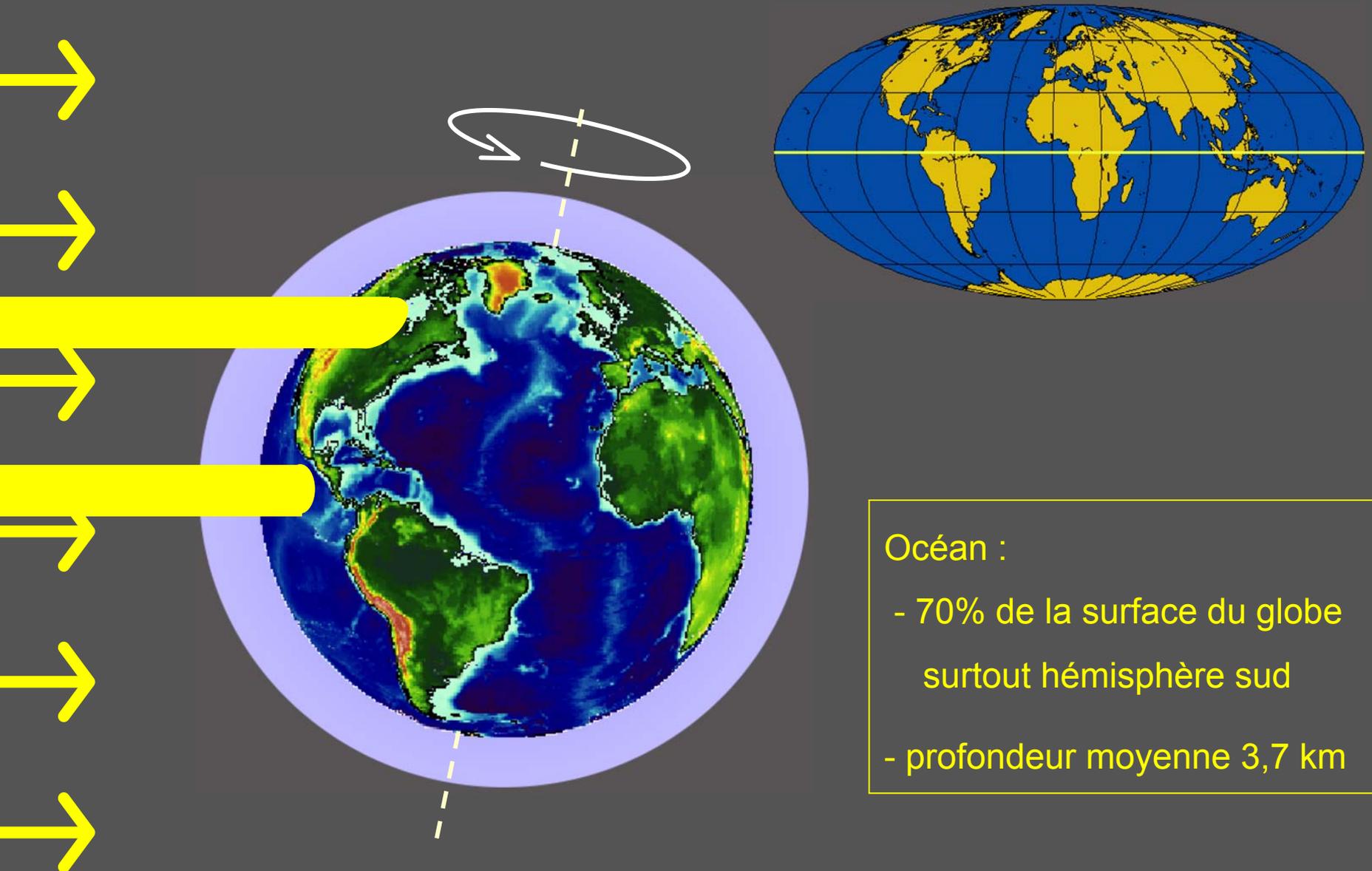




Océan et Réchauffement climatique

- l'océan dans la machine climatique
- influences du réchauffement sur l'océan
 - ce qui a été observé
 - les projections sur le futur
- impacts attendus

Machine climatique

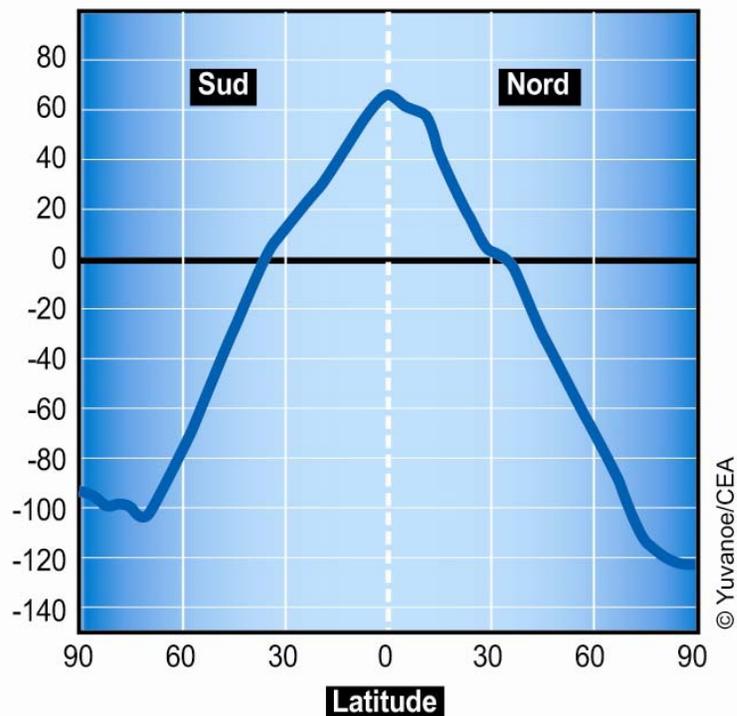


Océan :

- 70% de la surface du globe
surtout hémisphère sud
- profondeur moyenne 3,7 km

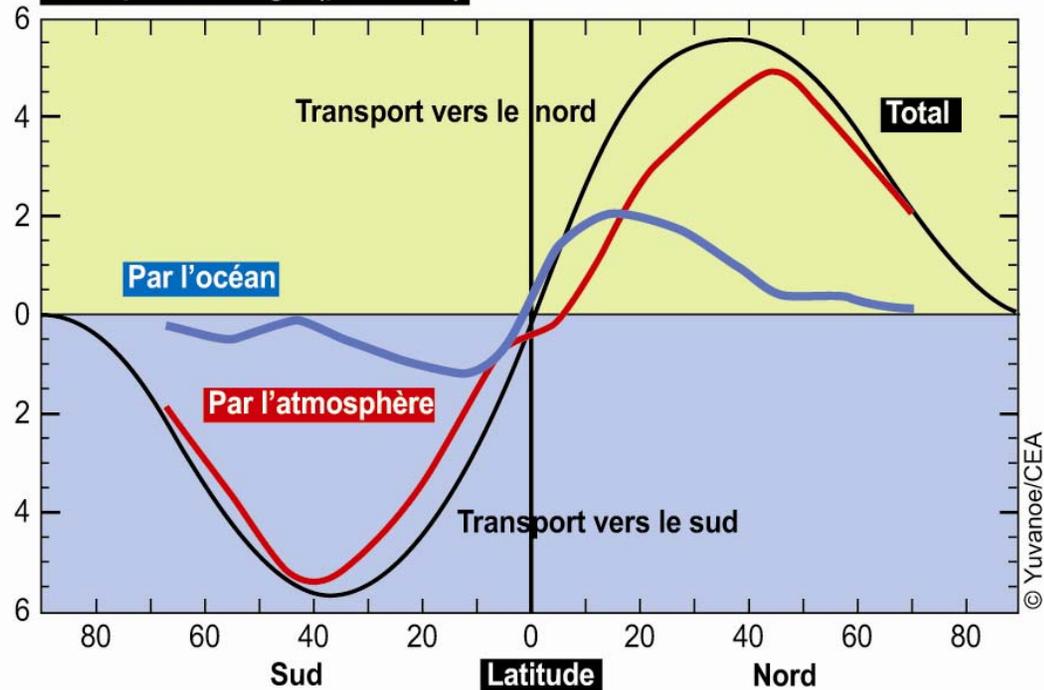
Répartition de l'énergie en latitude

Bilan radiatif (W/m^2)



énergie reçue - sortante
au sommet de l'atmosphère

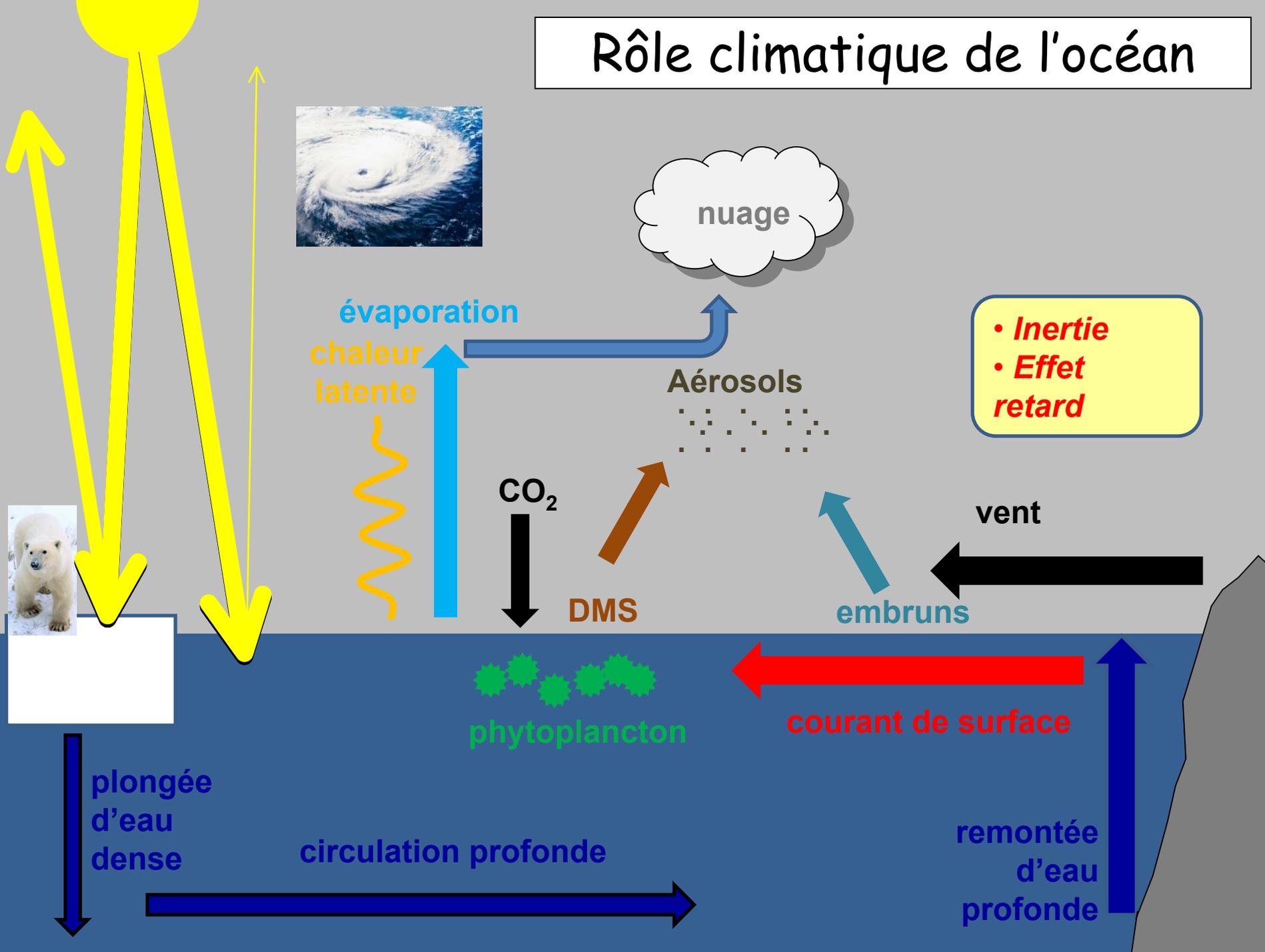
Transport d'énergie (pétawatts)



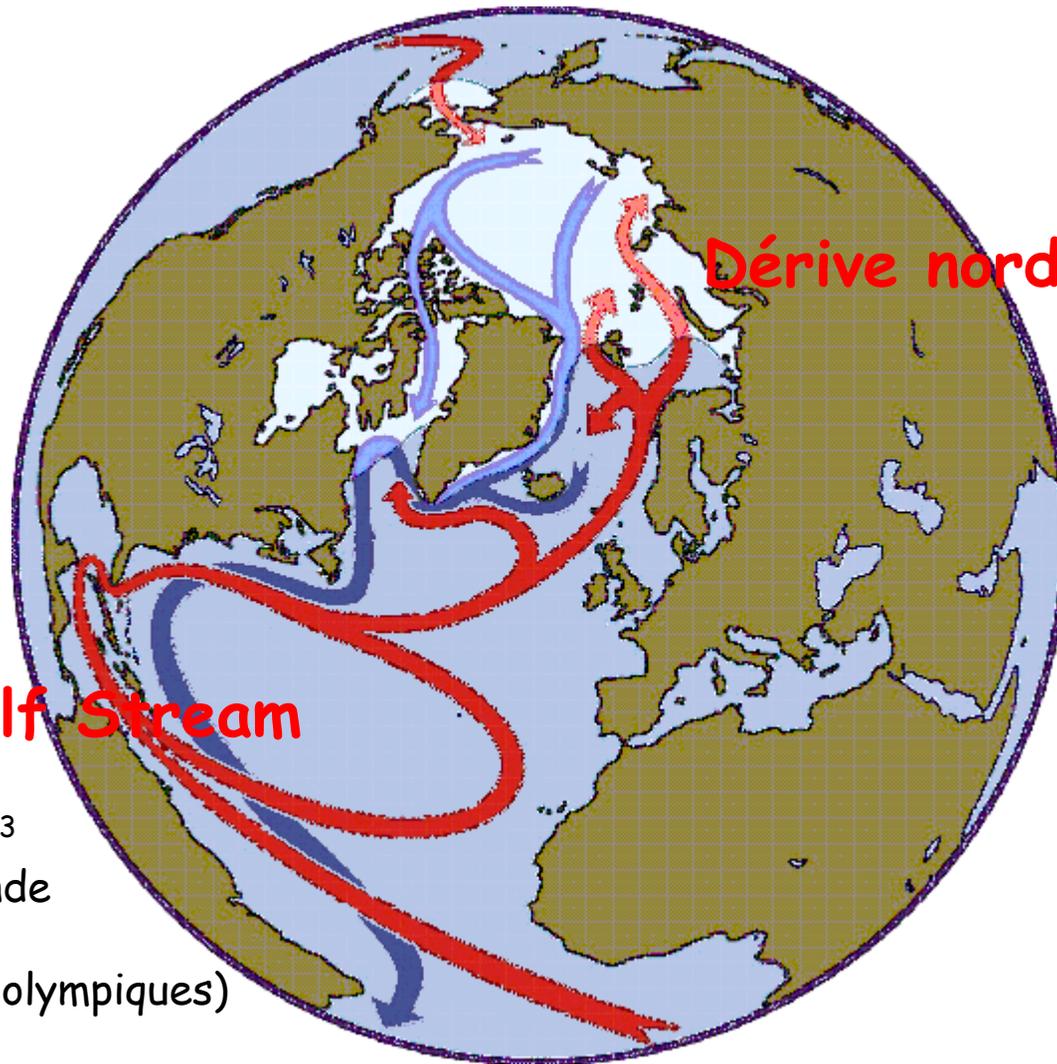
L'énergie est redistribuée à la surface du globe
par les océans et par l'atmosphère

Bilan = Energie reçue - Energie rayonnée

Rôle climatique de l'océan



Courants marins dans l'Atlantique nord

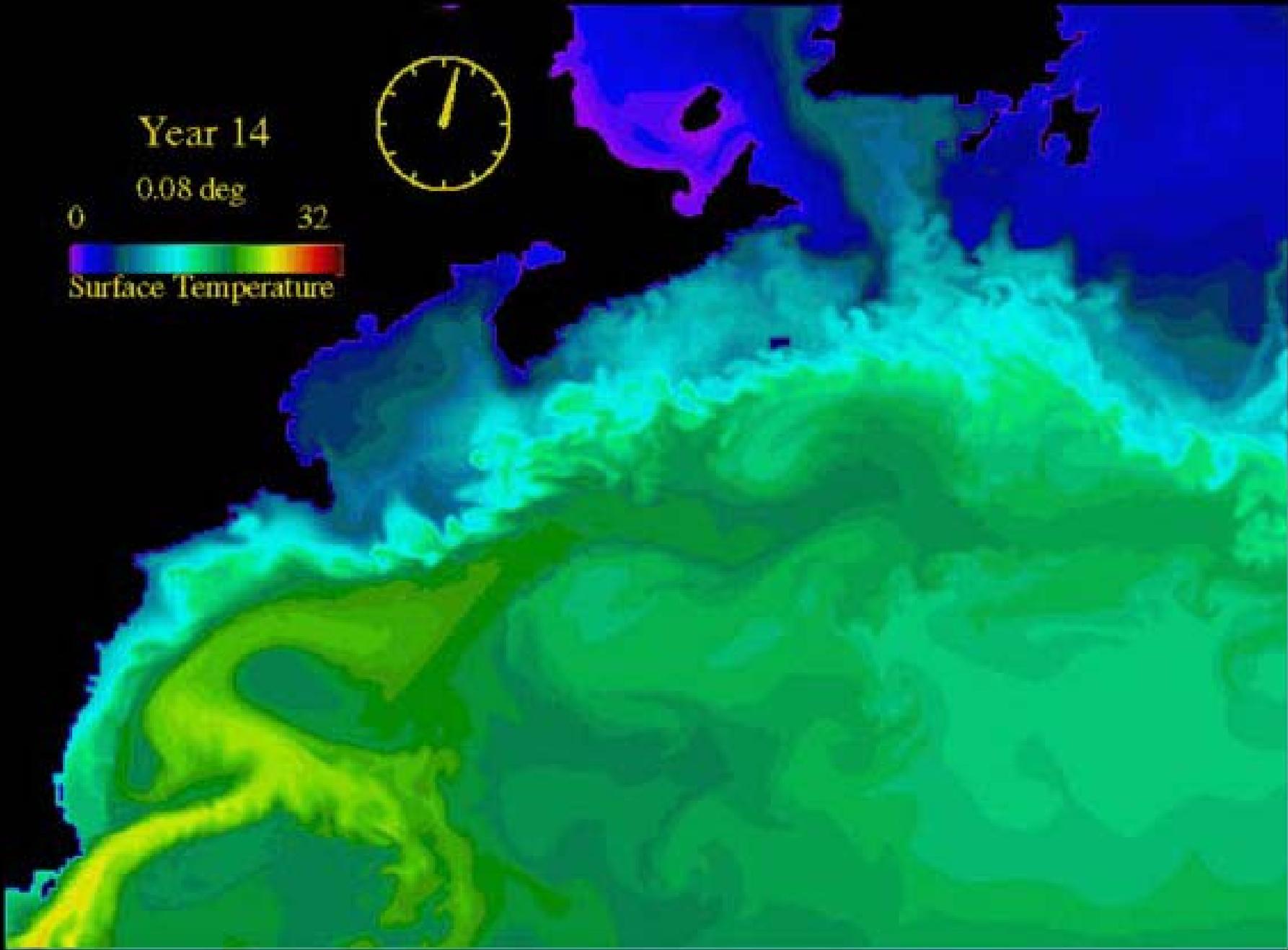


Gulf Stream

Dérive nord atlantique

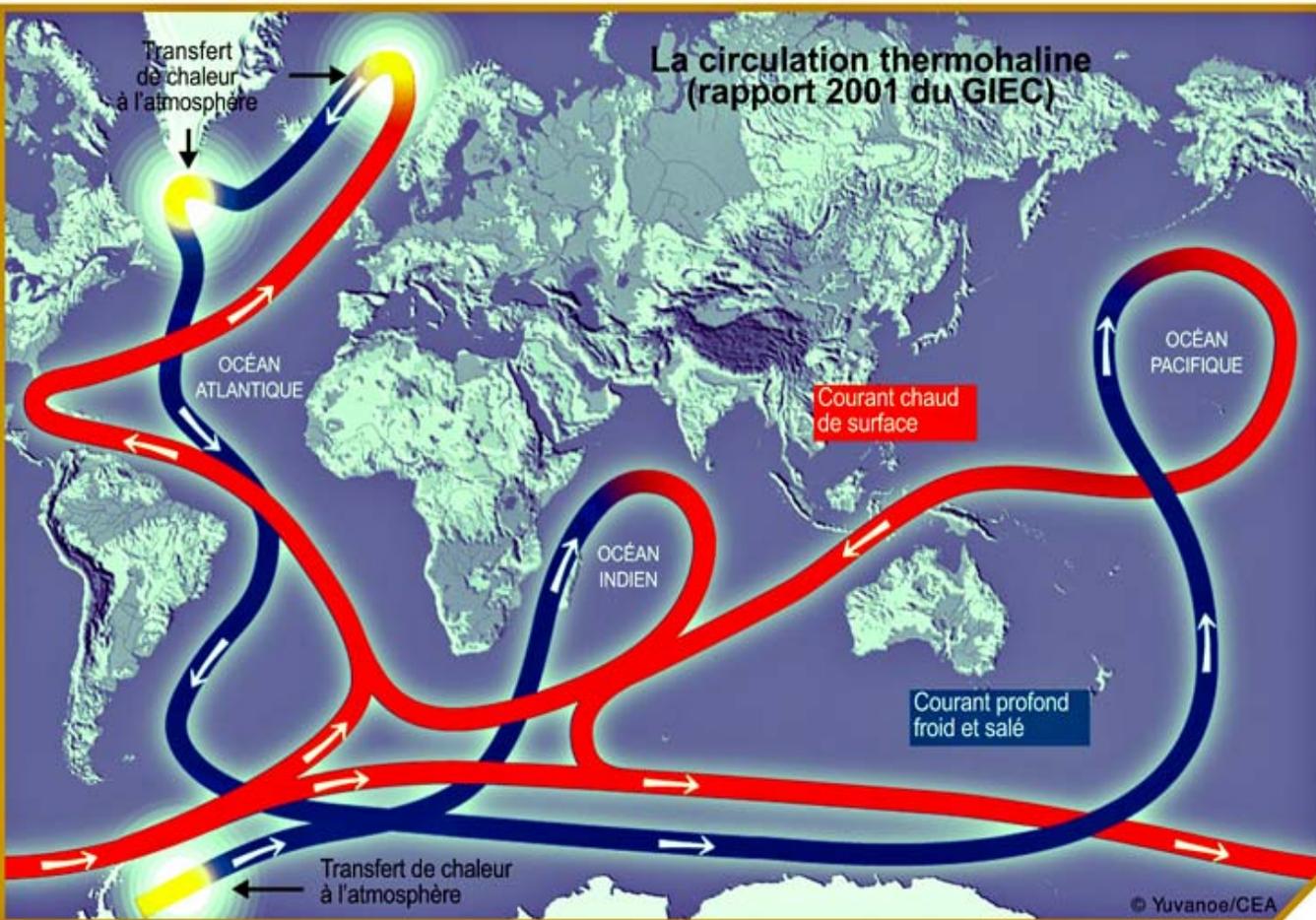
150 millions de m³
par seconde

(30 000 piscines olympiques)



Circulation thermohaline

Circulation provoquée par les différences de température et de salinité

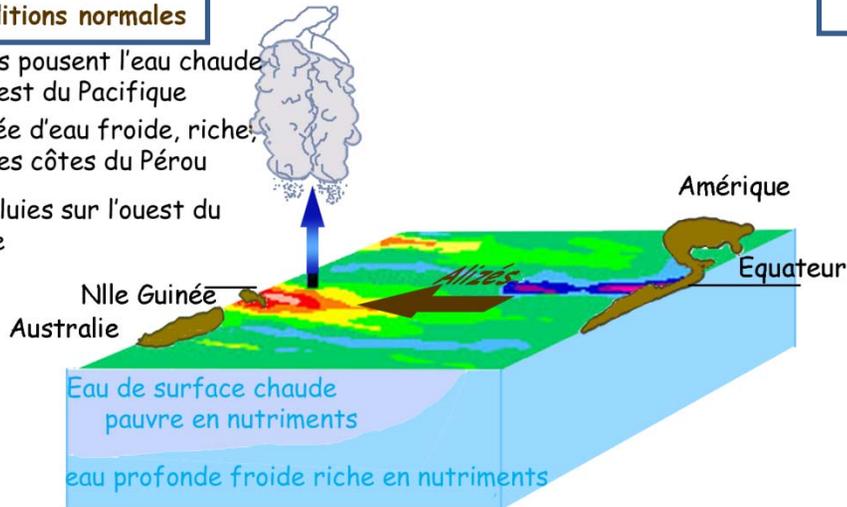


une goutte d'eau
parcourt l'ensemble
de la boucle en 500
à 1000 ans.

El Niño

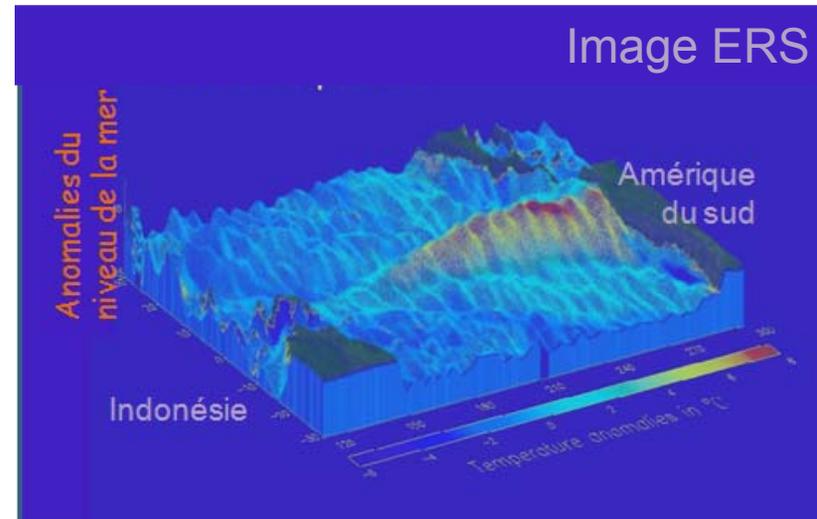
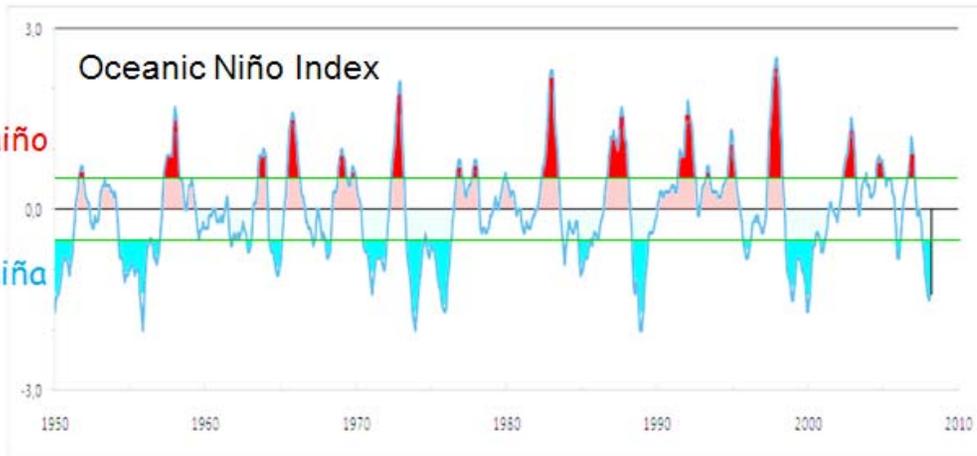
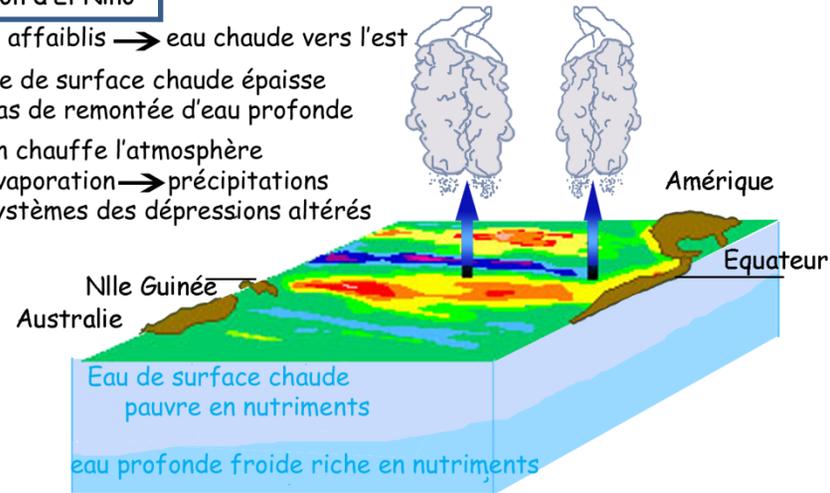
Conditions normales

- les alizés poussent l'eau chaude vers l'ouest du Pacifique
- remontée d'eau froide, riche, le long des côtes du Pérou
- fortes pluies sur l'ouest du Pacifique



Situation d'El Niño

- alizés affaiblis → eau chaude vers l'est
- couche de surface chaude épaisse → pas de remontée d'eau profonde
- l'océan chauffe l'atmosphère → évaporation → précipitations systèmes des dépressions altérés



Evolution de l'océan

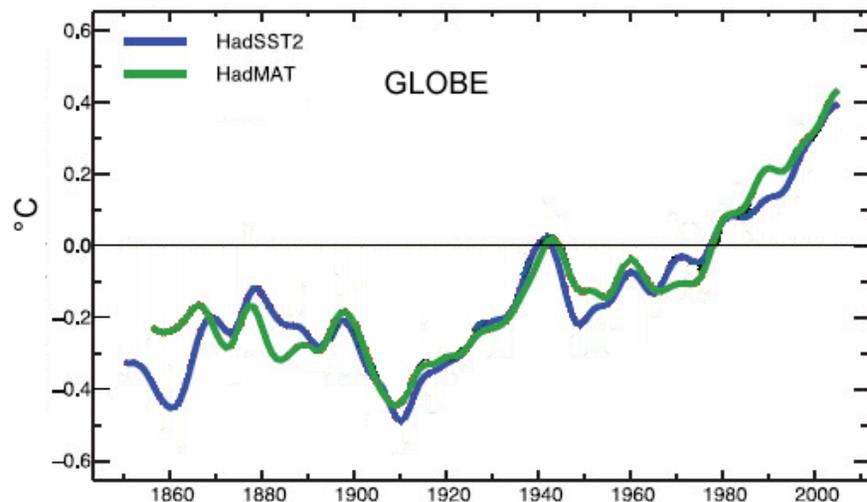
- **Température, contenu en chaleur**
- Niveau de la mer
- Glace de mer
- Circulation thermohaline
- Acidité
- Salinité

Température de surface de la mer

Ecarts en température par rapport à [1961 - 1990]

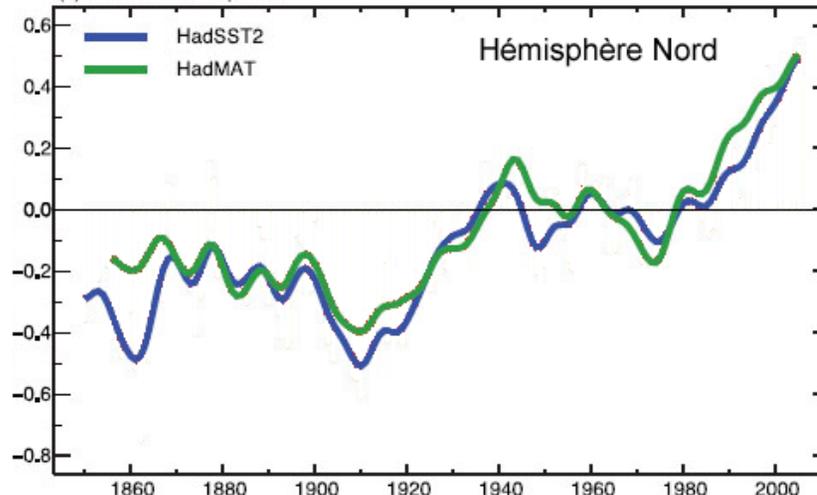
— Global

— Nuit

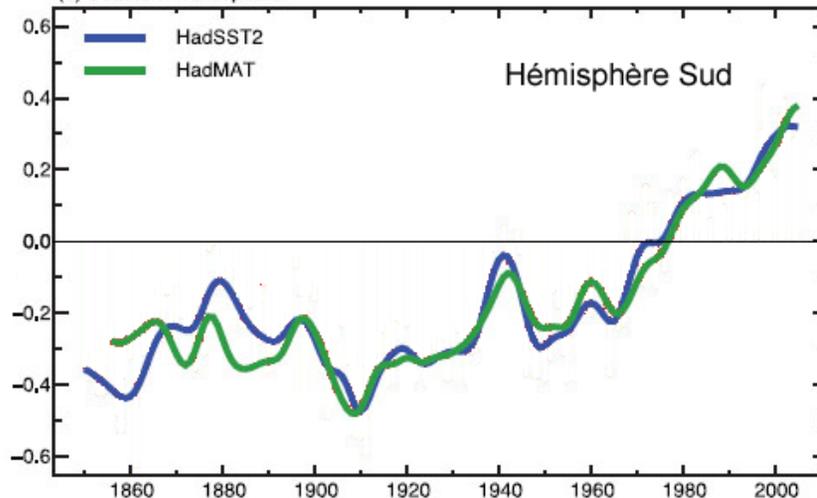


L'océan a emmagasiné beaucoup de chaleur au cours du 20^{ème} siècle

(c) Northern Hemisphere



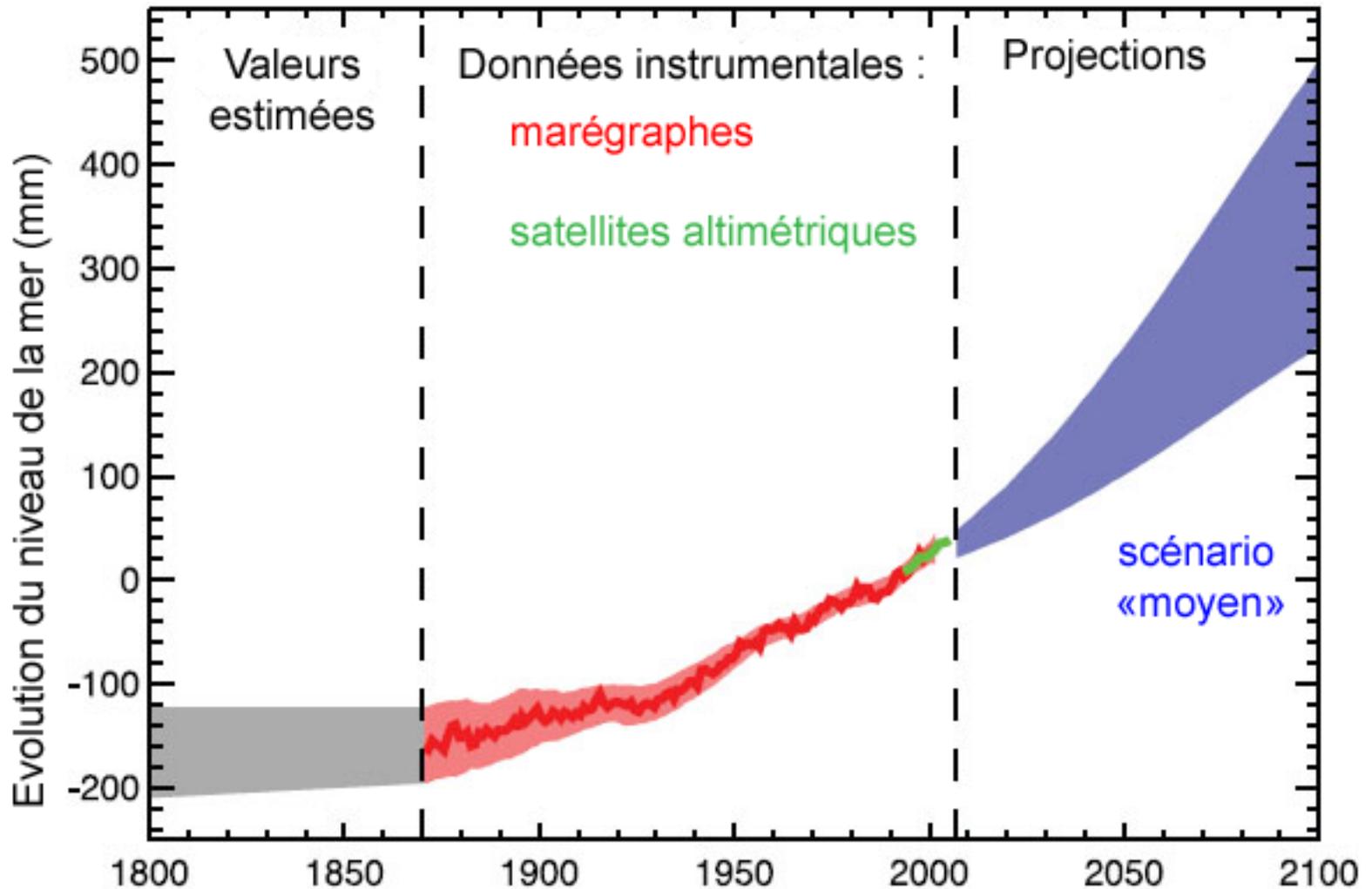
(d) Southern Hemisphere



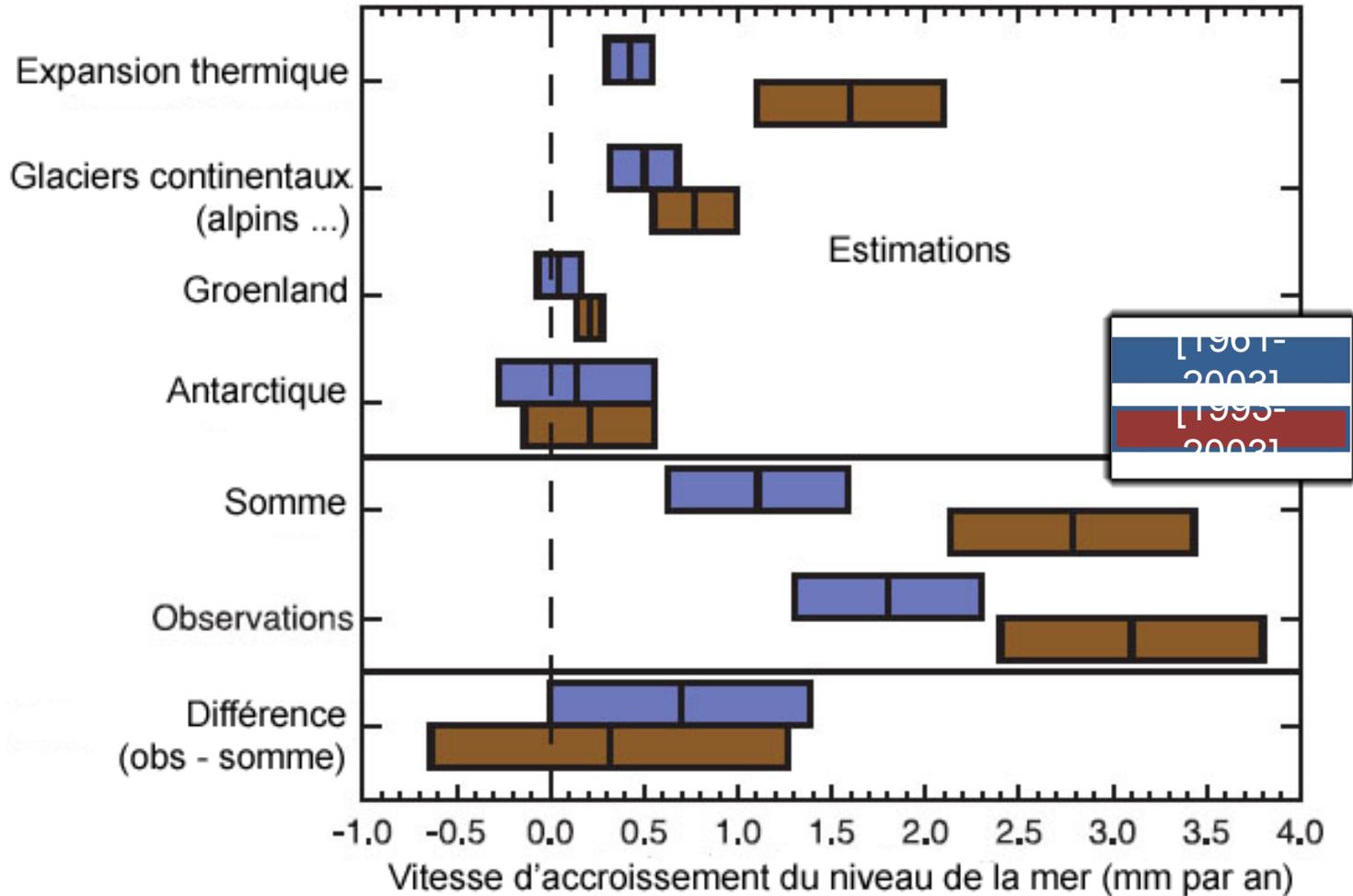
Evolution de l'océan

- Température, contenu en chaleur
- **Niveau de la mer**
- Glace de mer
- Circulation thermohaline
- Acidité
- Salinité

Evolution passée et à venir du niveau de la mer



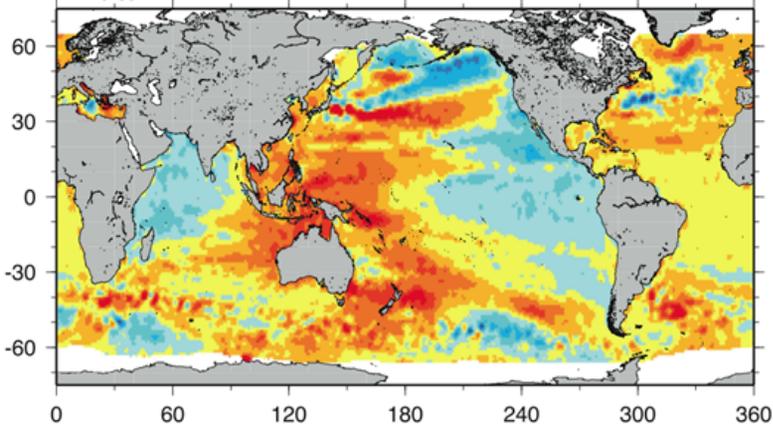
Contributions à l'augmentation du niveau de la mer



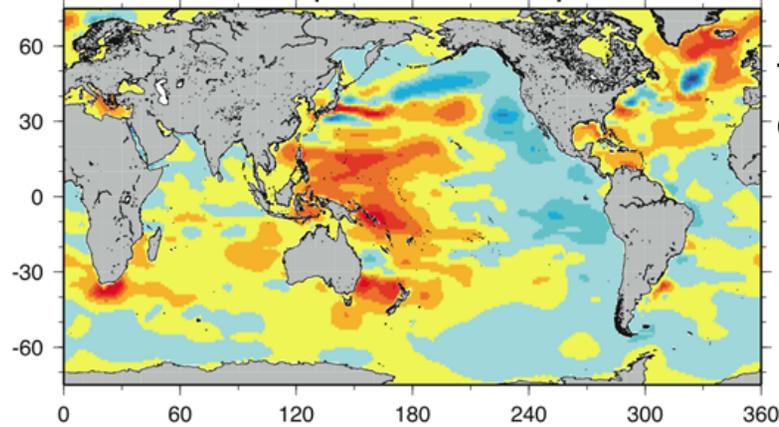
augmentation due majoritairement à l'expansion thermique

Accroissement du niveau de la mer

Total

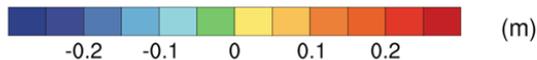
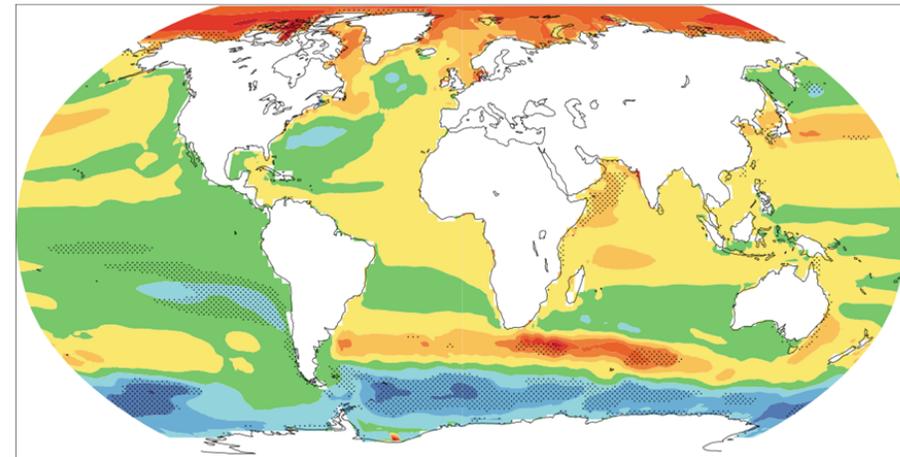
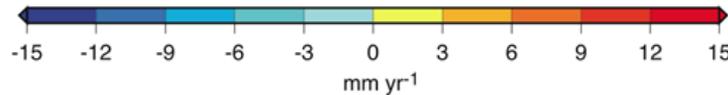


Part due à l'expansion thermique



taux annuel
de 1993 à 2003

données
TOPEX-Poseidon



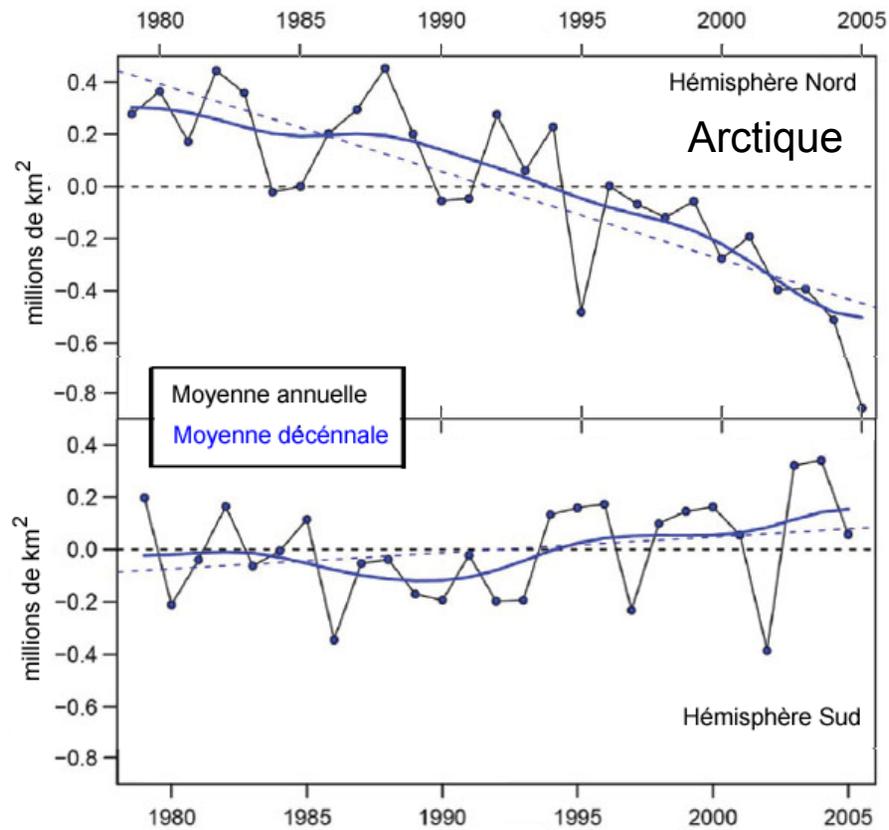
2090 – 1990 : écart à l'évolution moyenne

Les écarts proviennent
- des variations locales de densité
- de la circulation océanique

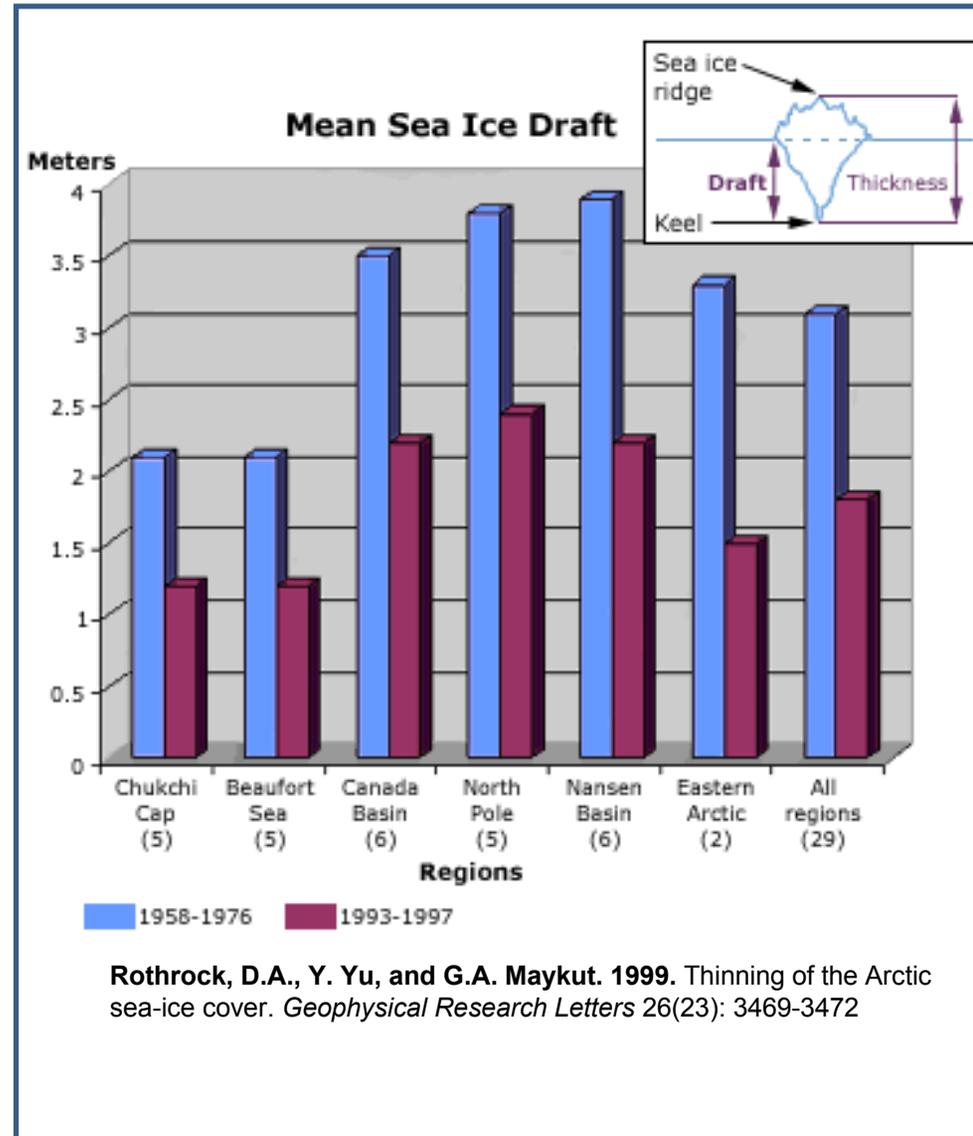
Evolution de l'océan

- Température, contenu en chaleur
- Niveau de la mer
- **Glace de mer**
- Circulation thermohaline
- Acidité
- Salinité

Diminution de l'étendue et de l'épaisseur de la glace de mer



Extension de la glace de mer : écarts à la moyenne de [1980, 2005]



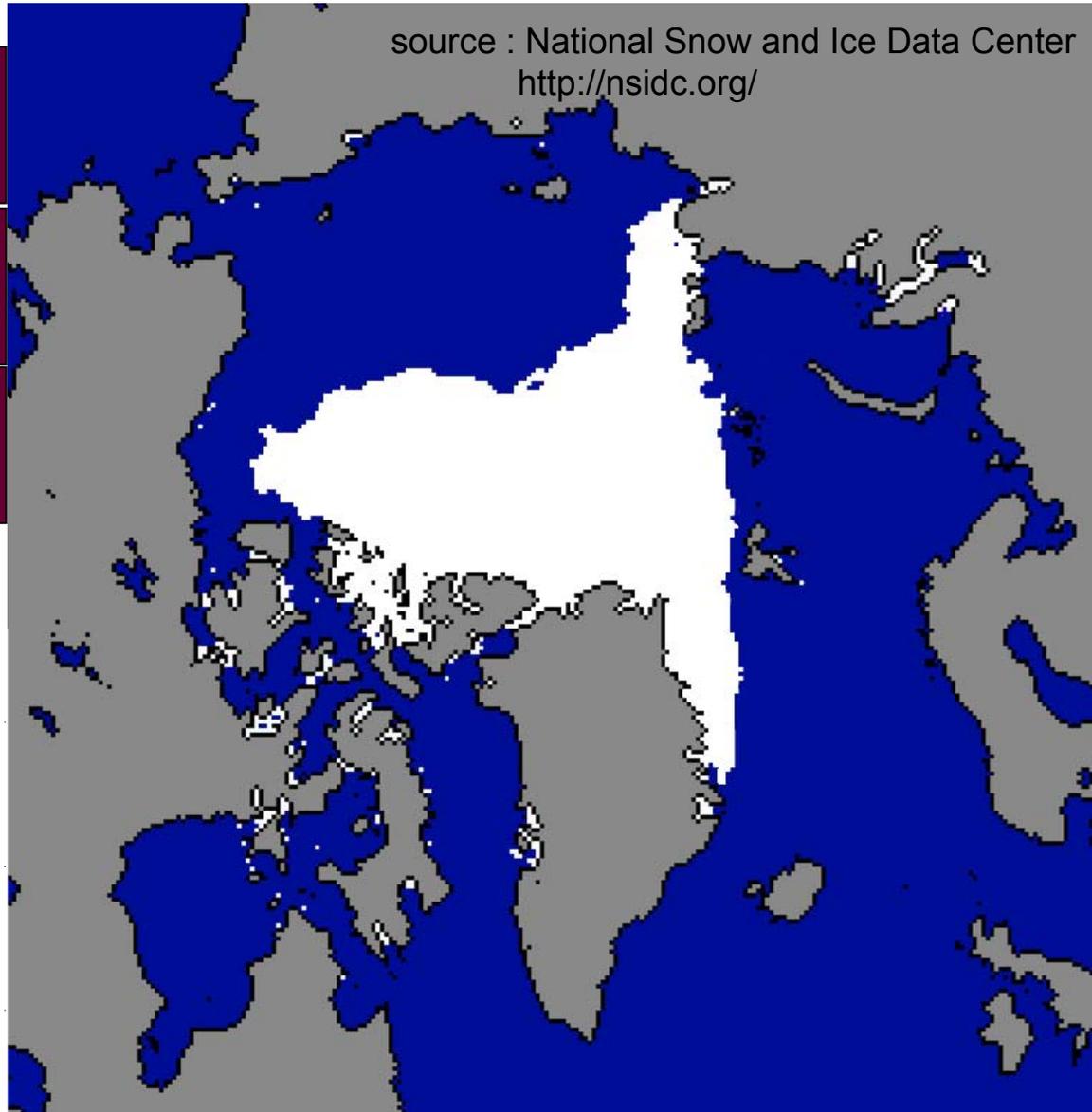
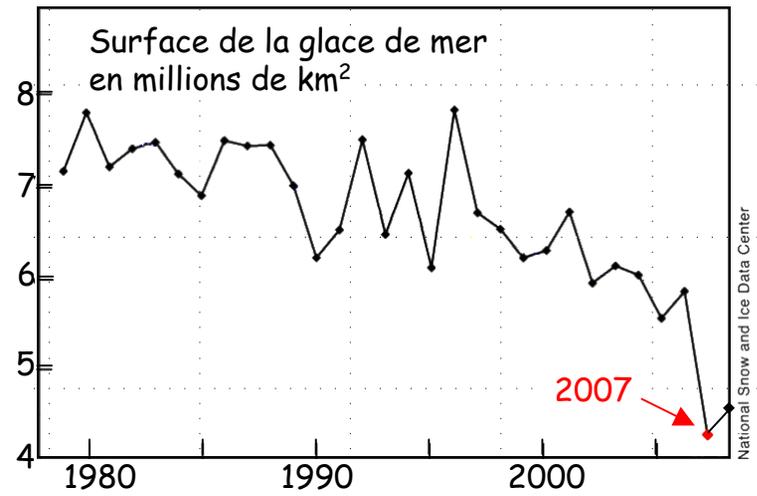
Rothrock, D.A., Y. Yu, and G.A. Maykut. 1999. Thinning of the Arctic sea-ice cover. *Geophysical Research Letters* 26(23): 3469-3472

Minimum annuel de la glace de mer arctique

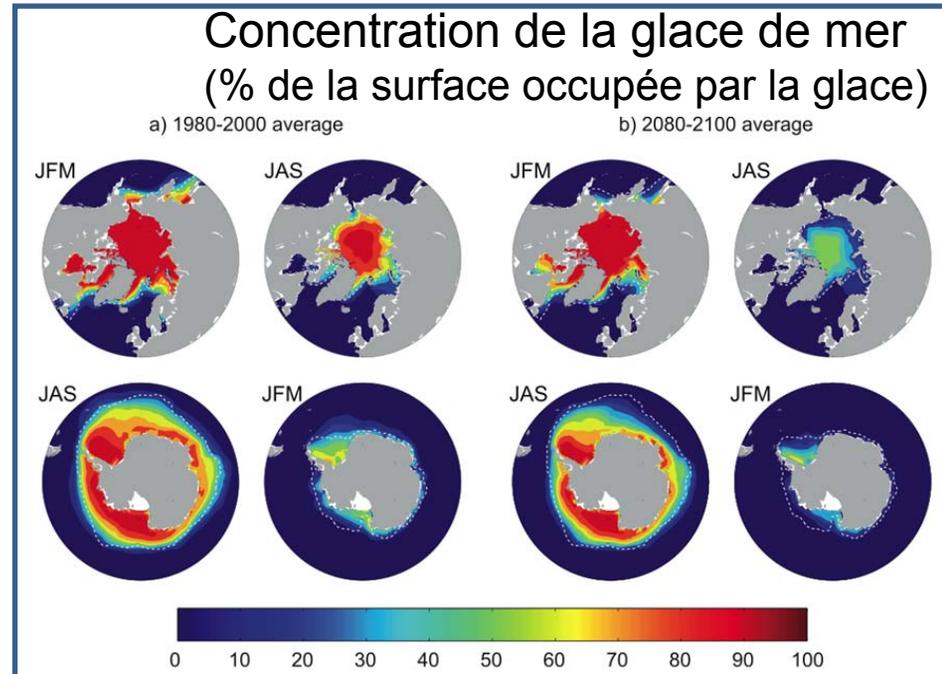
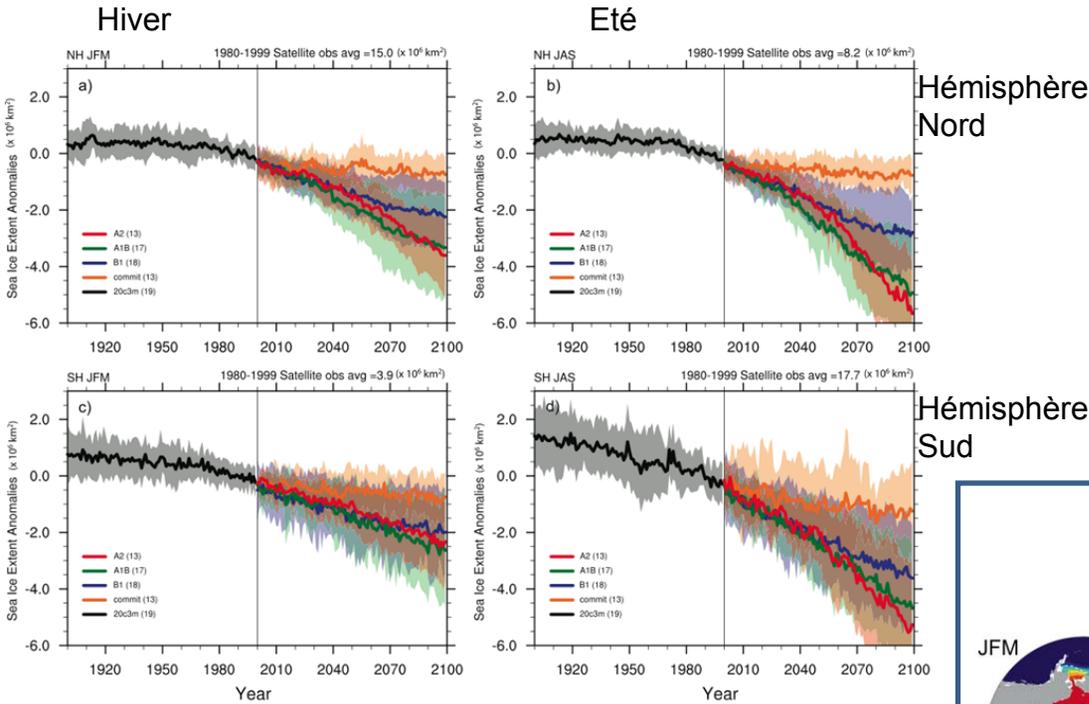
Minimum annuel moyenné sur
1970 - 2000 (6 740 000 km²)

21 septembre 2005
(5 300 000 km²)

16 septembre 2007
(4 100 000 km²)



Evolution de la glace de mer (scénario A1B)



Surface de la glace de mer

**Selon les observations des dernières années
 ⇒ la banquise estivale pourrait disparaître
 beaucoup plus rapidement**

Conséquences locales de la fonte de la banquise

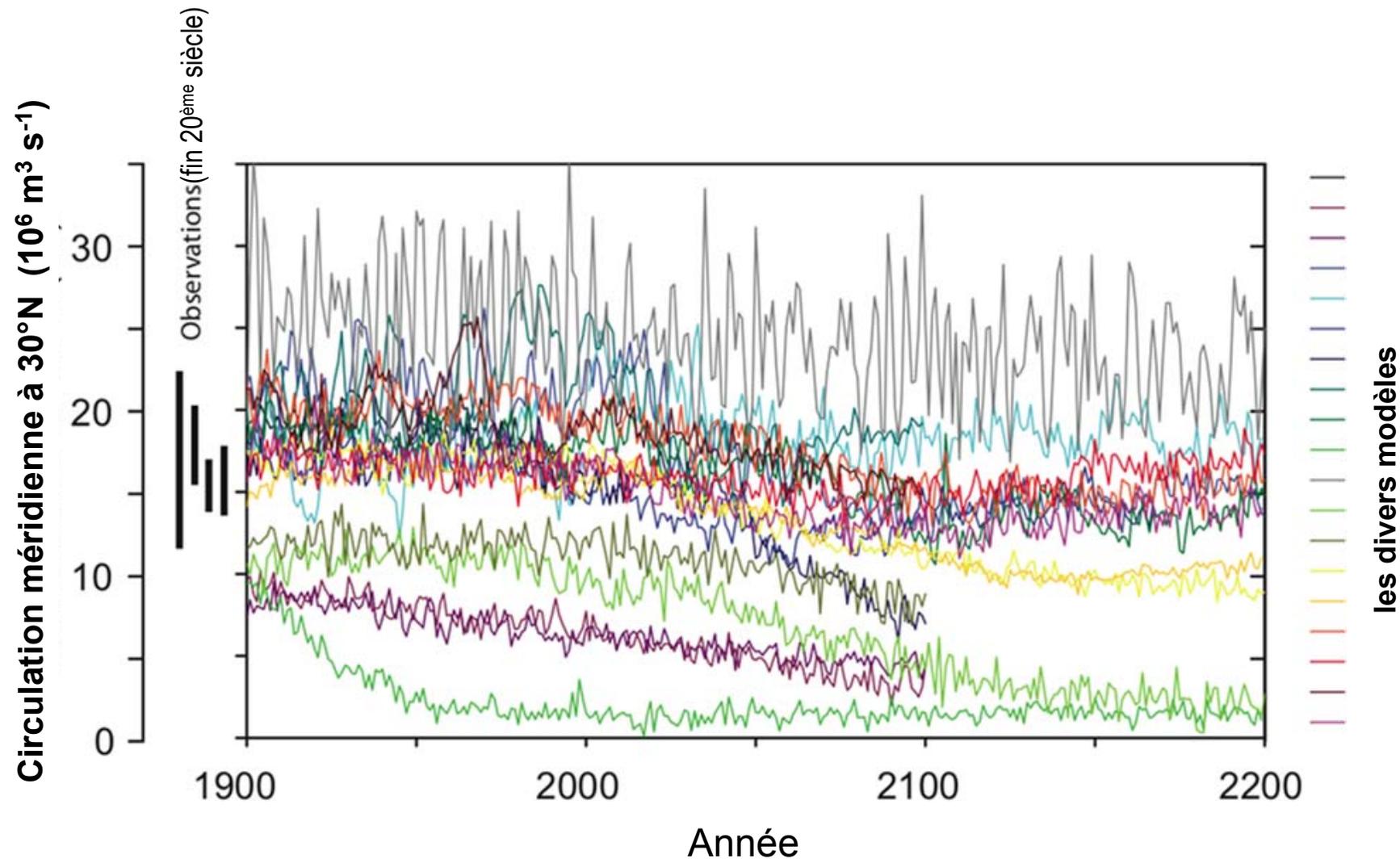
Fonte de la banquise

- ⇒ forte diminution de l'albédo ⇒ forte augmentation de l'énergie solaire absorbée
- ⇒ échauffement local des eaux de surface (+ 7°C en 2007)
- ⇒ augmentation de la température à la surface des continents avoisinants
- ⇒ déstabilisation du permafrost
- ⇒ favorise l'activité biologique elle-même génératrice de chaleur

Evolution de l'océan

- Température, contenu en chaleur
- Niveau de la mer
- Glace de mer
- **Circulation thermohaline**
- Acidité
- Salinité

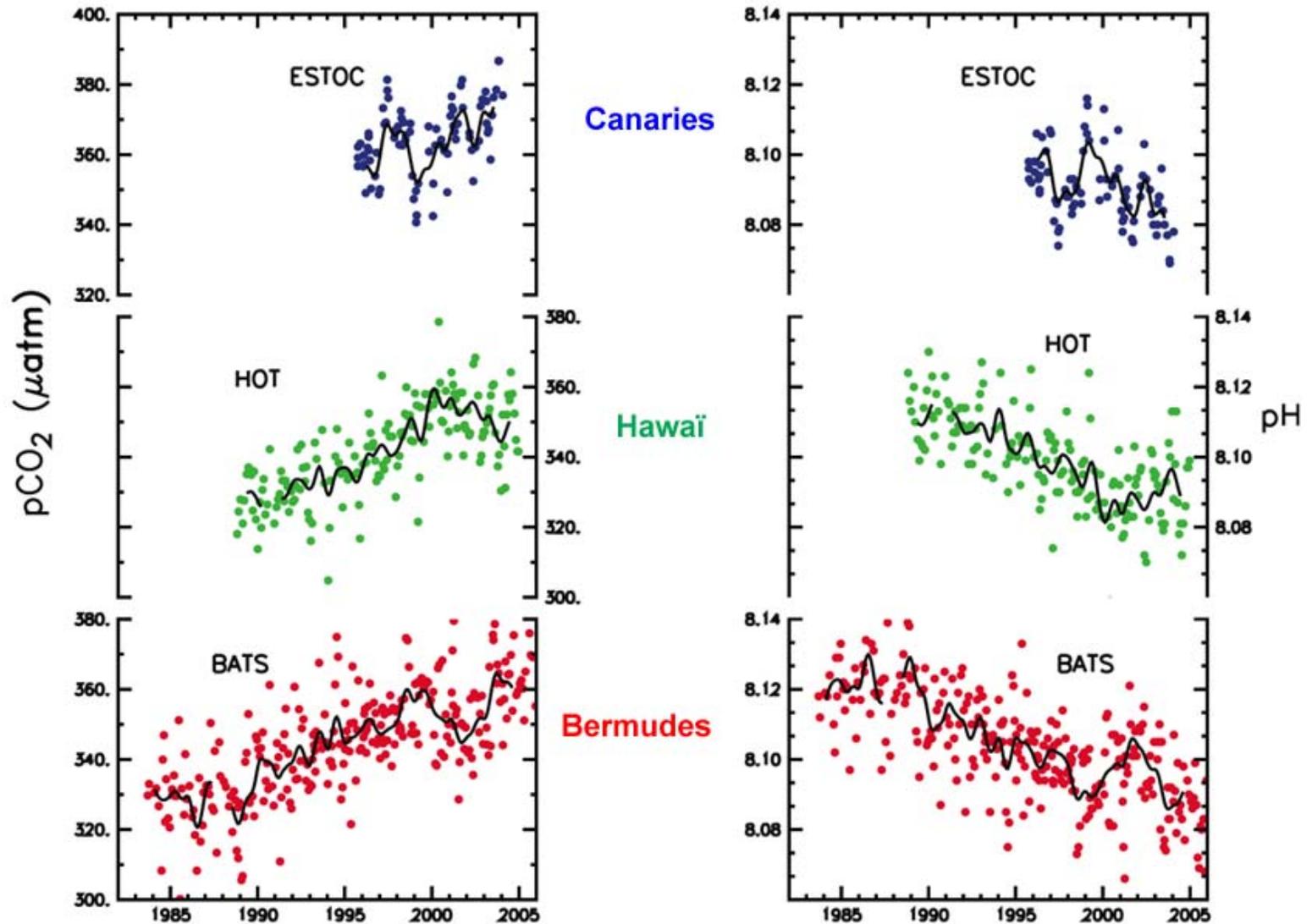
Circulation méridienne



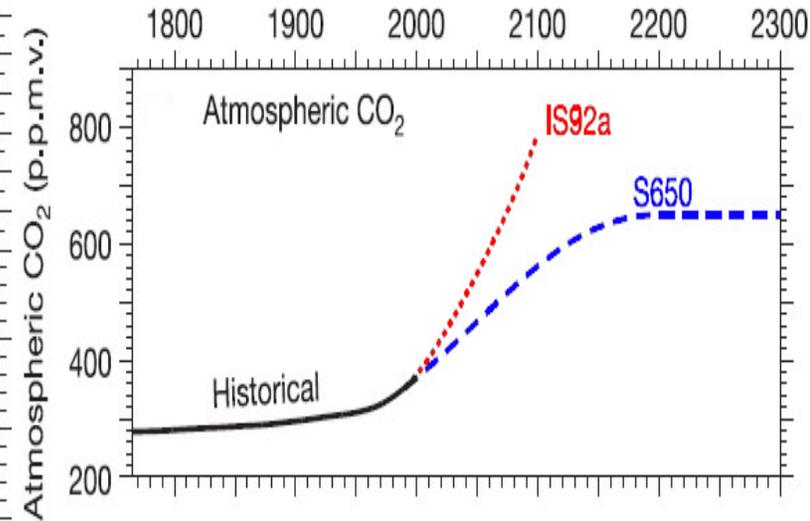
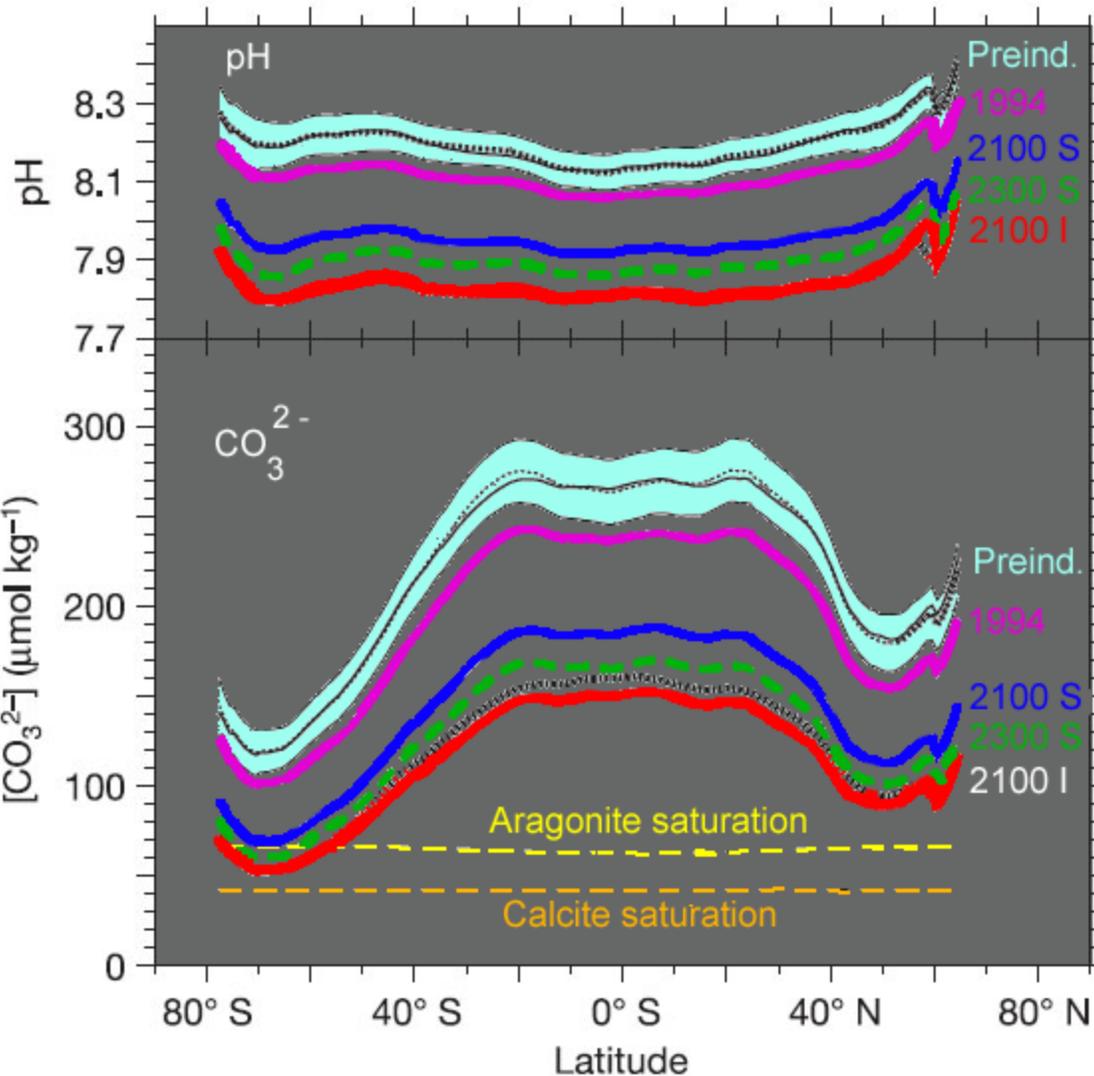
Evolution de l'océan

- Température, contenu en chaleur
- Niveau de la mer
- Glace de mer
- Circulation thermohaline
- **Acidité**
- Salinité

Acidification de l'Océan



Acidité des eaux de surface et carbonates de calcium

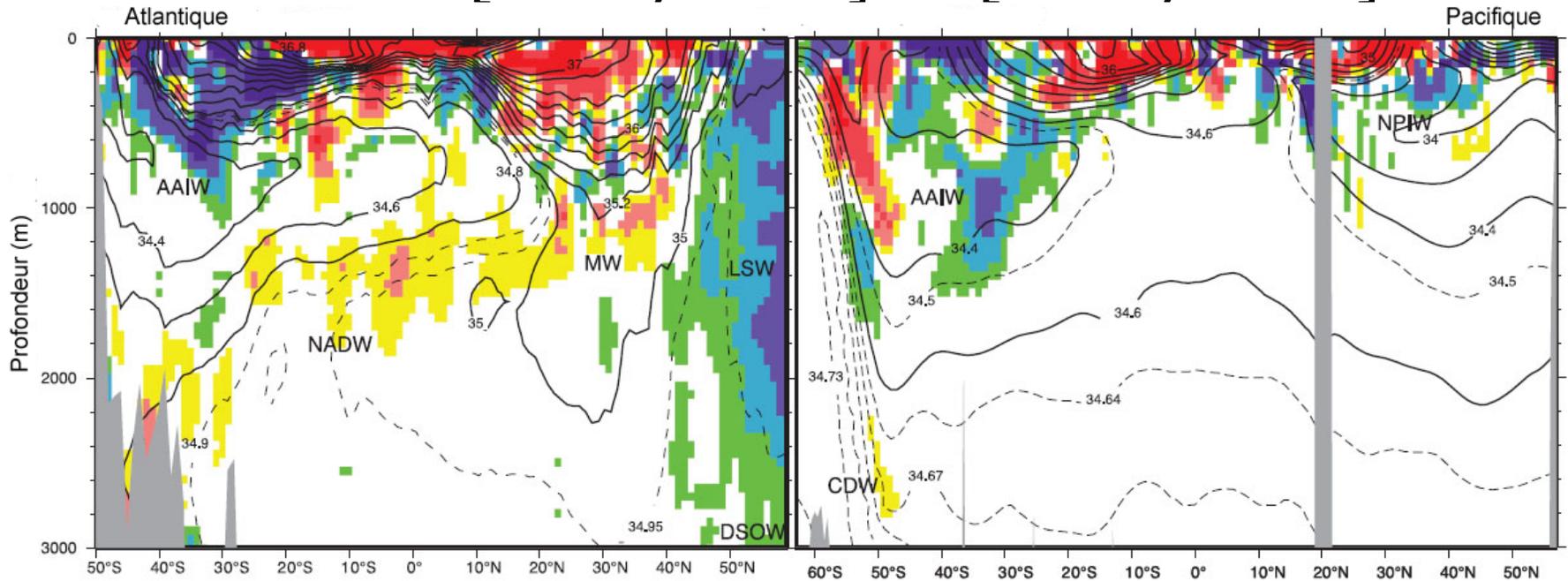


Survie des organismes à coquille en aragonite ?

Evolution de l'océan

- Température, contenu en chaleur
- Niveau de la mer
- Glace de mer
- **Circulation thermohaline**
- Acidité
- **Salinité**

Evolution de la salinité entre [1955, 1969] et [1985, 1999]



AAIW Antarctique intermédiaire
DSO Denmark strait overflow water
LSW Labrador sea water
MW Méditerranéenne
NADW North Atlantic deep water

AAIW Antarctique intermédiaire
CDW Circumpolaire profonde
NPIW North Pacific Intermédiaire

Variation de salinité (g de NaCl par litre)



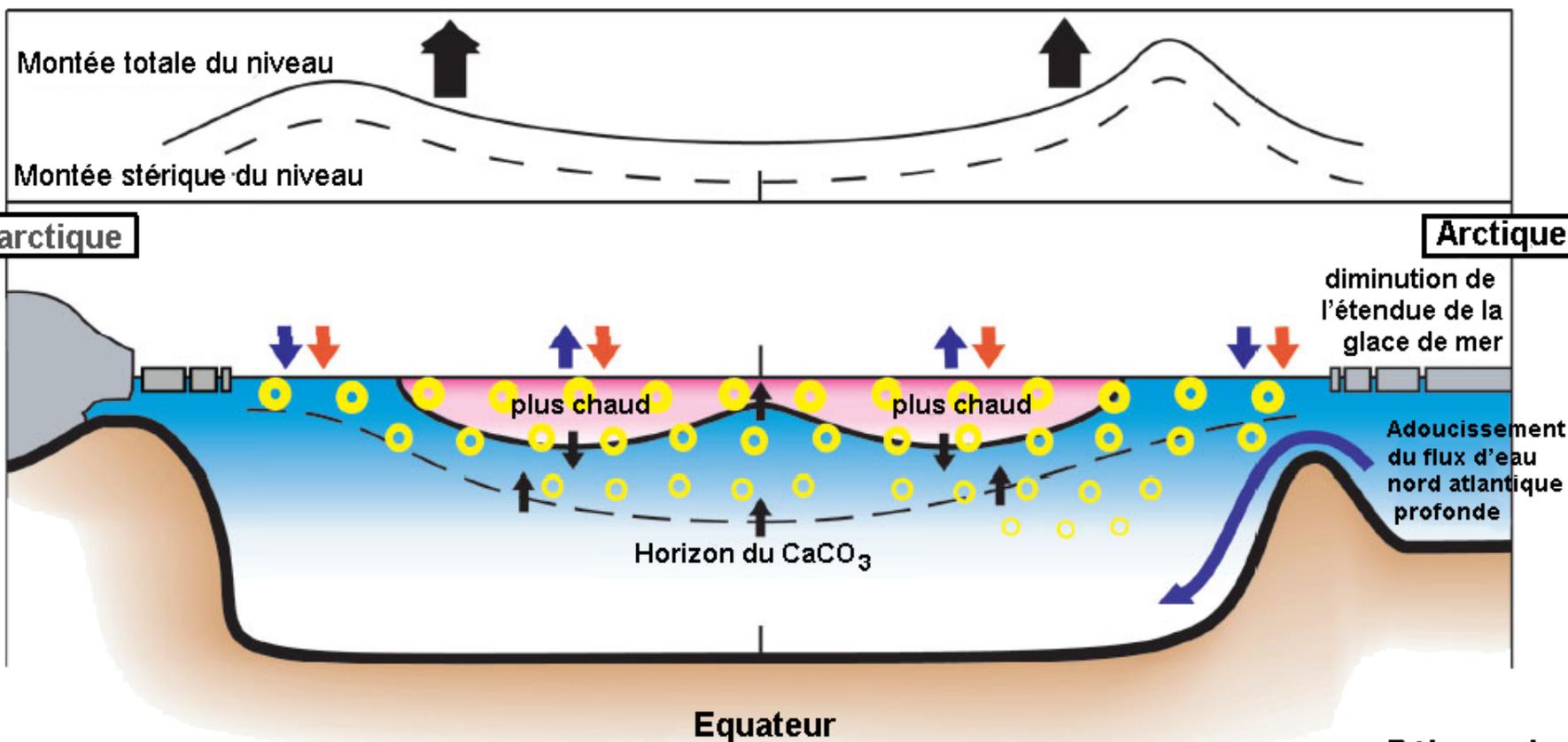
- Augmentation de la salinité des eaux de surface aux basses latitudes

- Diminution de la salinité aux hautes latitudes, même en profondeur, (arctique)



Bilan évaporation vs précipitations, fonte des glaces

Résumé changements observés



Pôle sud

Pôle nord

↕↕ Contenu en chaleur et CO₂ accru / décréu dans l'océan

↕↕ Approfondissement / remontée des isothermes, des isopycnales et de l'horizon du CaCO₃

↕↕ Eau douce (précipitation - évaporation) accrue / décréue

⊞ Diminution du pH

⊞ Eau plus douce

⊞ Eau plus salée

Impacts attendus

- impacts sur le climat
- impacts sur l'environnement
- conséquences pour l'homme

Impacts sur le climat

- ⇒ évaporation ⇒ précipitations
 - ⇒ cyclones ; tempêtes
- ⇒ circulation thermohaline modifiée
 - ⇒ influence sur le réchauffement de l'hémisphère nord
- ⇒ puits de carbone moins efficace (⇐ température et pH)
- ⇒ disparition de la glace de mer
 - ⇒ absorption du rayonnement solaire très augmentée
 - ⇒ réchauffement renforcé

Impacts sur les écosystèmes

écosystèmes affectés par

- l'accroissement des températures
- la hausse du niveau de la mer
- la salinité
- le pH

concerne

- toutes les catégories d'animaux
 - plancton
 - organismes à « squelette » ou coquille calcaire
plancton, mollusques, coraux ...
 - poissons
 - les prédateurs marins jusqu'aux plus grands
poissons, oiseaux, ours, baleines ...
- les écosystèmes côtiers
 - coraux
 - mangroves

Impacts sur les régions côtières

Population proche du littoral

- plus de 60% de la population mondiale à moins de 100km des côtes
- 10% de la population mondiale à moins de 10 m d'altitude
- 75% des grandes villes à moins de 60km
- 16 des 23 villes de + de 2,5Mhabitants
- 6 des 8 villes de + de 10Mhabitants

- Erosion des côtes
 - niveau de la mer*
 - perte des protections naturelles : coraux, mangroves*
- Vulnérabilité aux tempêtes
- Inondations
- Envahissement des terres arables par le sel

Problèmes aggravés par la dégradation des barrières naturelles (mangroves, corail ...), en partie à cause de l'homme

Impacts sur les hautes latitudes

Les premières à pâtir de la diminution du pH

Disparition de la glace de mer (arctique)

⇒ survie des ours blancs

⇒ formation des eaux profondes

Dégradation / disparition du permafrost ⇒ déstabilisation des sols

Conséquences pour l'homme

- ✓ Habitat
- ✓ Agriculture
- ✓ Mode de vie
- ✓ Ressources
- ✓ Tourisme



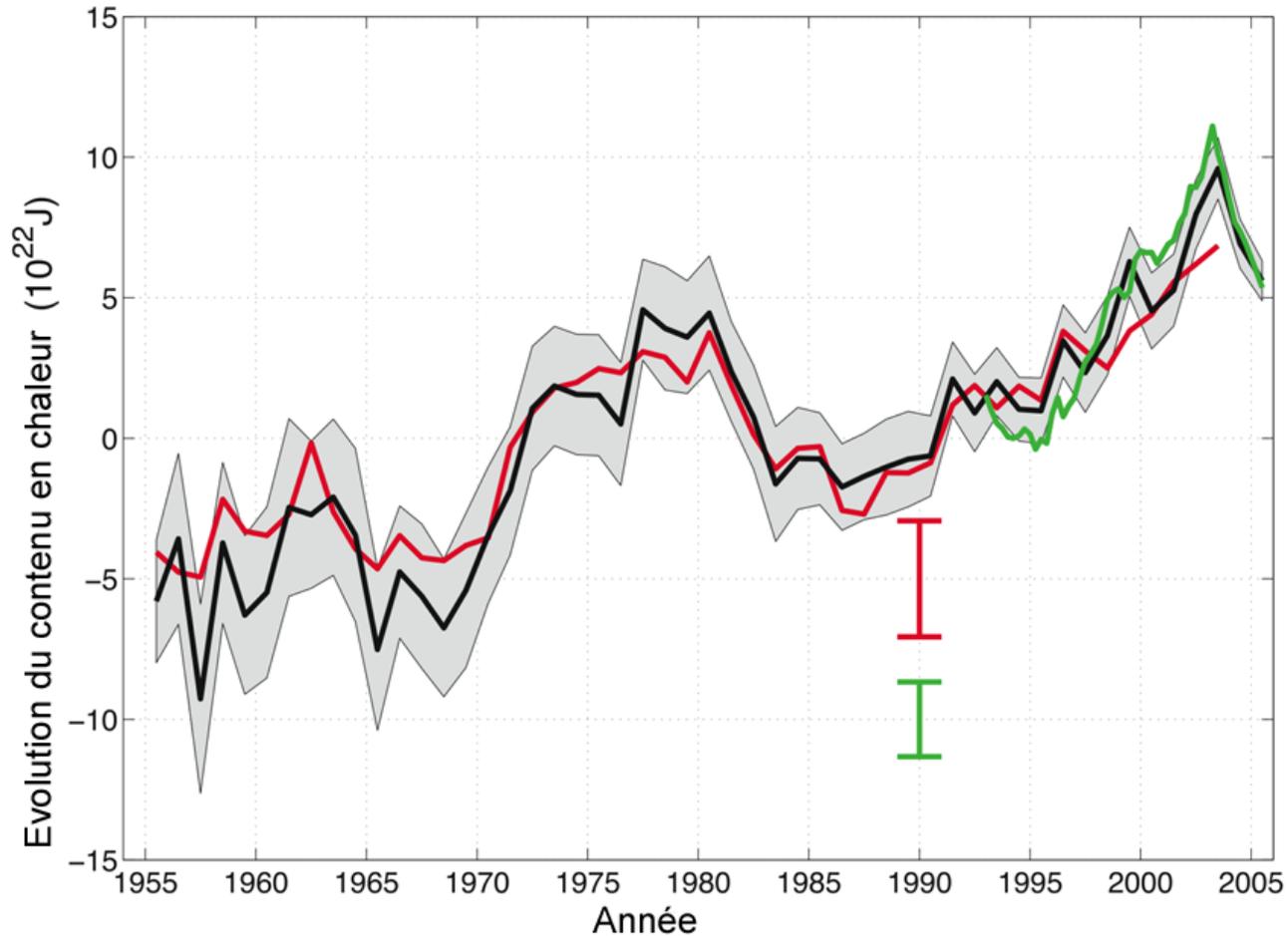
- Dégradation de l'environnement
 - érosion des côtes
 - déstabilisation des sols (*inuits*)
 - salinité des sols
 - vulnérabilité aux tempêtes / inondations
- Disparition des écosystèmes / barrières naturelles
 - récifs coraliens, mangroves
- Disparition des ressources halieutiques

Cas particulier de l'arctique :

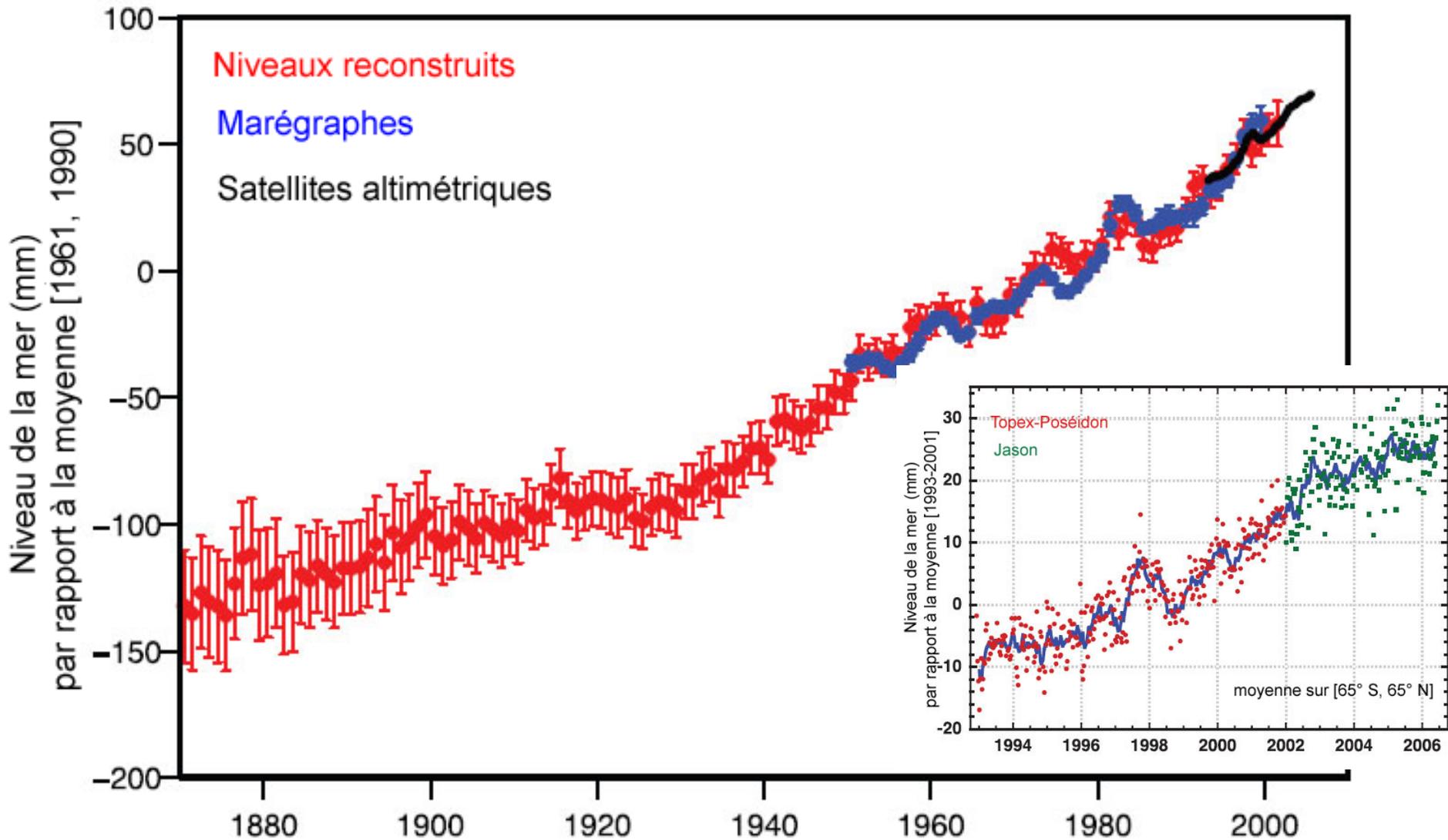
- Ouverture de la route maritime Atlantique ↔ Pacifique
- Exploitation des ressources minières (pétrole ...)

Contenu en chaleur de l'océan [0 - 700 m]

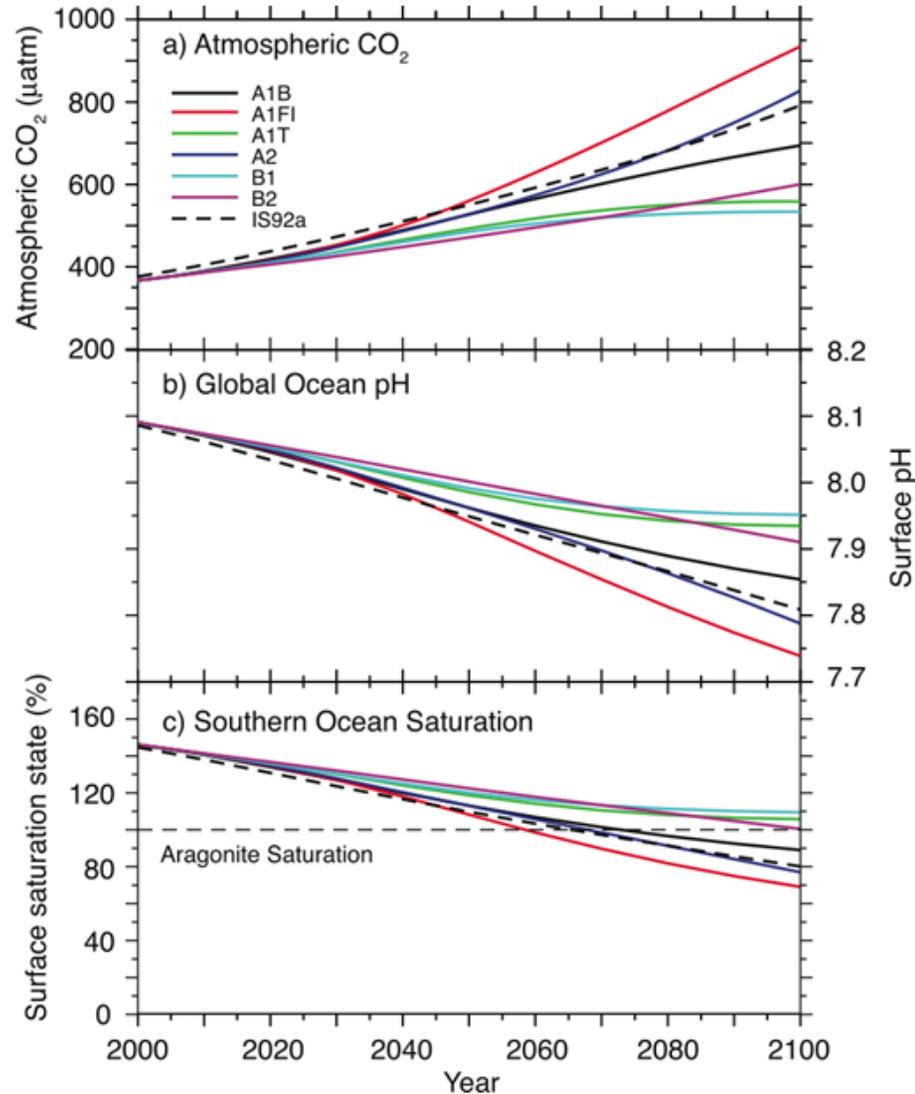
écart par rapport à la moyenne de [1961, 1990]



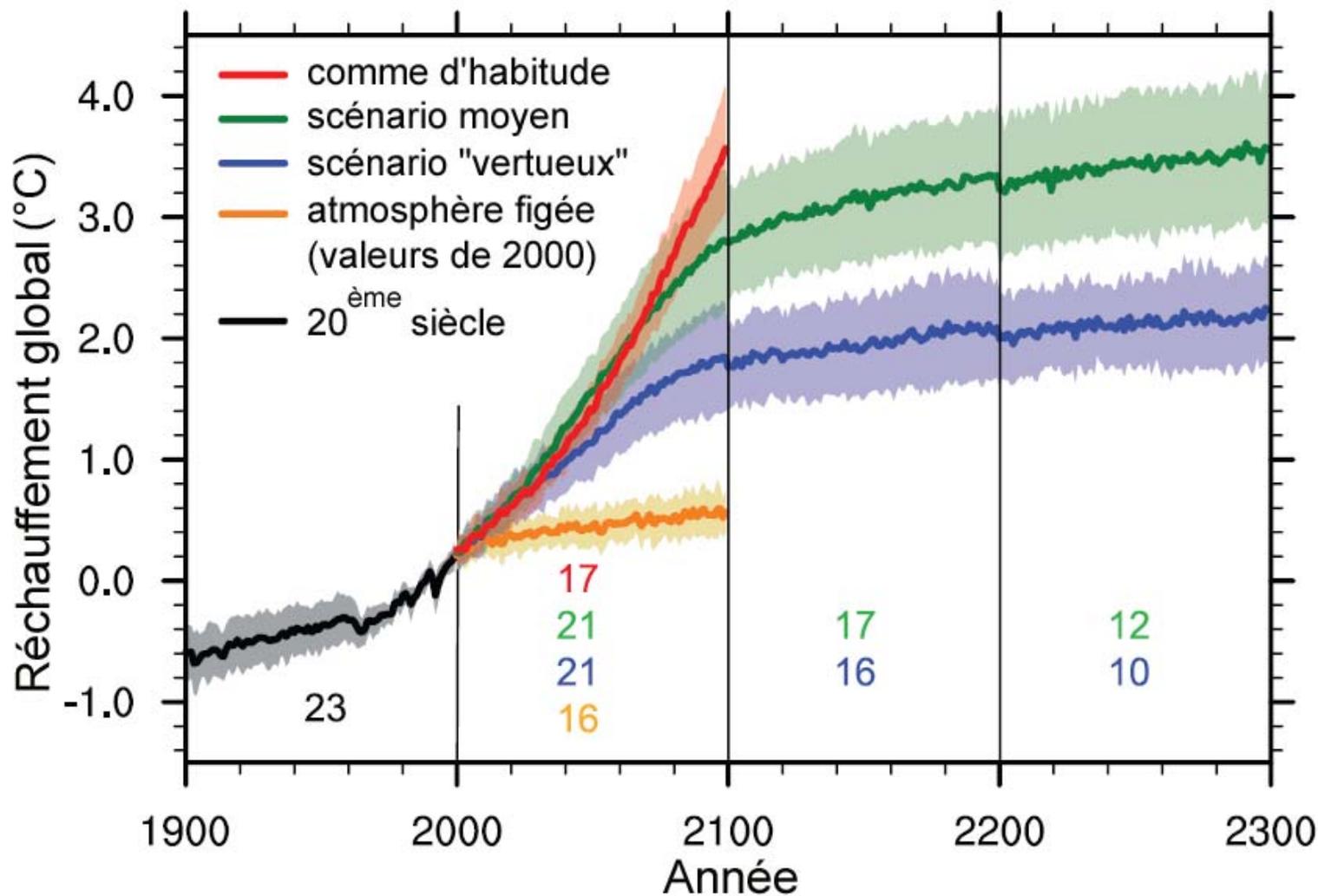
Niveau de la mer depuis 1870



pH et saturation de l'aragonite pour l'océan austral

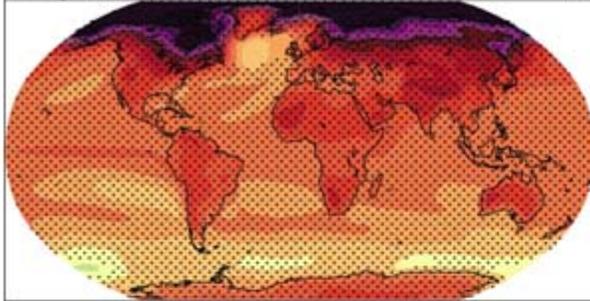


Réchauffement global simulé

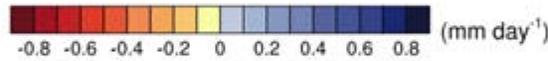
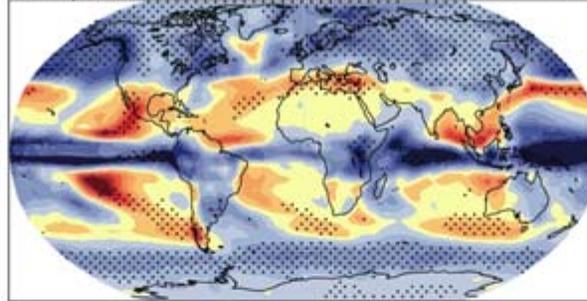


Climat en 2090

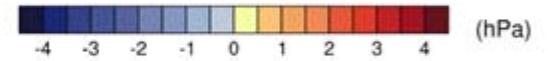
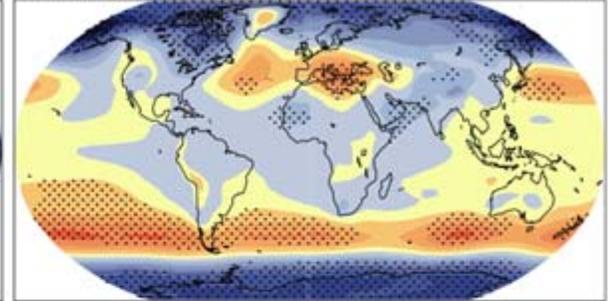
Temperature A1B: 2080-2099



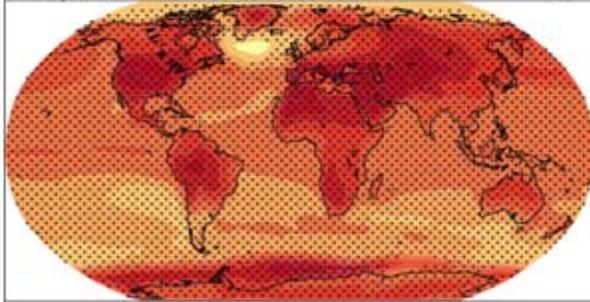
DJF Precipitation A1B: 2080-2099



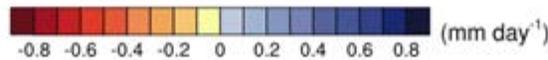
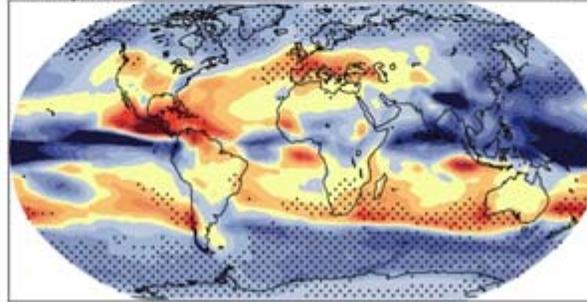
DJF SL Pressure A1B: 2080-2099



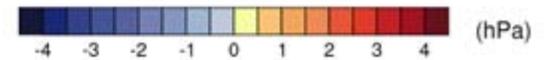
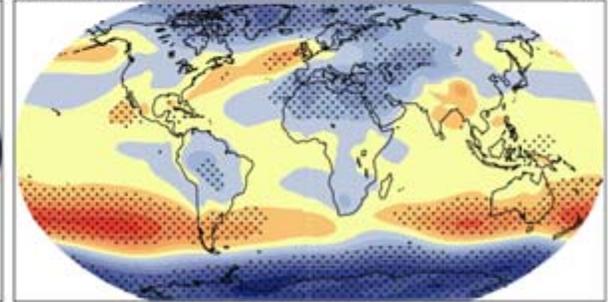
Temperature A1B: 2080-2099



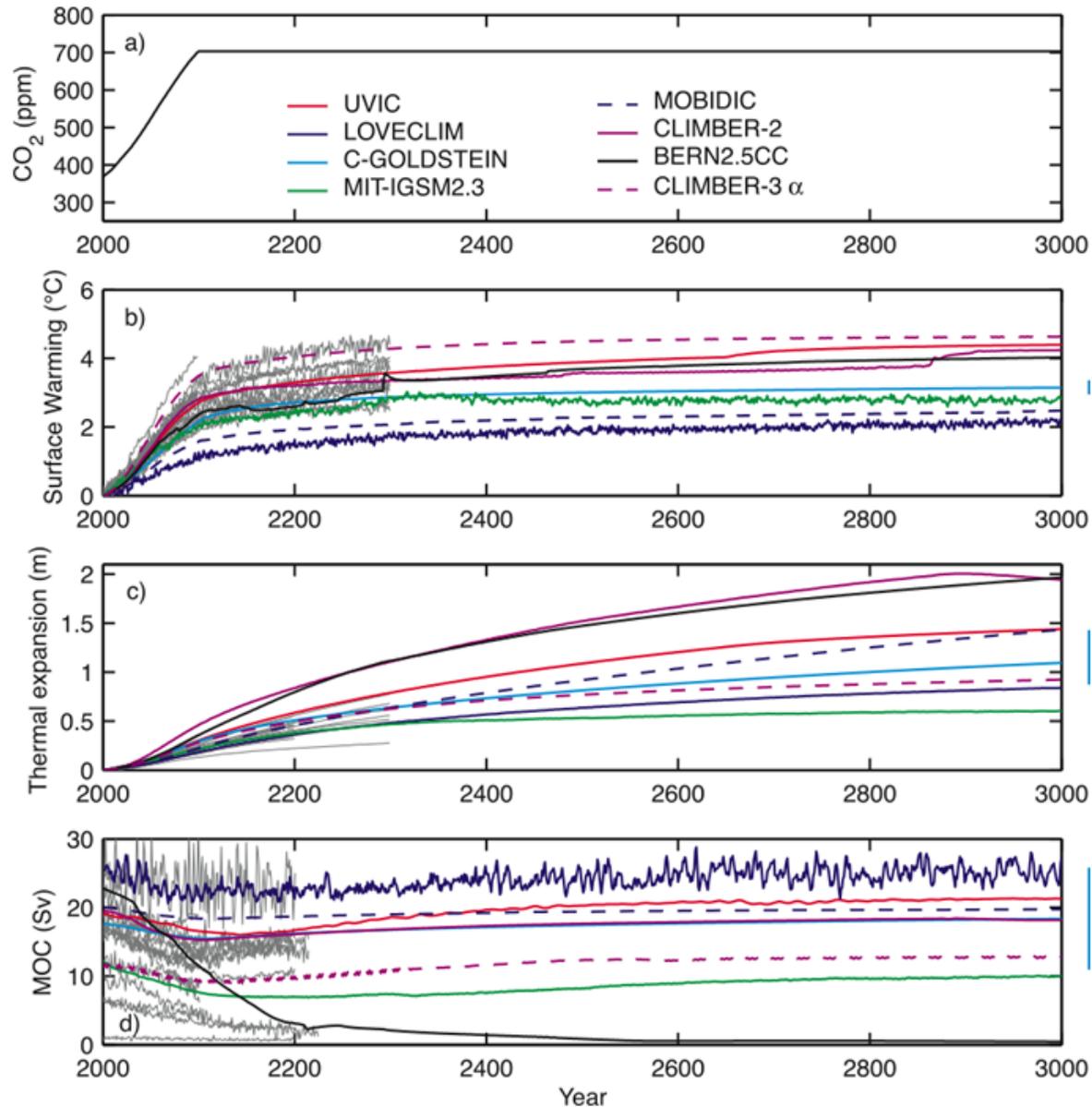
JJA Precipitation A1B: 2080-2099



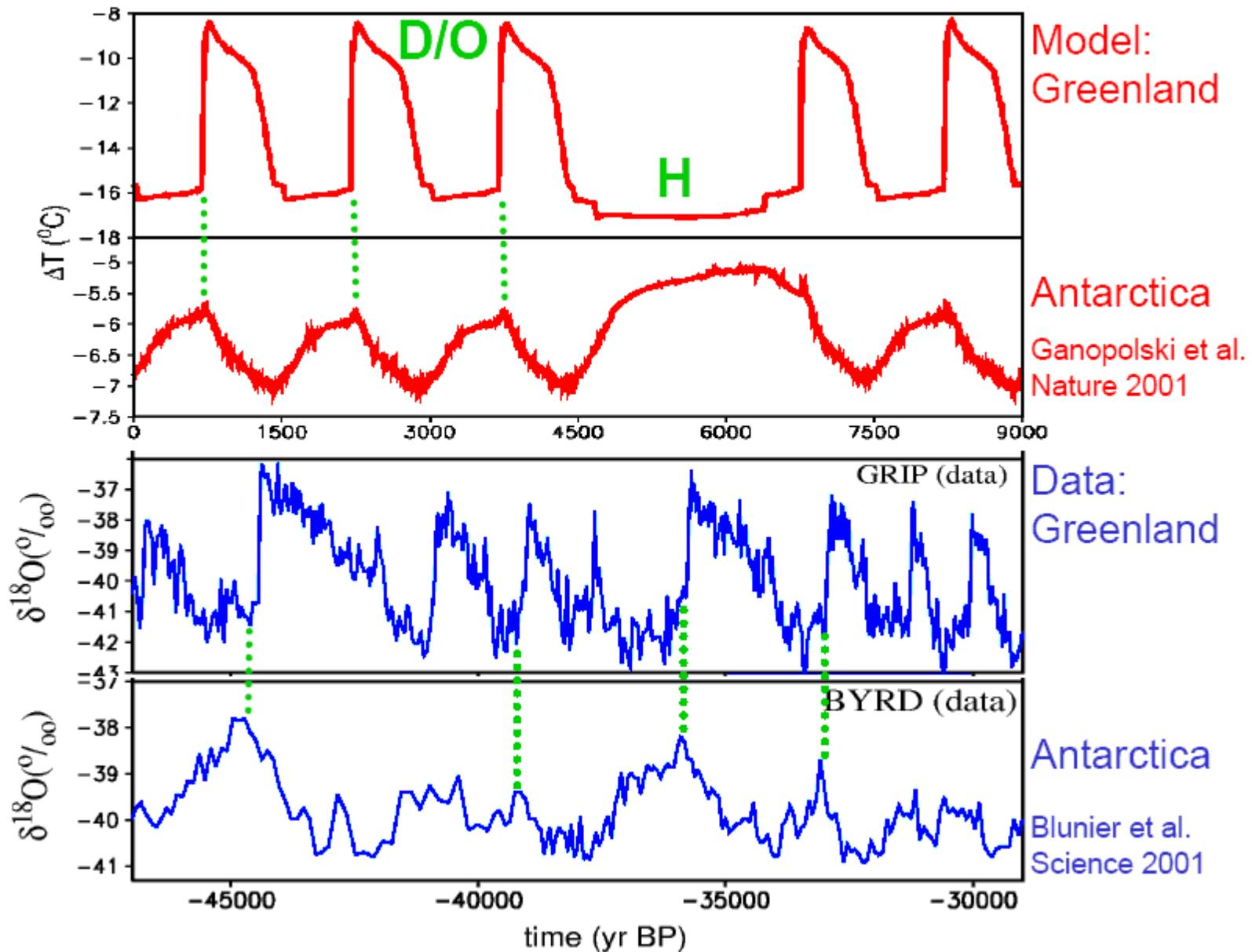
JJA SL Pressure A1B: 2080-2099



Evolutions avec un scénario de stabilisation du CO_2



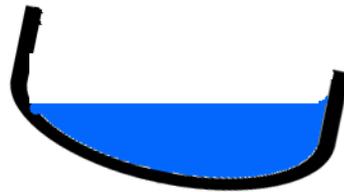
Transitions climatiques abruptes



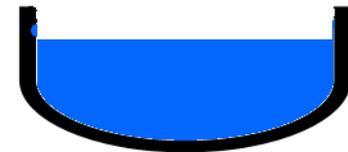
transitions rapides



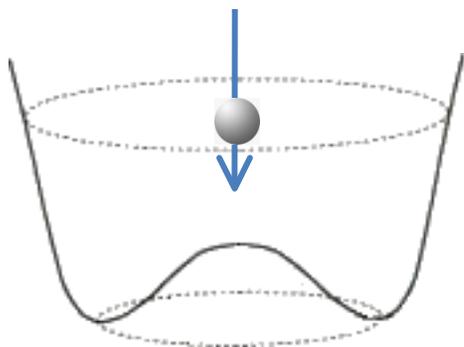
*comment faire arriver
l'eau à ce niveau ?*



*par un mouvement
de bascule*



en ajoutant de l'eau



Question pour le météorologue :
quel va être le chemin de la bille et où va-t-elle s'arrêter?

Question pour le climatologue :
si on répète l'expérience un grand nombre de fois, quelle sera la répartition des chemins et des positions finales des billes ?