



# Niveau de la mer température de l'océan et fonte des glaces

Anny Cazenave  
Legos, OMP, Toulouse

-----

« L'océan et les changements climatiques »  
Collège de France, 27 mai 2011



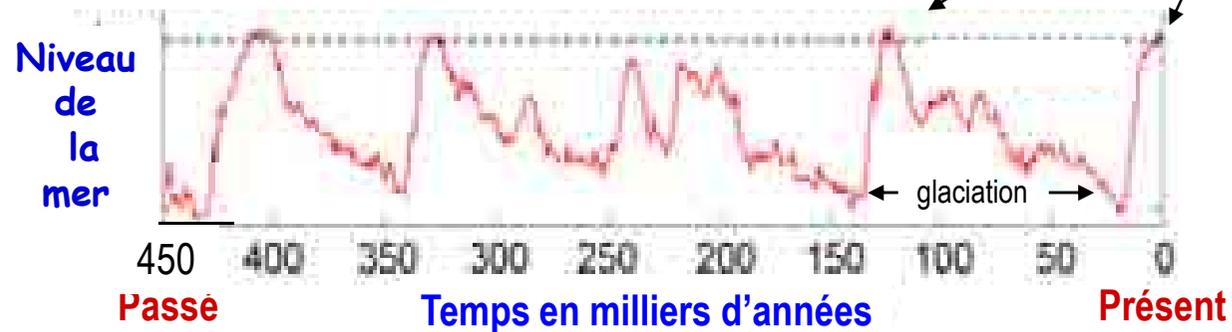
Les fluctuations du niveau de la mer de +/- 100 m au Quaternaire sont dues à la formation/fonte des grandes calottes de glace sur l'hémisphère nord



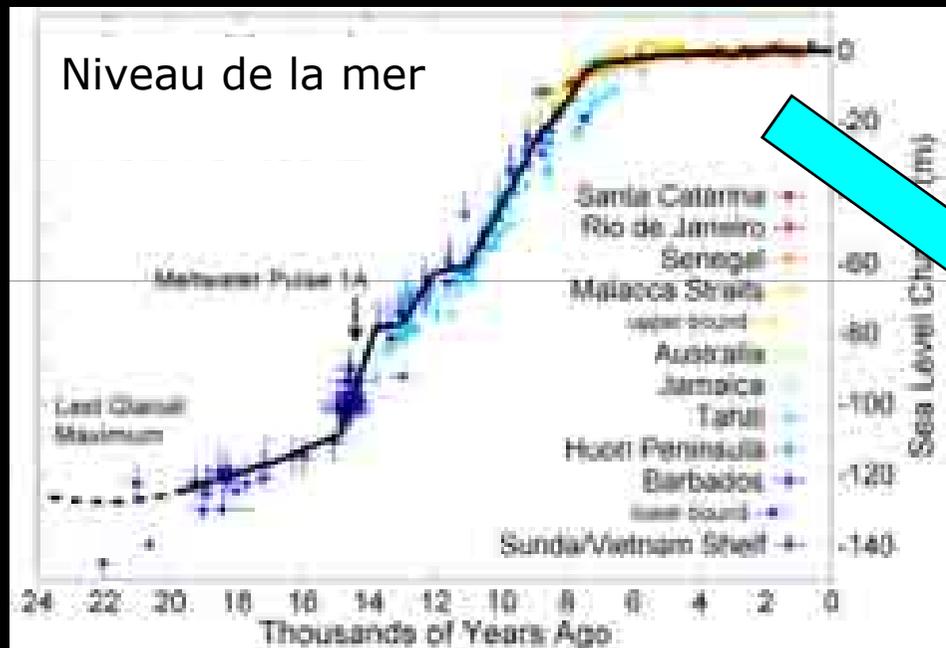
*Période glaciaire*



*Interglaciaire*

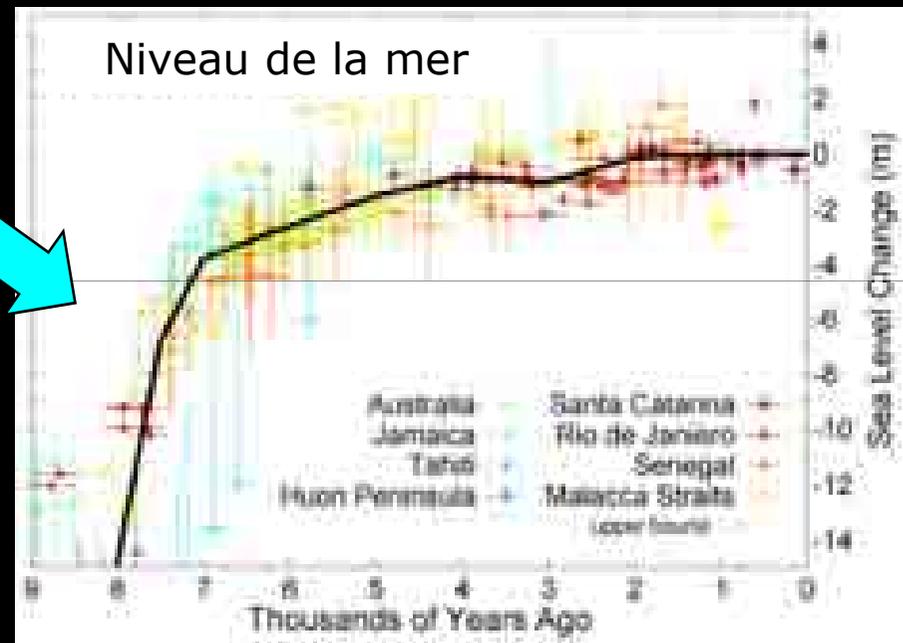


# Evolution du niveau de la mer depuis le dernier maximum glaciaire



Milliers d'années

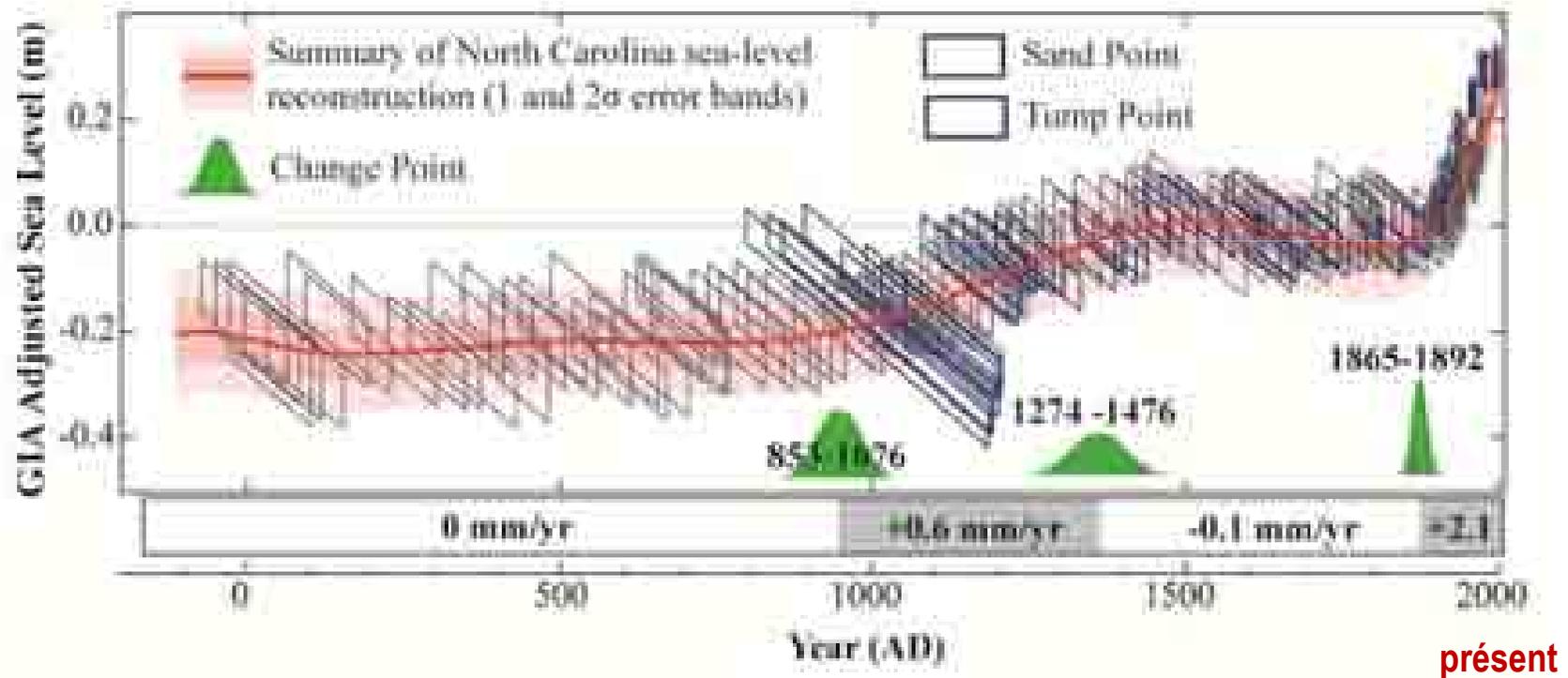
Présent



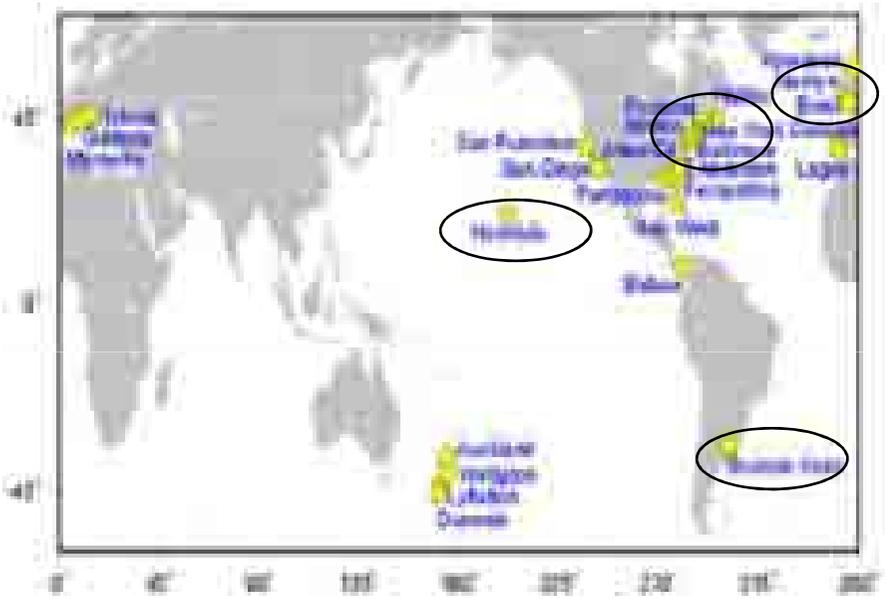
Milliers d'années

Présent

## Evolution du niveau de la mer au cours des 2 derniers millénaires (salt-marsh sediments)



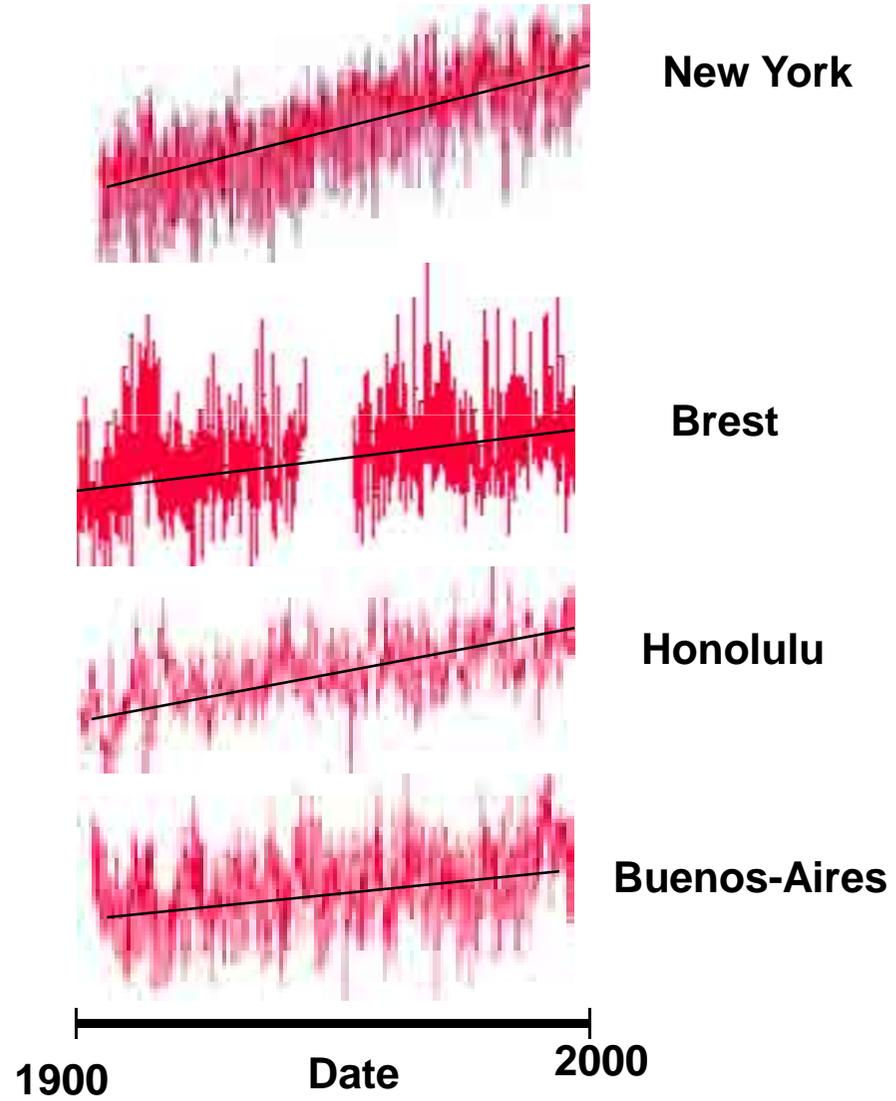
# Hausse du niveau de la mer au 20<sup>ème</sup> siècle d'après les marégraphes historiques



marégraphe

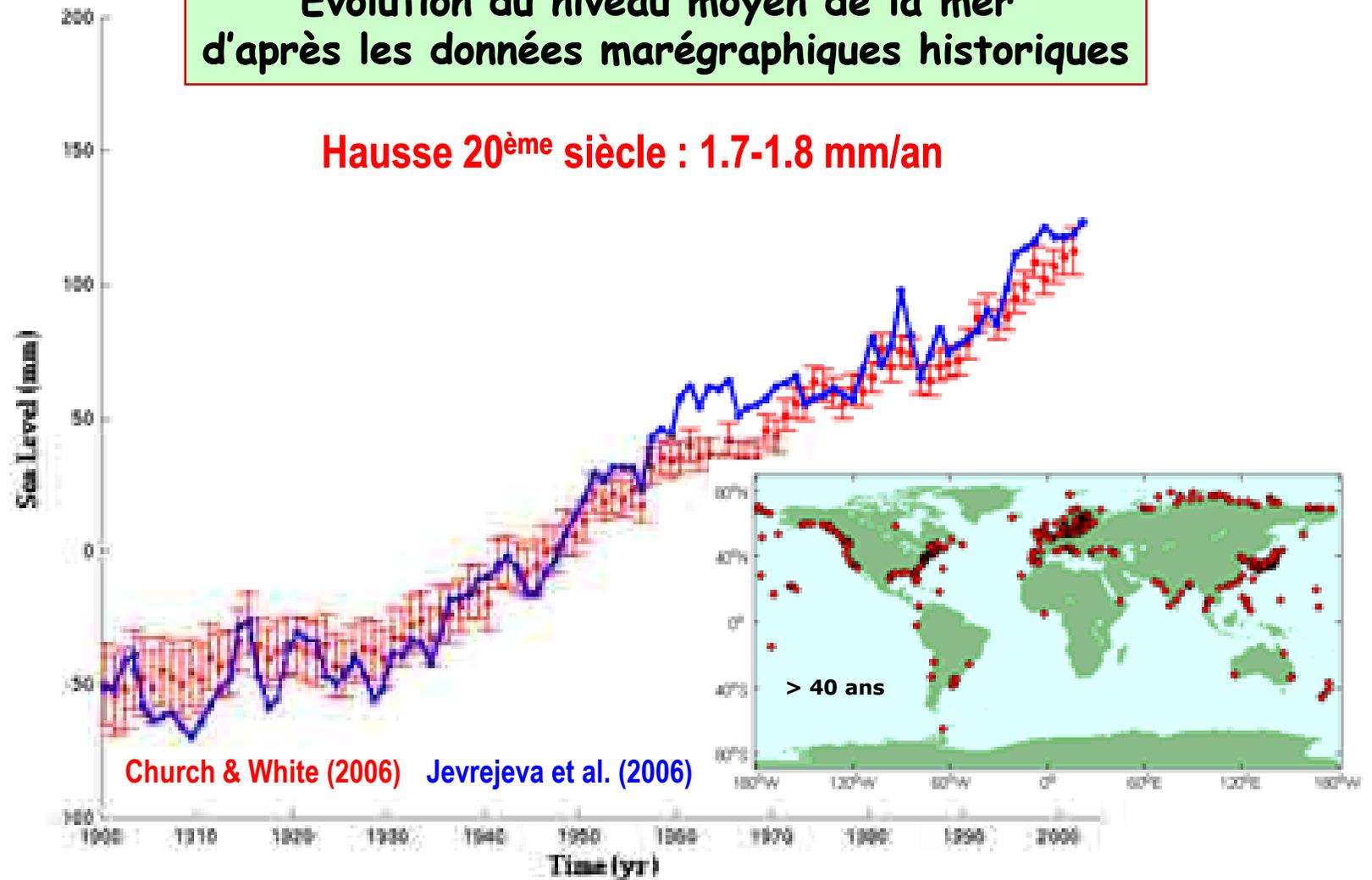


20 cm

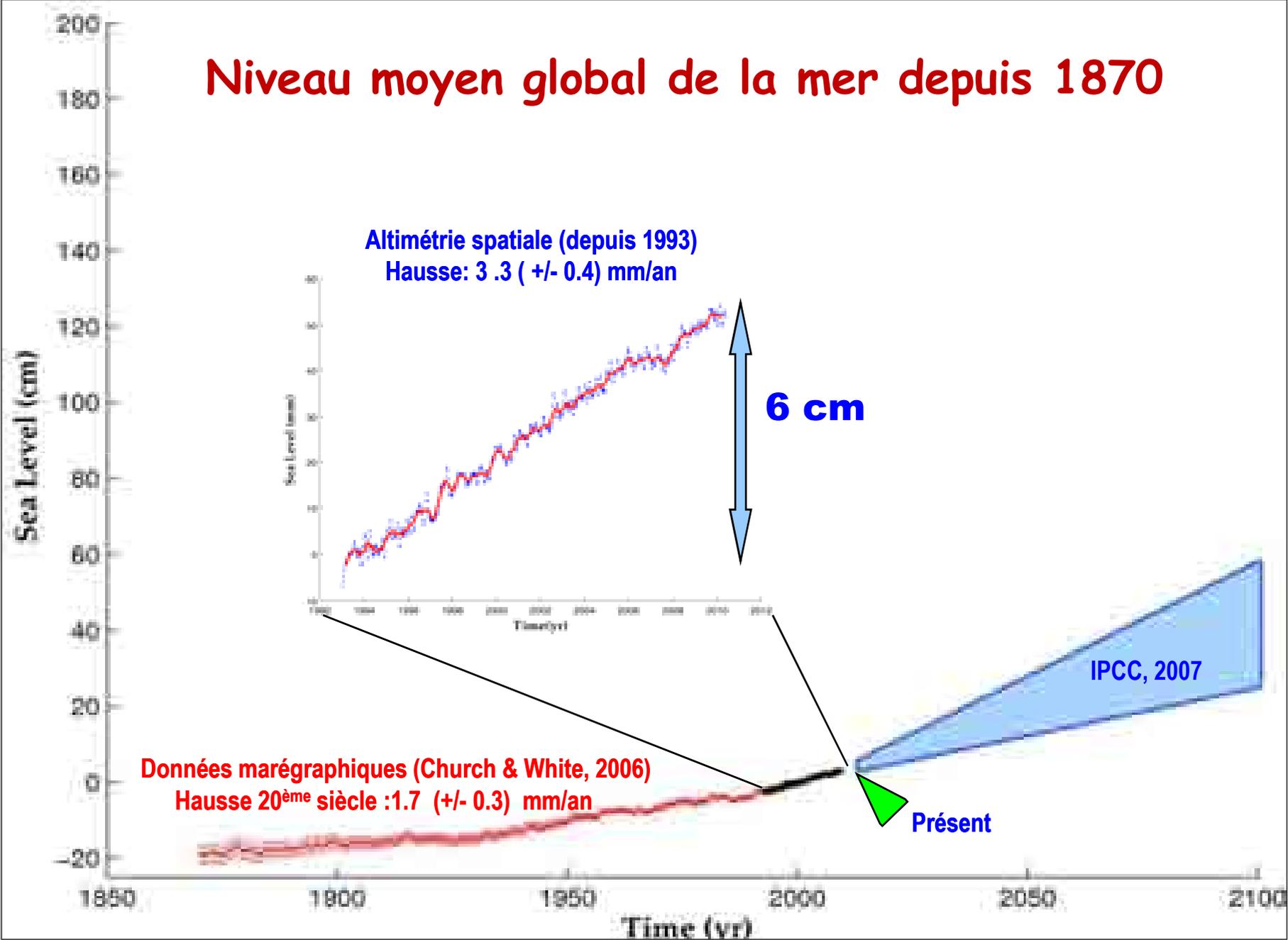


Evolution du niveau moyen de la mer  
d'après les données marégraphiques historiques

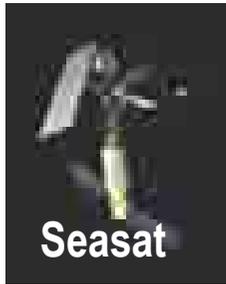
Hausse 20<sup>ème</sup> siècle : 1.7-1.8 mm/an



# Niveau moyen global de la mer depuis 1870



# L'altimétrie spatiale pour étudier les océans



Seasat

1978



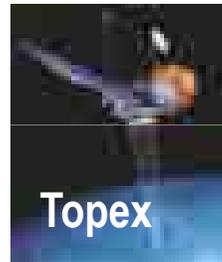
Geosat

1985



ERS-1/2

1991; 1995



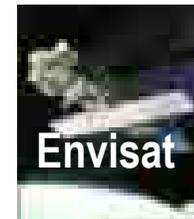
Topex

1992



Jason-1

2001



Envisat

2002



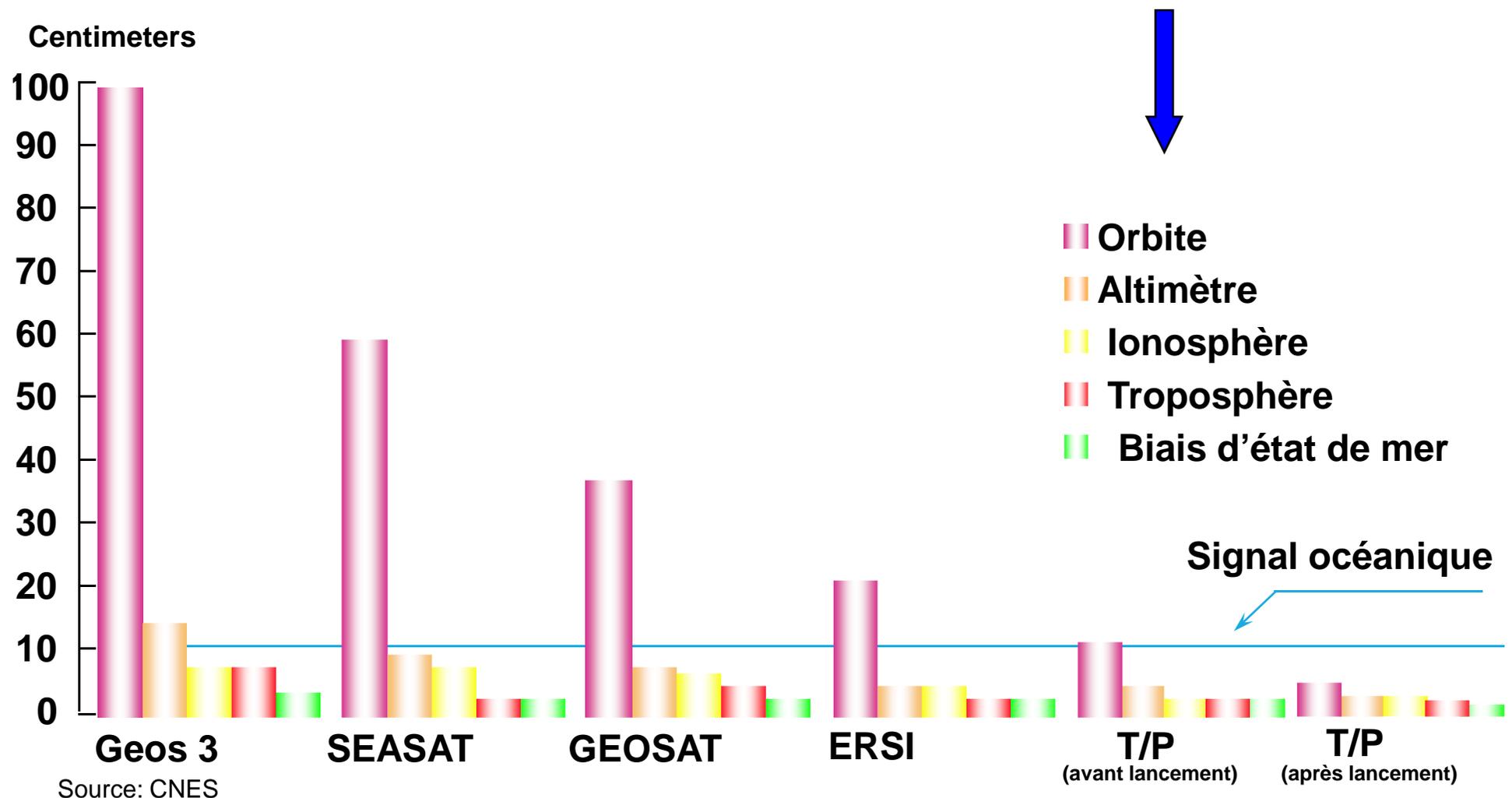
Jason-2



Altimétrie de haute précision 2008

# Performance des missions altimétriques

- La précision de restitution de la topographie de surface de la mer est liée principalement à la maîtrise de 5 postes d'erreur



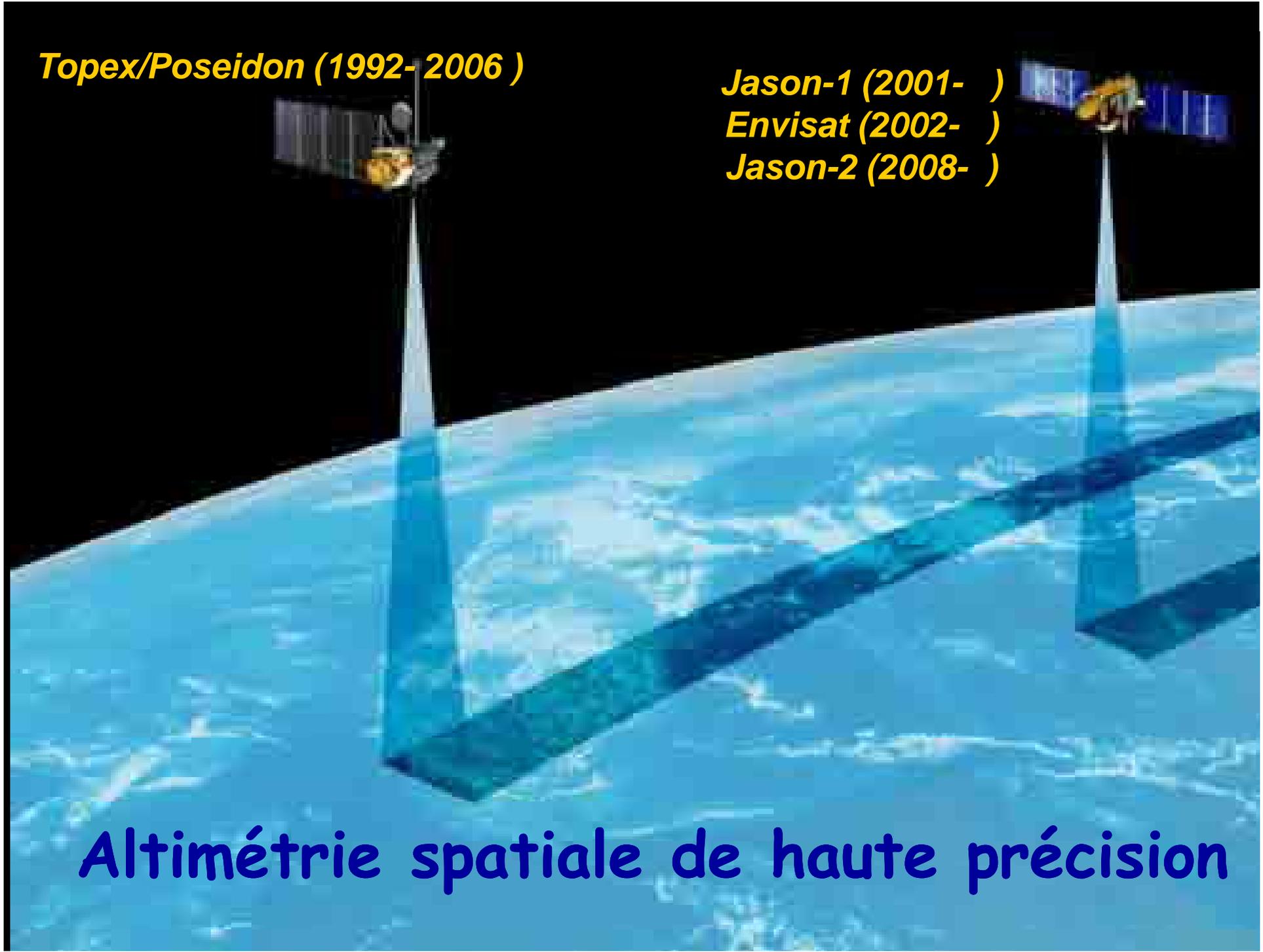
*Topex/Poseidon (1992- 2006 )*

*Jason-1 (2001- )*

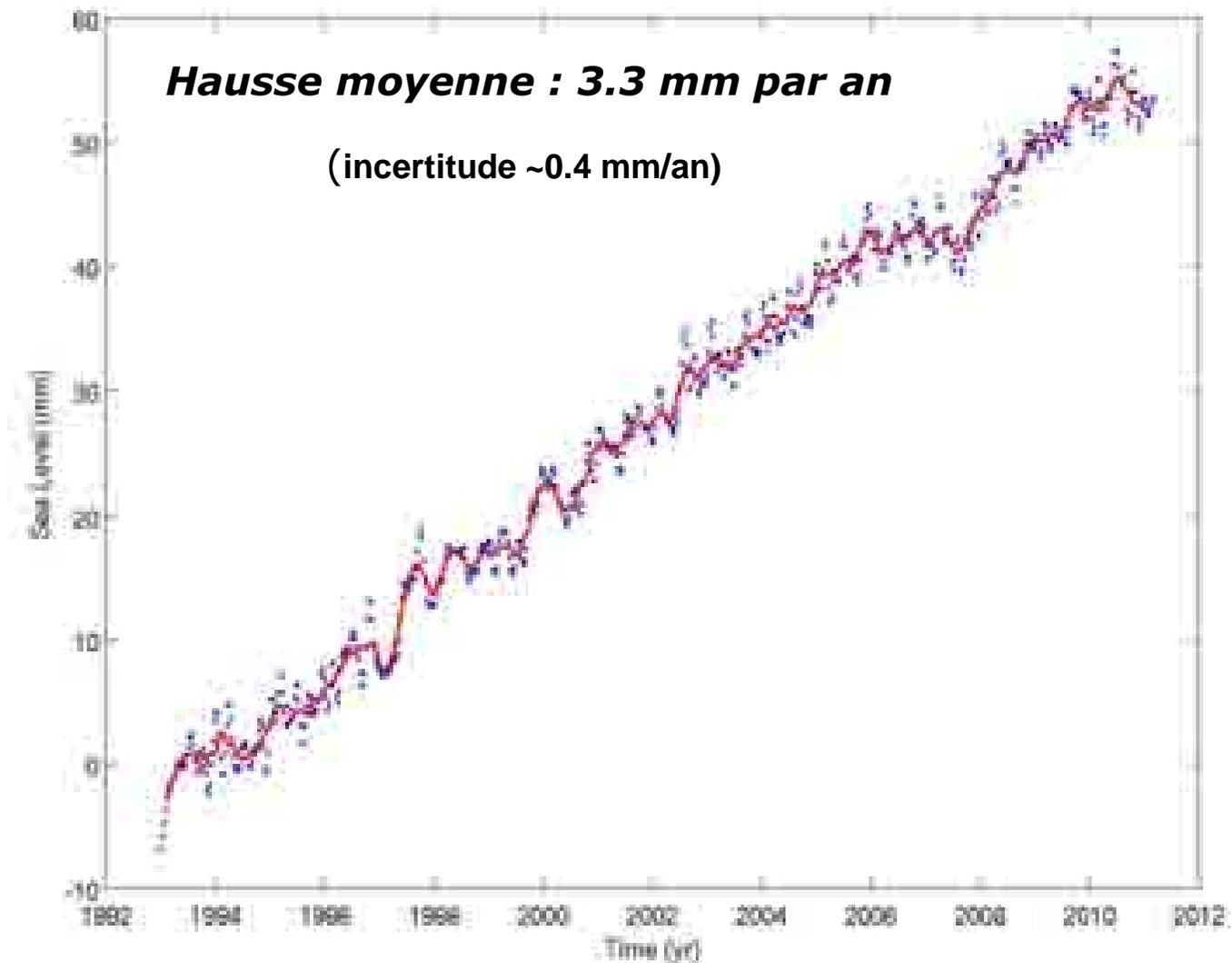
*Envisat (2002- )*

*Jason-2 (2008- )*

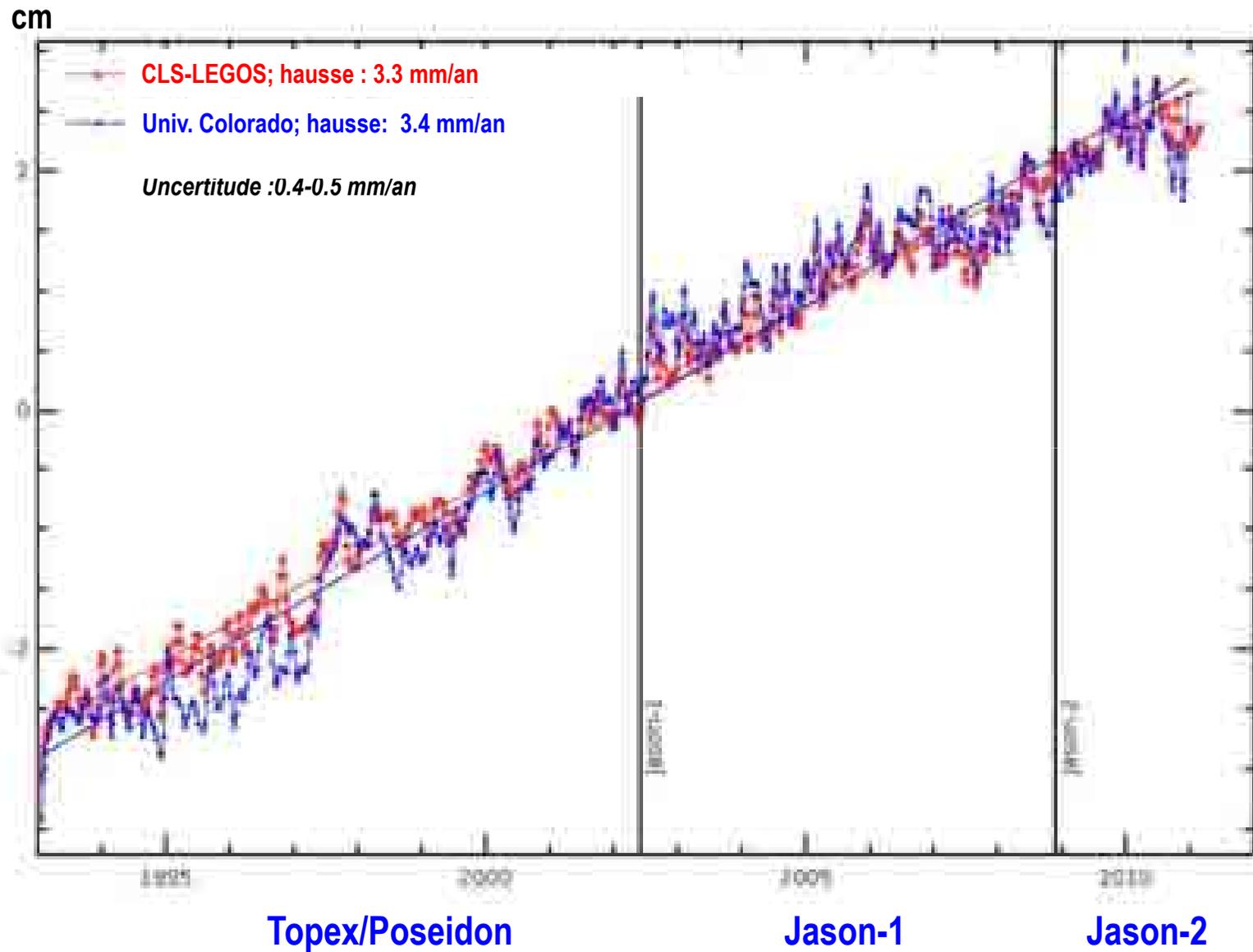
**Altimétrie spatiale de haute précision**



Evolution du niveau moyen de la mer entre janvier 1993 et mars 2011 mesurée par les satellites altimétriques Topex/Poseidon et Jason-1&2



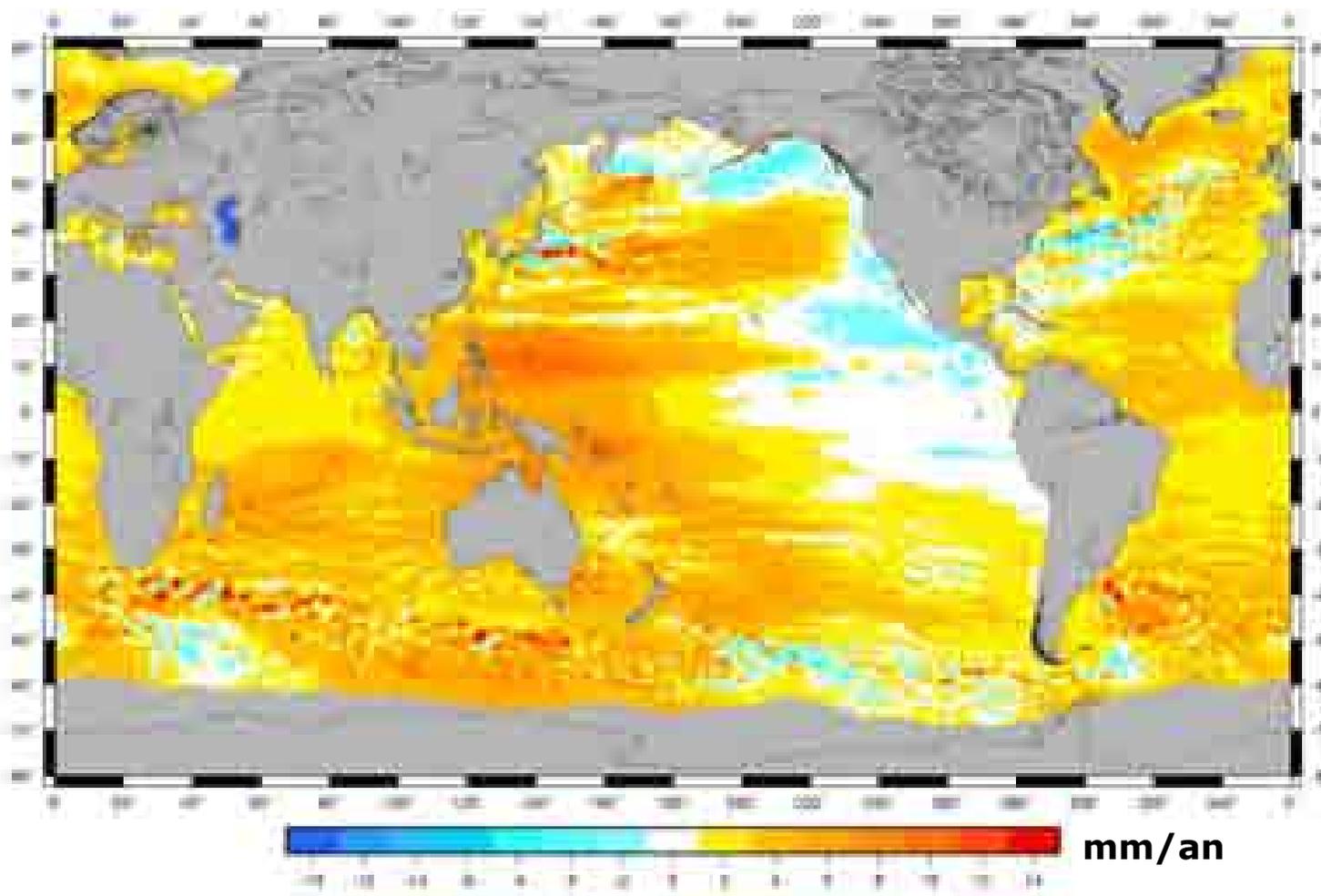
## Evolution du niveau moyen de la mer entre 1993 et 2011



(Source : CLS)

**La mer ne monte pas de manière uniforme!**

**Distribution régionale des vitesses de variation du niveau de la mer (1993-2010)**



# Hausse du niveau moyen de la mer

→ 2 causes principales

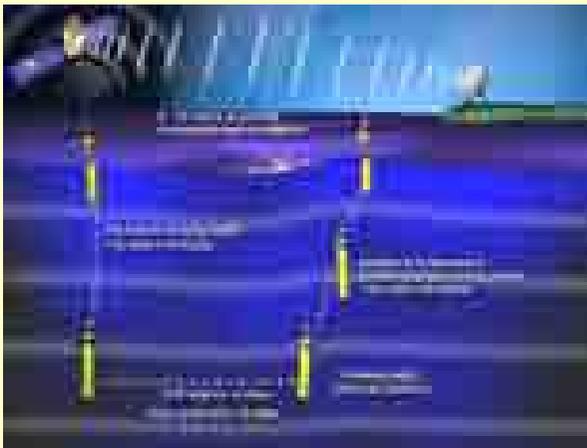
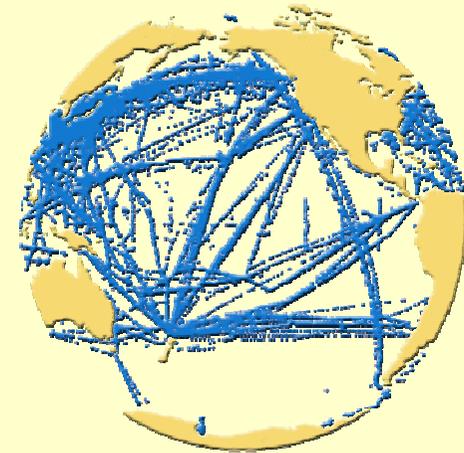


- Fonte des glaces continentales
- Réchauffement de l'océan

# Mesures de température de l'océan (XBT/bateaux, puis Argo)



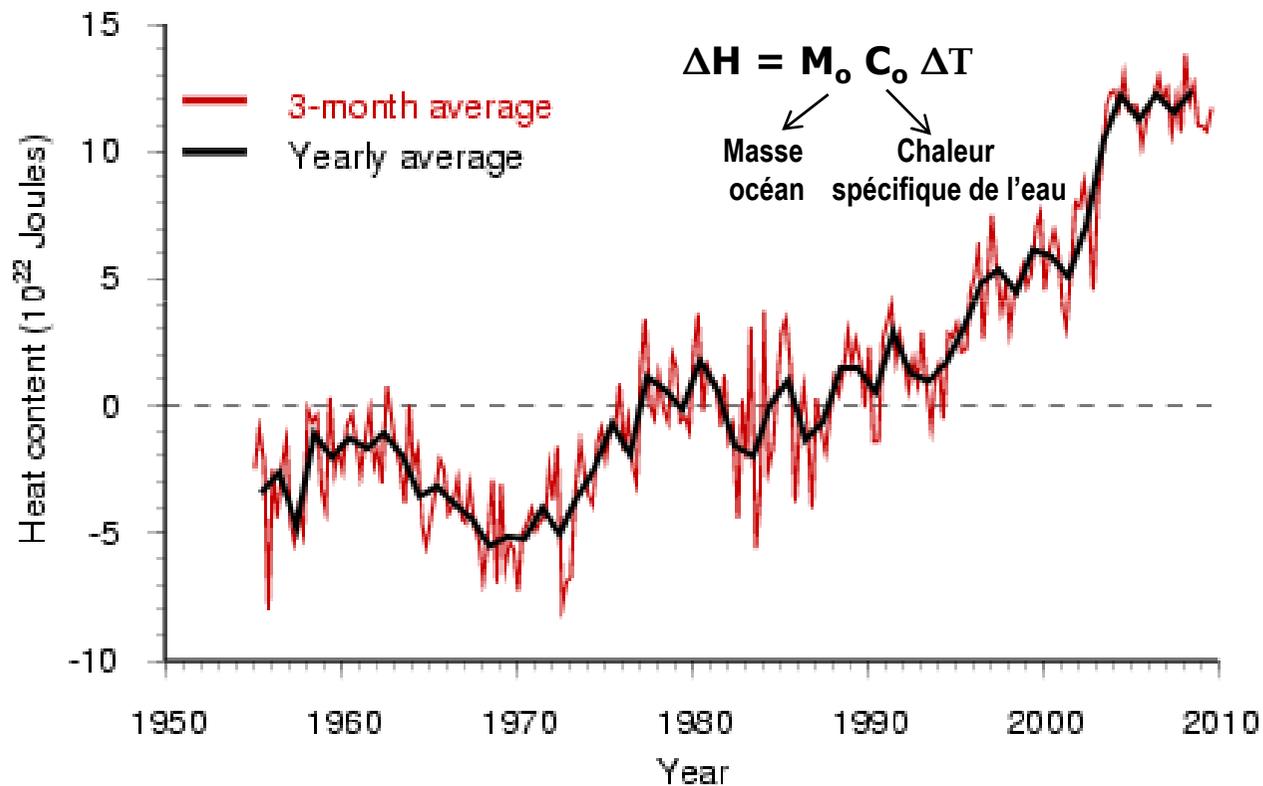
Principales  
routes  
maritimes



Depuis 2000 → Flotteurs profilants 'Argo'



## Evolution du contenu thermique de l'océan depuis 1955

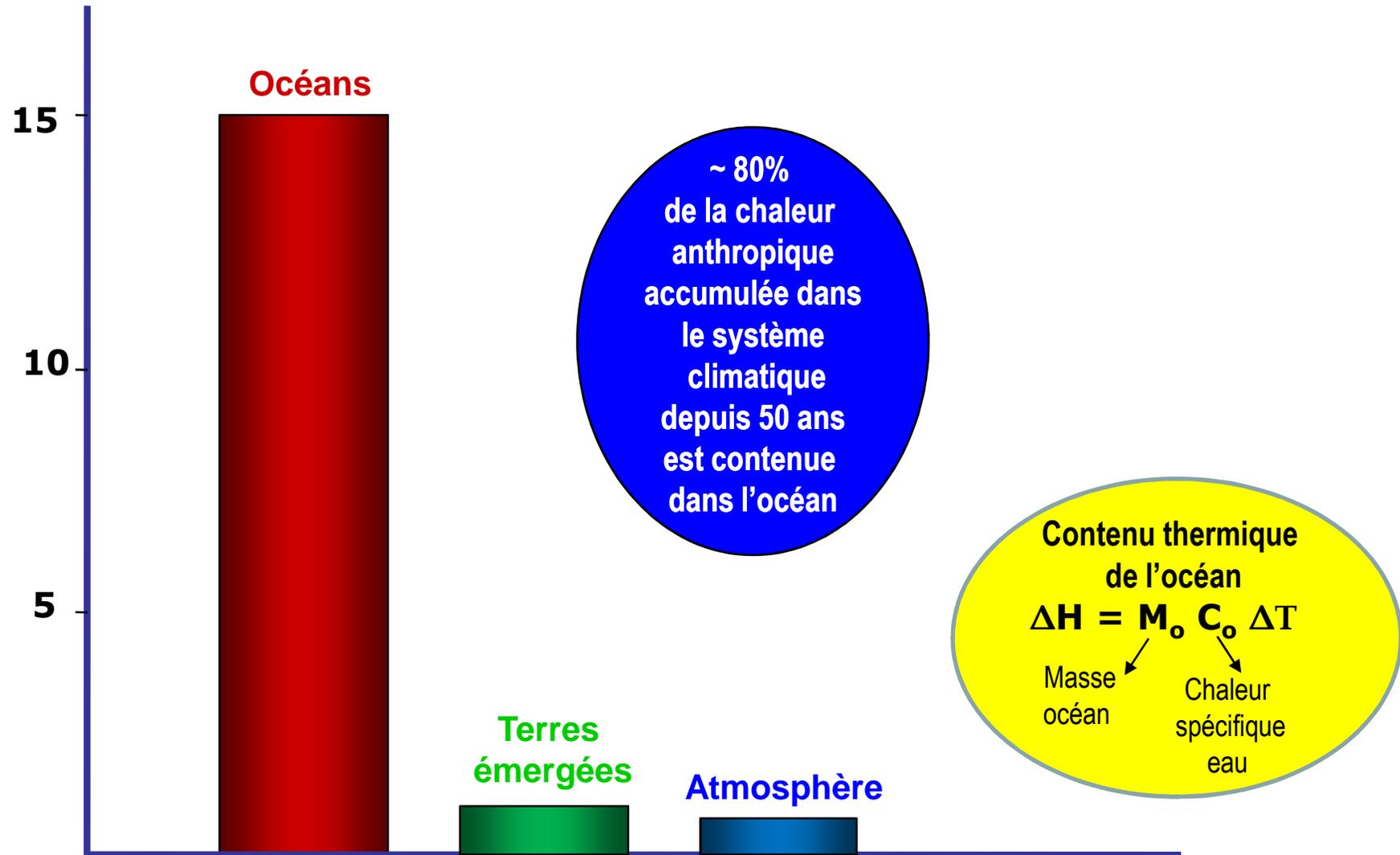


*Levitus et al., 2009*

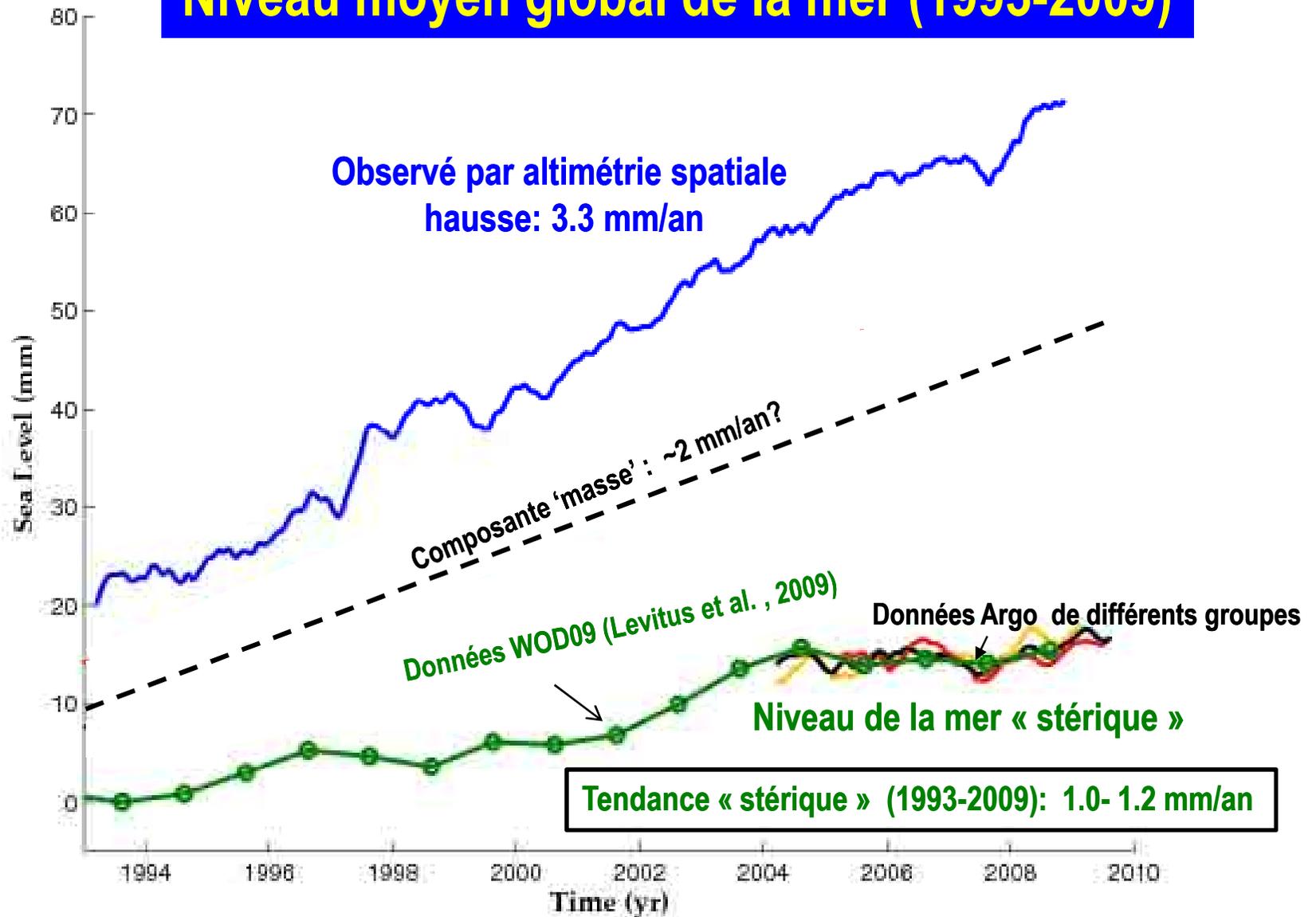
# Bilan thermique du système climatique

(50 dernières années)

Contenu thermique ( $10^{22}$  J)



# Niveau moyen global de la mer (1993-2009)



# Glaces continentales

**Antarctique**



**Glaciers**



**Groenland**

## Recul quasi généralisé des glaciers depuis plusieurs décennies



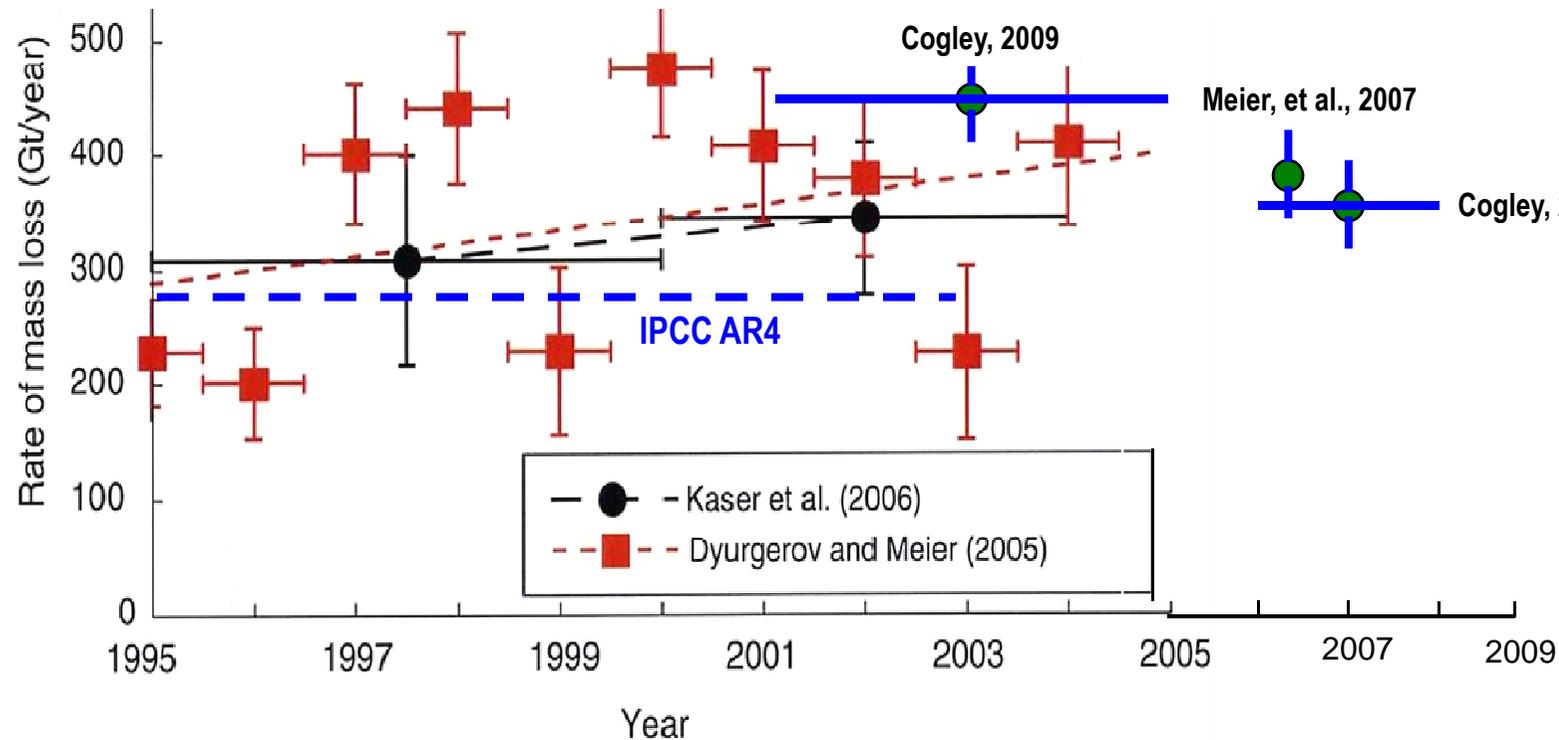
*Le glacier Rhone (Alpes suisses)*

**1900**

**2008**

# Contribution des glaciers au niveau de la mer

Perte annuelle de glace (Gt/an) (*Meier et al., 2007 + résultats récents*)

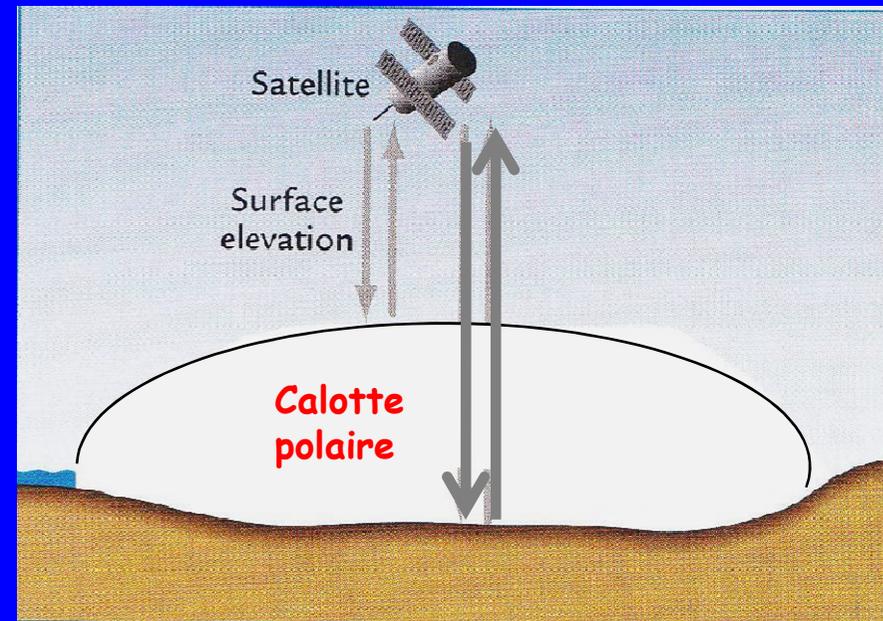


**Contribution moyenne (1993-2009): ~ 1 mm/an**

**IceSat**

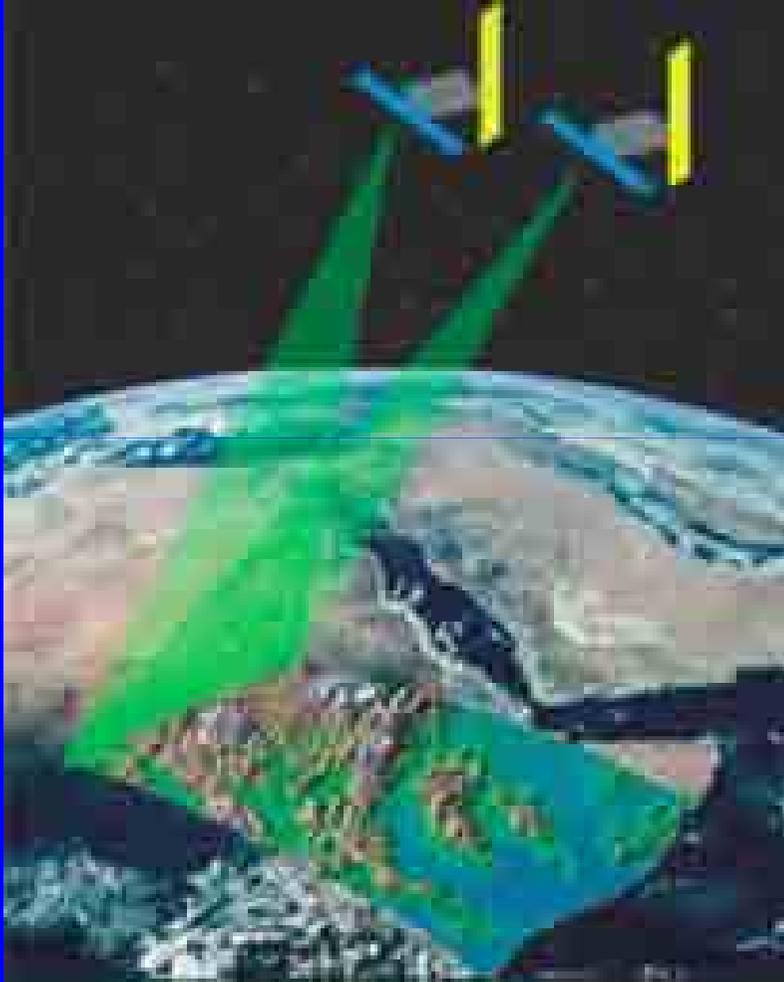


## Altimétrie Radar et Laser

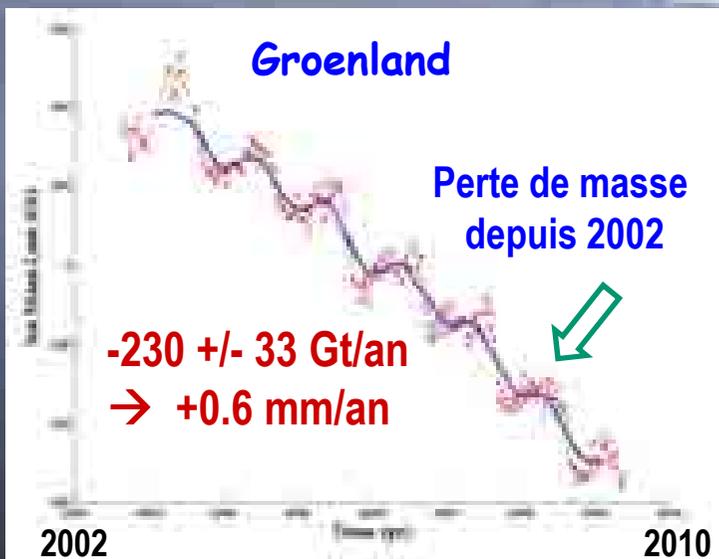
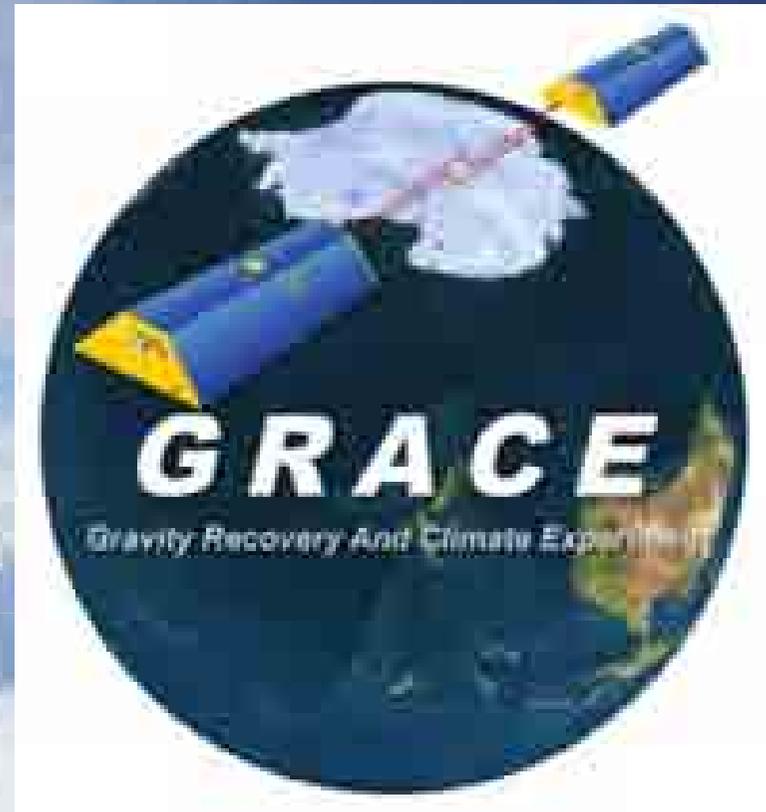


➔ Variation de l'altitude de la calotte

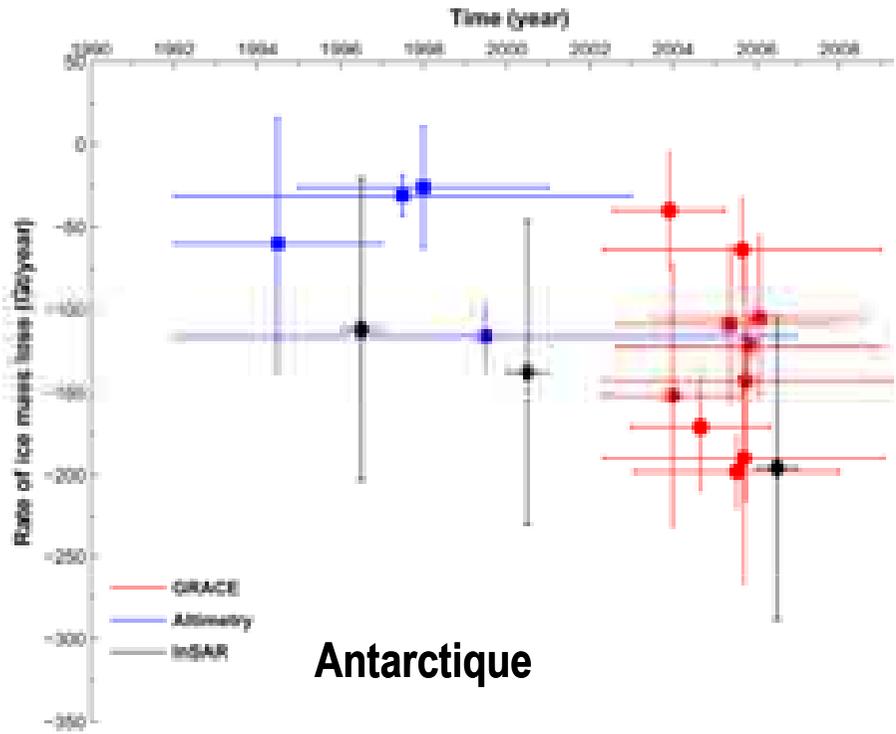
# Interférométrie Radar



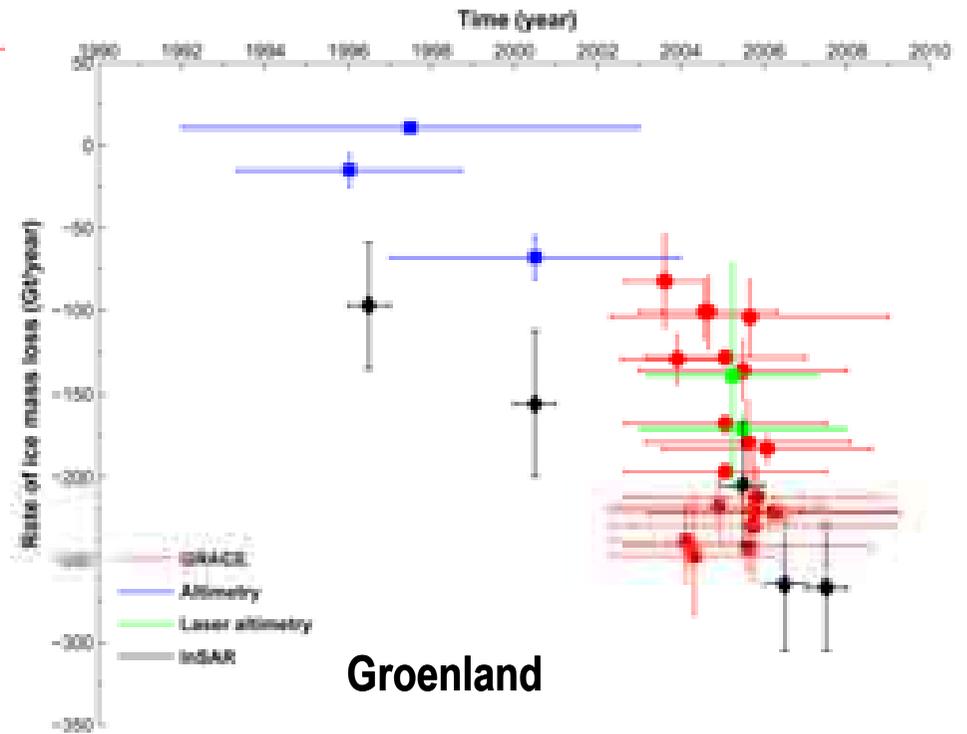
# GRACE mesure la diminution des glaces des calottes polaires



# Perte annuelle de glace (milliards de tonnes par an)

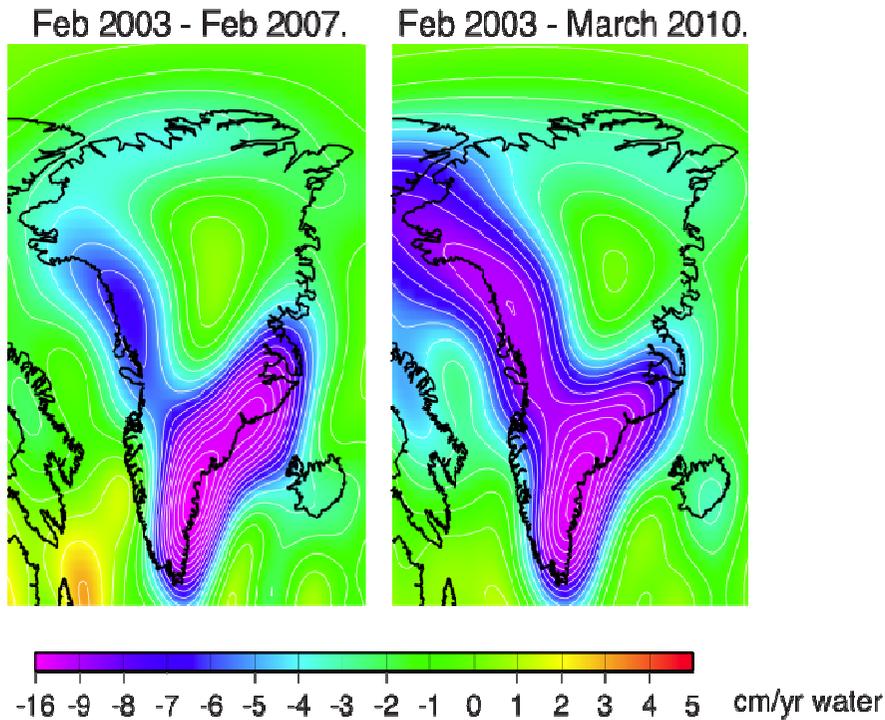


Antarctique

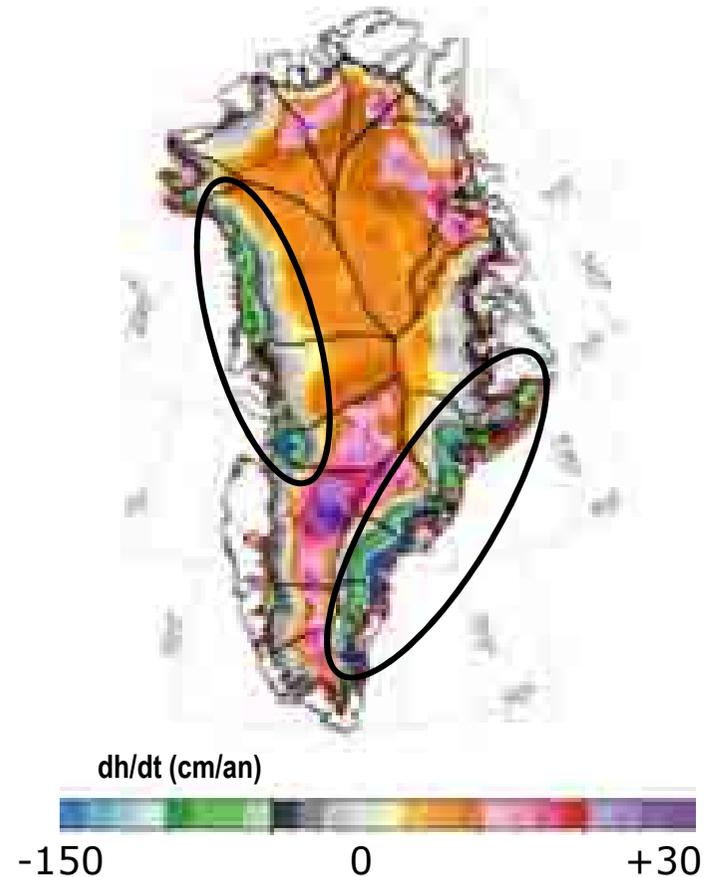


Groenland

# Distribution régionale de la perte de glace au Groenland (depuis 2003)

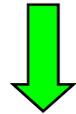


*GRACE (Velicogna and Wahr, 2010)*

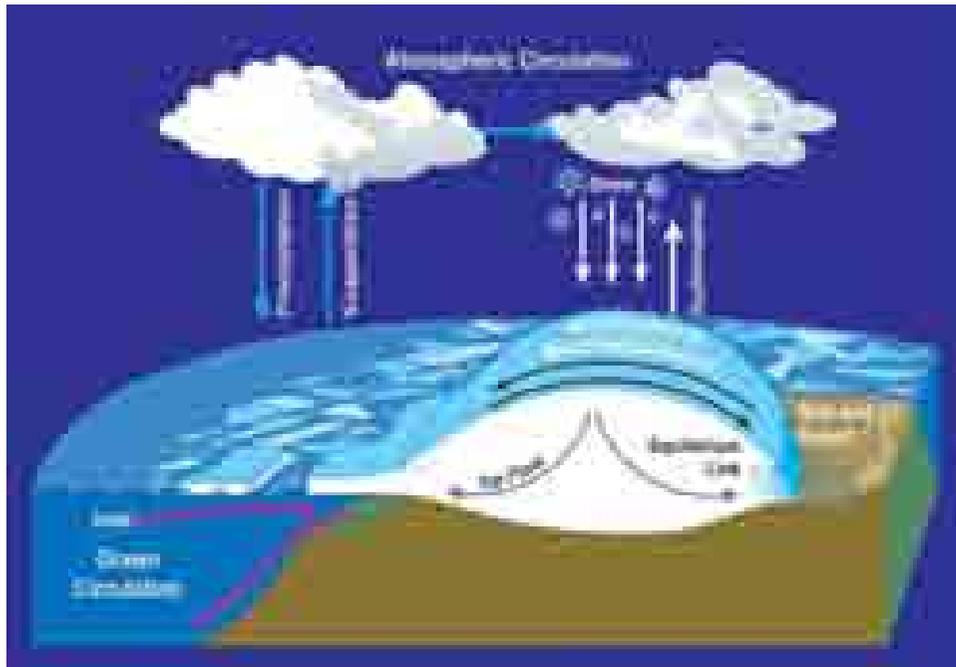


*Altimétrie laser -2003-2007- (Zwally et al., 2011)*

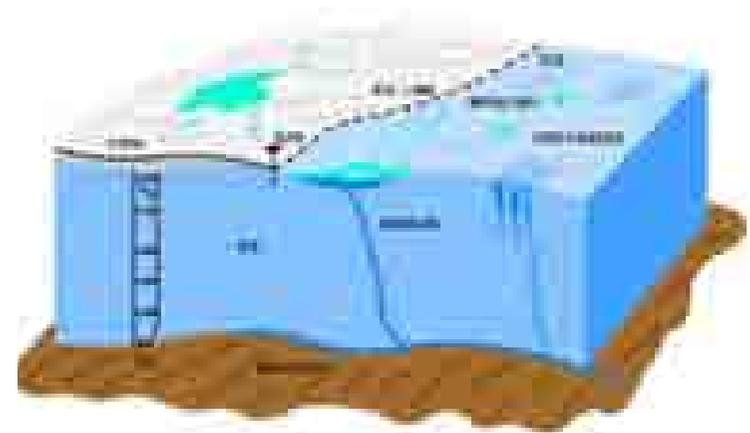
## Instabilités dynamiques des calottes polaires



Differents processus...



+

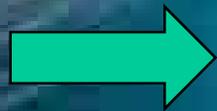




**Effet total des glaces  
sur le niveau de la mer (1993-2009)**

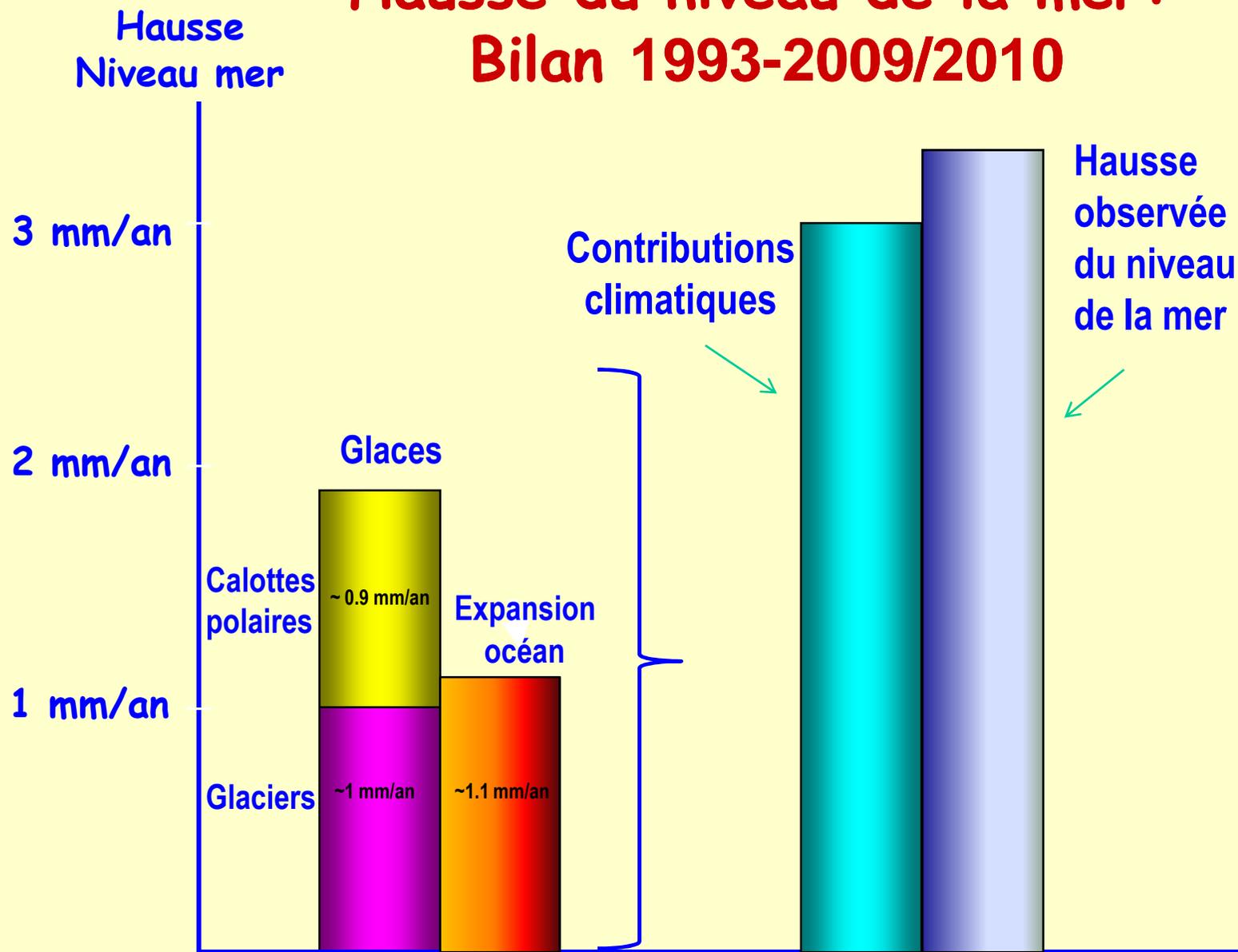
**Glaciers : ~ 1 mm/an**

**Calottes polaires : ~ 1 mm/an**

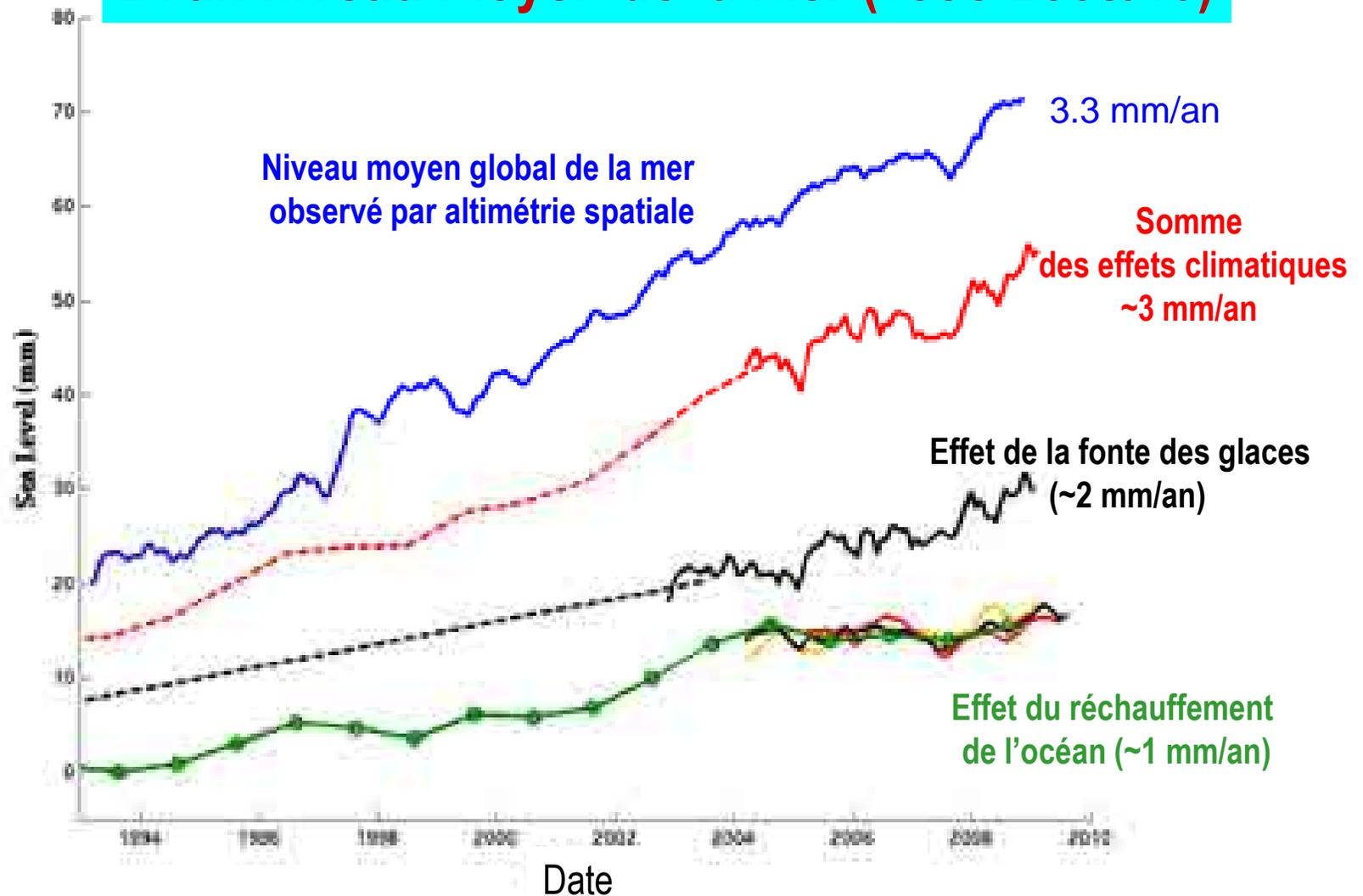


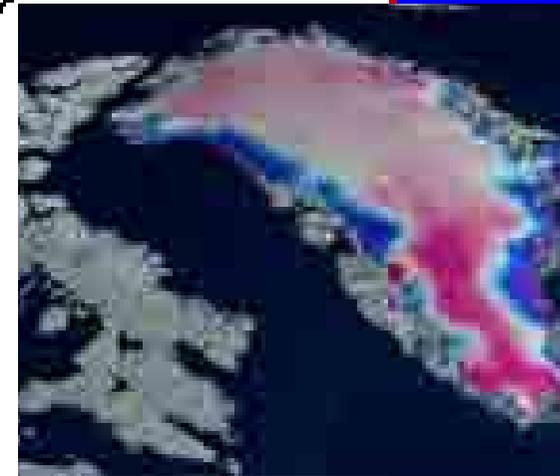
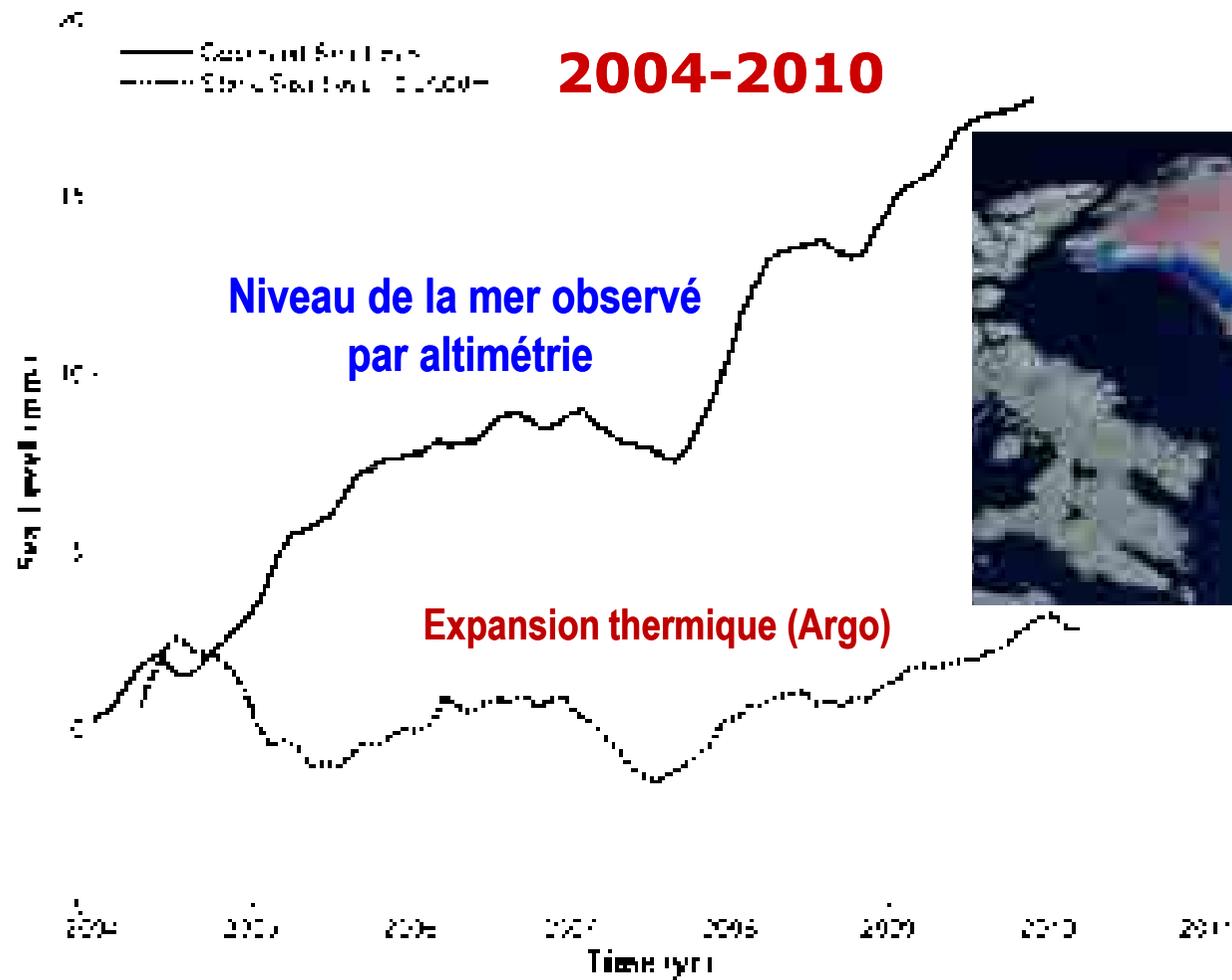
**Total glaces : ~ 2 mm/an**

# Hausse du niveau de la mer: Bilan 1993-2009/2010



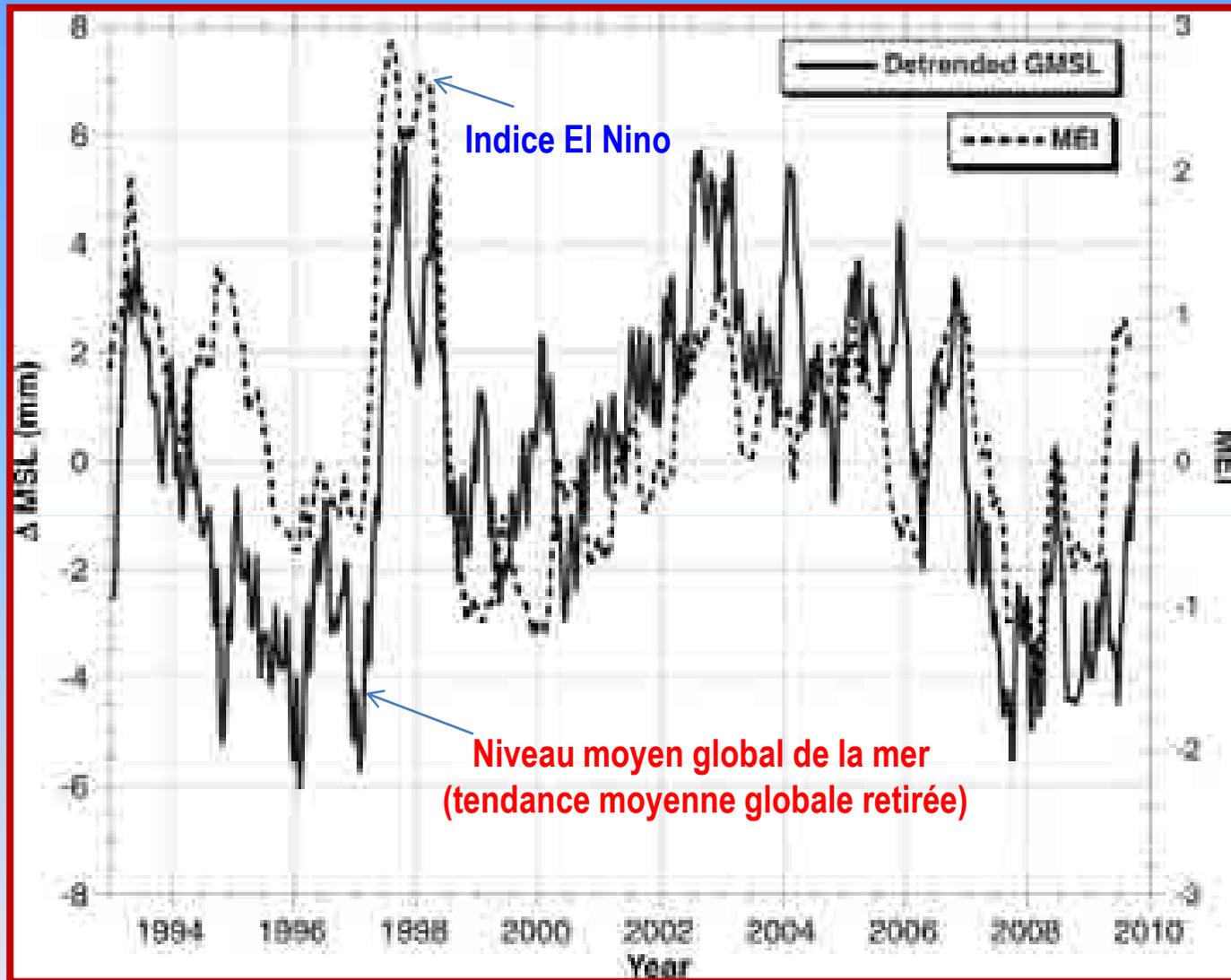
## Bilan niveau moyen de la mer (1993-2009/10)





A photograph of a tropical beach. The foreground shows a sandy beach on the left and a rocky shoreline with white coral rubble on the right. The water is a vibrant turquoise color, and the sky is a clear, deep blue with a few wispy white clouds. The text "Variabilité interannuelle du niveau de la mer" is overlaid in the center of the image.

Variabilité interannuelle du niveau de la mer





Qu'est-ce qui contrôle la corrélation  
entre le niveau de la mer et El Nino?

-Contenu thermique de l'océan?

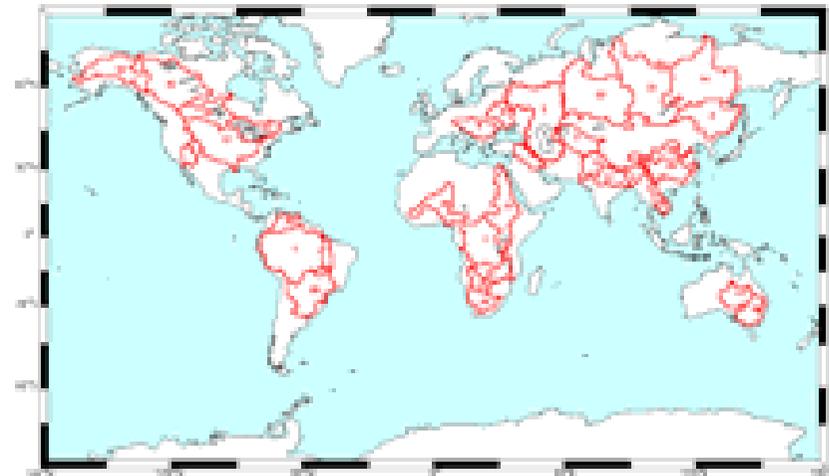
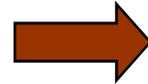
-Hydrologie continentale?



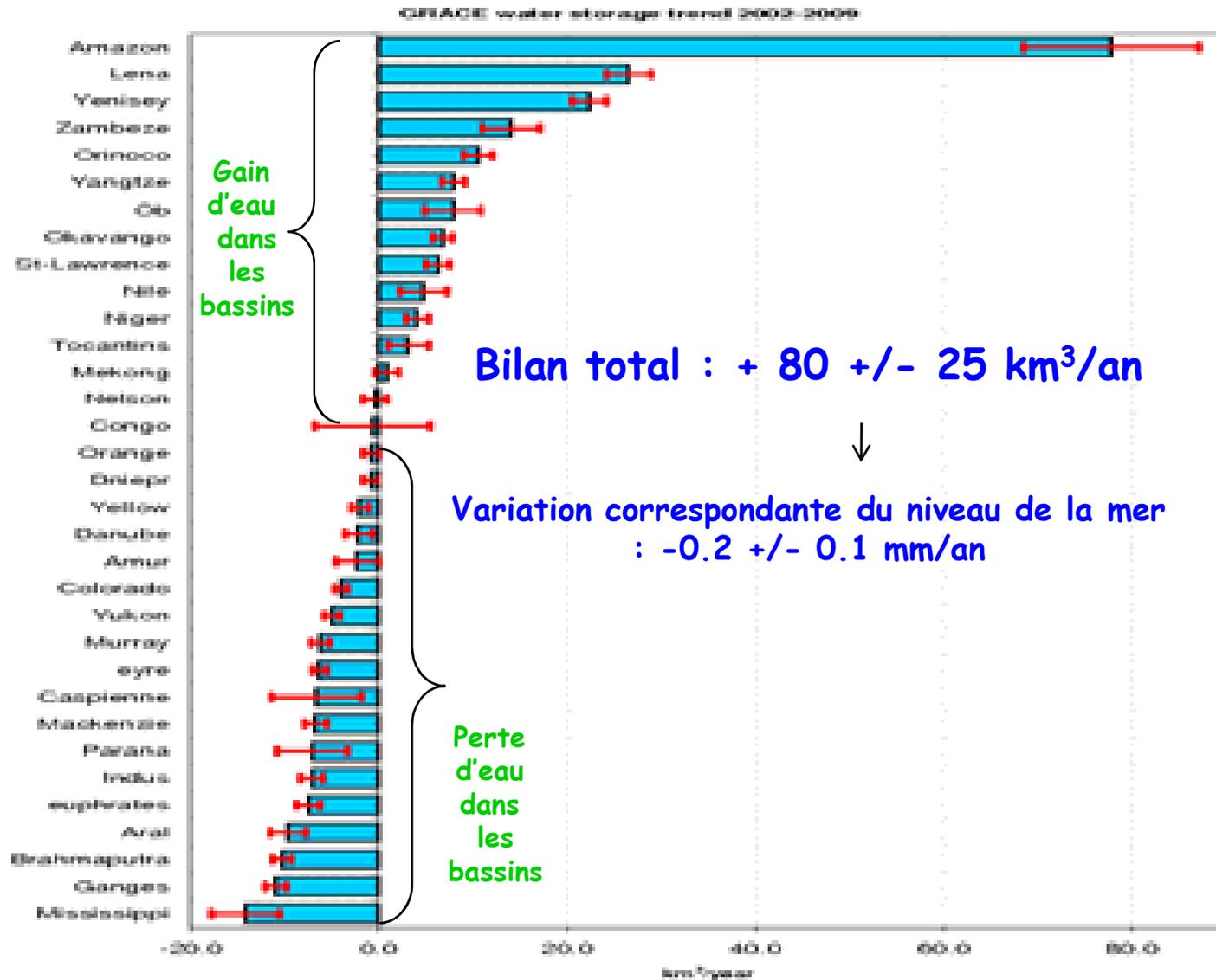
Cycle de l'eau



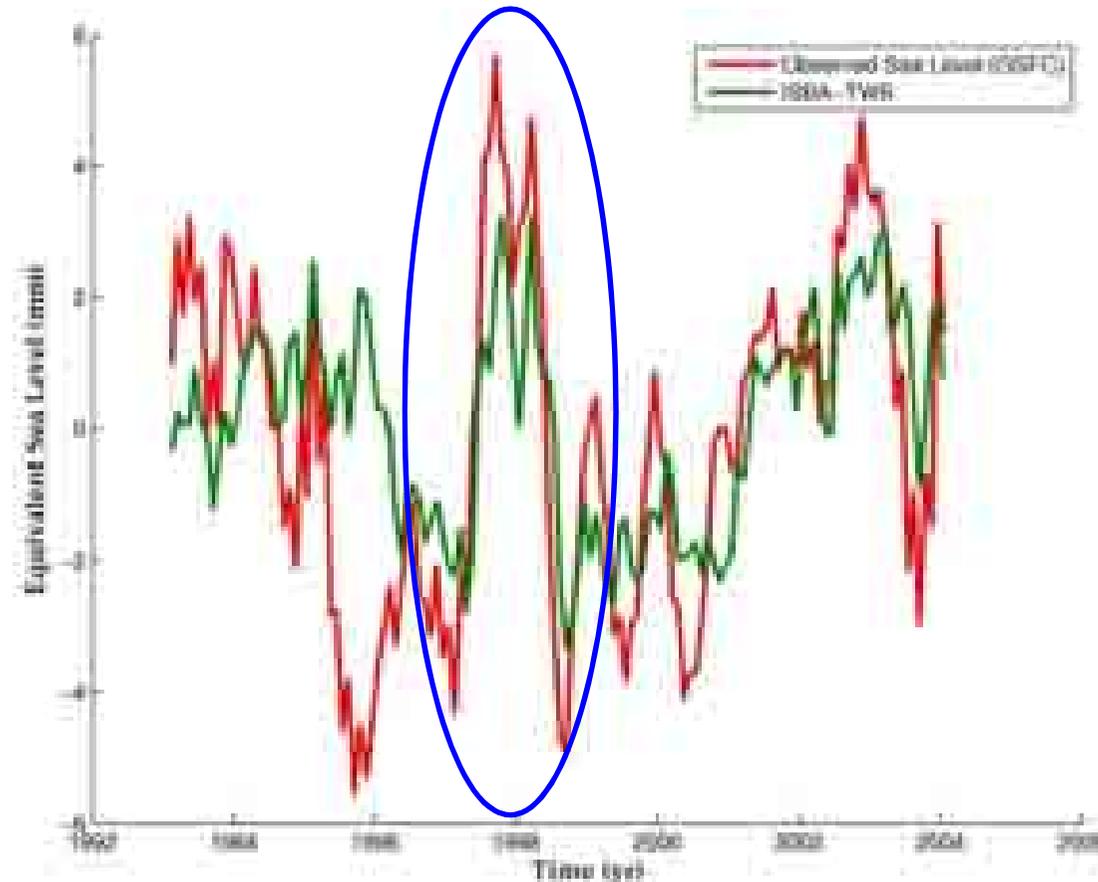
Variations du volume d'eau dans les bassins fluviaux d'après GRACE (depuis 2002)



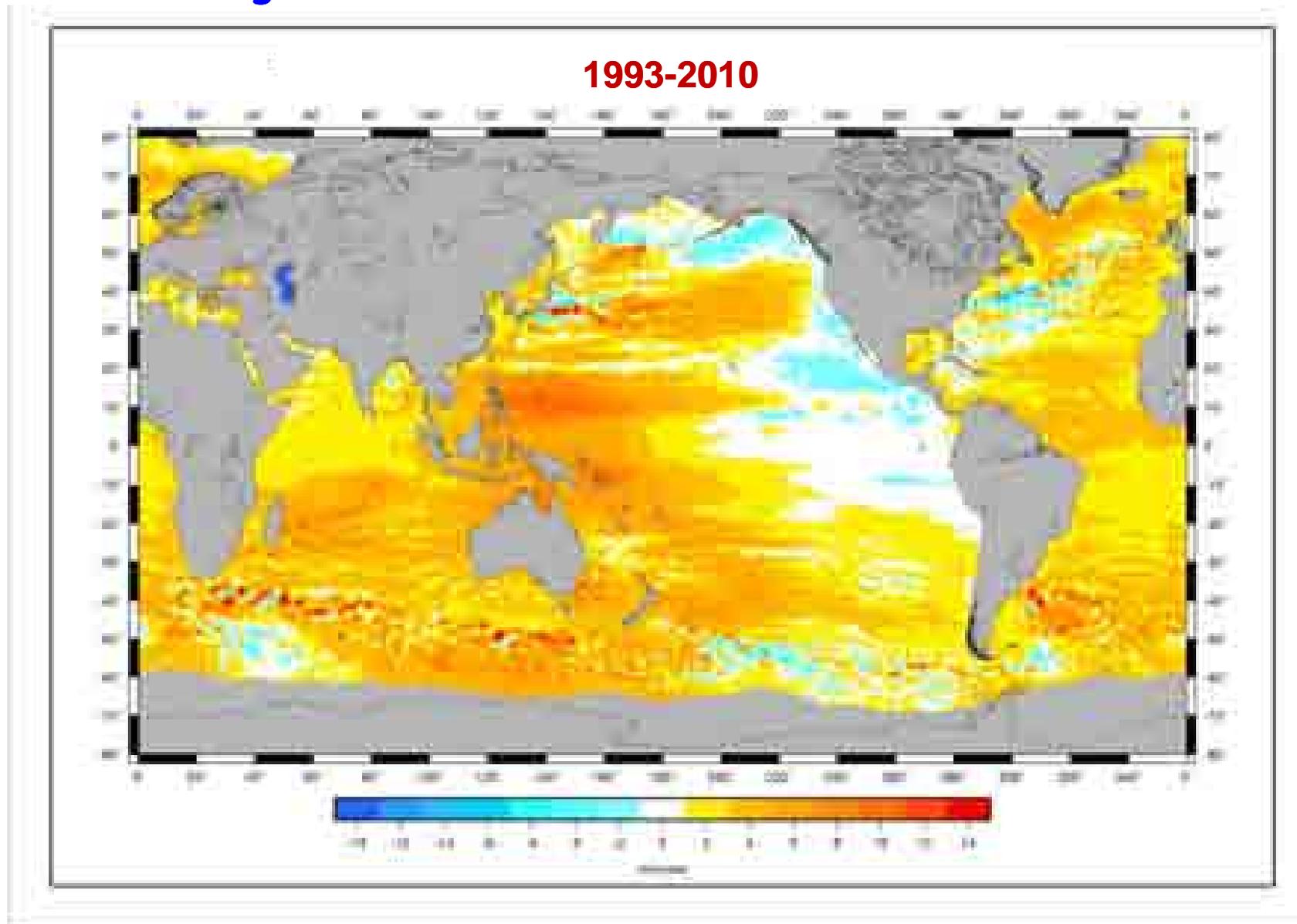
# Variation du volume d'eau dans les grands bassins fluviaux d'après GRACE (km<sup>3</sup>/an) 2002-2009



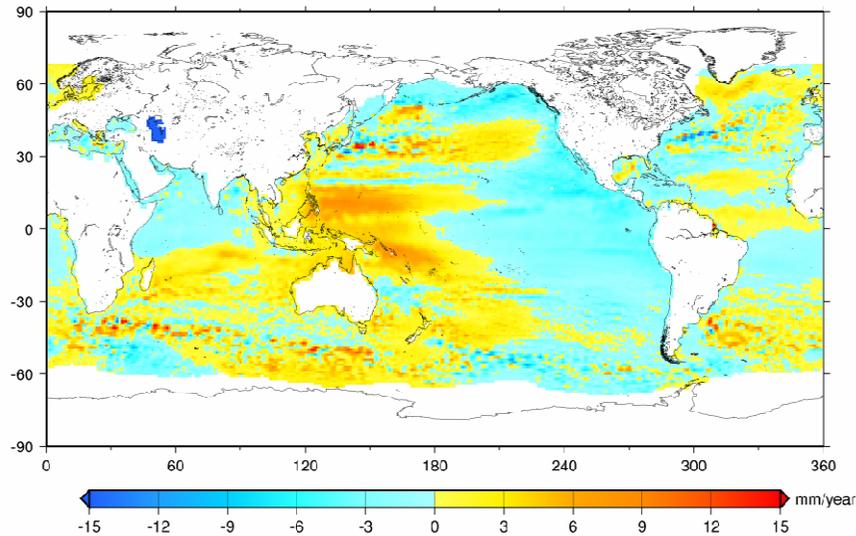
Variabilité interannuelle du niveau de la mer  
→ expliquée!  
(effet des stocks d'eaux continentales)



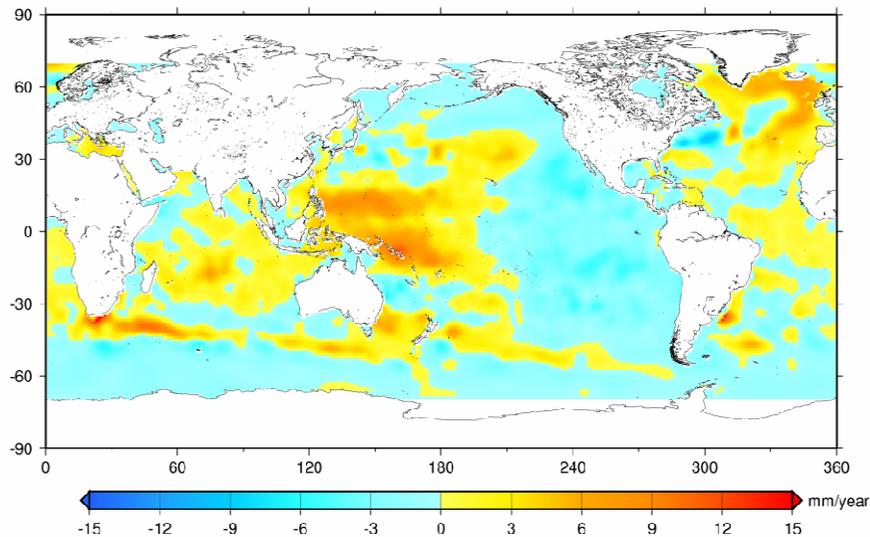
## Variabilité régionale des vitesses de variation du niveau de la mer



## Variabilité régionale des vitesses de variation du niveau de la mer (1993-2009)



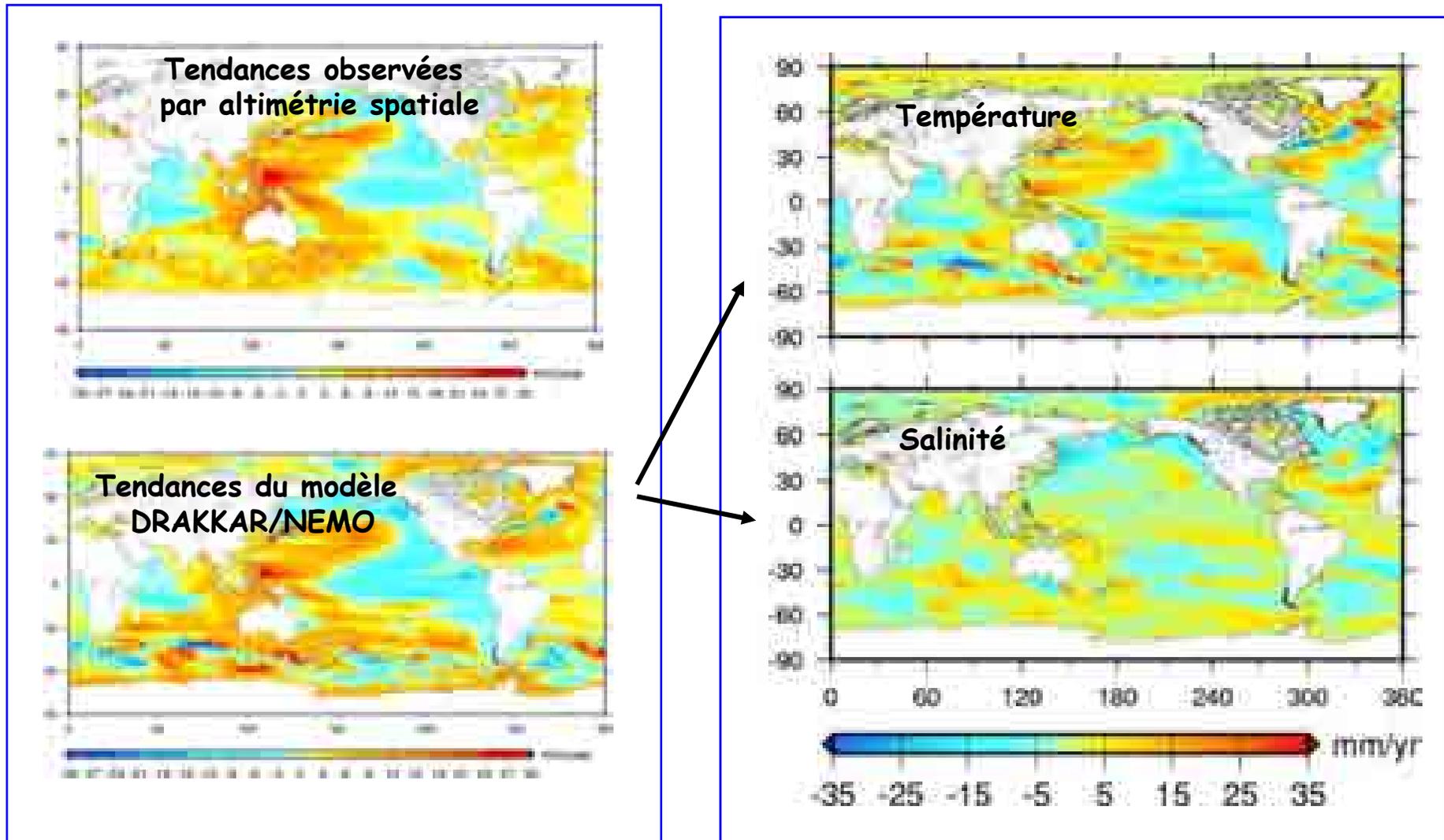
*Observations-altimétrie spatiale-  
(tendance moyenne uniforme de 3.3  
mm/an retirée)*



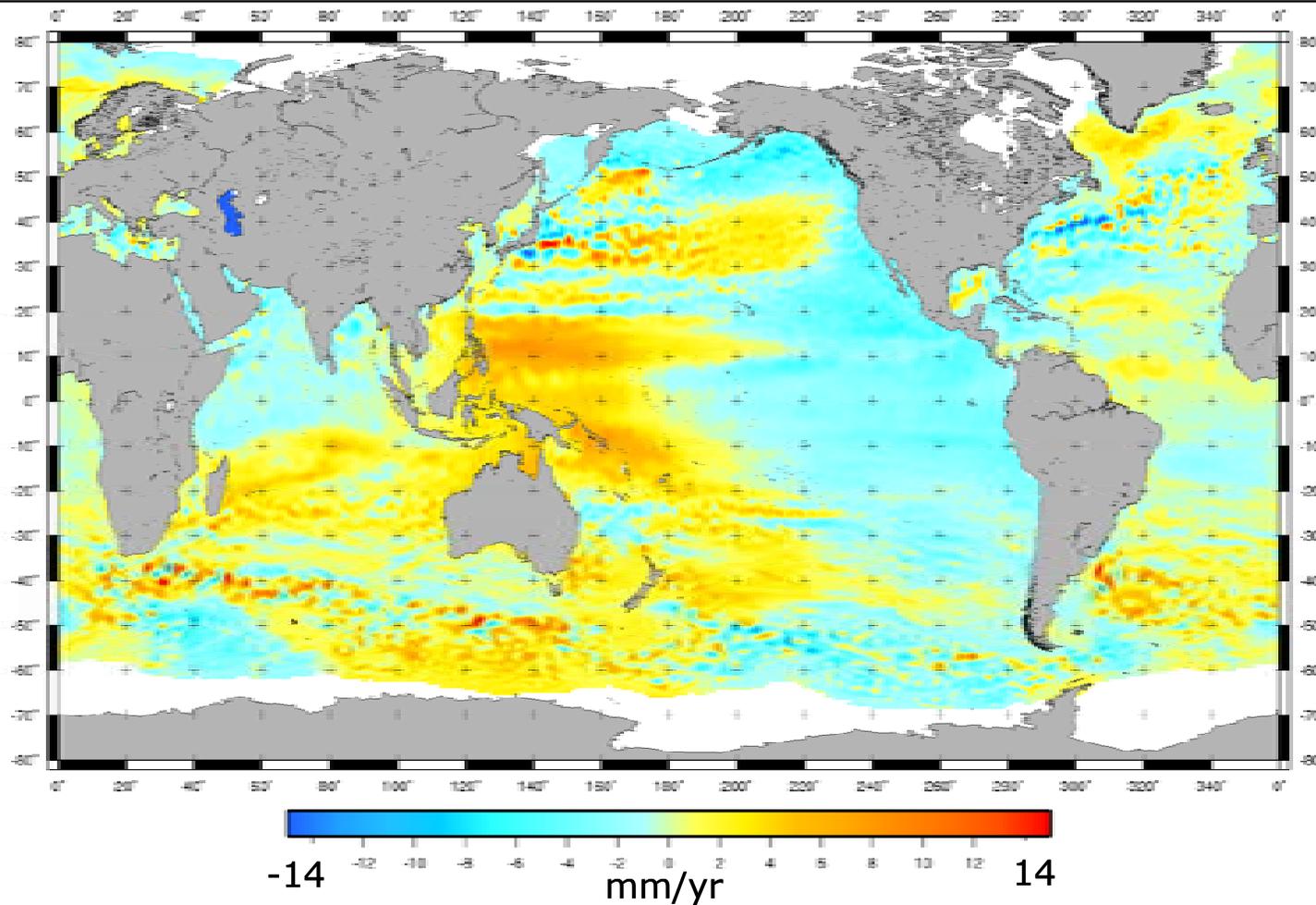
*Variabilité régionale  
de l'expansion thermique  
(tendance moyenne uniforme retirée)*

*(mesures in situ de température  
d'après Levitus et al., 2009)*

# Comparison entre tendances observées par altimétrie et simulations du modèle de circulation générale DRAKKAR/NEMO (pas d'assimilation de données) (1993-2001)



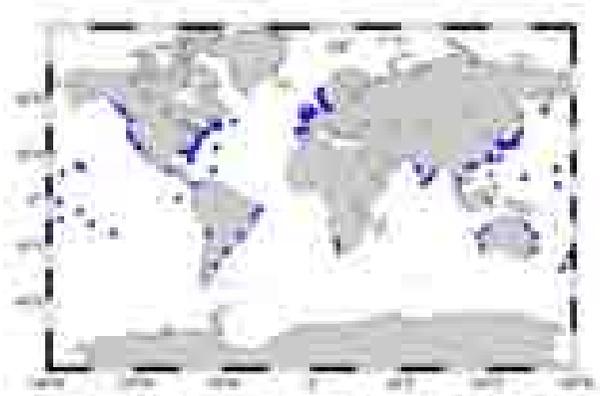
**Variabilité régionale des vitesses de variation du niveau de la mer (altimétrie spatiale)  
(1993- 2010) (tendance moyenne uniforme -3.3 mm/an retirée)**



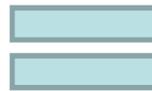
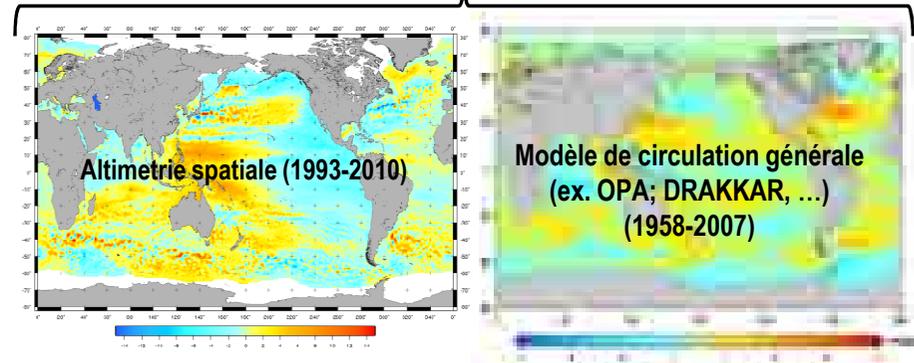
Les structures spatiales observées sur la période altimétrique sont-elles stationnaires?  
Sont-elles liées à la variabilité interne du système climatique?  
Portent-elles l’empreinte des forçages externes (en particulier anthropique)?

# Reconstruction 2-D du niveau de la mer dans le passé (1950 – 2010)

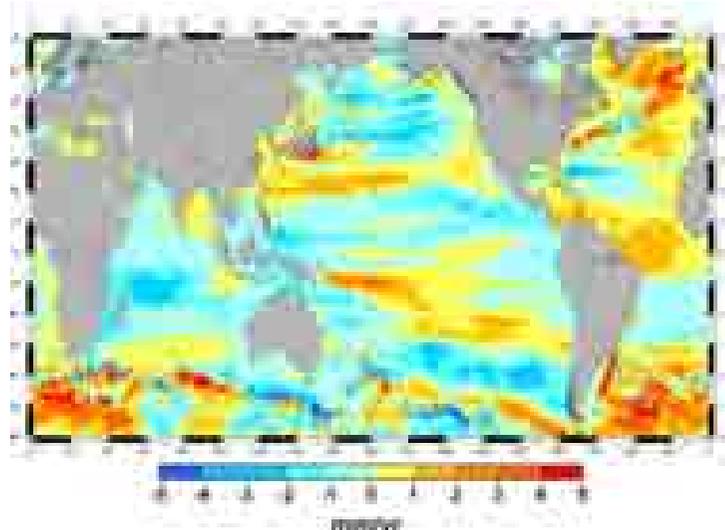
Marégraphes (1950-2010)



Séries temporelles de grilles de niveau de mer



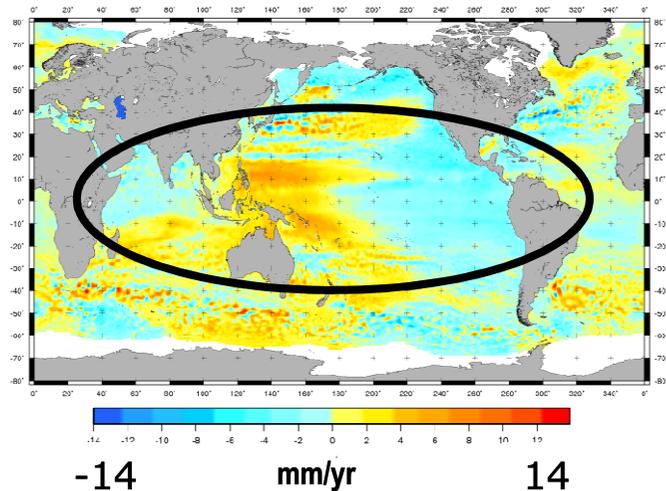
Reconstruction: séries temporelles de grilles du niveau de la mer (1950-2010)



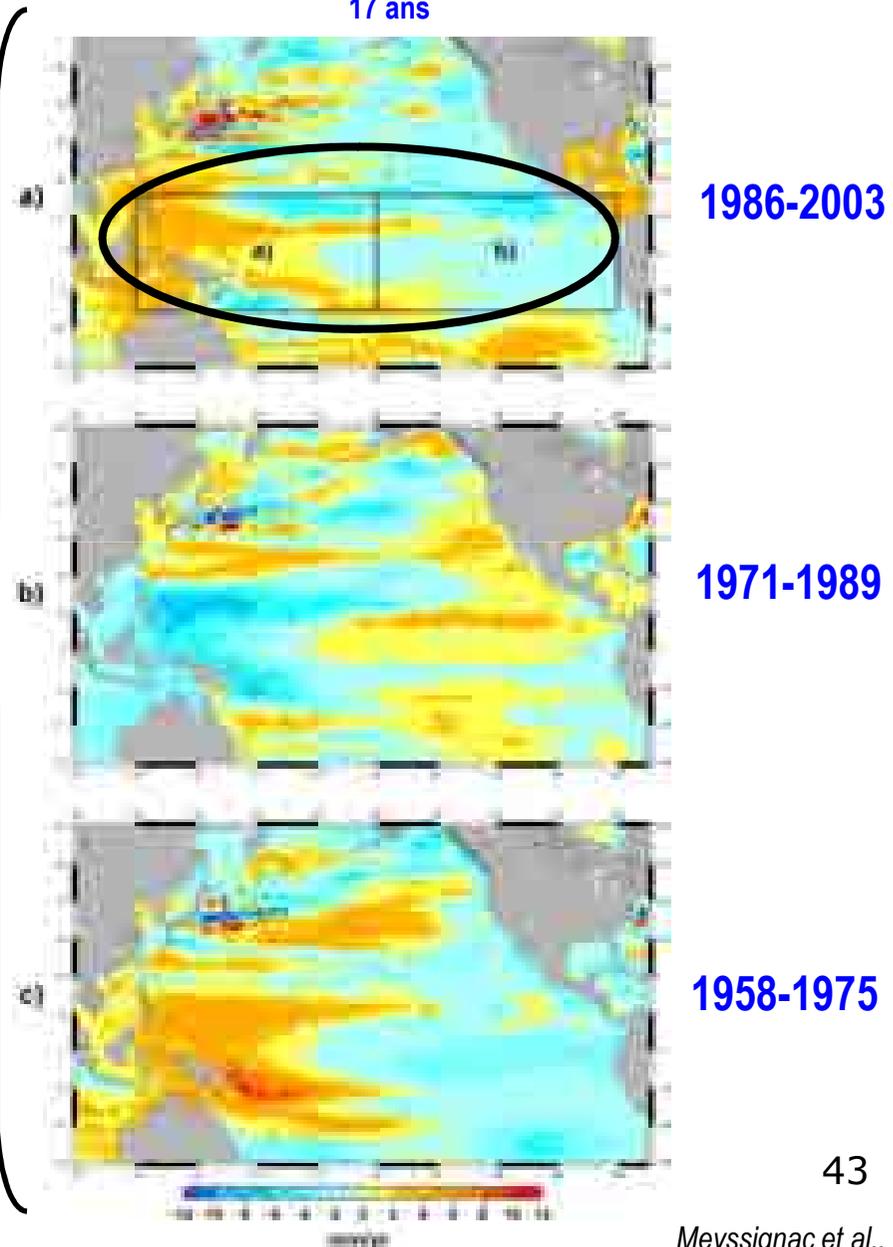
Church et al., 2004  
Berge-Nguyen et al. 2008  
Llovel et al.2009  
Ray and Douglas, 2011  
Church and White, 2011  
Meysignac et al., 2011a

# Tendances spatiales du niveau de la mer reconstruit sur différentes fenêtres de 17 ans

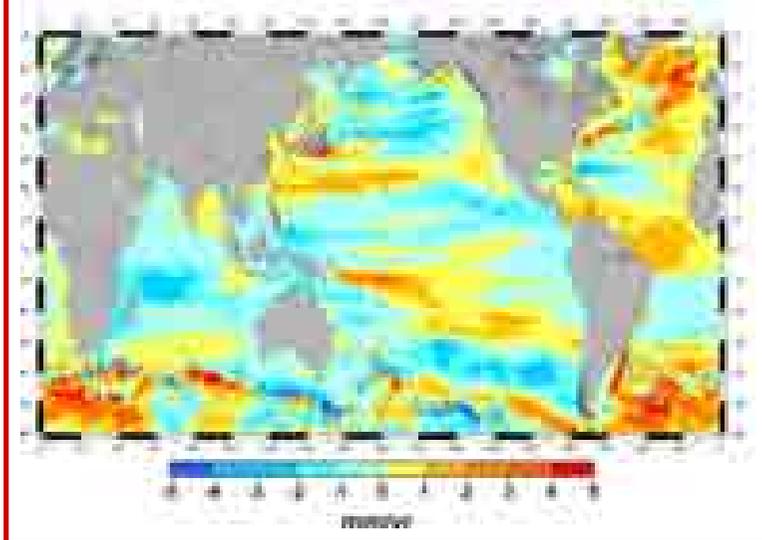
Tendances spatiales observées par altimétrie (1993-2009)



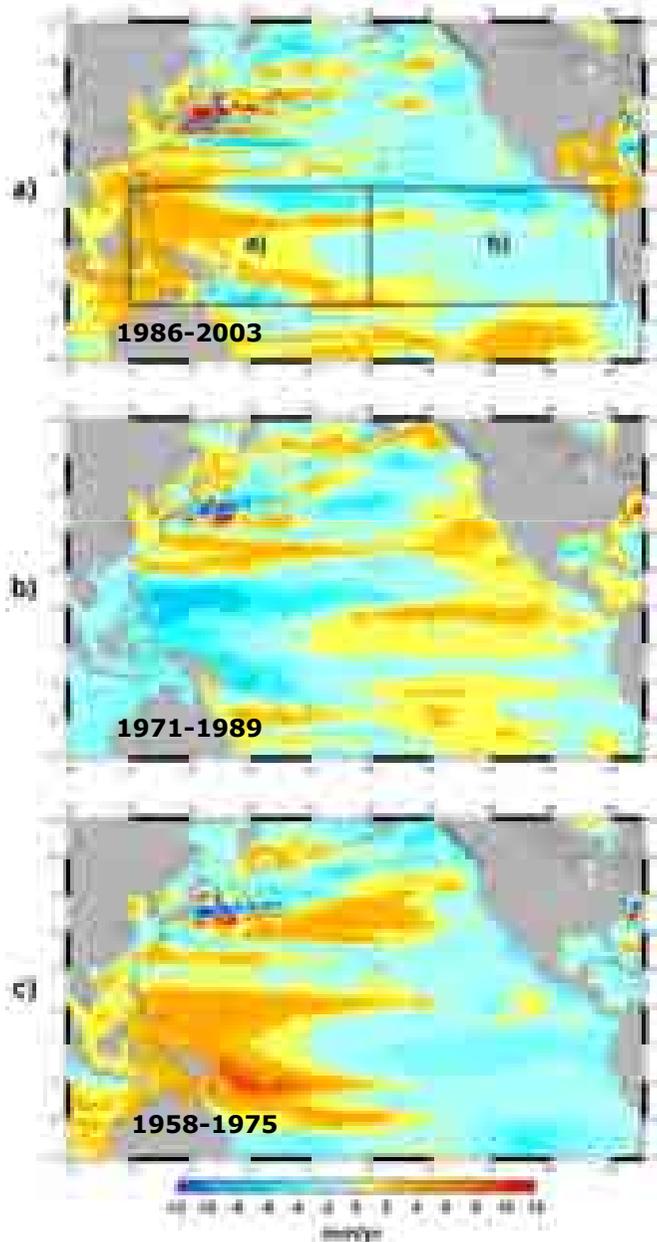
Tendances spatiales du niveau de la mer reconstruit sur des fenêtres de 17 ans



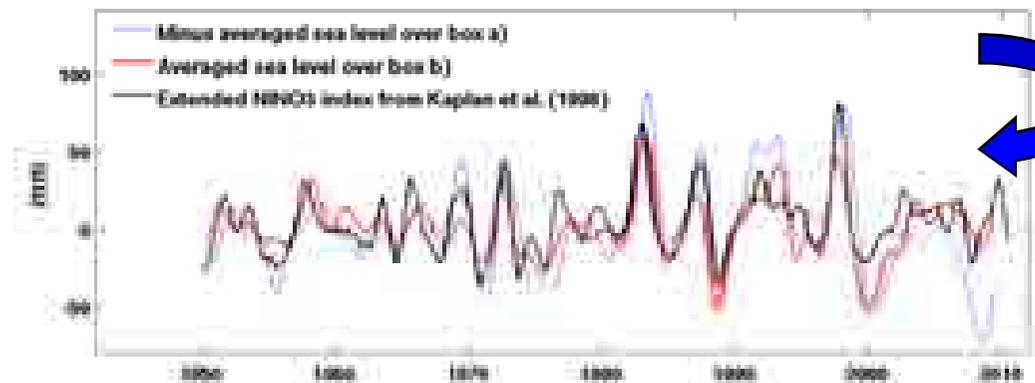
Tendances du niveau de la mer reconstruit (1950-2010)



# Niveau de la mer reconstruit (1950-2010)

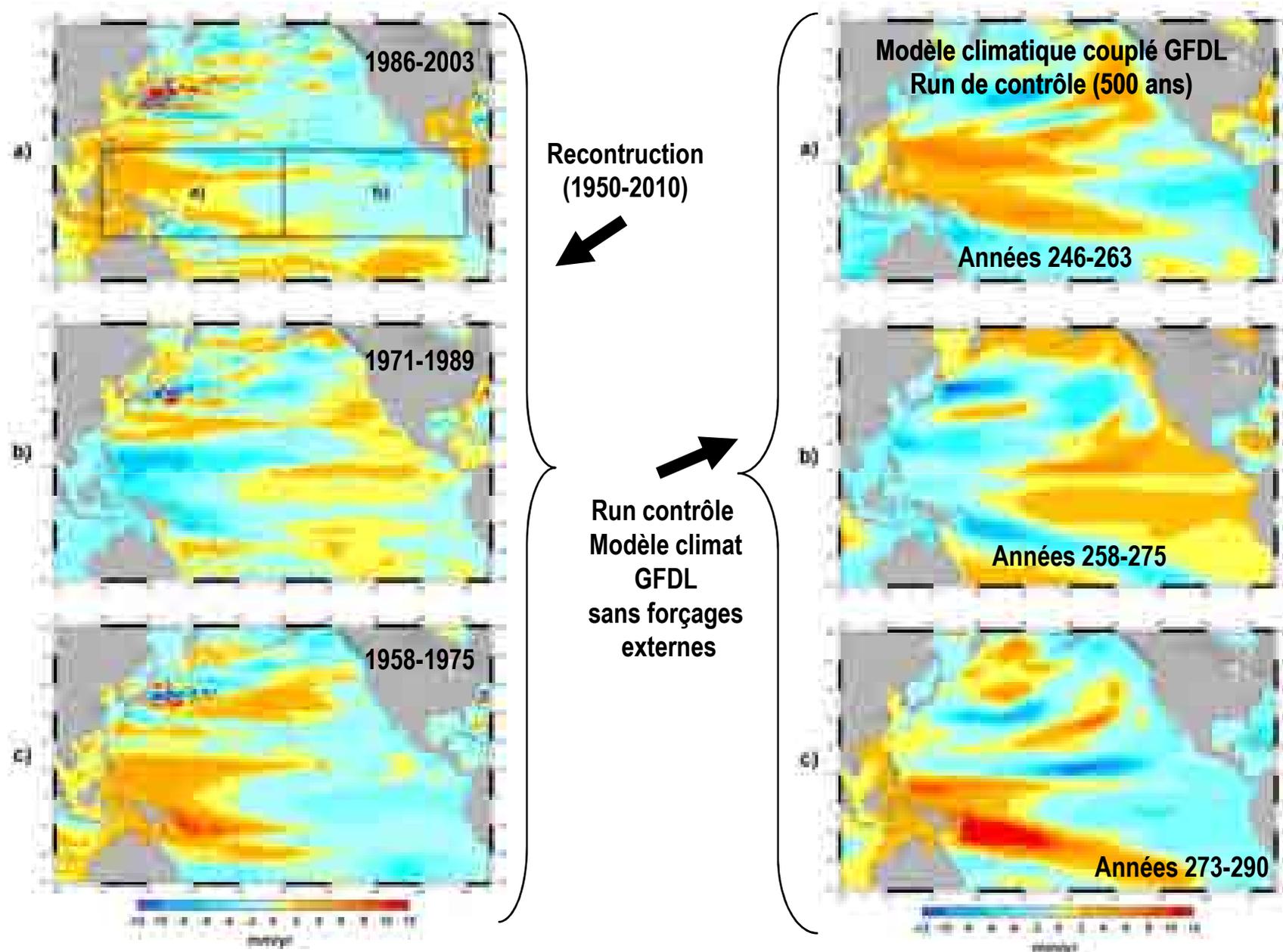


Dans le Pacifique tropical → oscillation est-ouest des structures spatiales suivant les fréquences de El Nino



Courbe bleue: niveau de la mer dans boîte a  
Courbe rouge : niveau de la mer (x -1) dans boîte b  
Courbe noire : indicateur El Nino

## Tendances spatiales sur des fenêtres de 17 ans successives



# Conclusions

•Hausse moyenne globale



Réchauffement anthropique

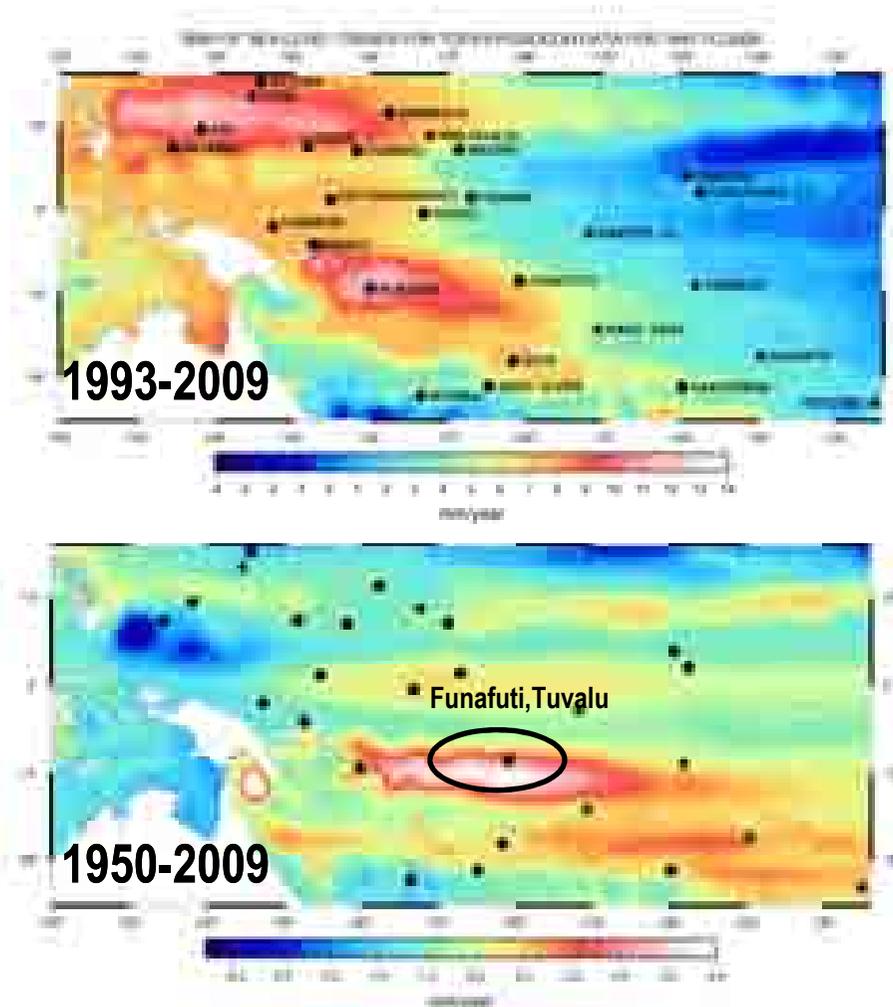
•Variabilité régionale



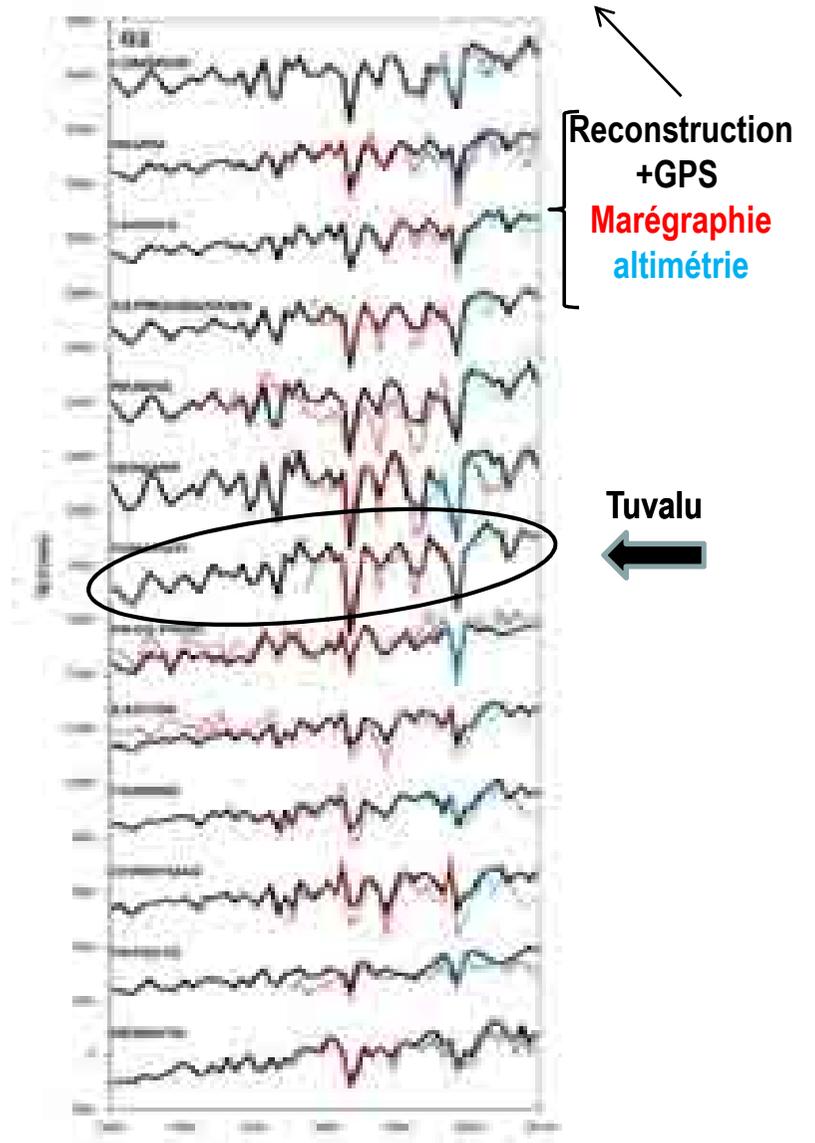
Variabilité interne  
du système climatique



**Tendances spatiales du niveau de la mer dans la région de de l'Archipel des Tuvalu 1993-2009 et 1950-2009**



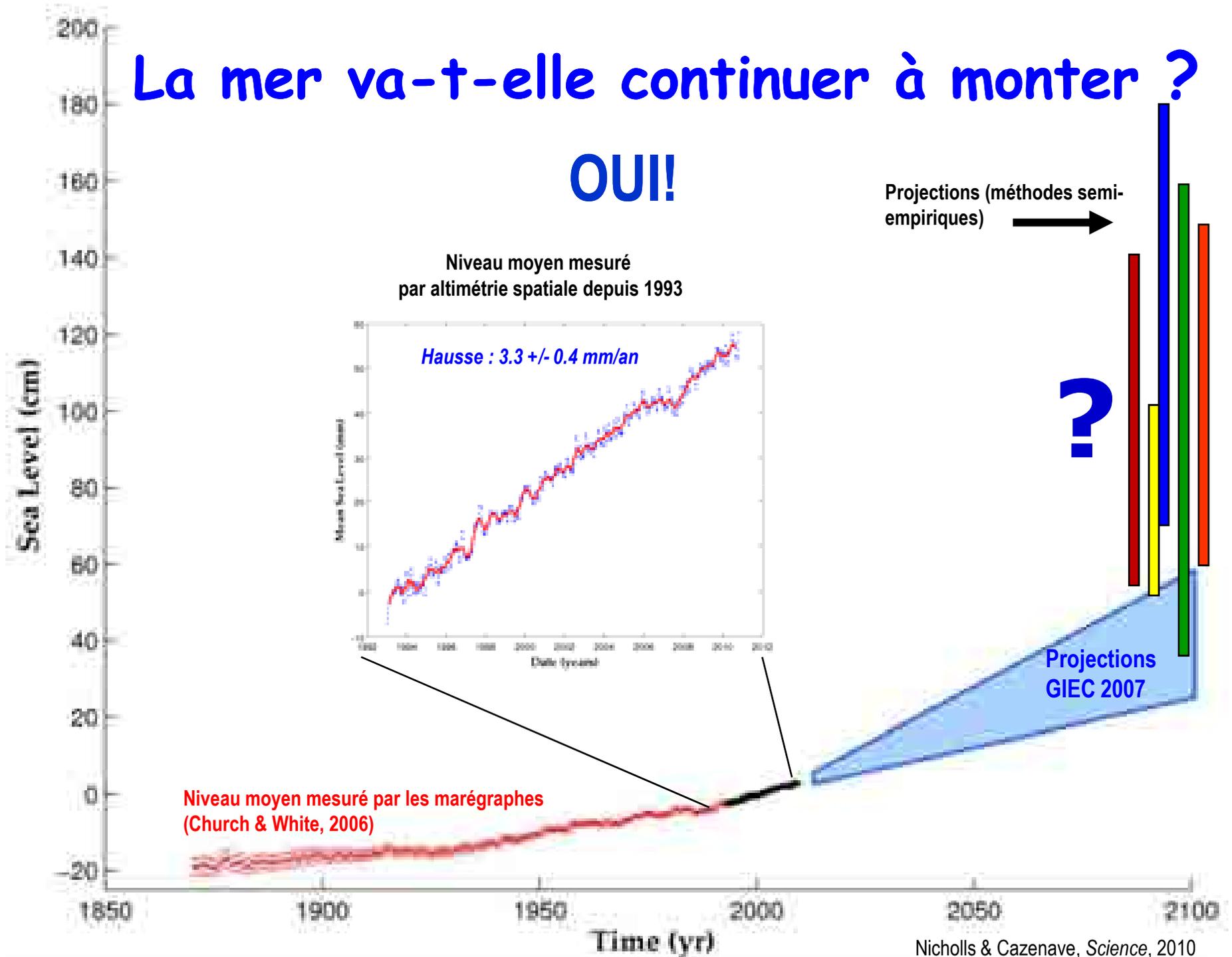
Hausse moyenne uniforme + variabilité régionale + mouvement croûte GPS



**Funafuti → Hausse « totale » ~ 4.5 mm/an → 28 cm depuis 1950!**

# La mer va-t-elle continuer à monter ?

## OUI!



**Merci de votre  
attention**