satellitaires de la « couleur de l'océan »
- 11 h 00 Jean-Pierre GATTUSO (CNRS, Observatoire Océanologique de Villefranche-sur-Mer)
Acidification de l'océan et son impact sur les organismes et écosystèmes marins

Après-midi

- 14h 00 Arny CAZENAVE (CNES, Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales, Toulouse)
Niveau de la mer, températures de l'océan et fonte des glaces
- 15 h 00 Hervé MERCIER (CNRS, Laboratoire de Physique des Océans, Brest)
Changement de l'hydrologie et de la circulation océanique : l'exemple de l'Atlantique Nord

• Pause café

- 16 h 30 Eric GUILYARDI (CNRS, Laboratoire d'Océanographie et du Climat : Expérimentation et Approches Numériques, Paris, & Université de Reading)
Modélisation numérique de l'océan : comprendre et anticiper les variations du climat
- 17 h 30 Laurent BOPP (CNRS, Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, Gif-sur-Yvette)
Couplage entre changement climatique et biogéochimie marine : apports de la modélisation numérique

• Discussion et débat

universcience présente

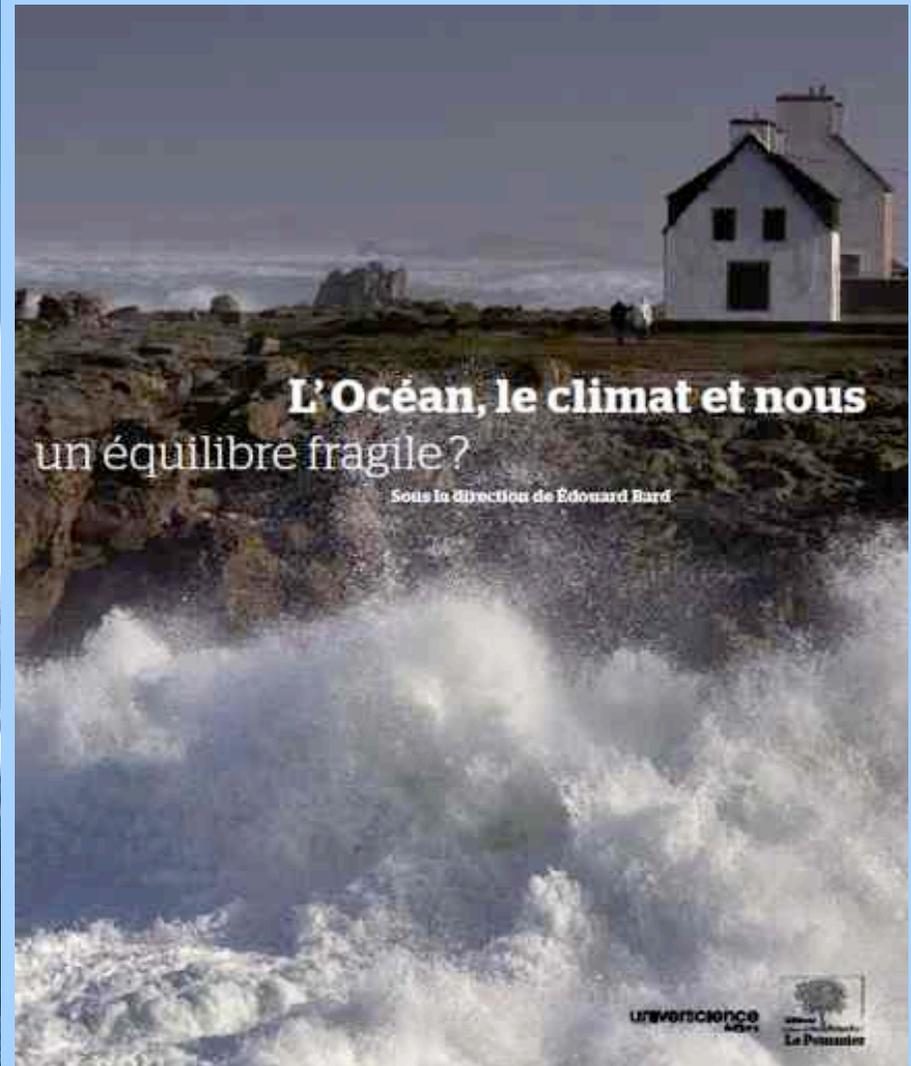
OCEAN CLIMAT ET NOUS

EXPO > 6 AVRIL 2011 > JUIN 2012

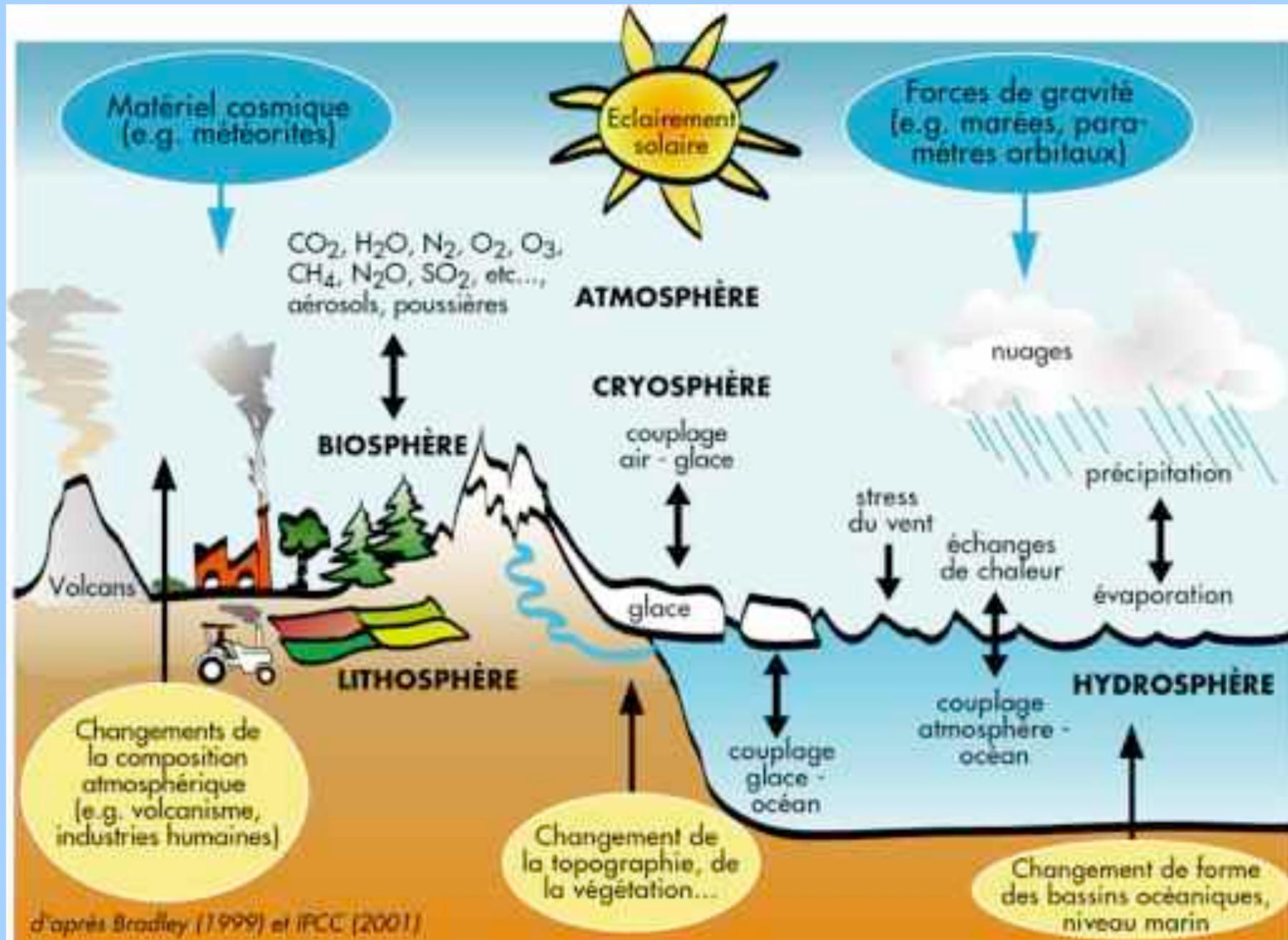
© PORTE DE LA VILLETTE / UNIVERSCIENCE.FR

cité
des sciences &
de l'industrie

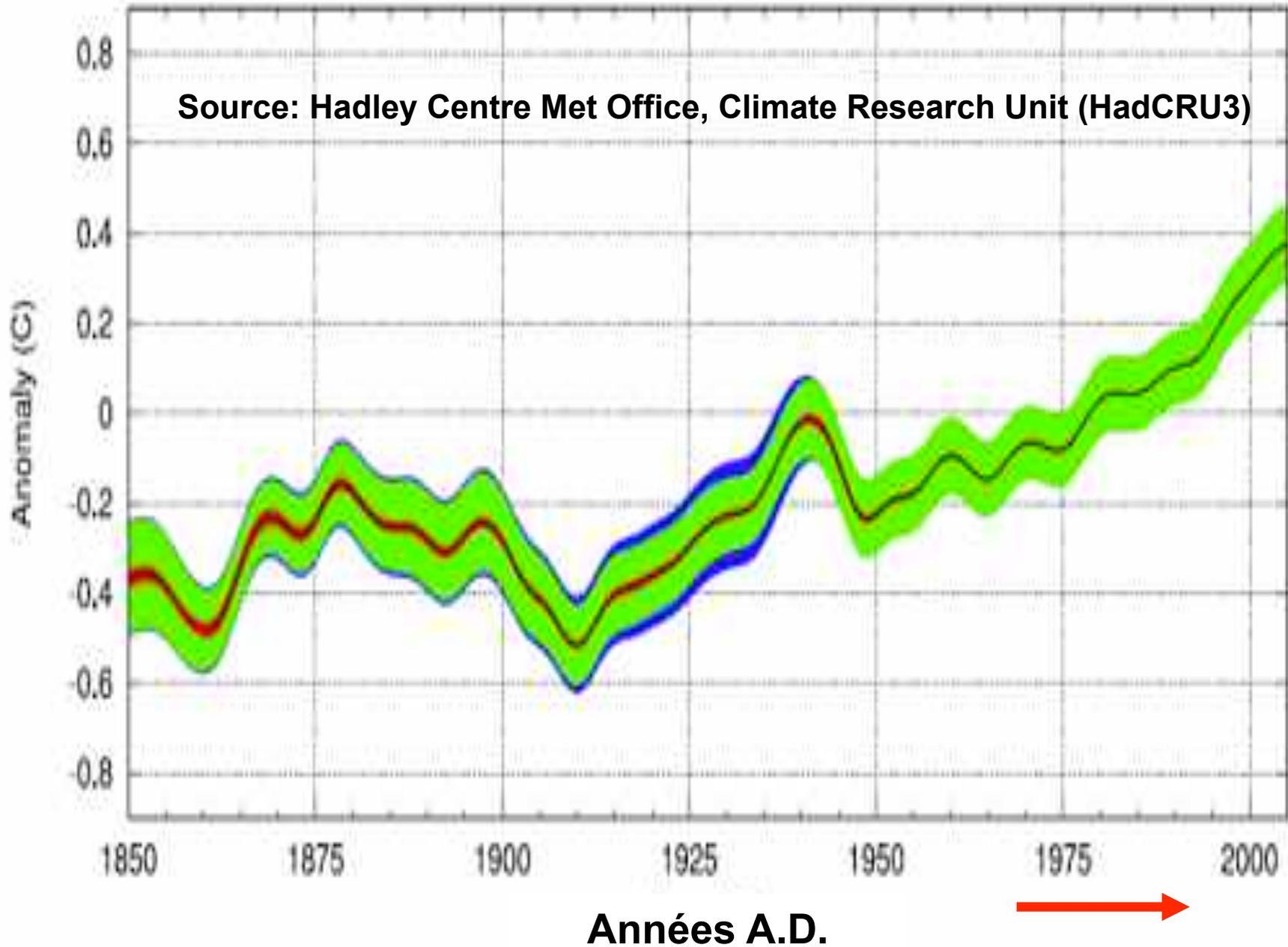
**Exposition à la Cité des
Sciences de la Villette
& livre aux éditions
Le Pommier**



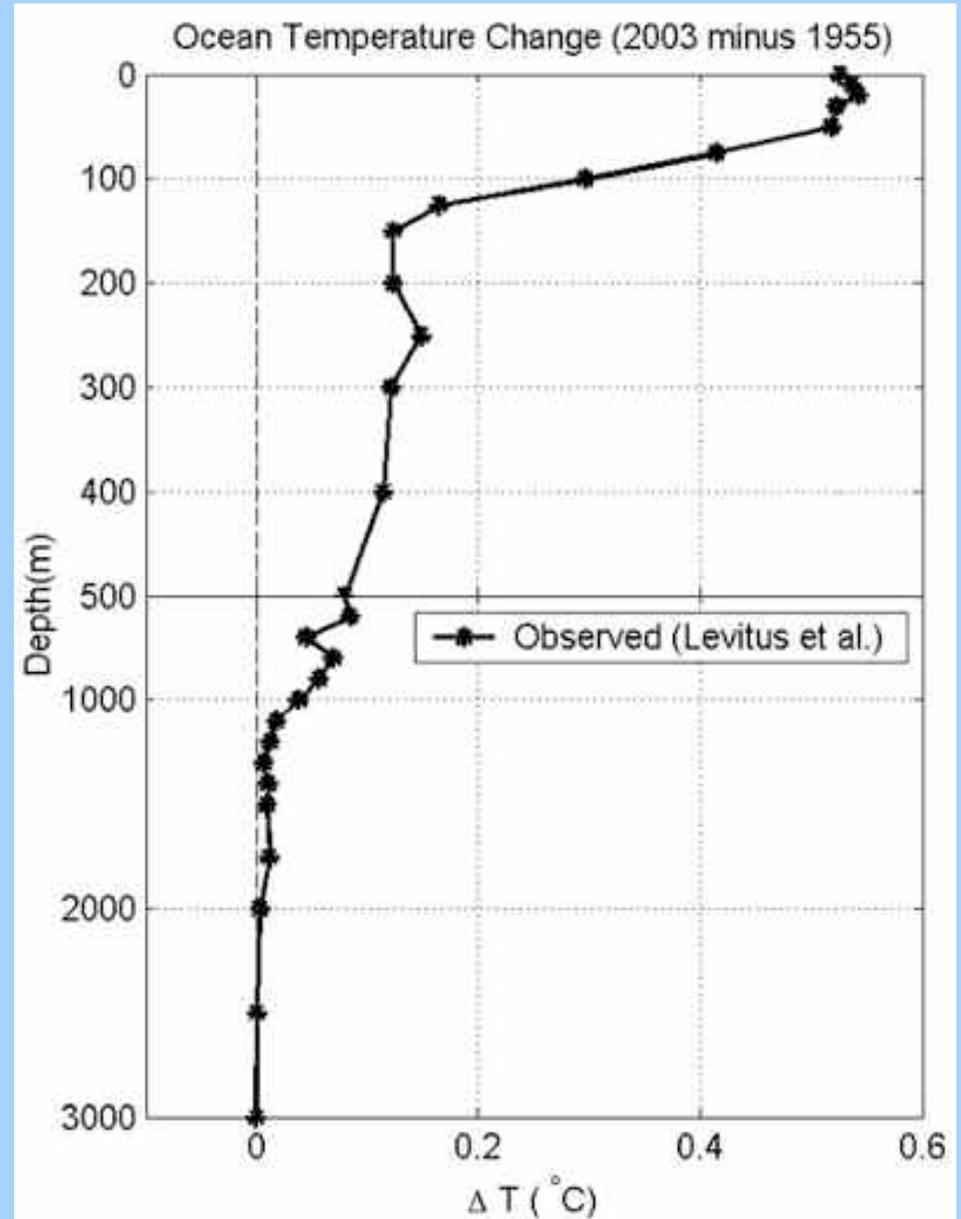
L'océan est un compartiment majeur du système climatique



Anomalies des températures de l'océan de surface

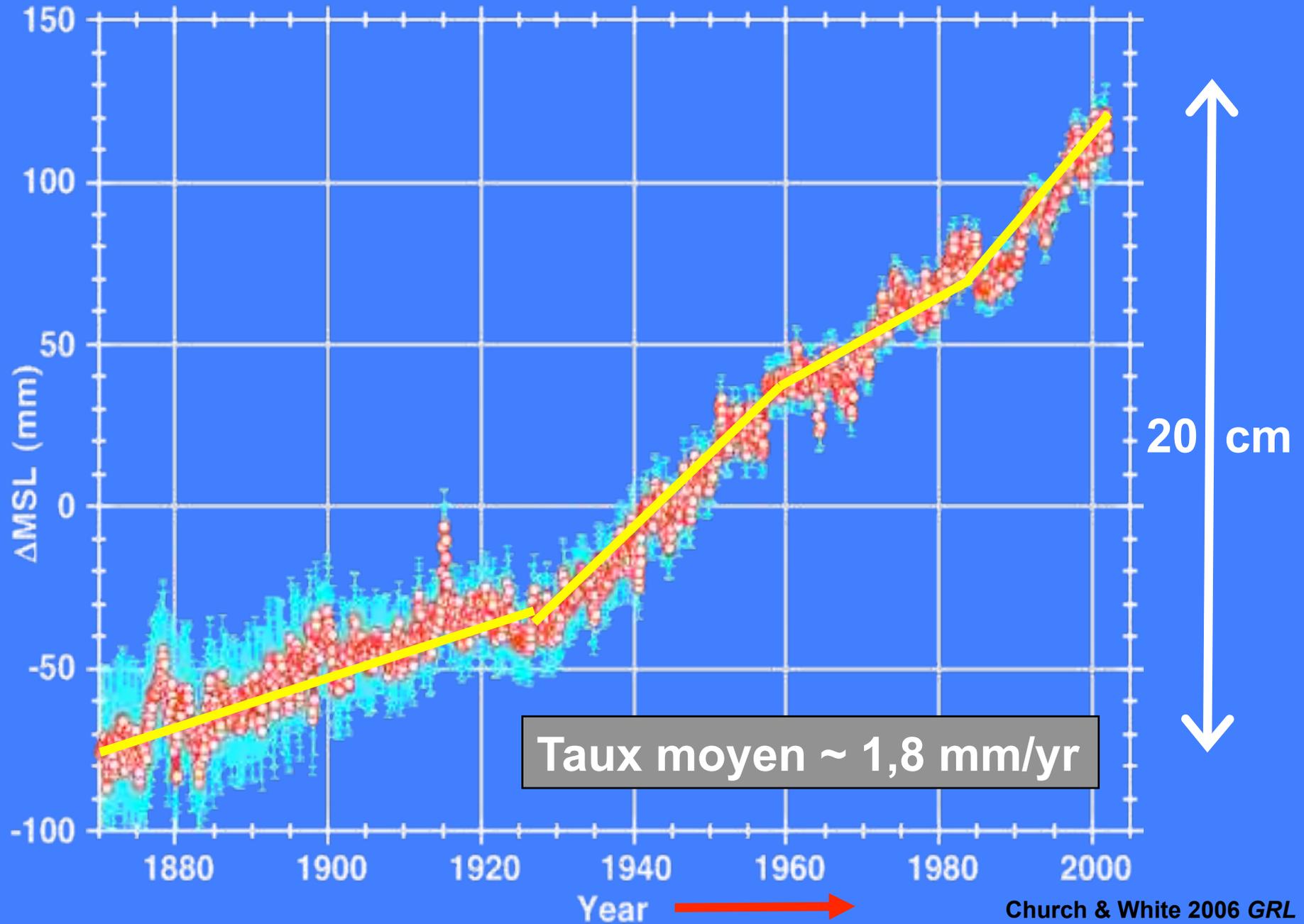


Le réchauffement se propage en profondeur par diffusion de la chaleur et advection par les courants marins

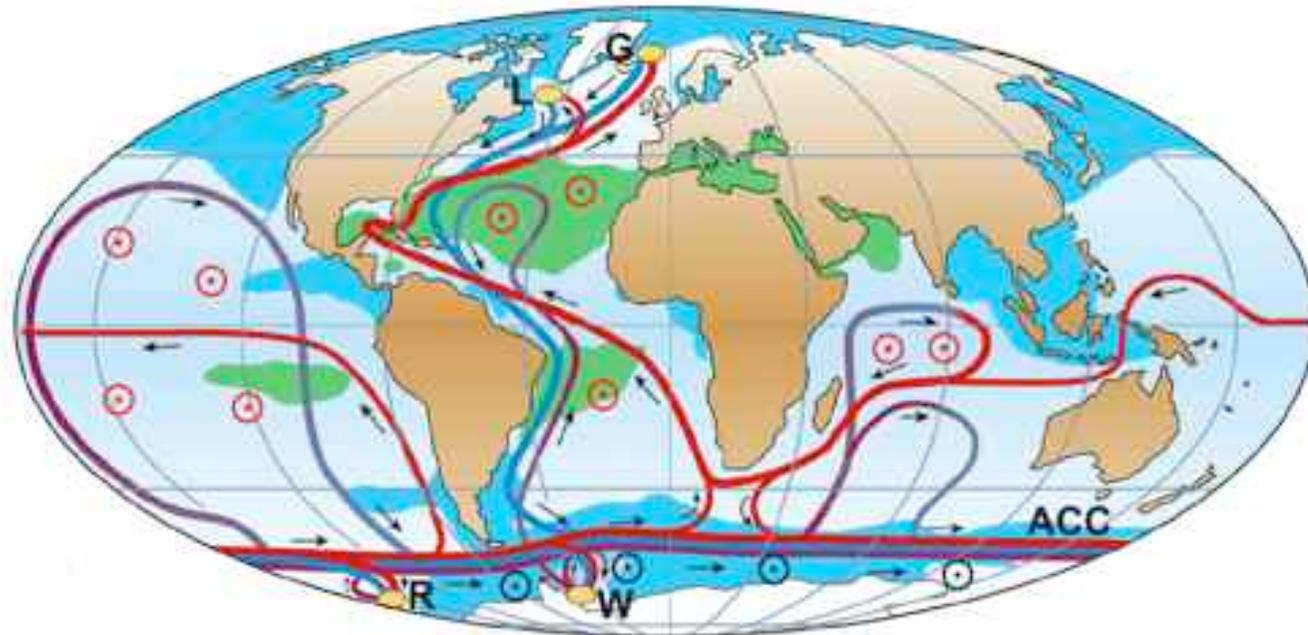
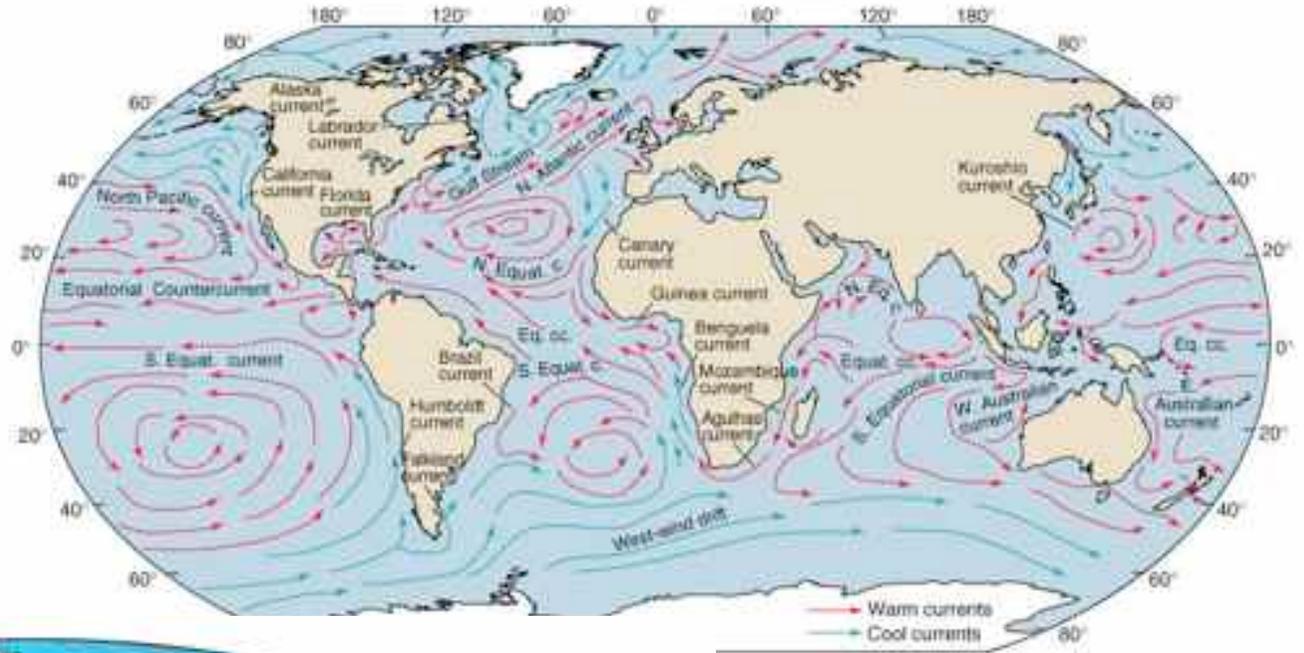


Levitus et al. 2001 *Science*

Evolution du niveau marin moyen (marégraphes)



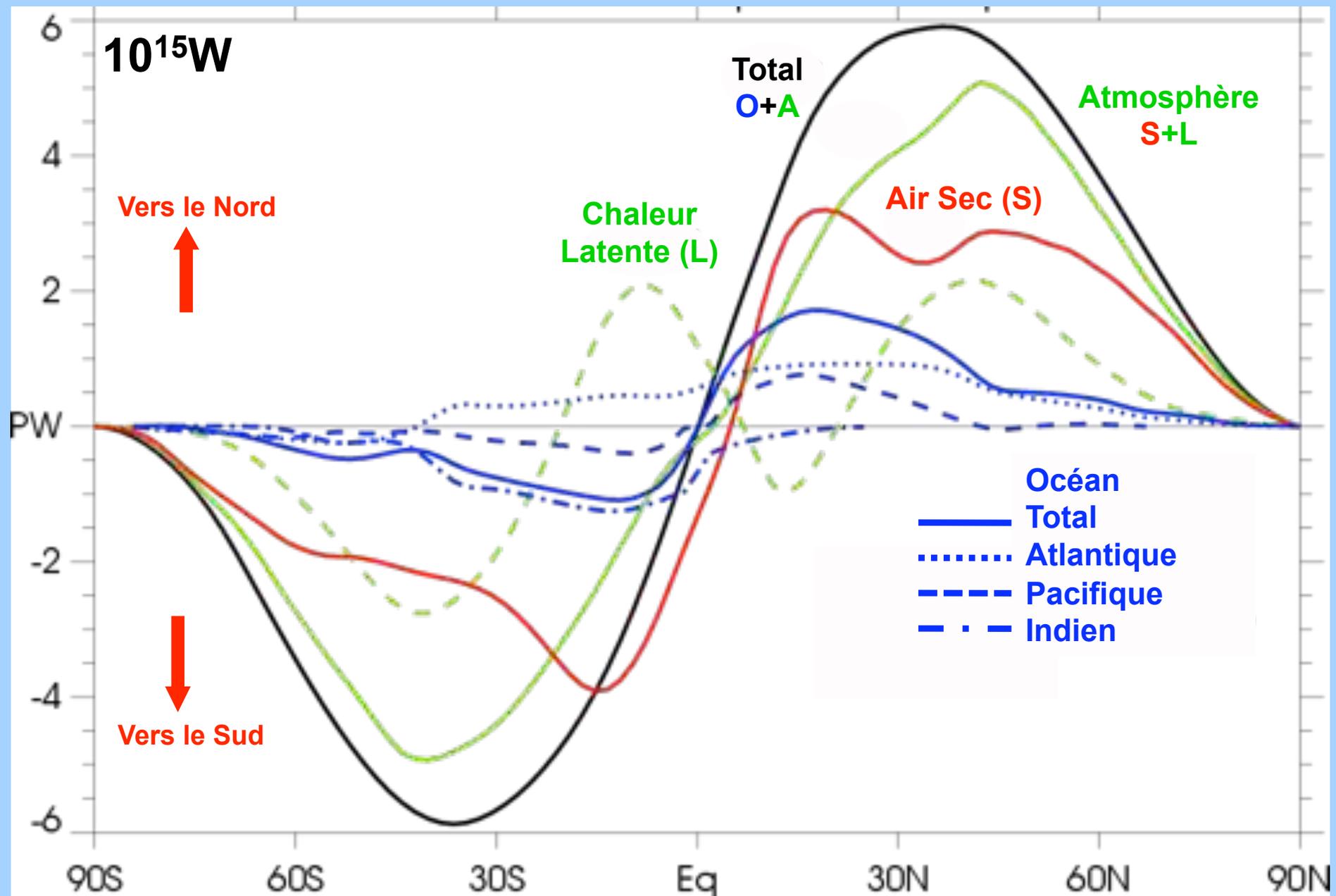
Circulation des masses d'eau en surface et en profondeur



- | | | |
|----------------------|-------------------------|------------------------|
| Surface flow | Wind-driven upwelling | L Labrador Sea |
| Deep flow | Mixing-driven upwelling | G Greenland Sea |
| Bottom flow | Salinity > 36 ‰ | W Weddell Sea |
| Deep Water Formation | Salinity < 34 ‰ | R Ross Sea |

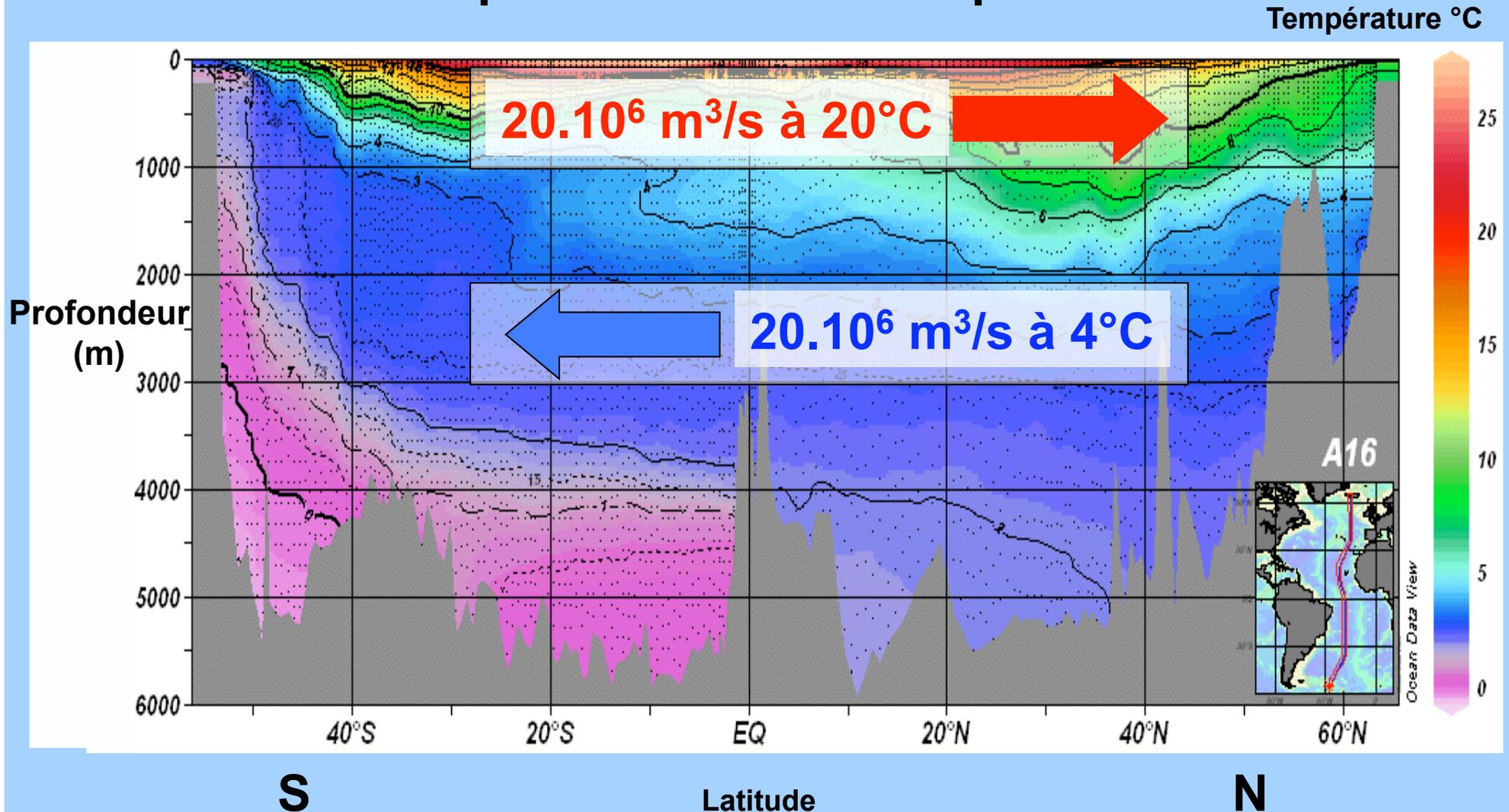
Kuhlbrodt et al. 2007 *Rev. Geophys.*

L'océan participe au transport méridien de la chaleur



d'après Fasullo & Trenberth 2008 *J. Clim.*

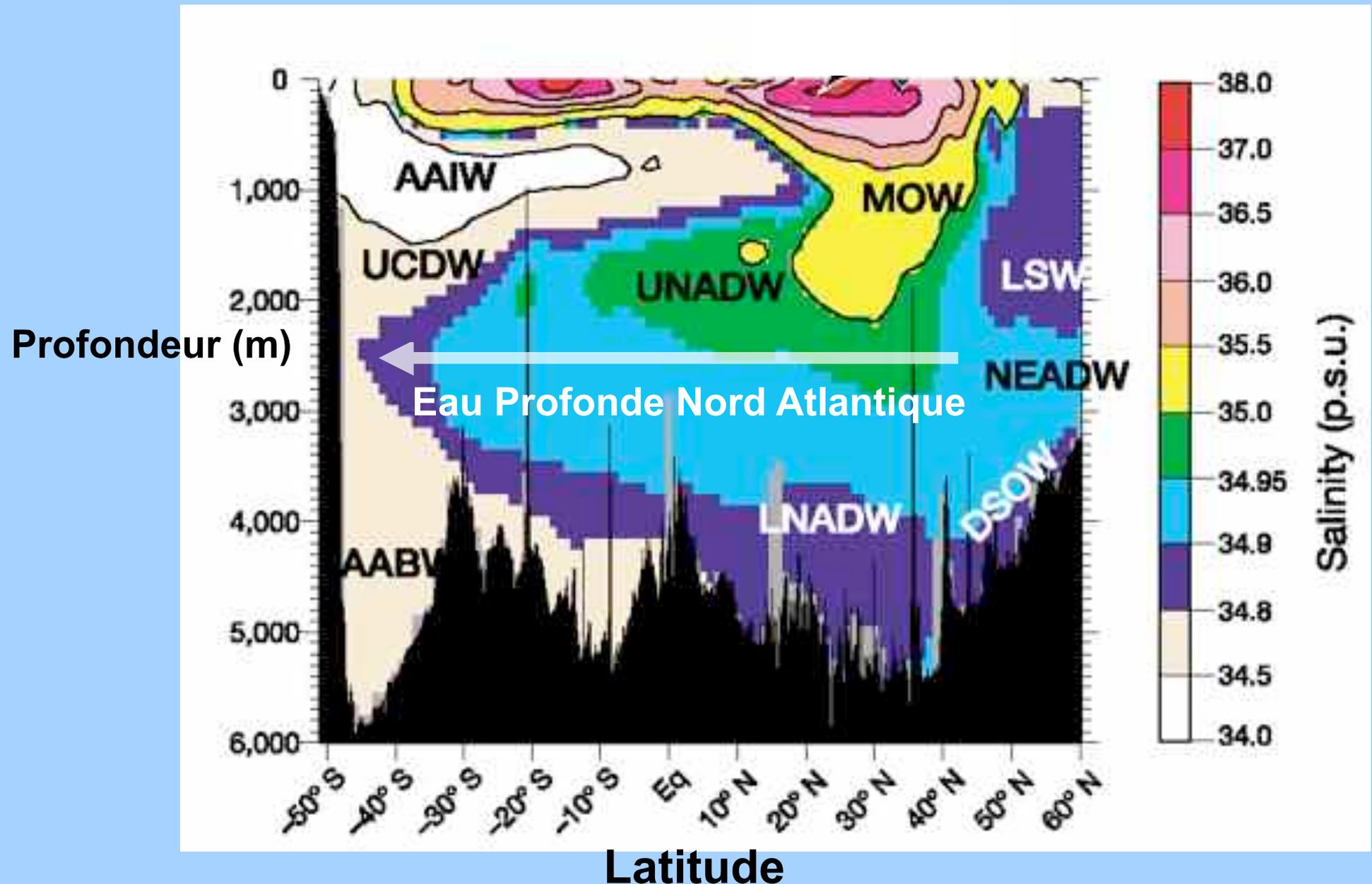
Estimation du flux de chaleur méridien pour l'Océan Atlantique



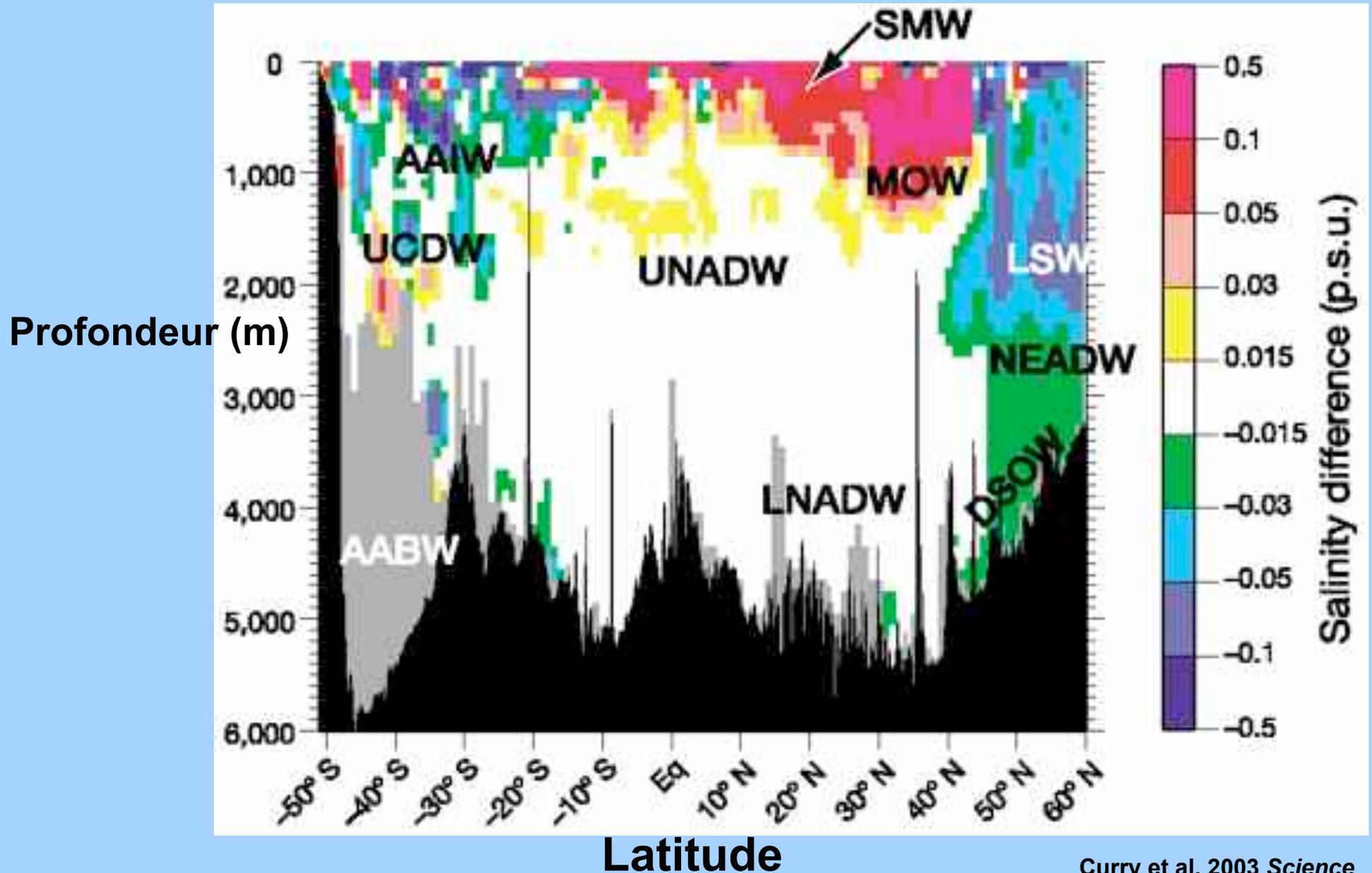
$$F_{\text{chaleur}} = c \cdot \rho \cdot \frac{dV}{dt} \cdot (T_N - T_S) \approx 1,2 \cdot 10^{15} \text{ W}$$

Courtesy T. Stocker

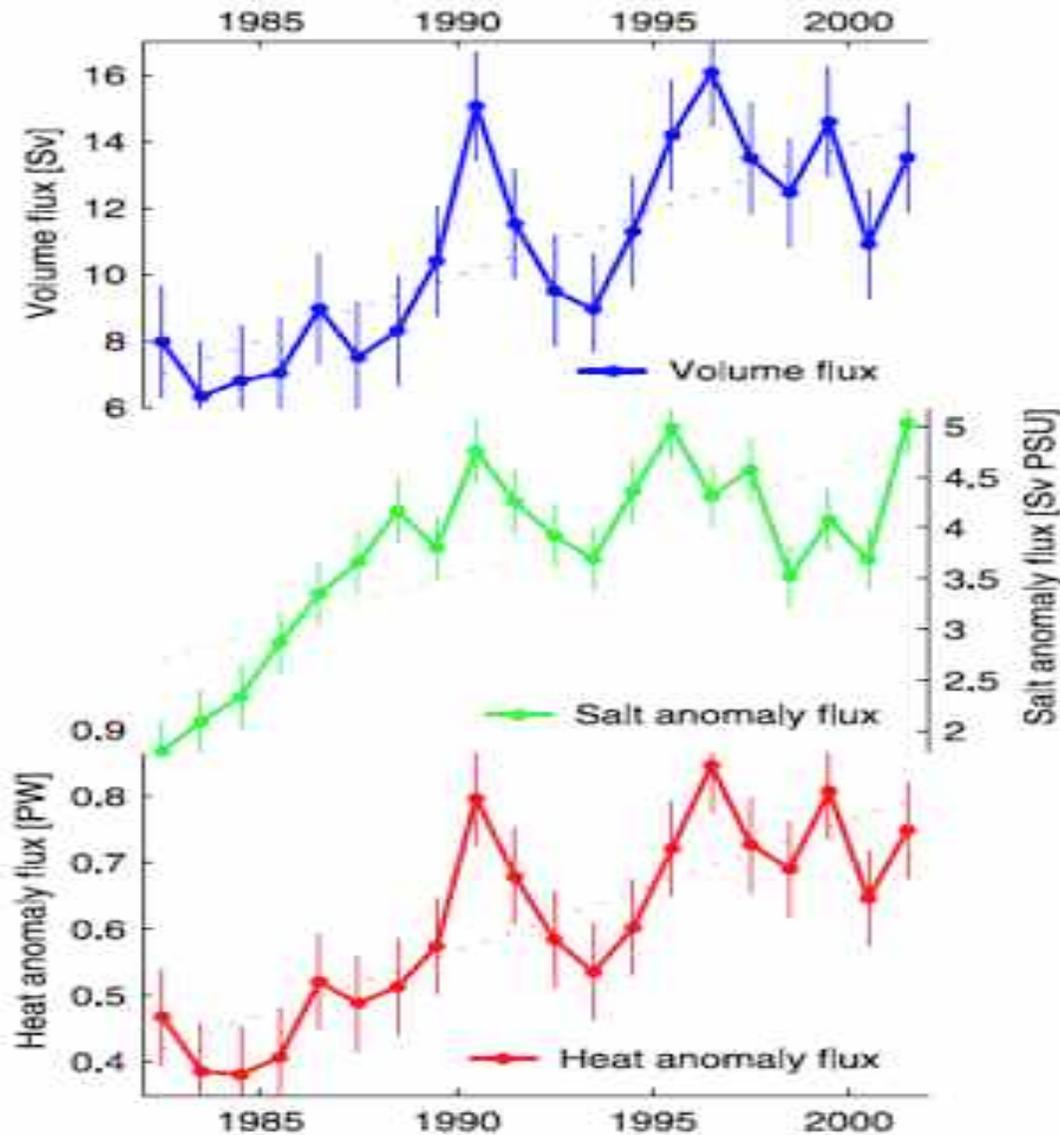
Signatures en salinité des masses d'eaux profondes de l'océan Atlantique



Variations systématiques de la salinité entre les années 60 et 90

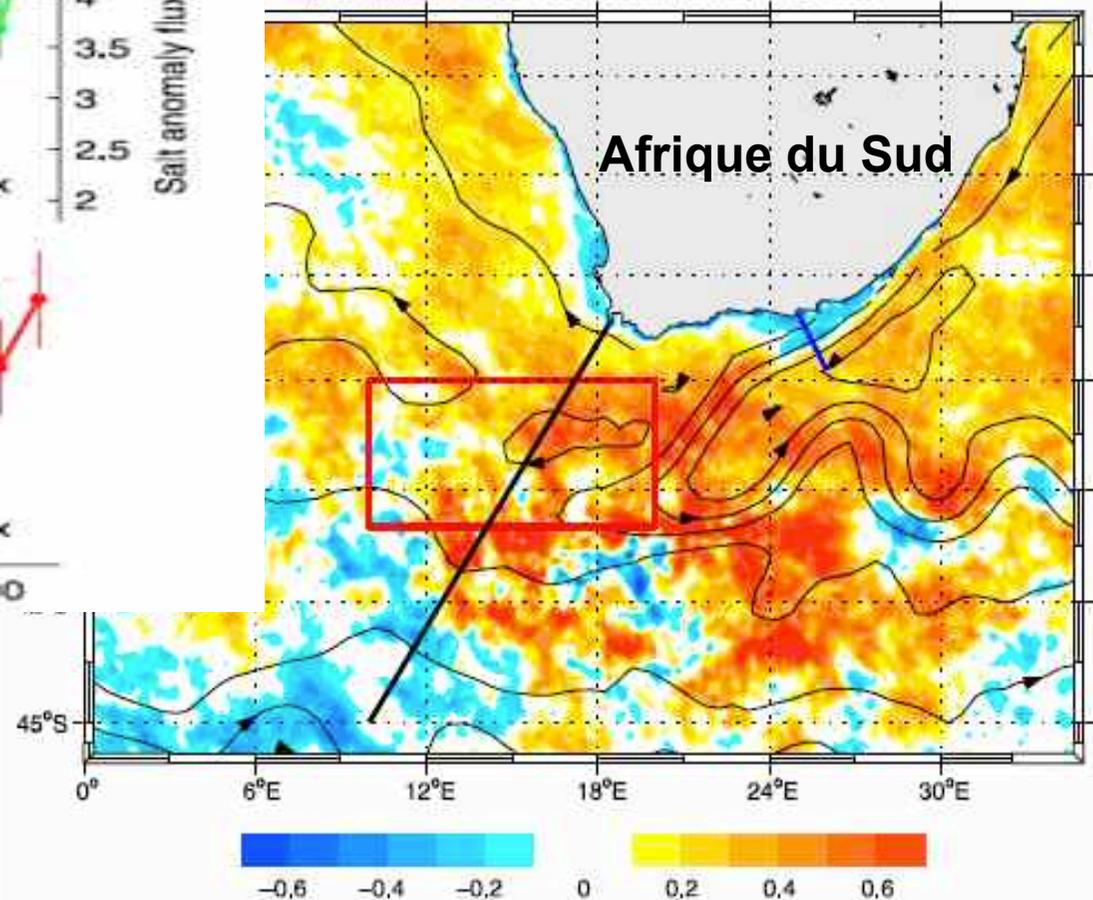


) Agulhas Current ($T > 5^{\circ}\text{C}; S > 34.8$) Indo-Atlantic leakage at 18E



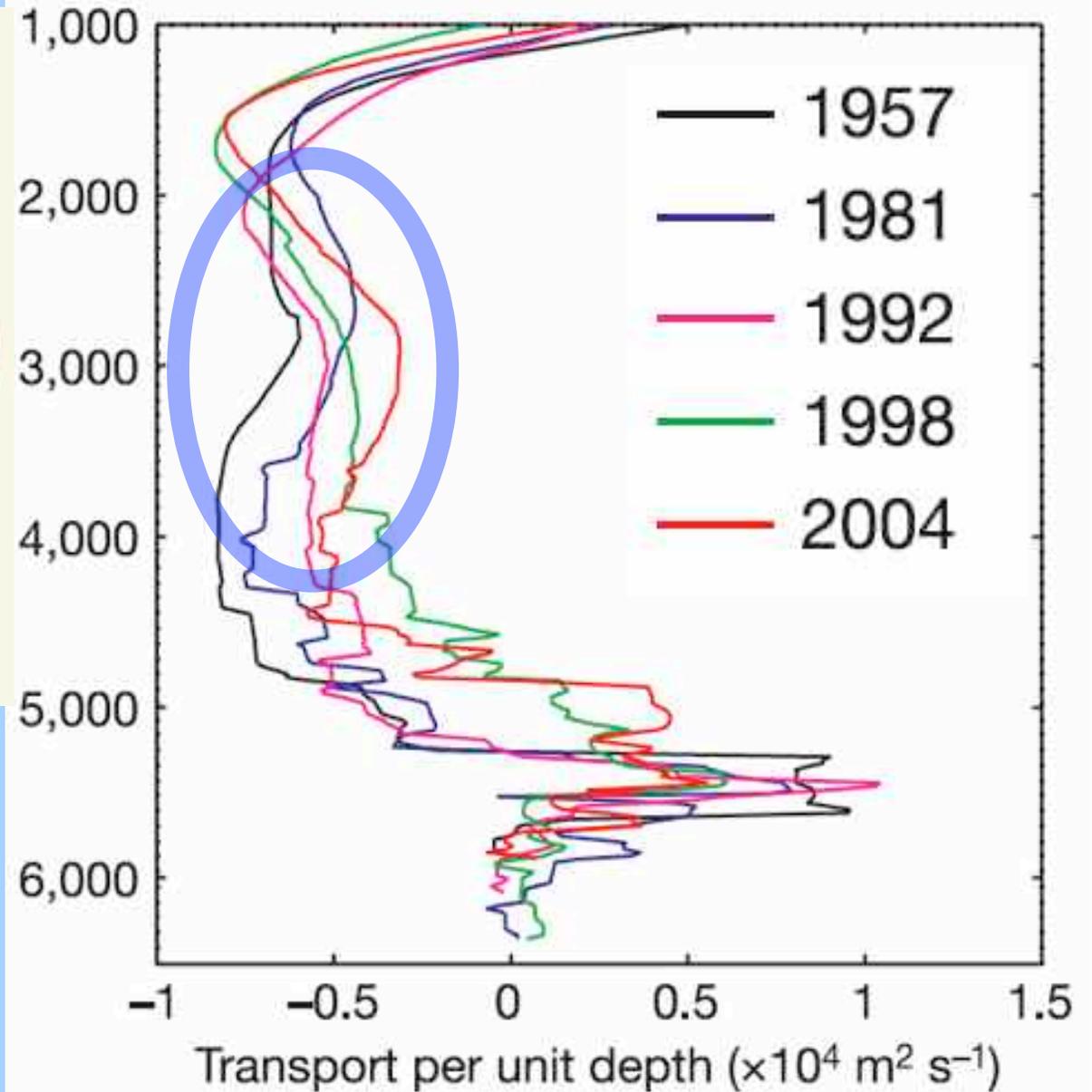
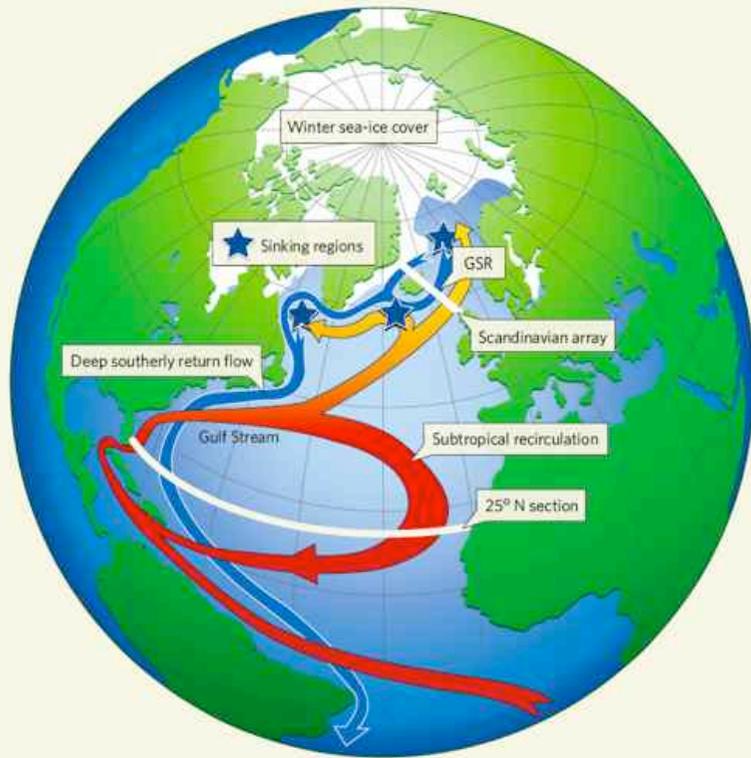
Variations récentes (sur 20 ans) des flux d'eau, de sel et de chaleur au niveau du Courant des Aiguilles et de sa « fuite » vers l'Atlantique

a) AVHRR SST 1985–2006 decadal trend ($^{\circ}\text{C}/10\text{years}$)



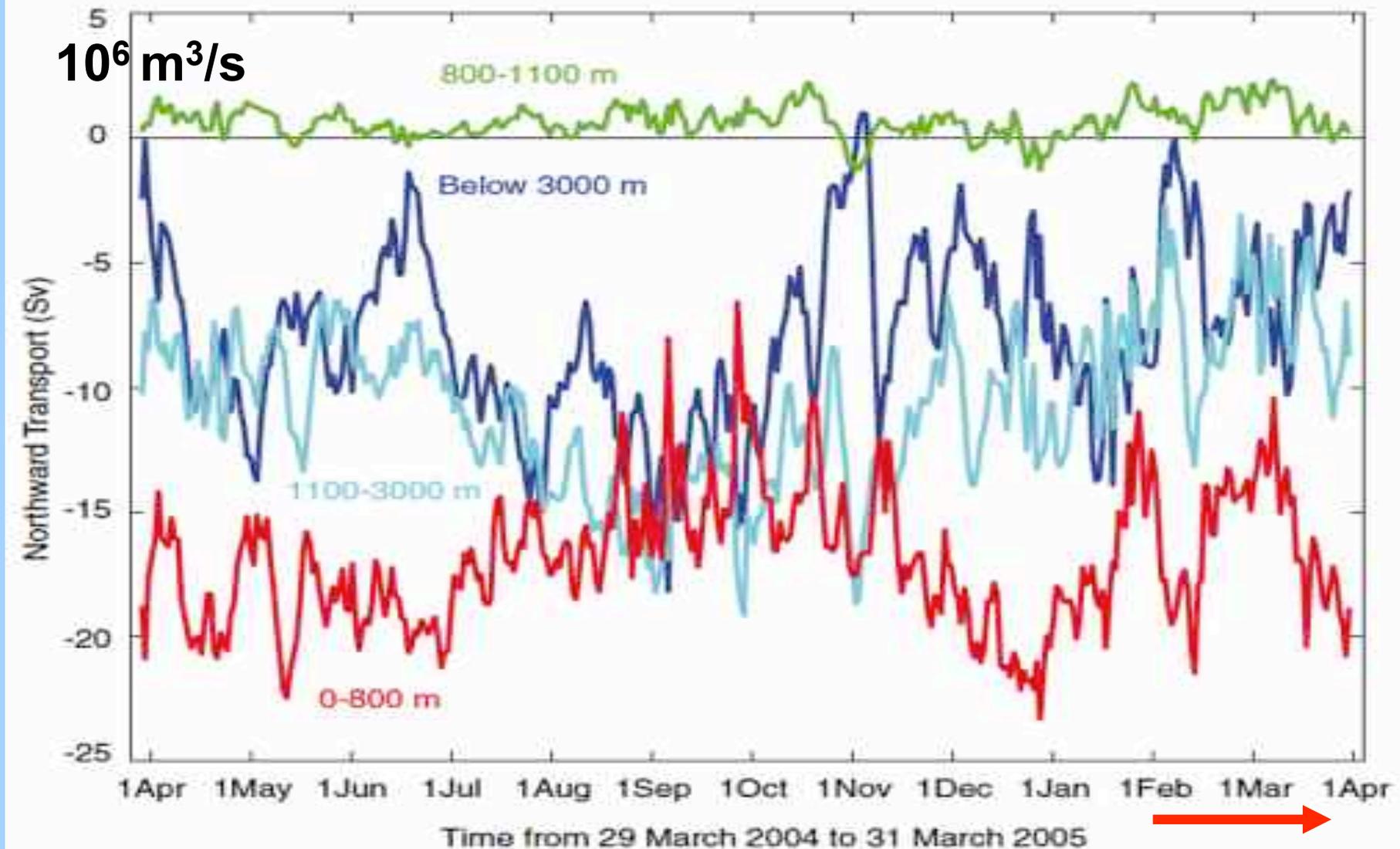
Rouault et al. 2009 *GRL*

Diminution systématique du flux d'Eau Profonde Nord Atlantique (NADW) au cours des dernières décennies ?



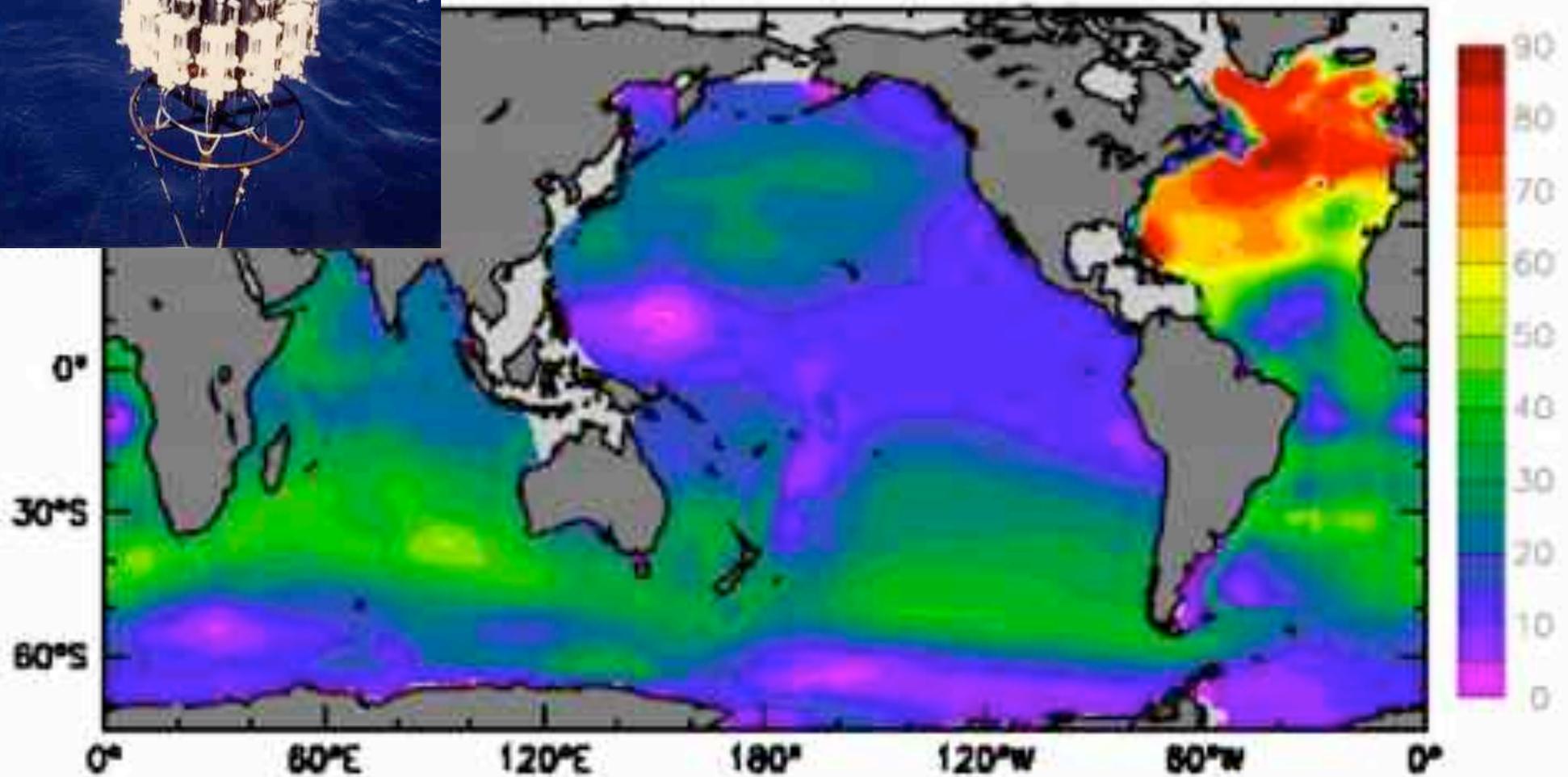
Bryden et al. 2005 *Nature*

En fait la variabilité temporelle et spatiale est extrême
(projet RAPID de section instrumentée à 26,5°N)

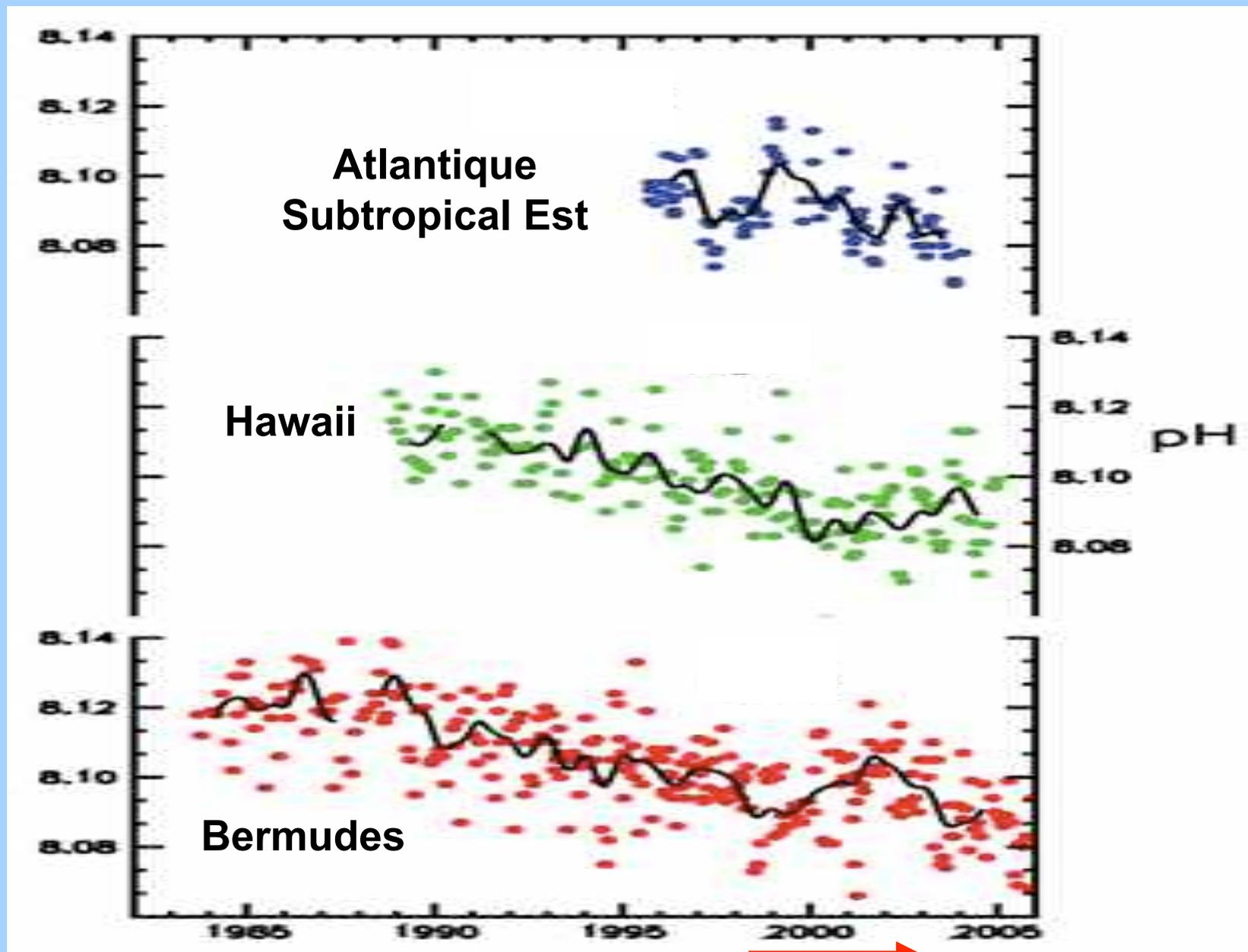




L'océan stocke environ un tiers du CO₂ anthropique inventaire en mol/m² en 1994



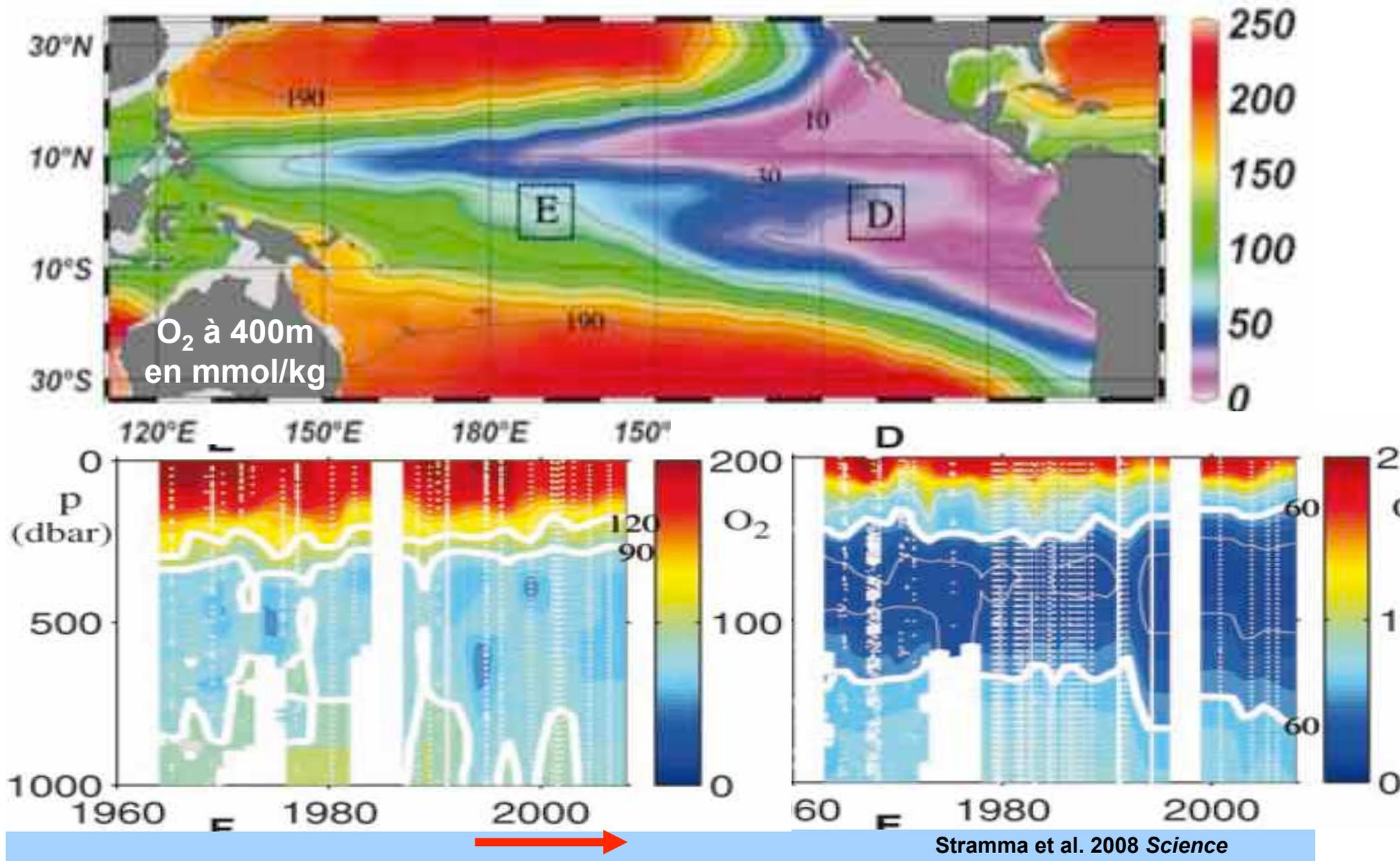
Les trois «longues» séries de pH du rapport du GIEC de 2007



Années A.D.

IPCC AR4 2007

Diminution de l'oxygène des eaux intermédiaires au cours des 50 dernières années (ex. du Pacifique équatorial)



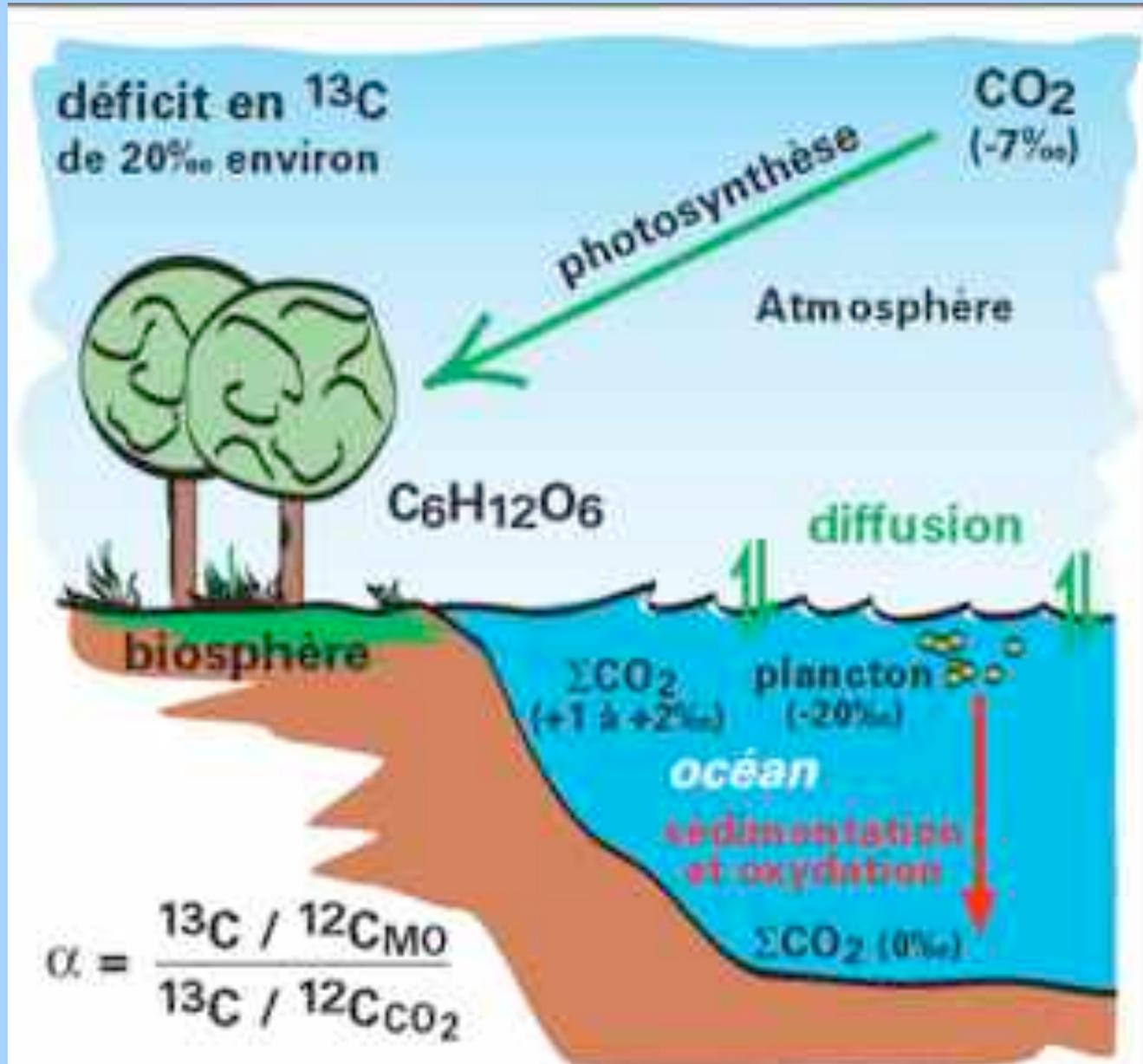
Des carottes de sédiments marins pour remonter dans le temps et reconstituer des séries **(paléo-)océanographiques** longues (10^0 à 10^7 années)

Navire de recherche *Marion Dufresne*



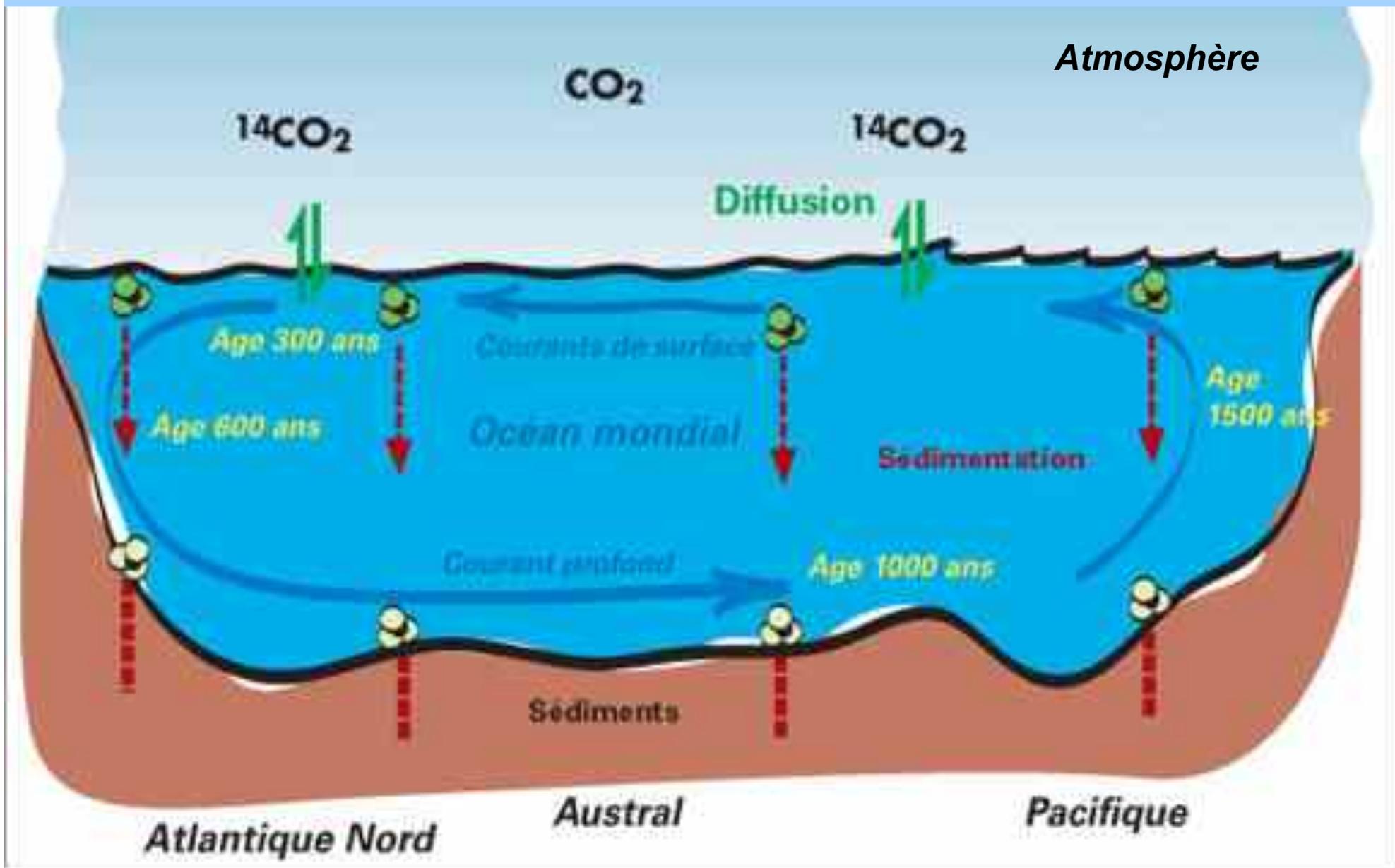
Carottier géant du *Marion Dufresne*

Exemple d'indicateur paléocéanographique: le gradient de fractionnement isotopique du carbone 13 par rapport au ^{12}C

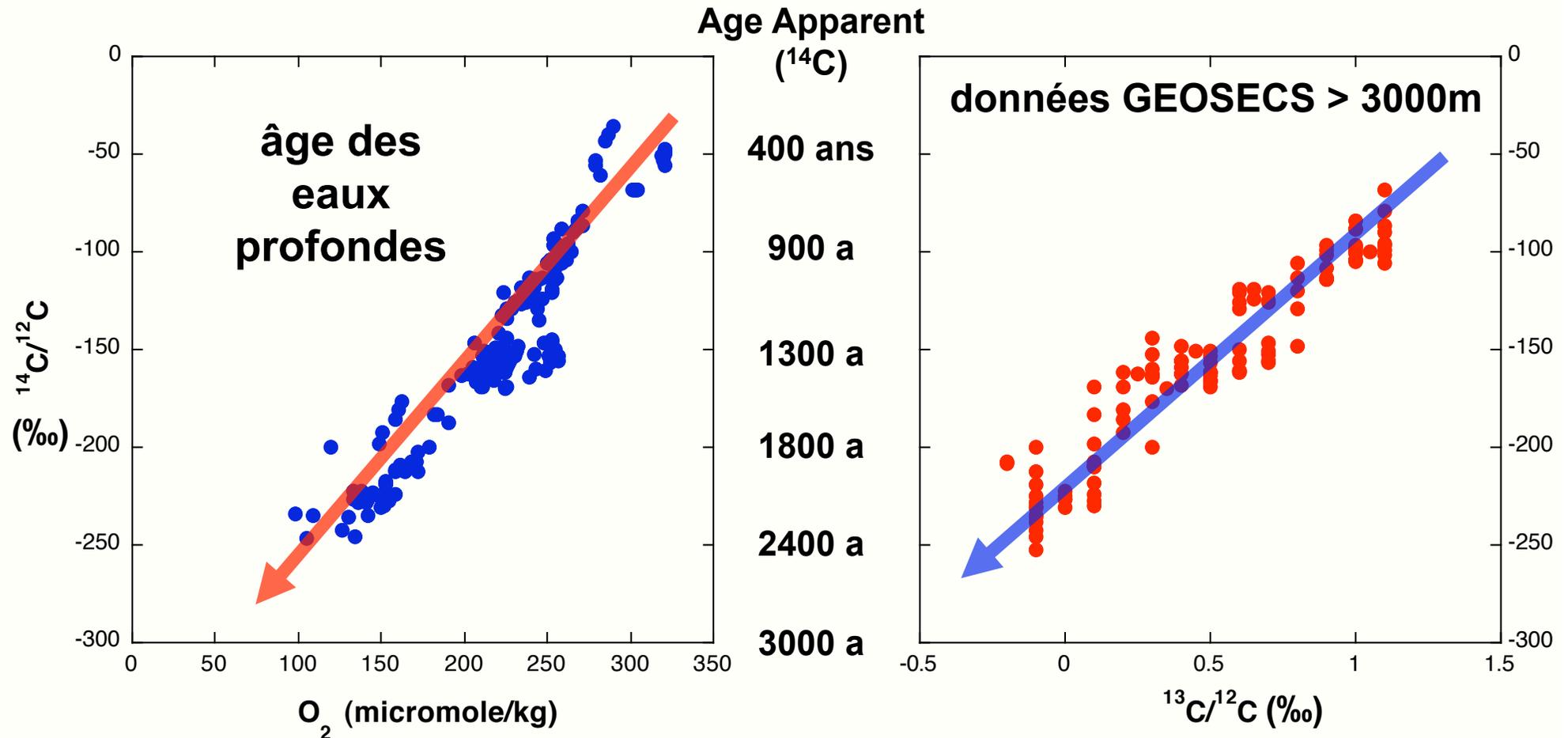


$$\delta^{13}\text{C} (\text{‰}) = 1000 \cdot \left[\left(\frac{^{13}\text{C}/^{12}\text{C}}{^{13}\text{C}/^{12}\text{C}} \right)_m / \left(\frac{^{13}\text{C}/^{12}\text{C}}{^{13}\text{C}/^{12}\text{C}} \right)_{\text{st}} - 1 \right]$$

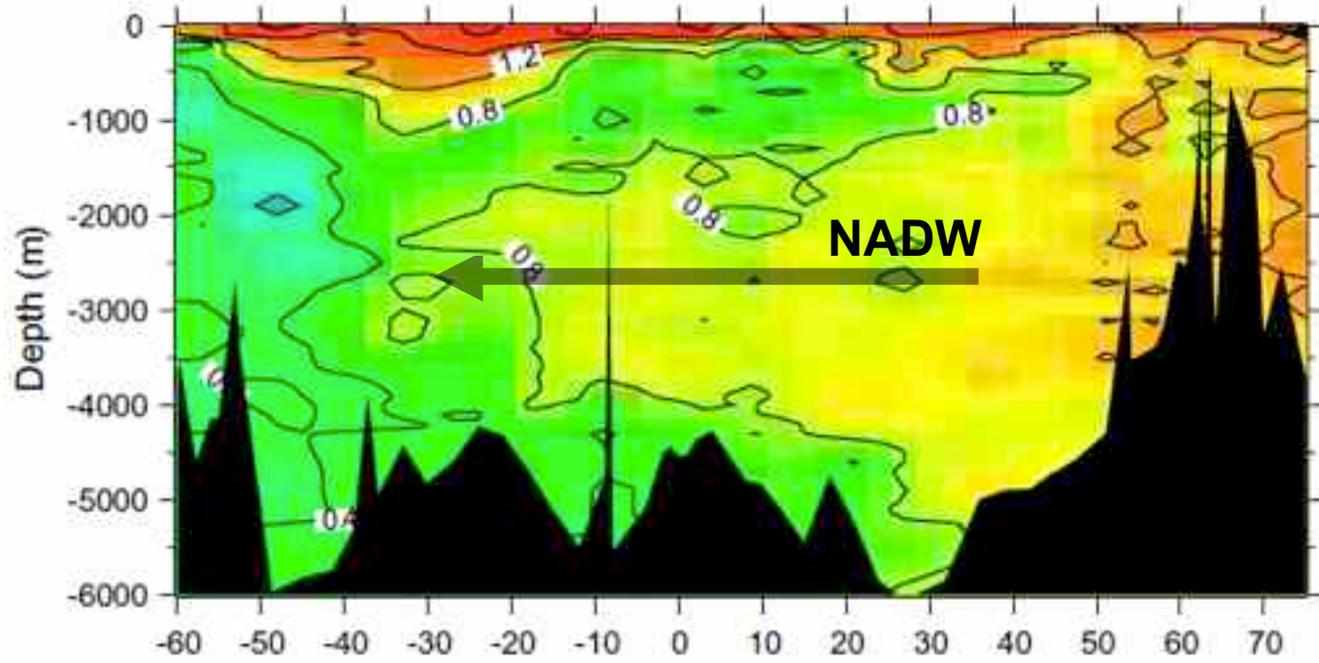
Exemple complémentaire des gradients de $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ liés à la décroissance radioactive du carbone 14 pendant l'advection des masses d'eau



Traceurs de ventilation profonde: ^{14}C et ^{13}C du ΣCO_2 vs. O_2



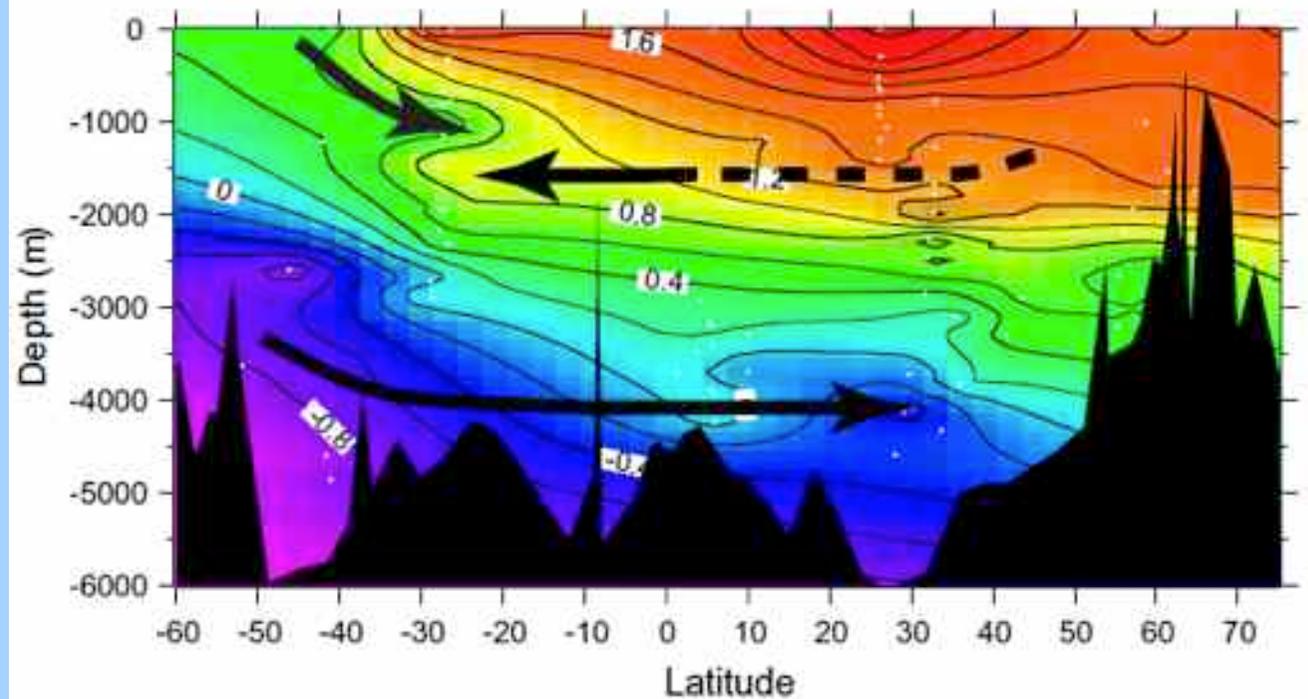
De nombreux autres indicateurs paléocéanographiques:
 Cd/Ca , Ba/Ca , $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, $^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$, $^{231}\text{Pa}/^{230}\text{Th}$,
 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, U_{auth} , Mo_{auth} , biomarqueurs...



Sections N-S de l'Atlantique:
Périodes moderne et glaciaire (21000 ans B.P.)

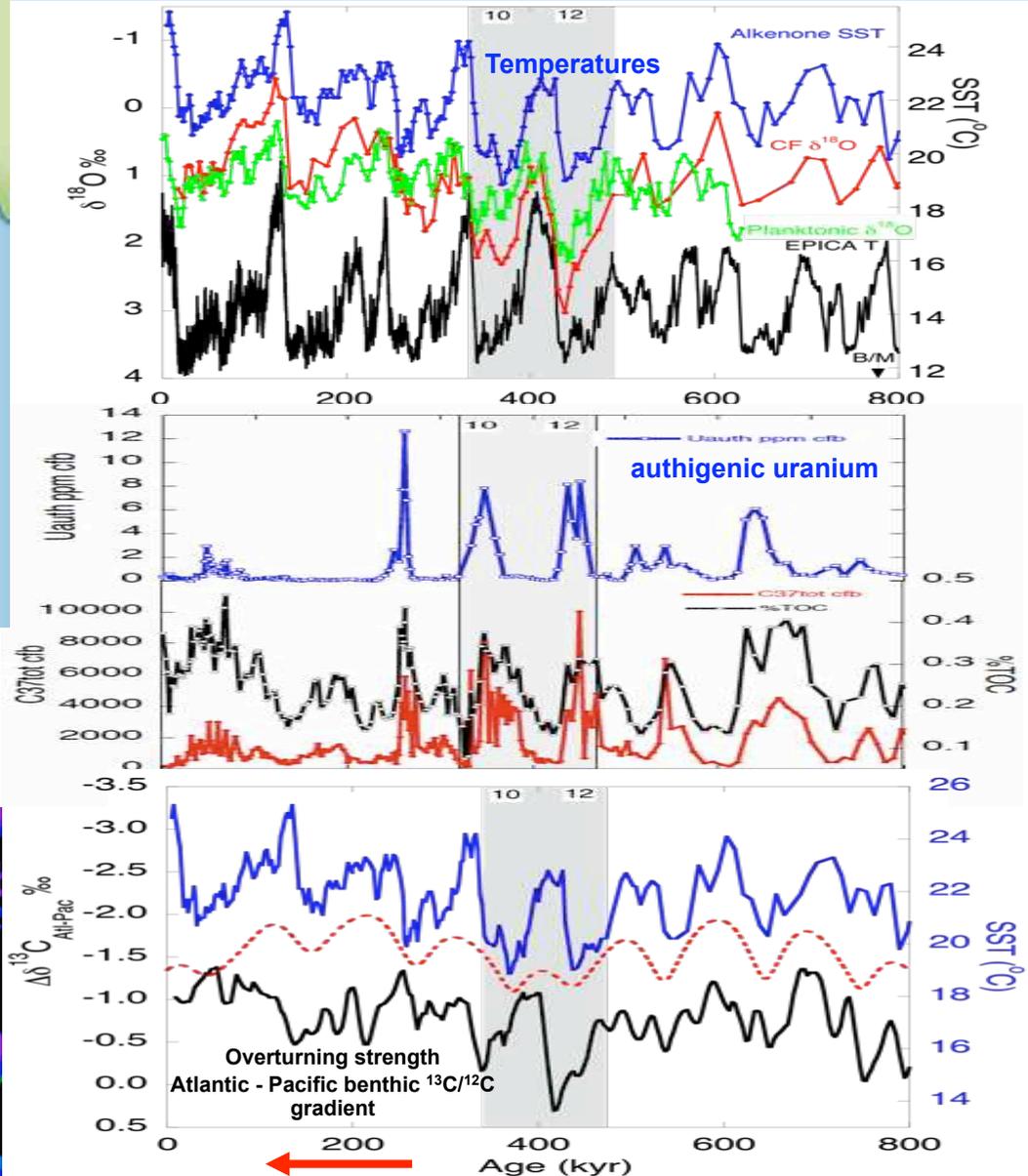
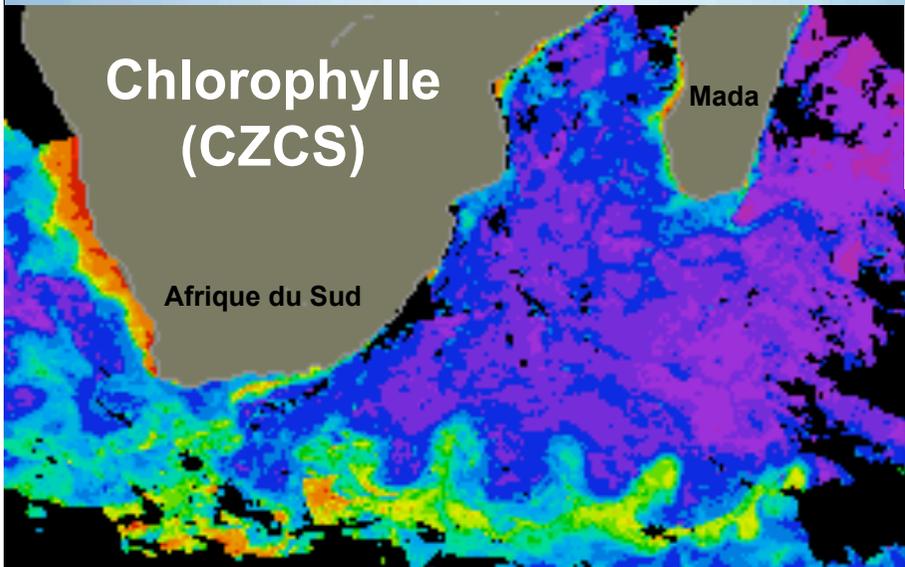
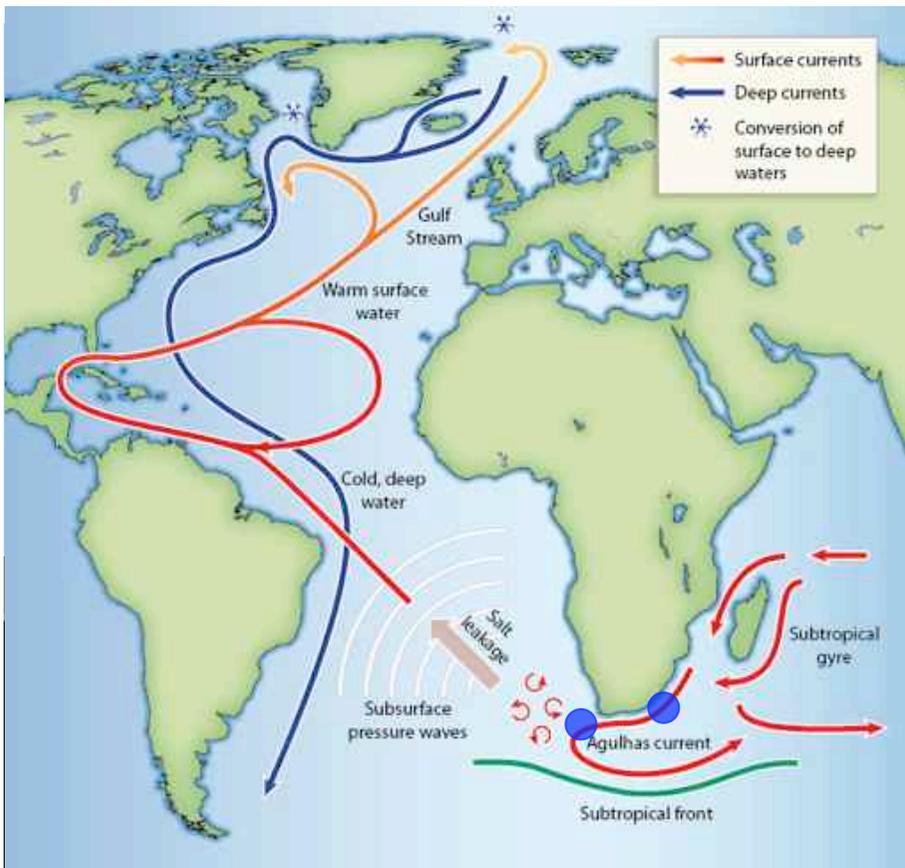
Kroopnick 1985 *DSR*

Western Atlantic Glacial $\delta^{13}C$ (PDB)

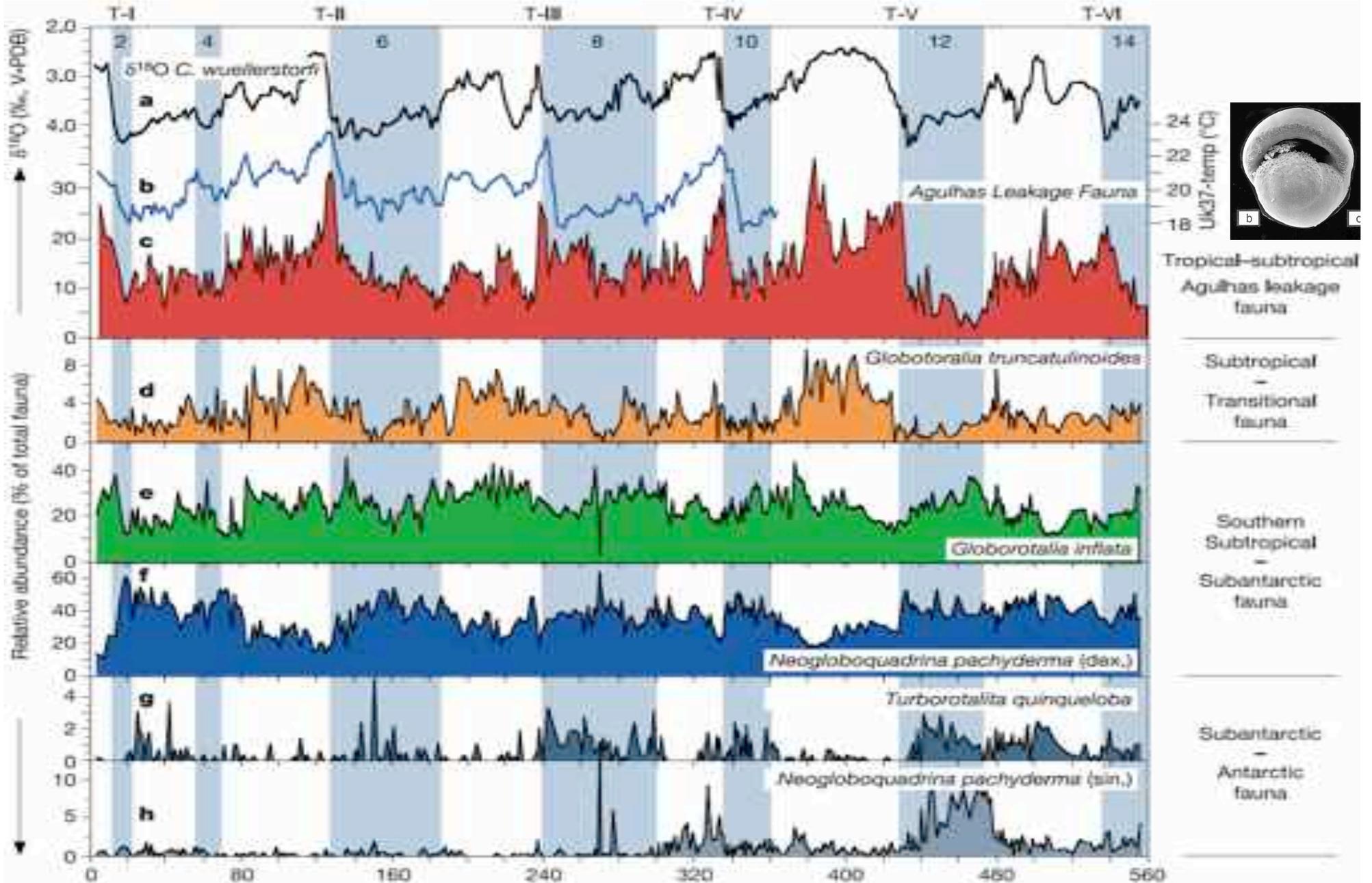


Curry & Oppo 2005 *Paleoceanography*

Variations du Courant des Aiguilles, et des échanges Indien-Atlantique

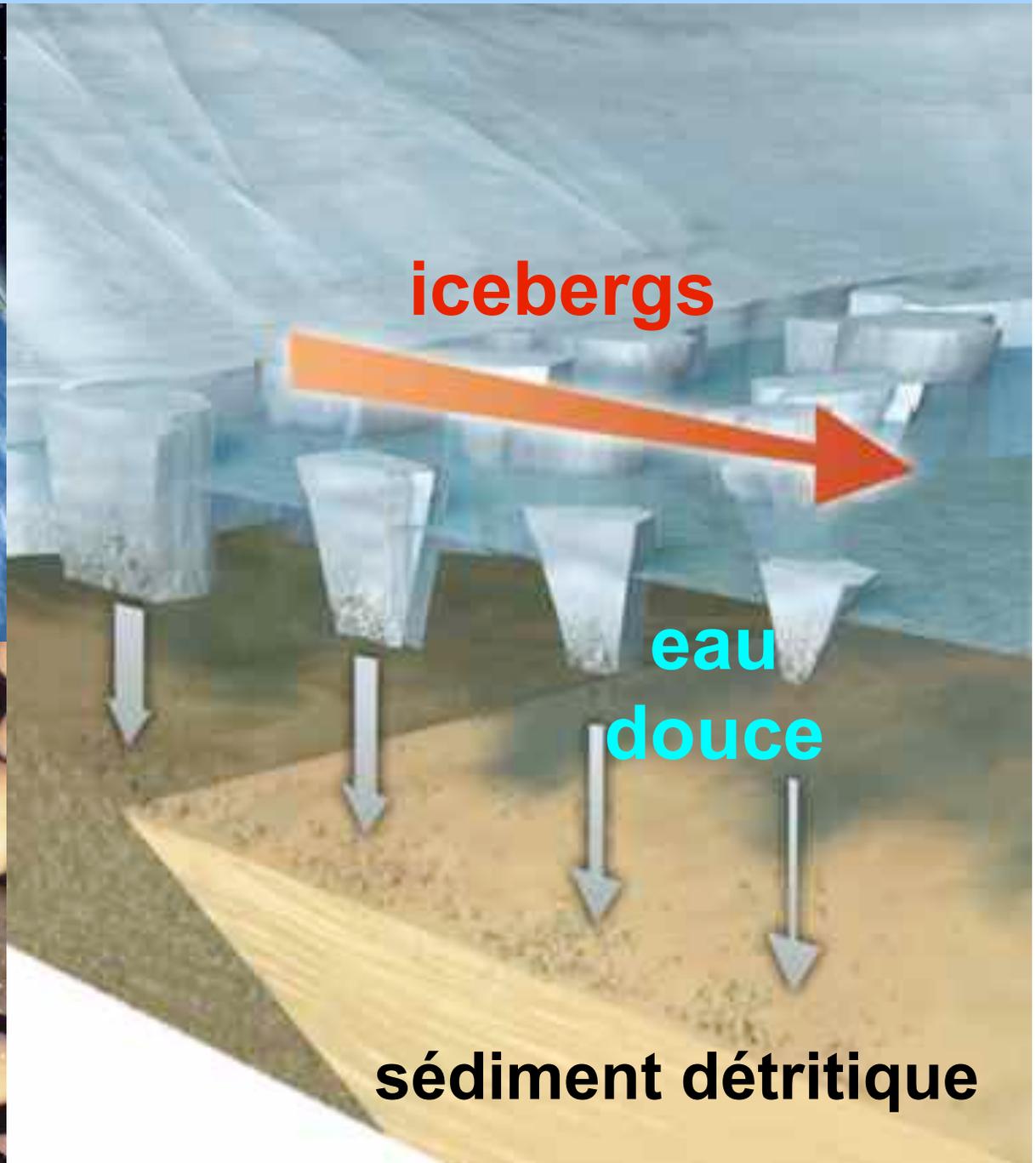


Modulation glaciaire de la « fuite » du Courant des Aiguilles

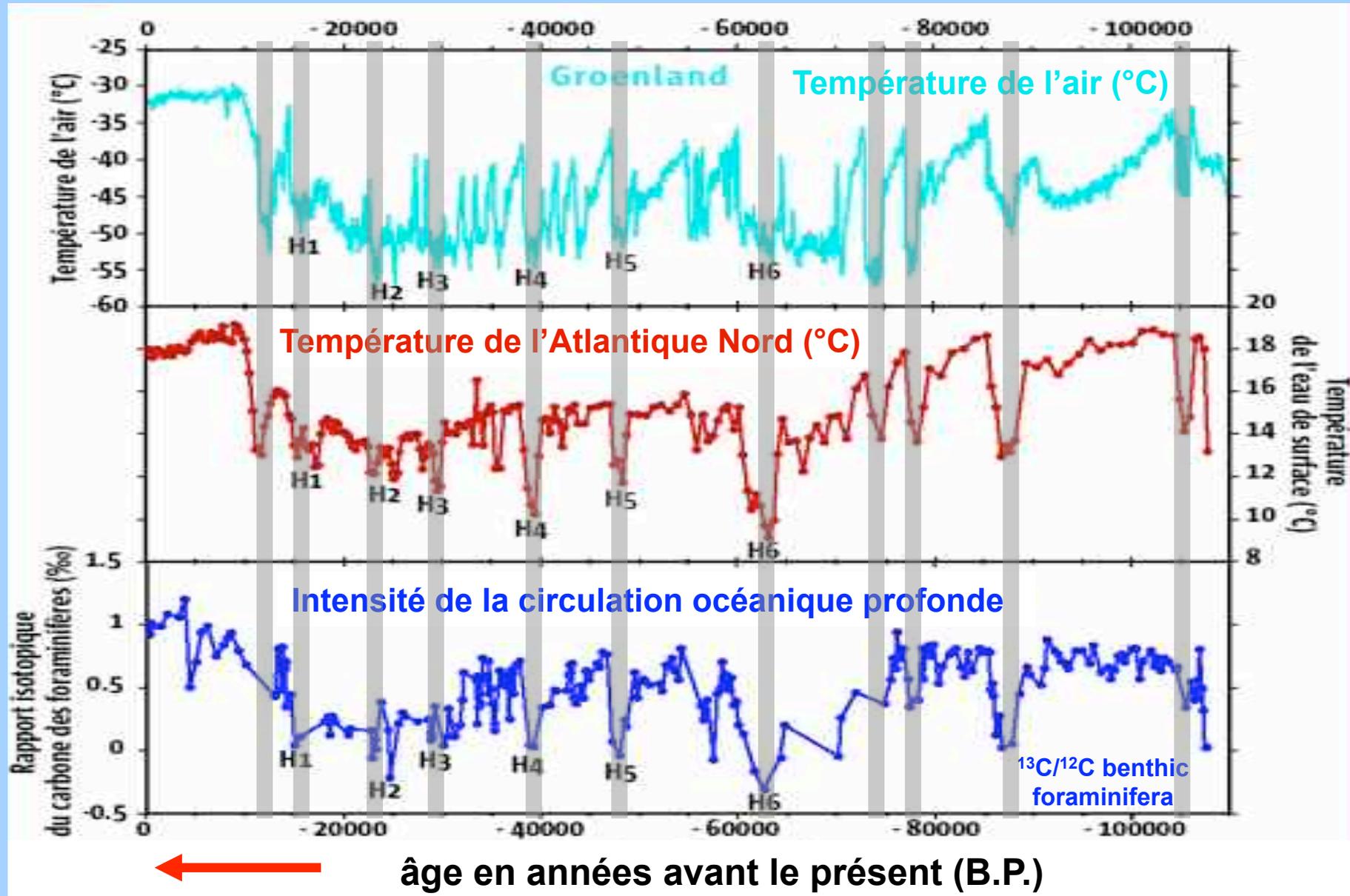


Age en milliers d'années avant le présent

Des perturbations rapides et intenses du flux d'eau douce

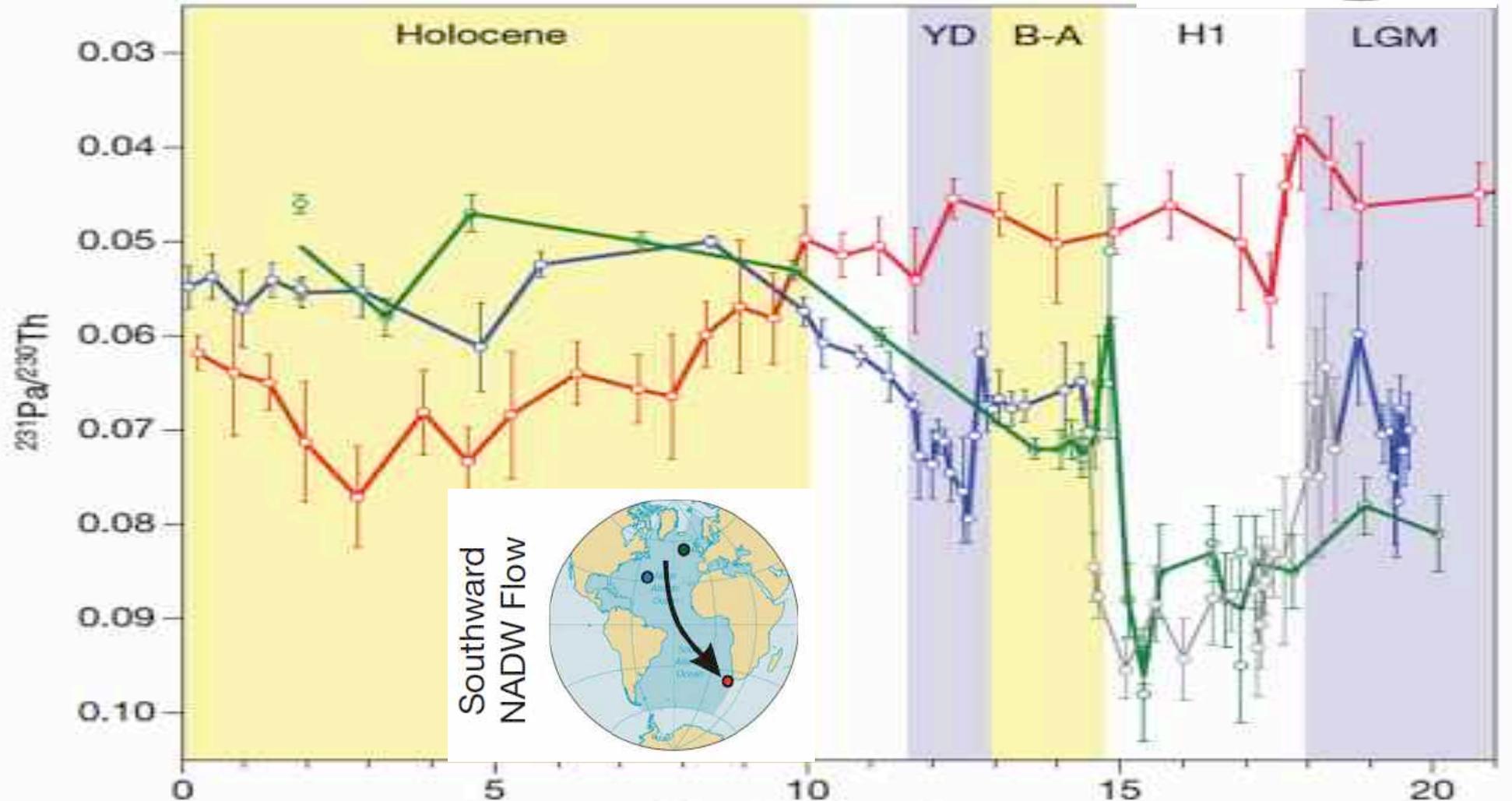


Le climat est sensible aux instabilités du flux d'eau douce vers l'océan (ex. des événements de Heinrich)



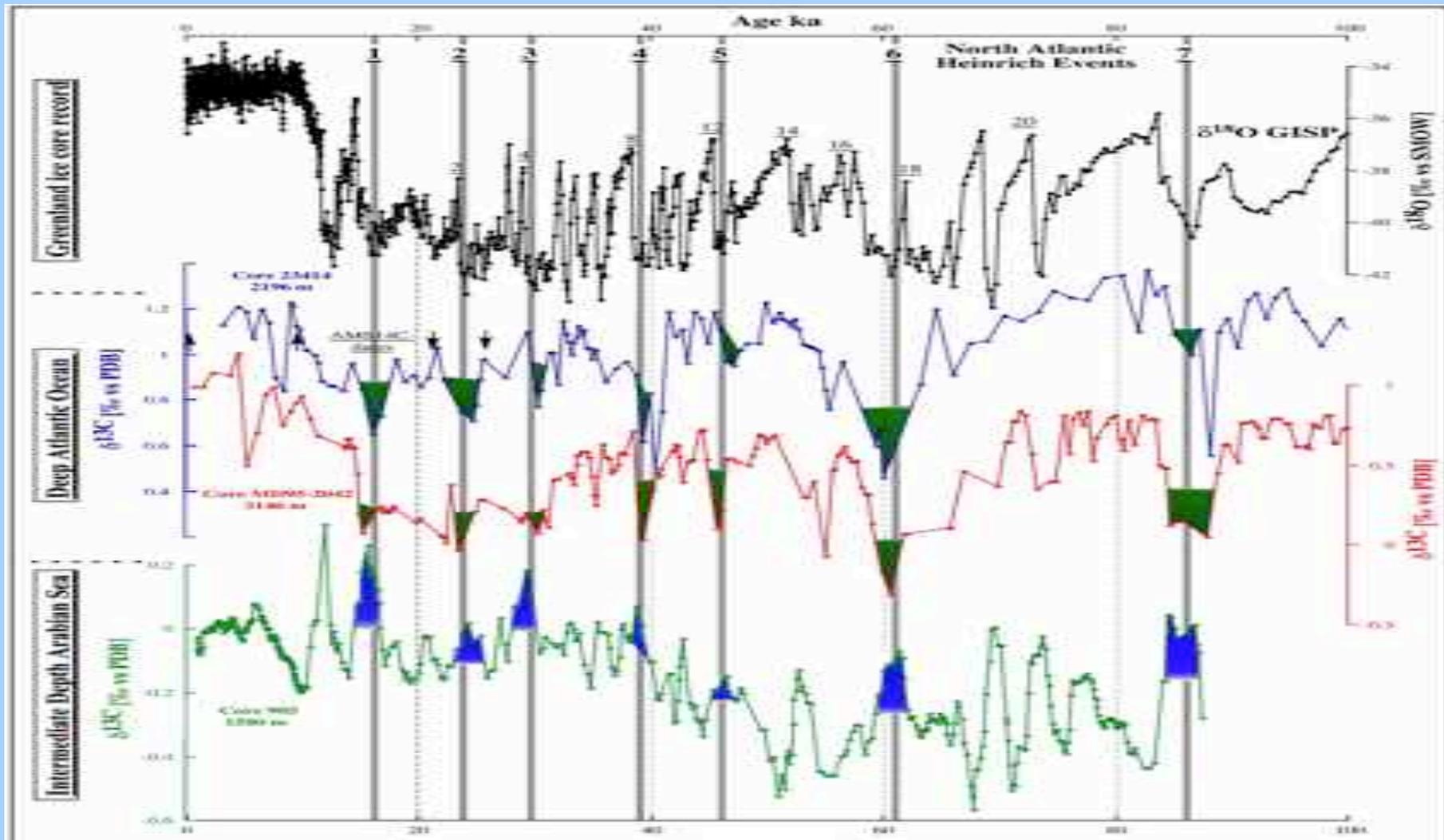
Des travaux récents suggèrent même une circulation atlantique inversée pendant les instabilités glaciaires

Northward
SCW Flow



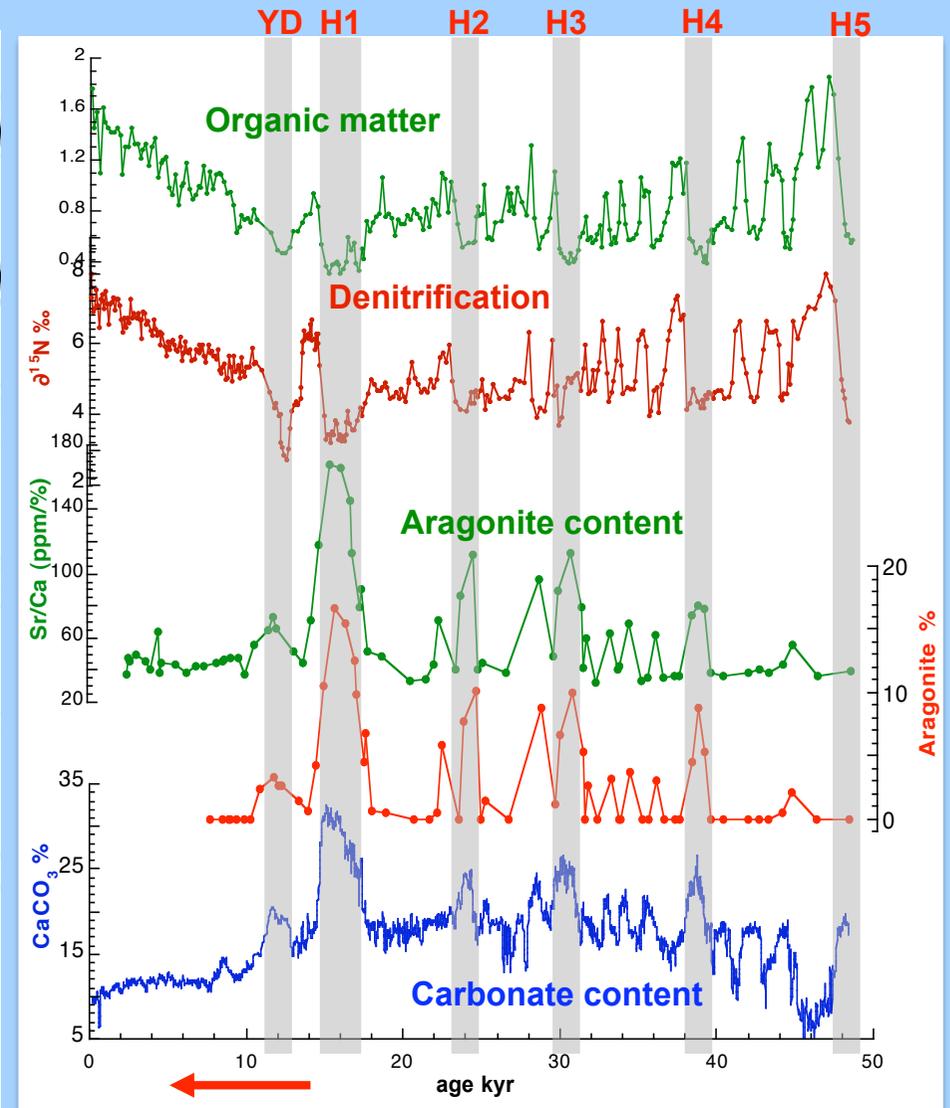
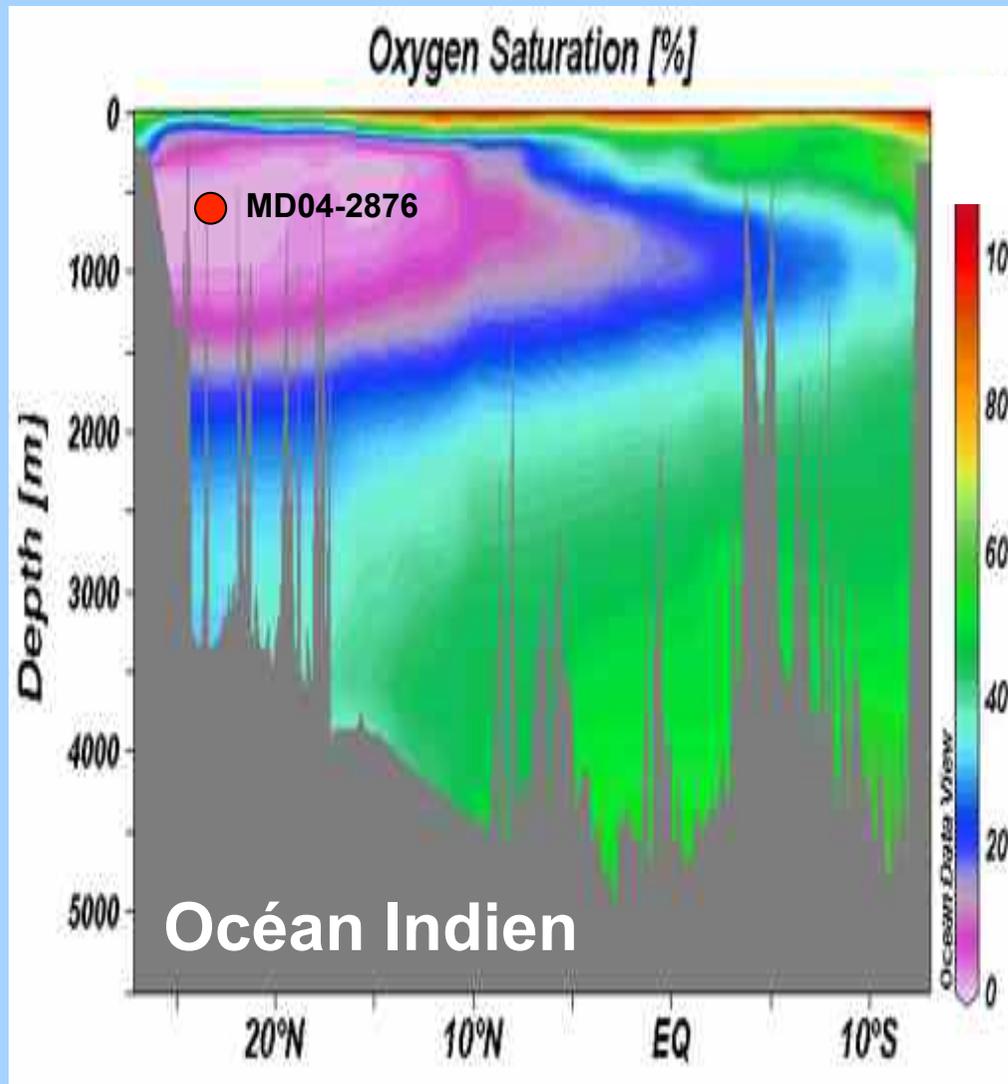
← âge en milliers d'années avant le présent (B.P.)

Les instabilités glaciaires affectent la circulation des eaux intermédiaires en augmentant leur ventilation: exemple des AAIW de l'Océan Indien



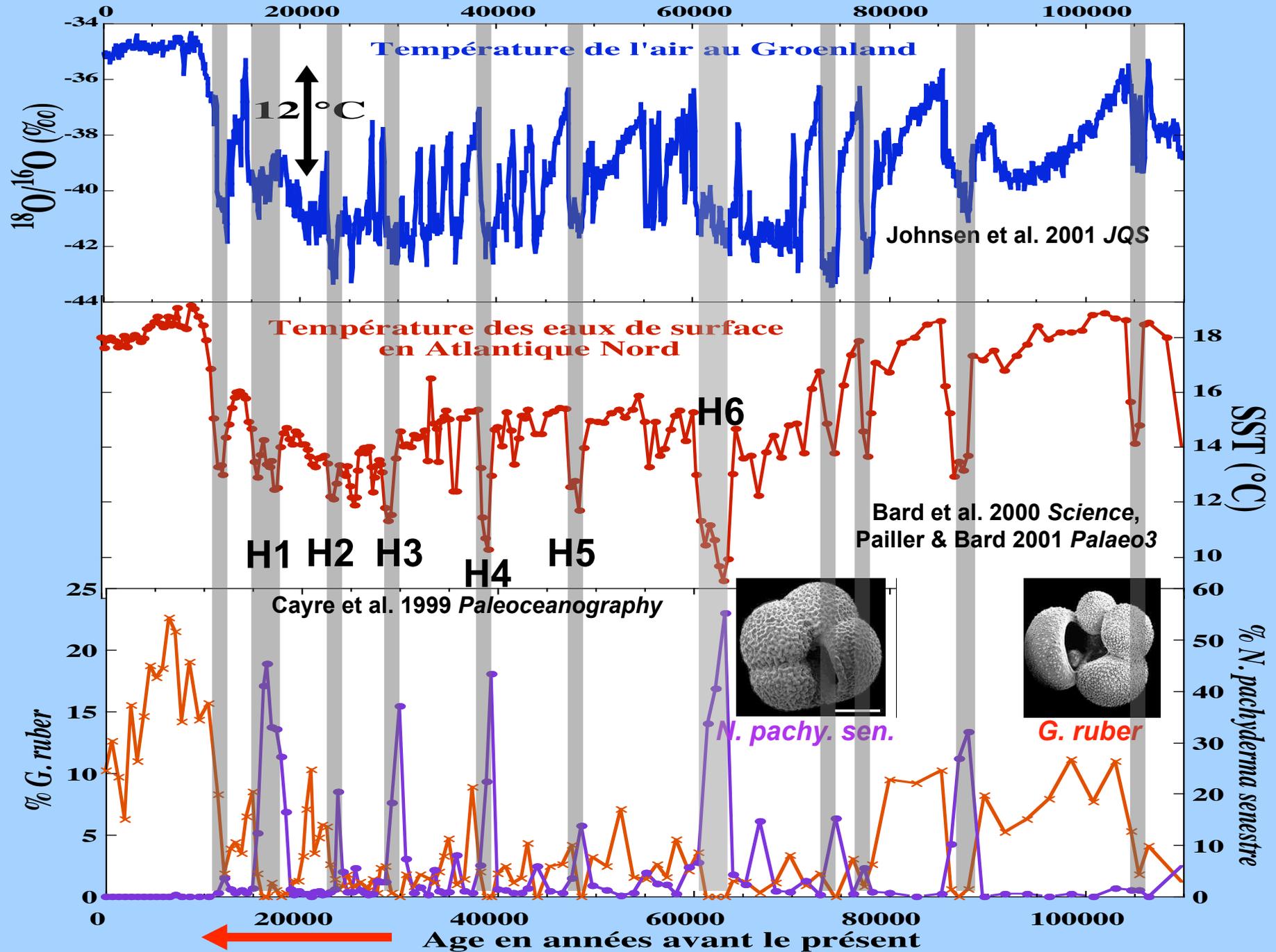
← âge en milliers d'années avant le présent (B.P.)

Un effet direct sur la **teneur en O₂** et le **pH** des zones de minimum en oxygène (OMZ). Exemple de la Mer d'Arabie

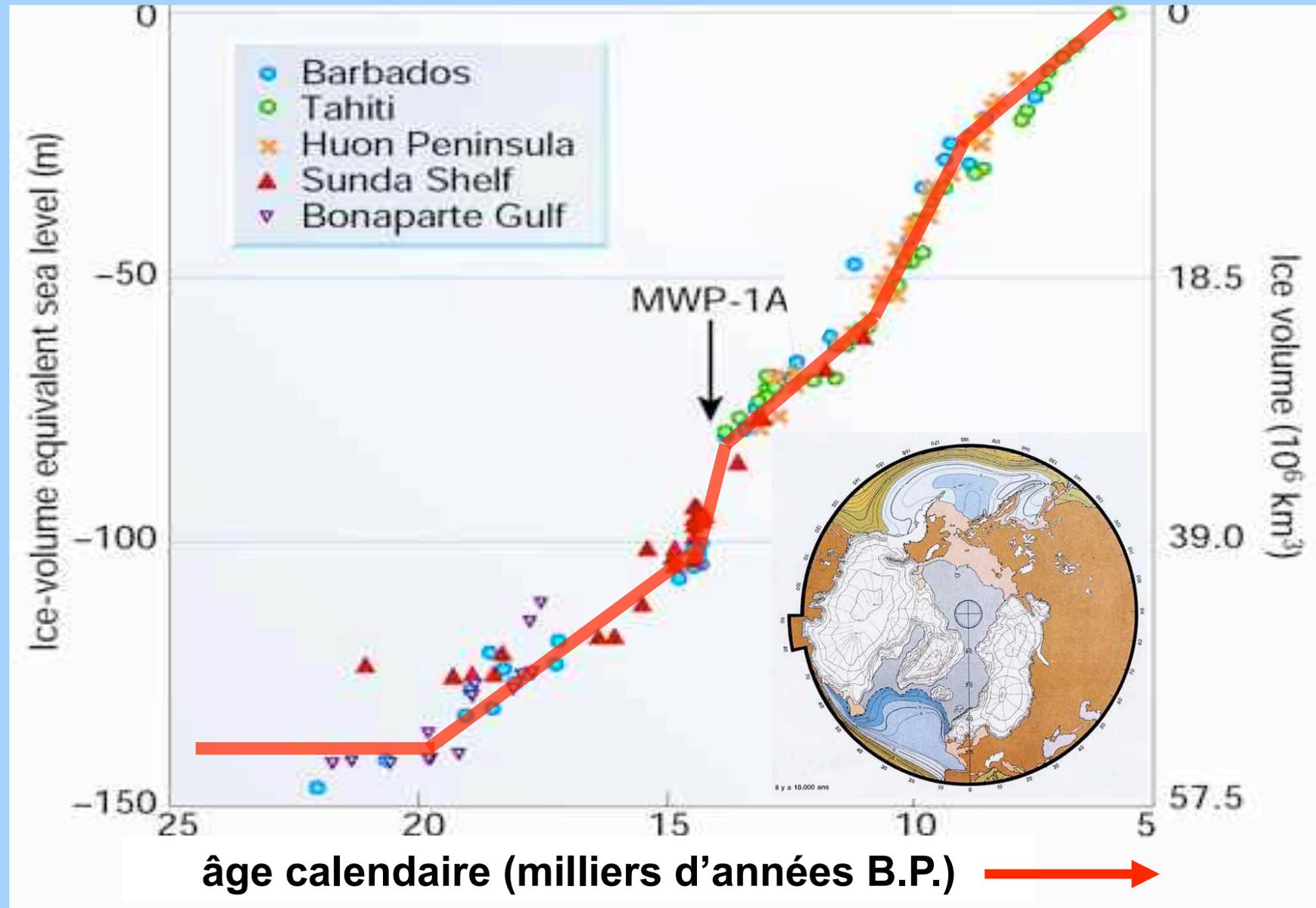


Pichevin et al. 2007 *GBC*, Böning & Bard 2010 *GCA*

Des effets drastiques sur la diversité du plancton

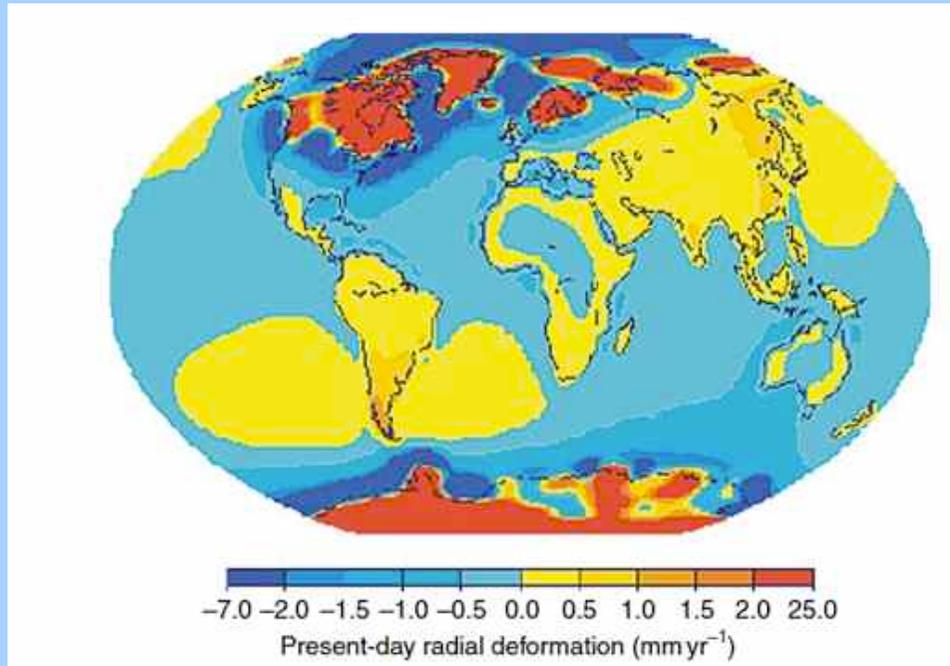


Le climat glaciaire permet d'étudier des variations du niveau marin de grande ampleur et parfois très rapides

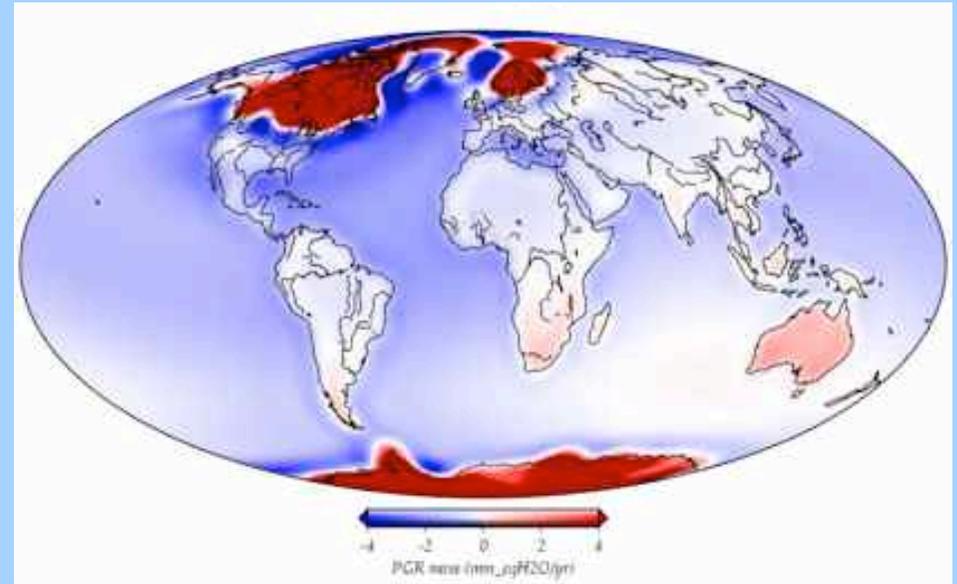


Compilation et modélisation par Lambeck et al. 2002 *Nature* à partir des données originales de Bard et al. 1990 *Nature*, 1996 *Nature*, 2010 *Science*, Edwards et al. 1993 *Science*, Hanebuth et al. 2000 *Science*, Yokoyama et al. 2000 *Nature*

Simulations du rebond isostatique postglaciaire par les modèles géophysiques dont les paramètres sont ajustés sur les données géologiques



Milne & Shennan 2007 *Encycl. Quat. Sci.*



Paulson et al. 2007 *Geophys. J. Int.*

Les zones rouges remontent à cause de la disparition de la glace,

Les zones bleues sombres descendent rapidement à cause de la disparition du bourrelet périglaciaire et de l'augmentation de la colonne d'eau.

Quelques conclusions préliminaires au sujet de l'océan et du climat

- Rôle fondamental de l'océan dans le stockage et le transport de chaleur et de matière (eau et CO₂ dissous),
- Nombreux exemples de variations récentes de l'océan (dynamique, niveau marin, température, salinité, oxygène, carbone...)
- Séries temporelles toujours trop courtes, d'où la difficulté à en extraire les éventuelles tendances systématiques à long terme,
- Complémentarité des données paléoclimatiques (aka paléocéanographiques), rapport signal/bruit équivalent,
- Mécanismes physico-chimique et biologiques similaires, mais sans constituer des analogues « simples » aux variations actuelles,
- Nécessité d'une modélisation numérique commune aux phénomènes naturels et d'origine anthropique.

Merci de votre attention

