

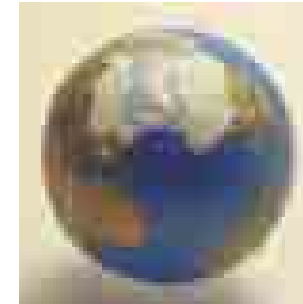
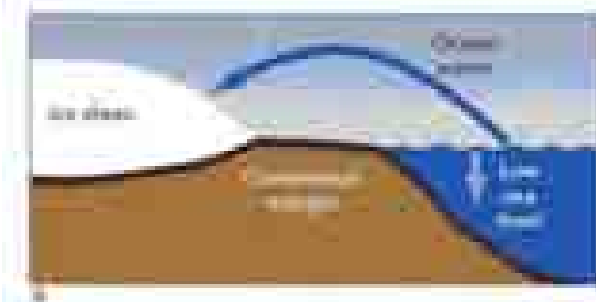
Niveau de la mer température de l'océan et fonte des glaces

Anny Cazenave
Legos, OMP, Toulouse

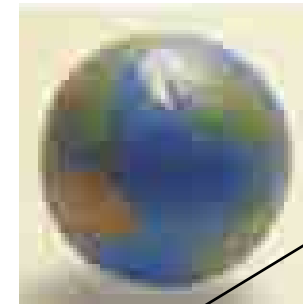
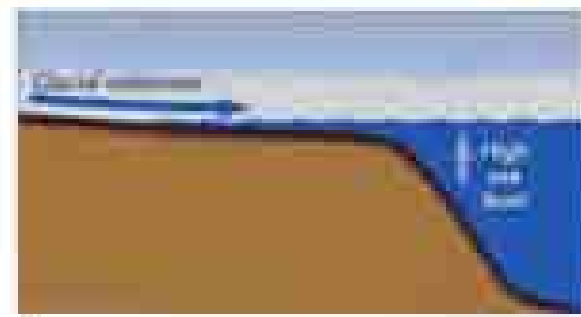
« L'océan et les changements climatiques »
Collège de France, 27 mai 2011



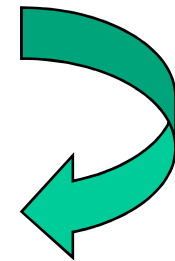
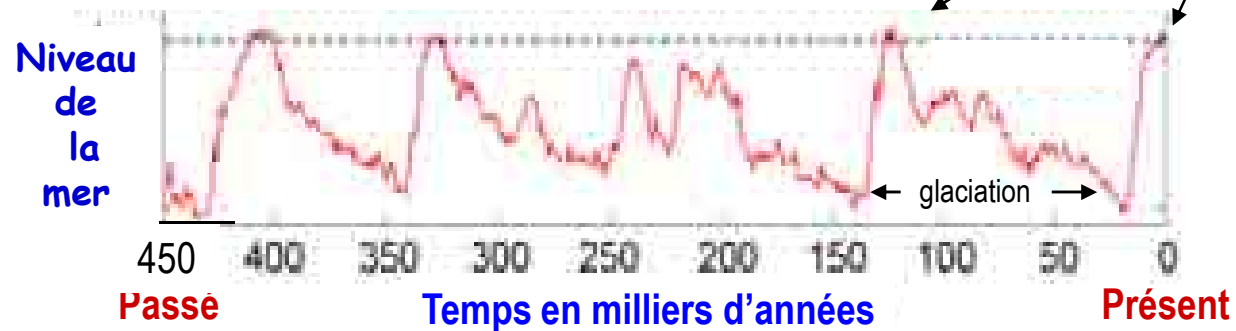
Les fluctuations du niveau de la mer de +/- 100 m au Quaternaire sont dues à la formation/fonte des grandes calottes de glace sur l'hémisphère nord



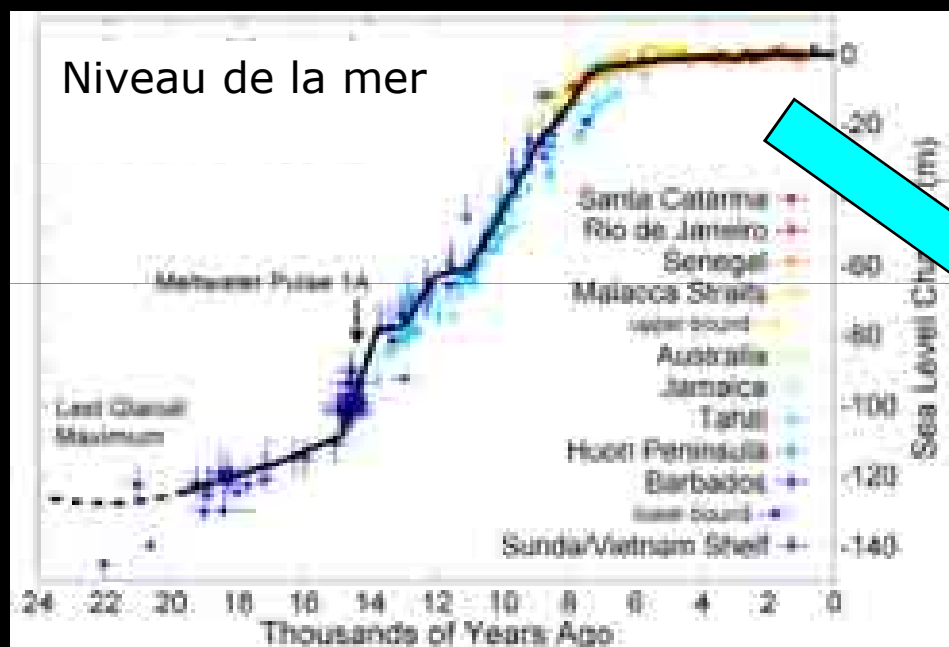
Période glaciaire



Interglaciaire

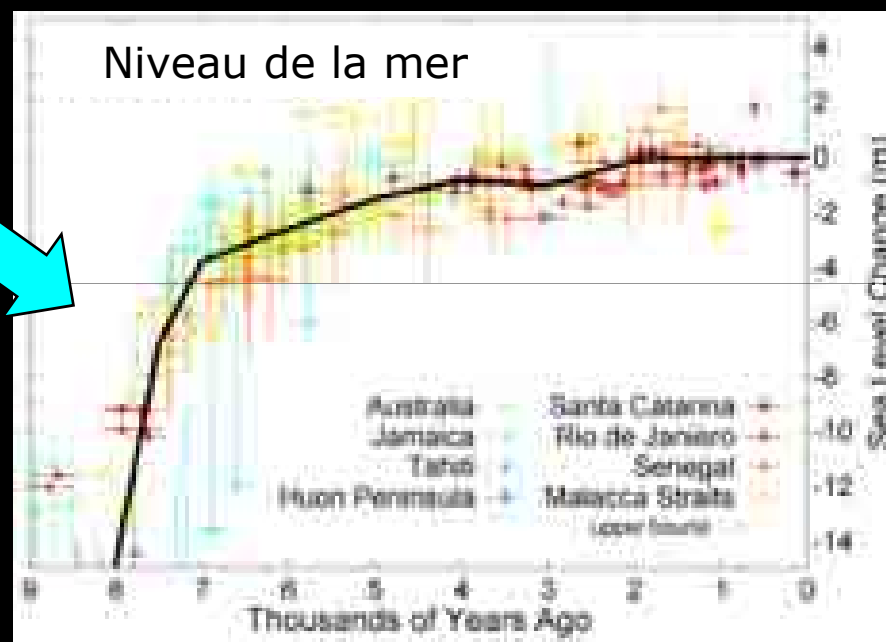


Evolution du niveau de la mer depuis le dernier maximum glaciaire



Milliers d'années

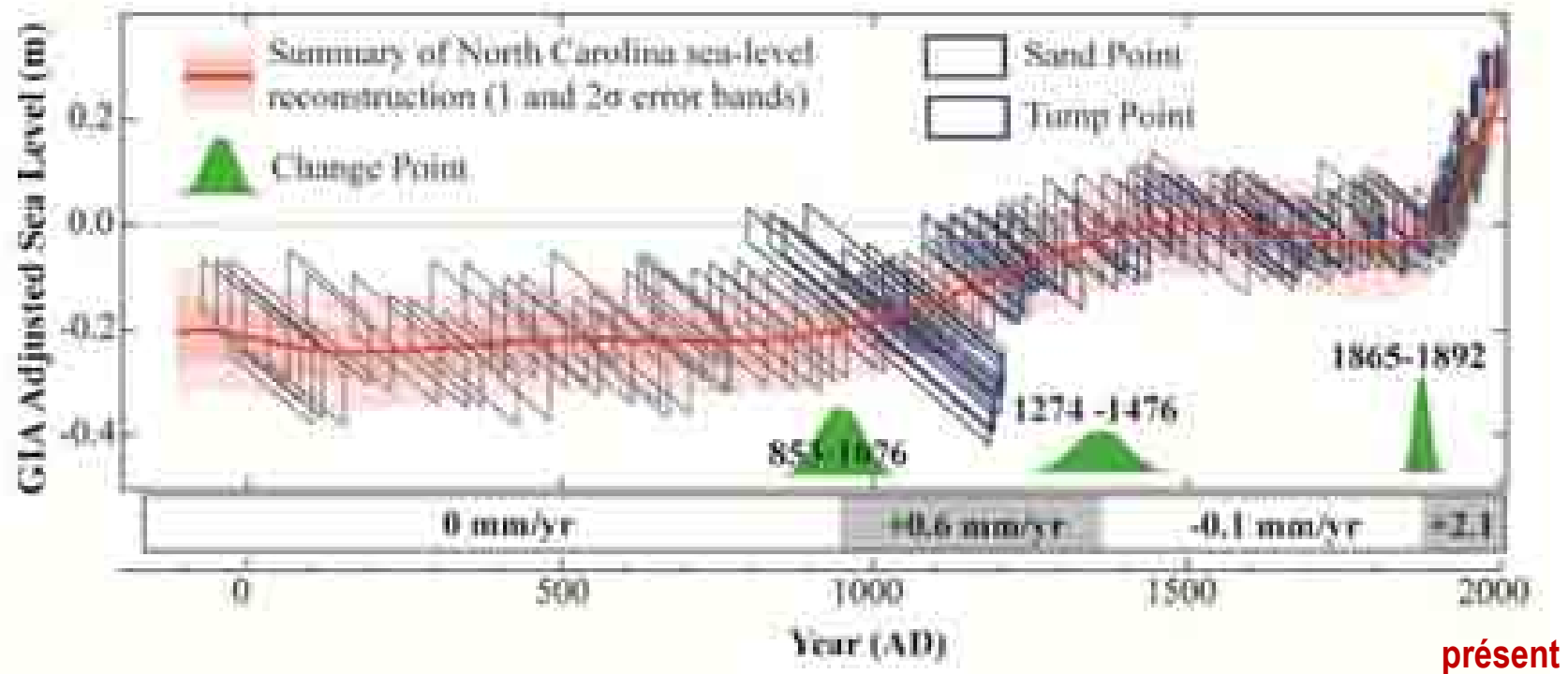
Présent



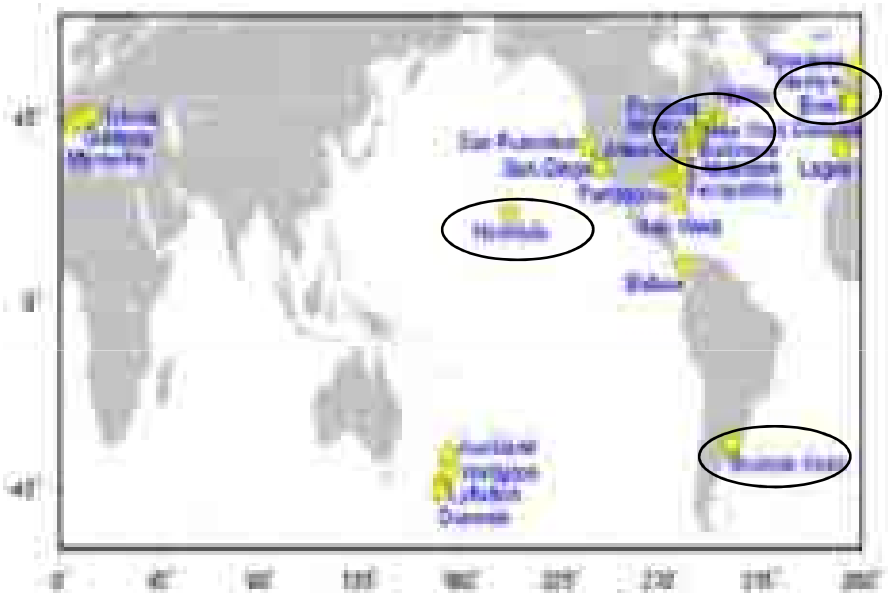
Milliers d'années

Présent

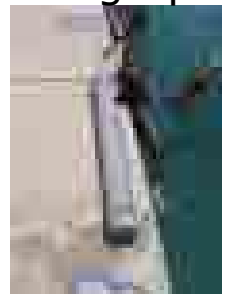
Evolution du niveau de la mer au cours des 2 derniers millénaires (salt-marsh sediments)



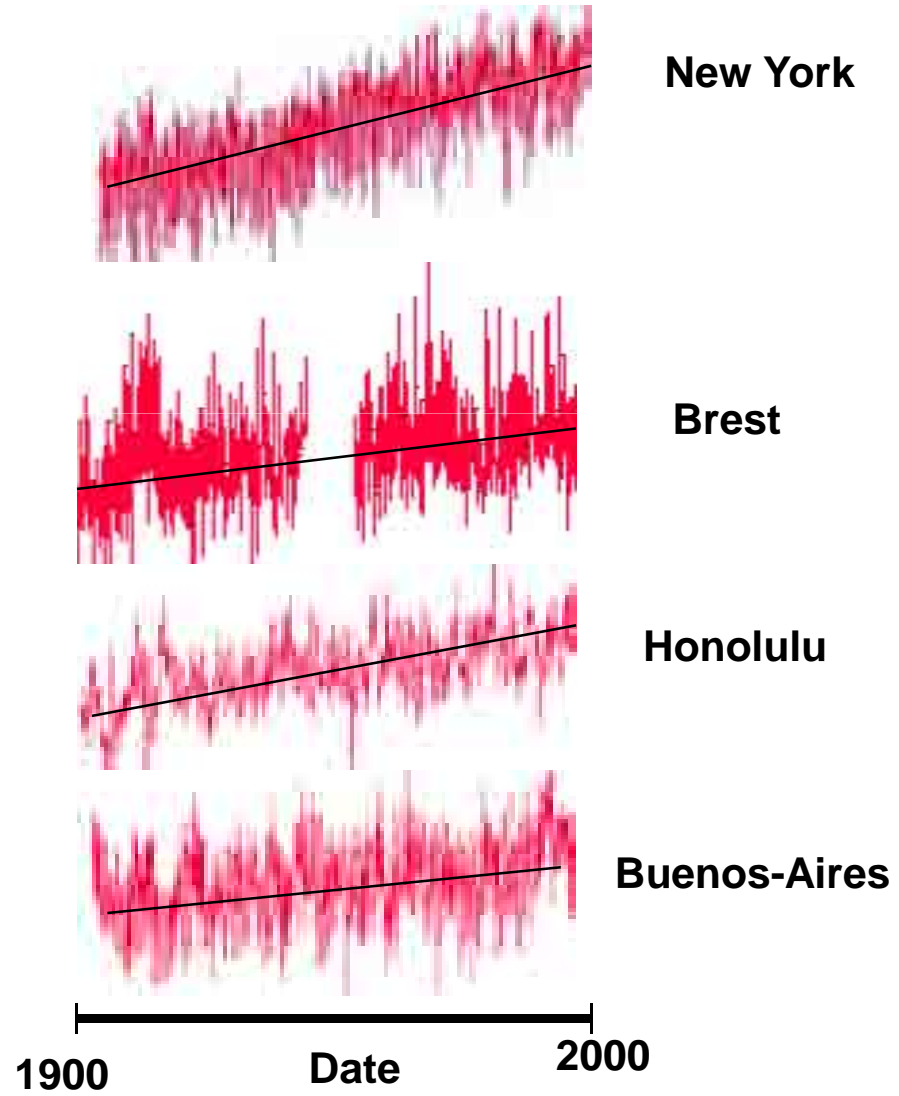
Hausse du niveau de la mer au 20^{ème} siècle d'après les marégraphes historiques



marégraphe

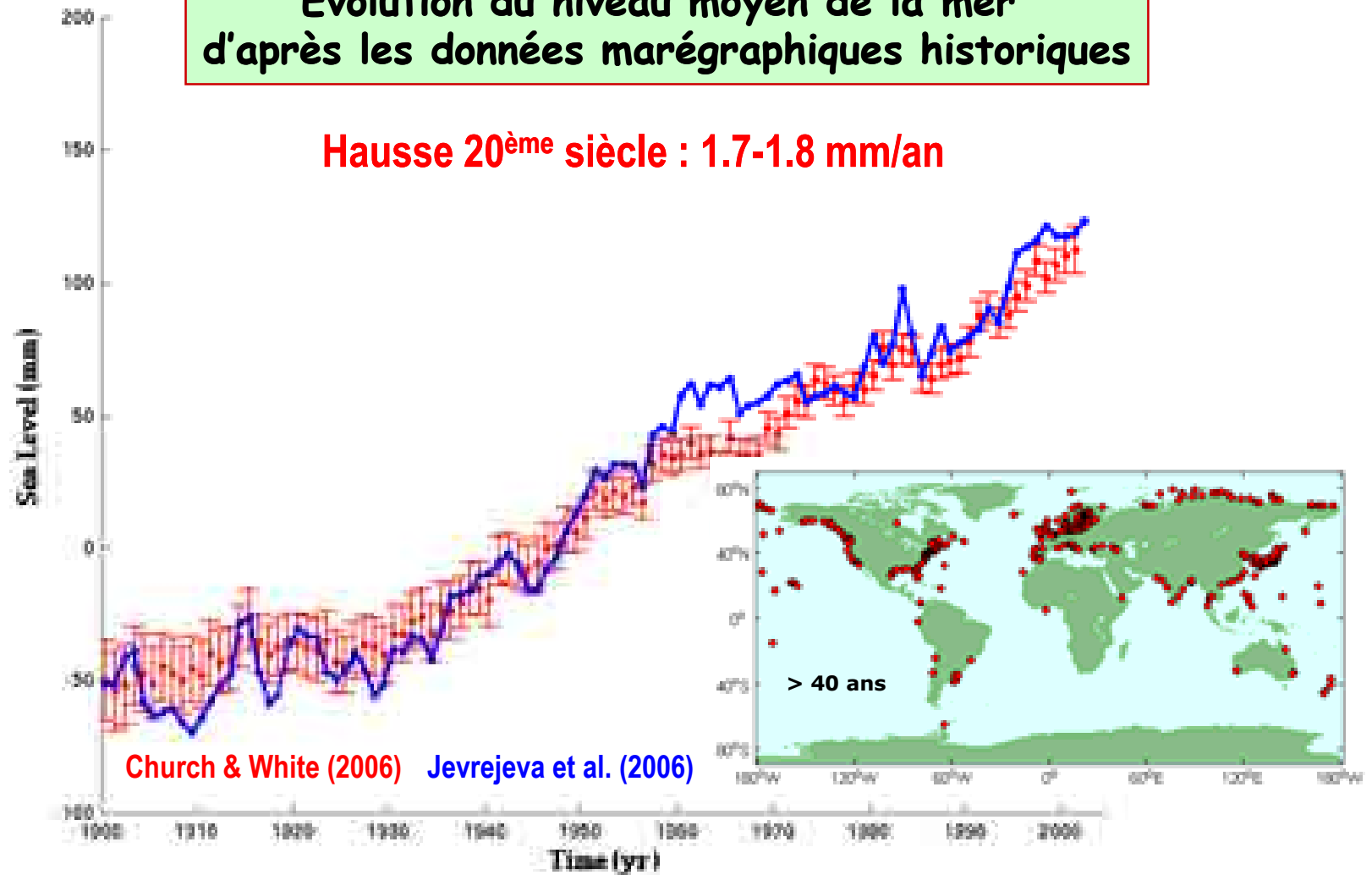


20 cm

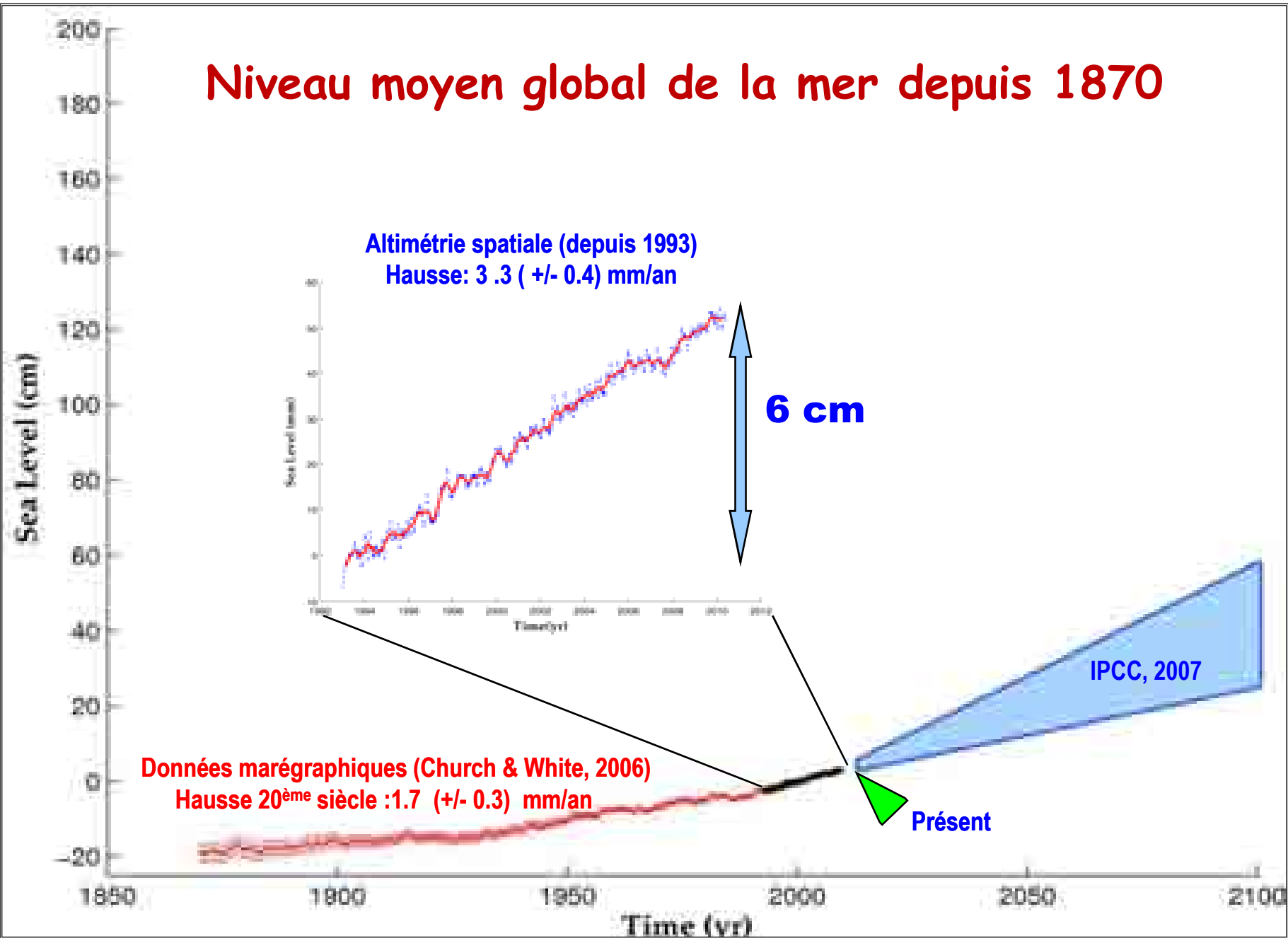


Evolution du niveau moyen de la mer d'après les données marégraphiques historiques

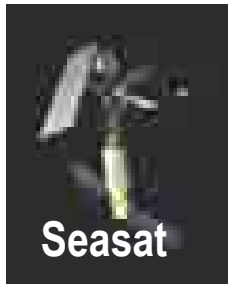
Hausse 20^{ème} siècle : 1.7-1.8 mm/an



Niveau moyen global de la mer depuis 1870

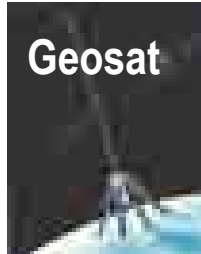


L'altimétrie spatiale pour étudier les océans



Seasat

1978



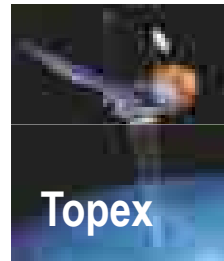
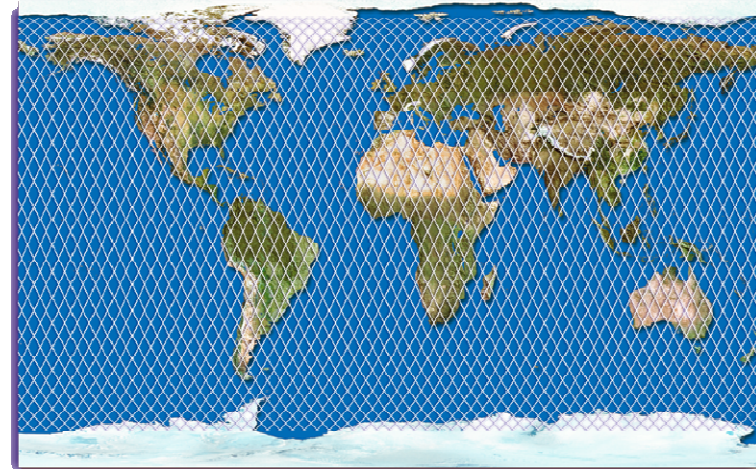
Geosat

1985



ERS-1/2

1991; 1995



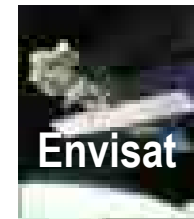
Topex

1992



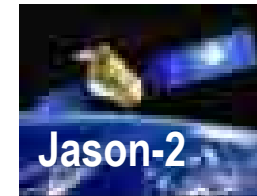
Jason-1

2001



Envisat

2002



Jason-2

2008

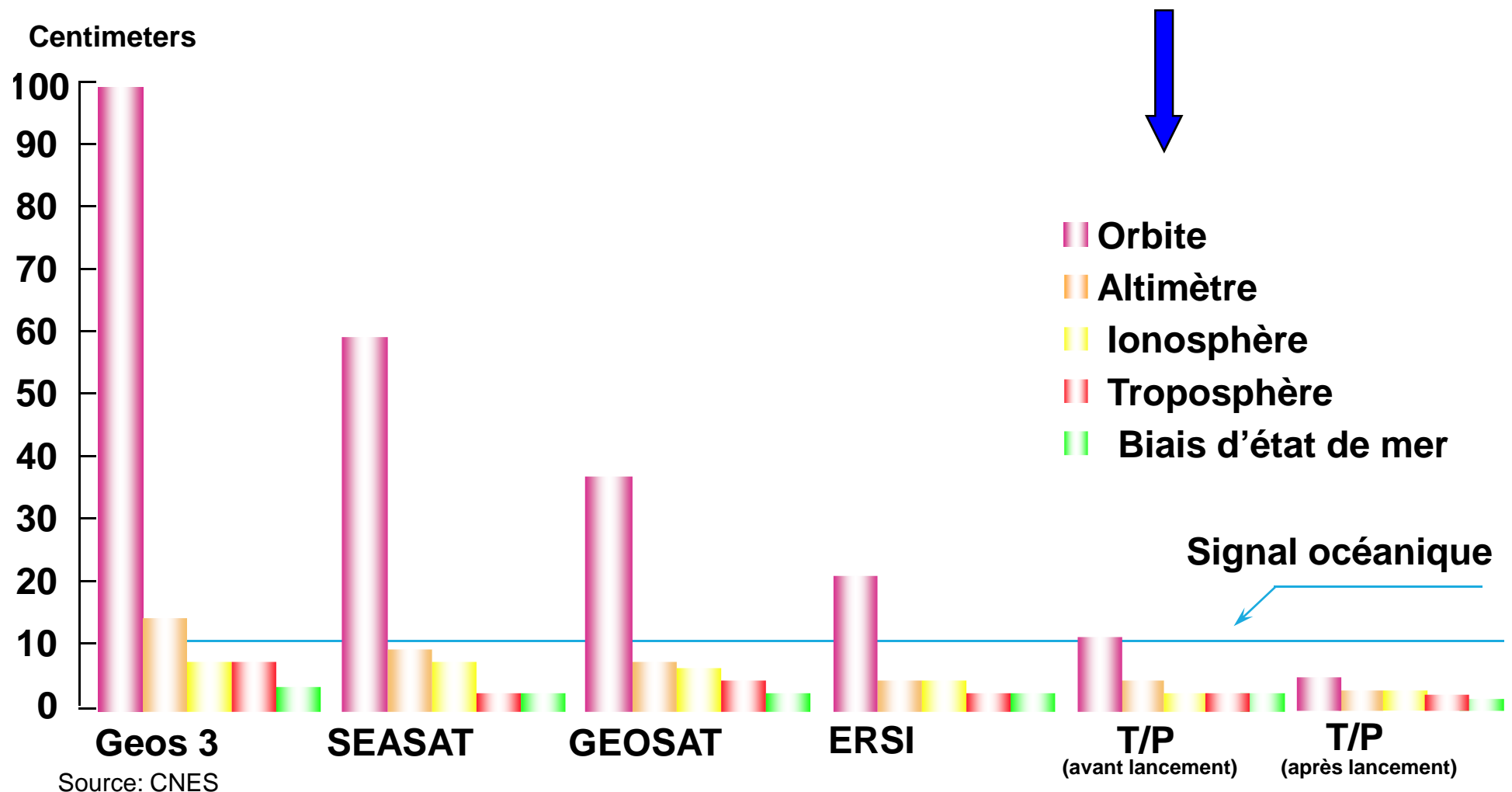


Altimétrie de haute précision

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



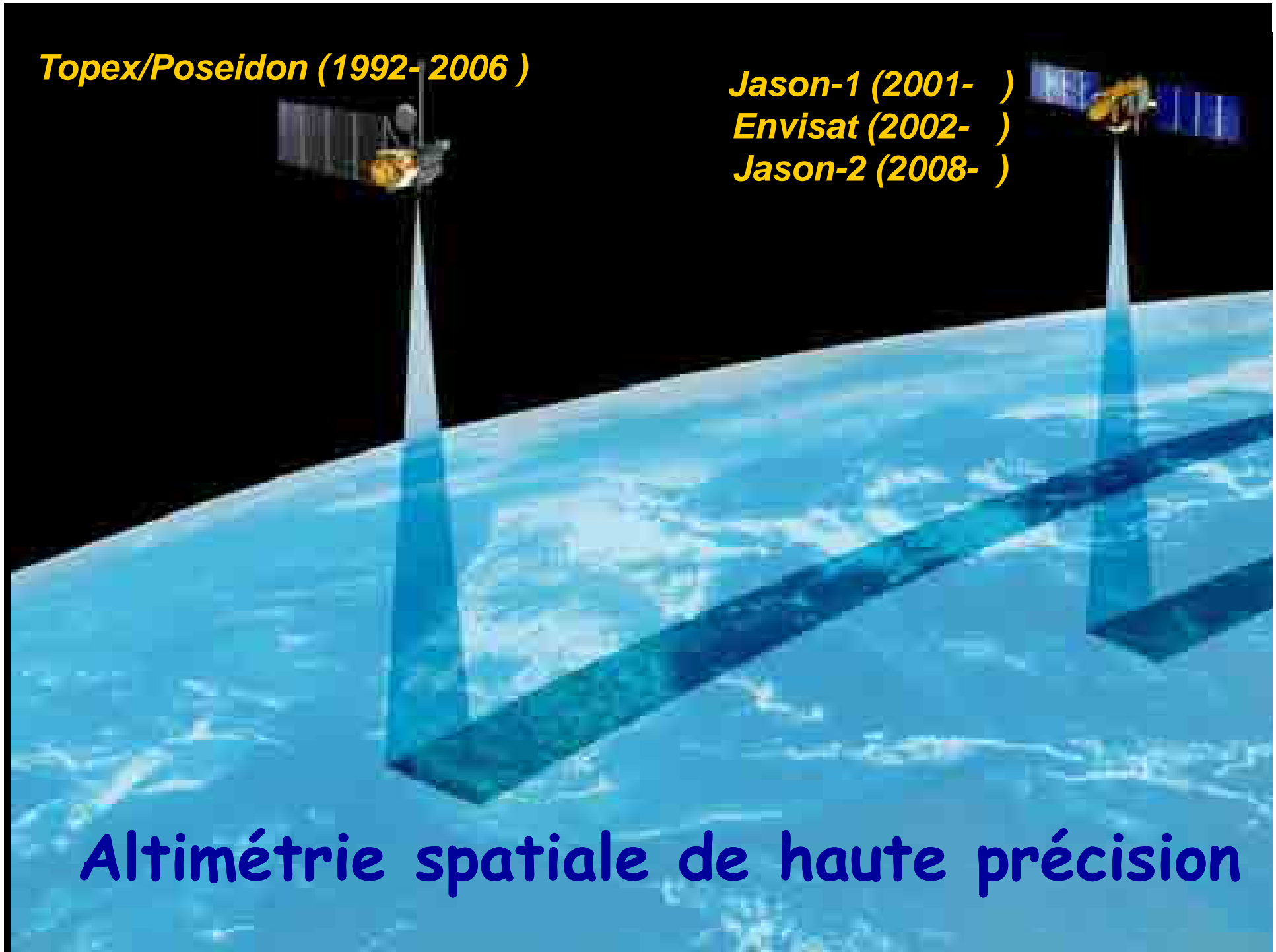
Topex/Poseidon (1992- 2006)

Jason-1 (2001-)

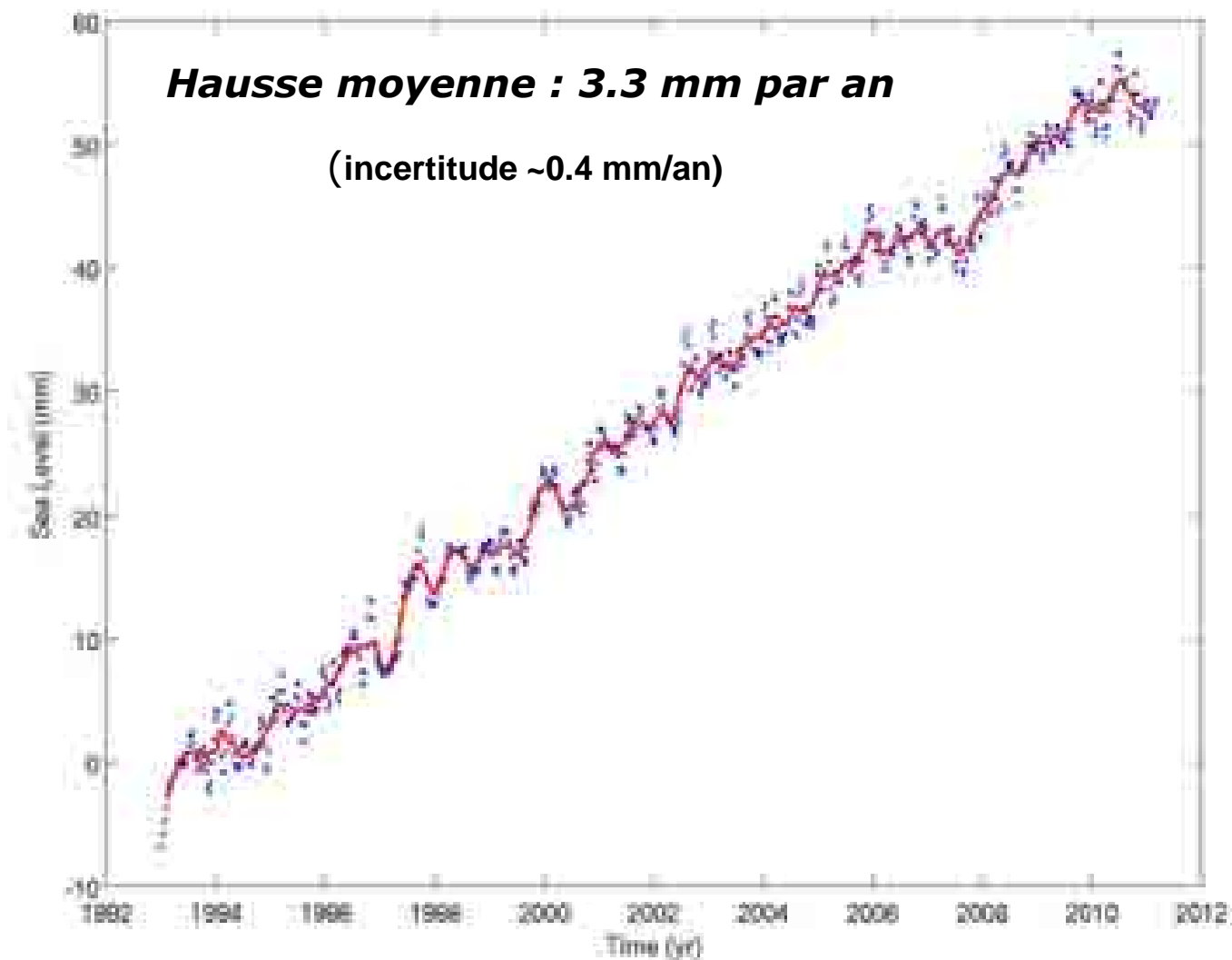
Envisat (2002-)

Jason-2 (2008-)

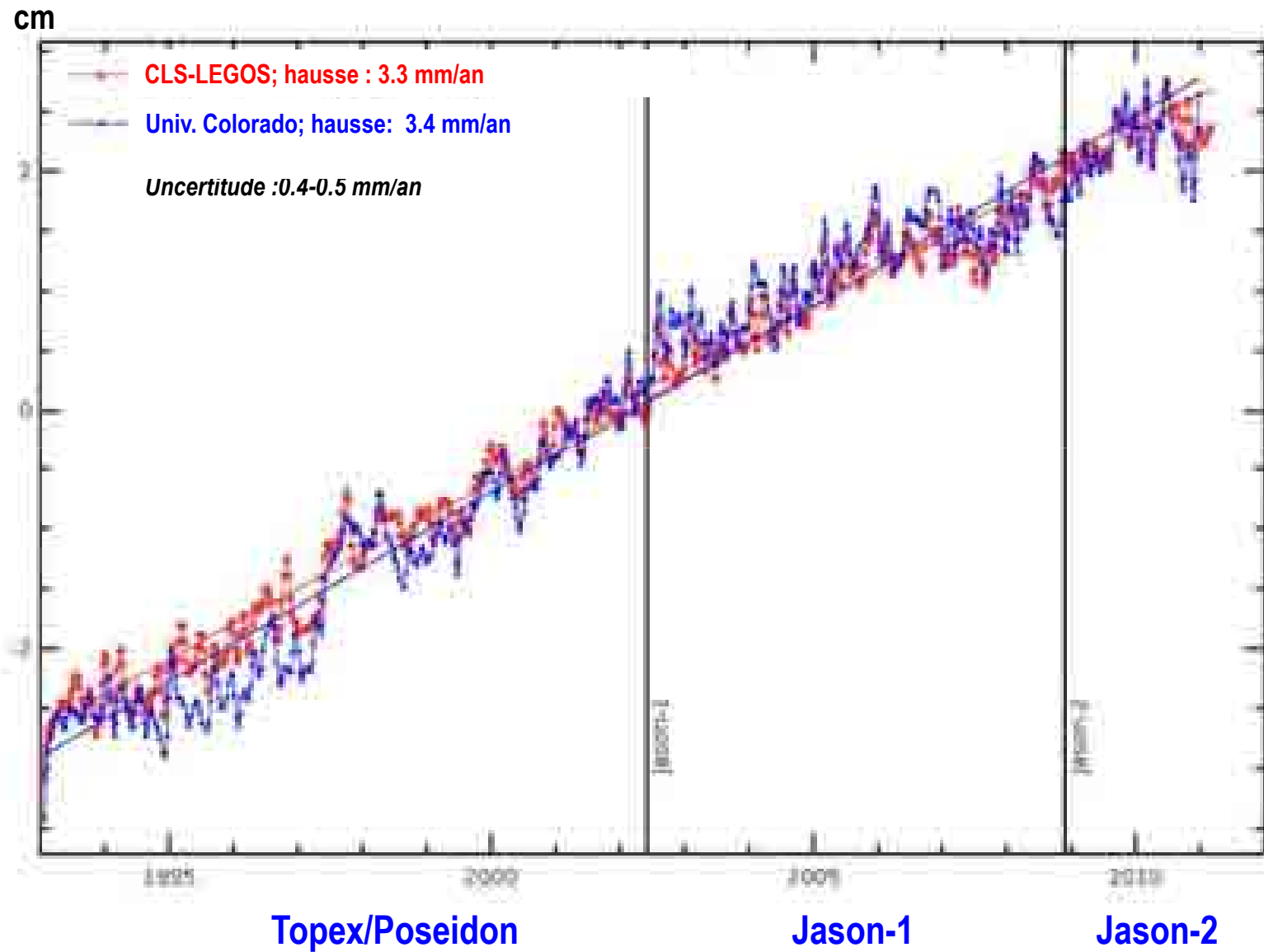
Altimétrie spatiale de haute précision



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



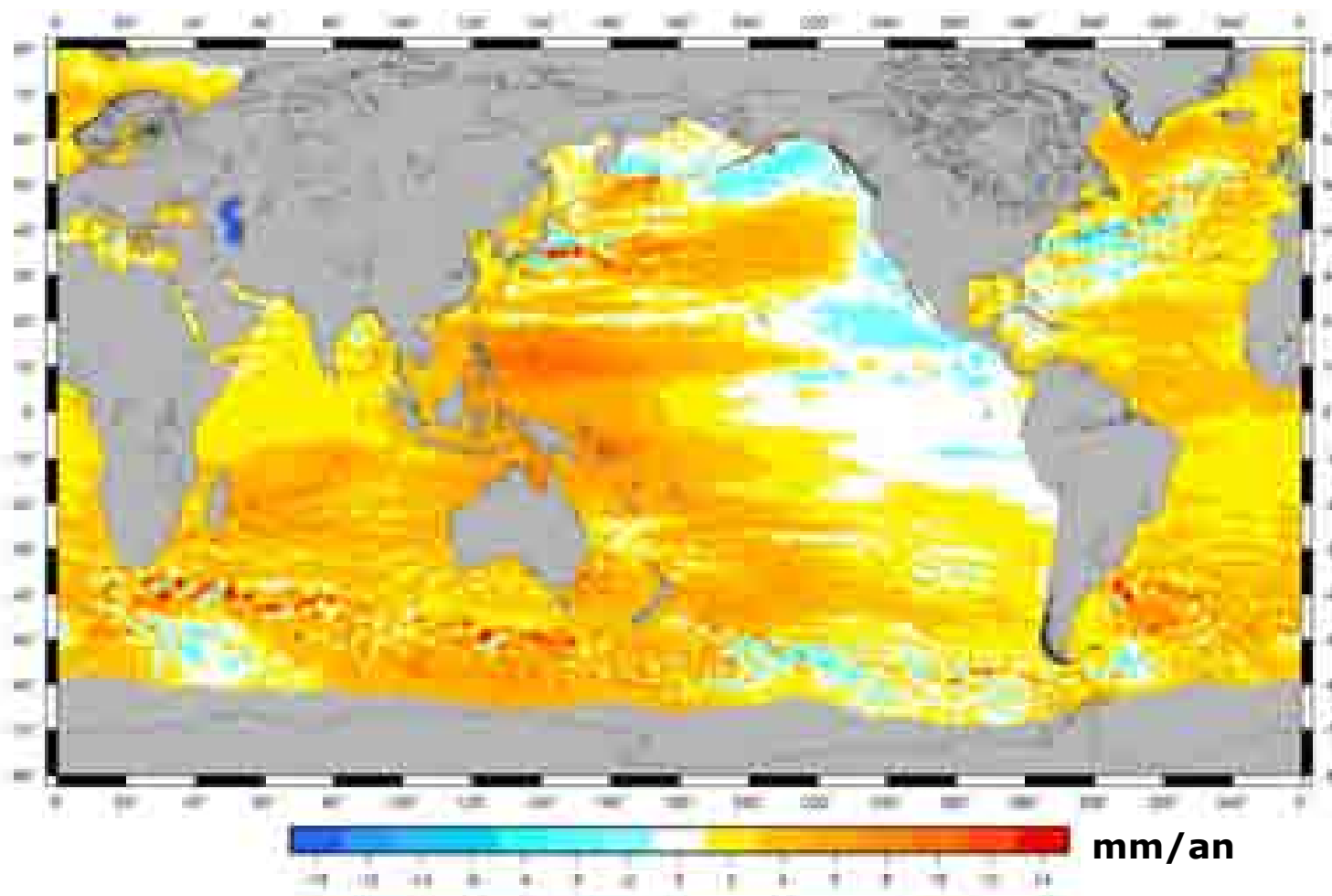
Evolution du niveau moyen de la mer entre 1993 et 2011



(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

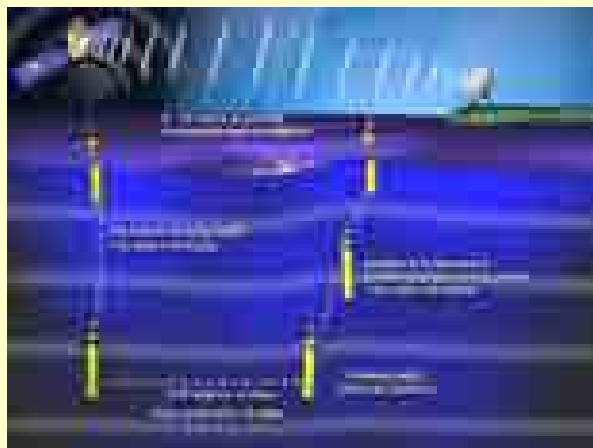
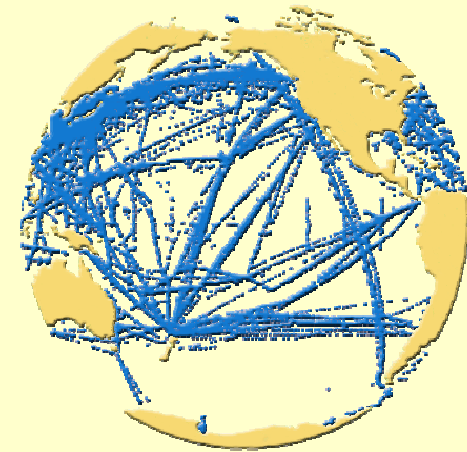


- Fonte des glaces continentales
- Réchauffement de l'océan

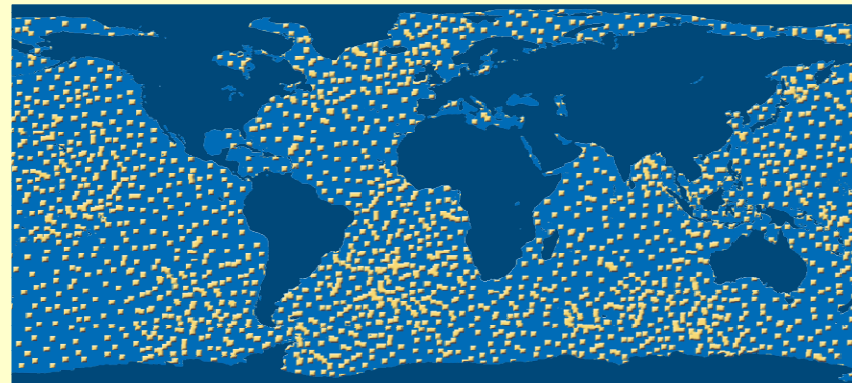
Mesures de température de l'océan (XBT/bateaux, puis Argo)



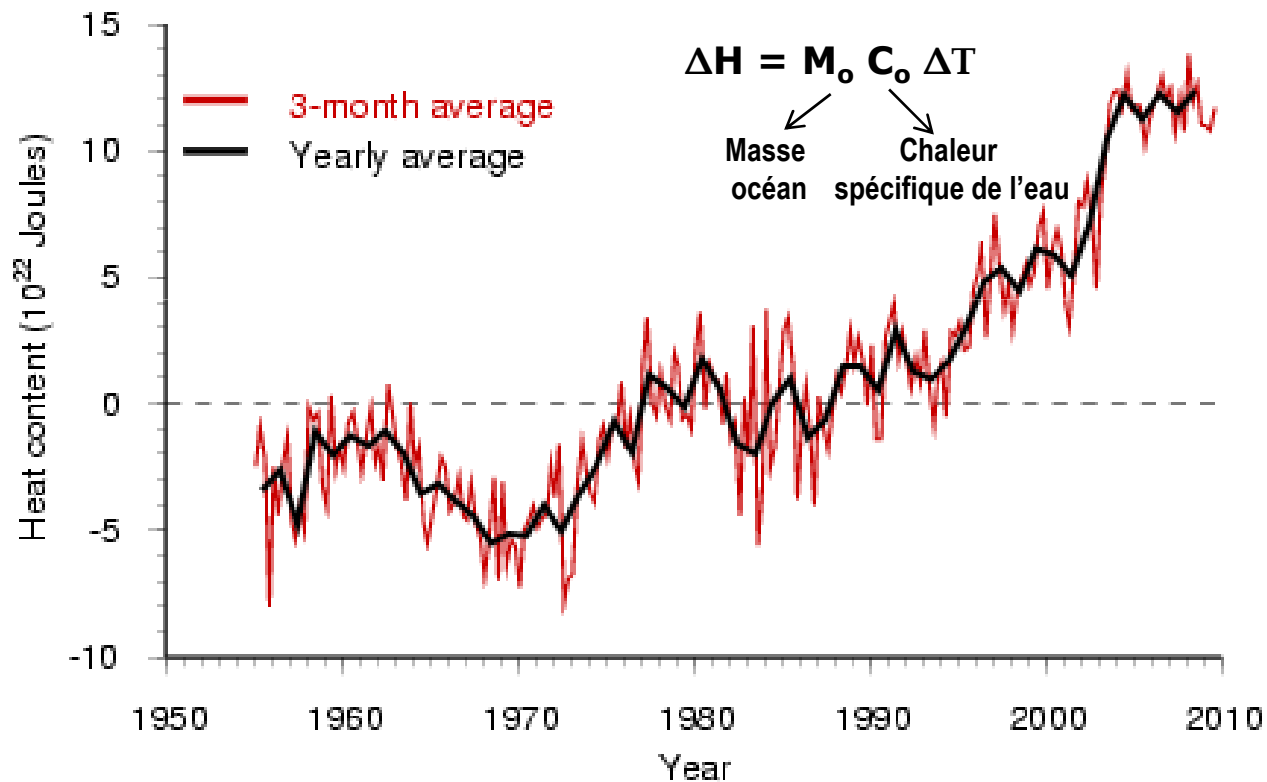
Principales
routes
maritimes



Depuis 2000 → Flotteurs profilants 'Argo'



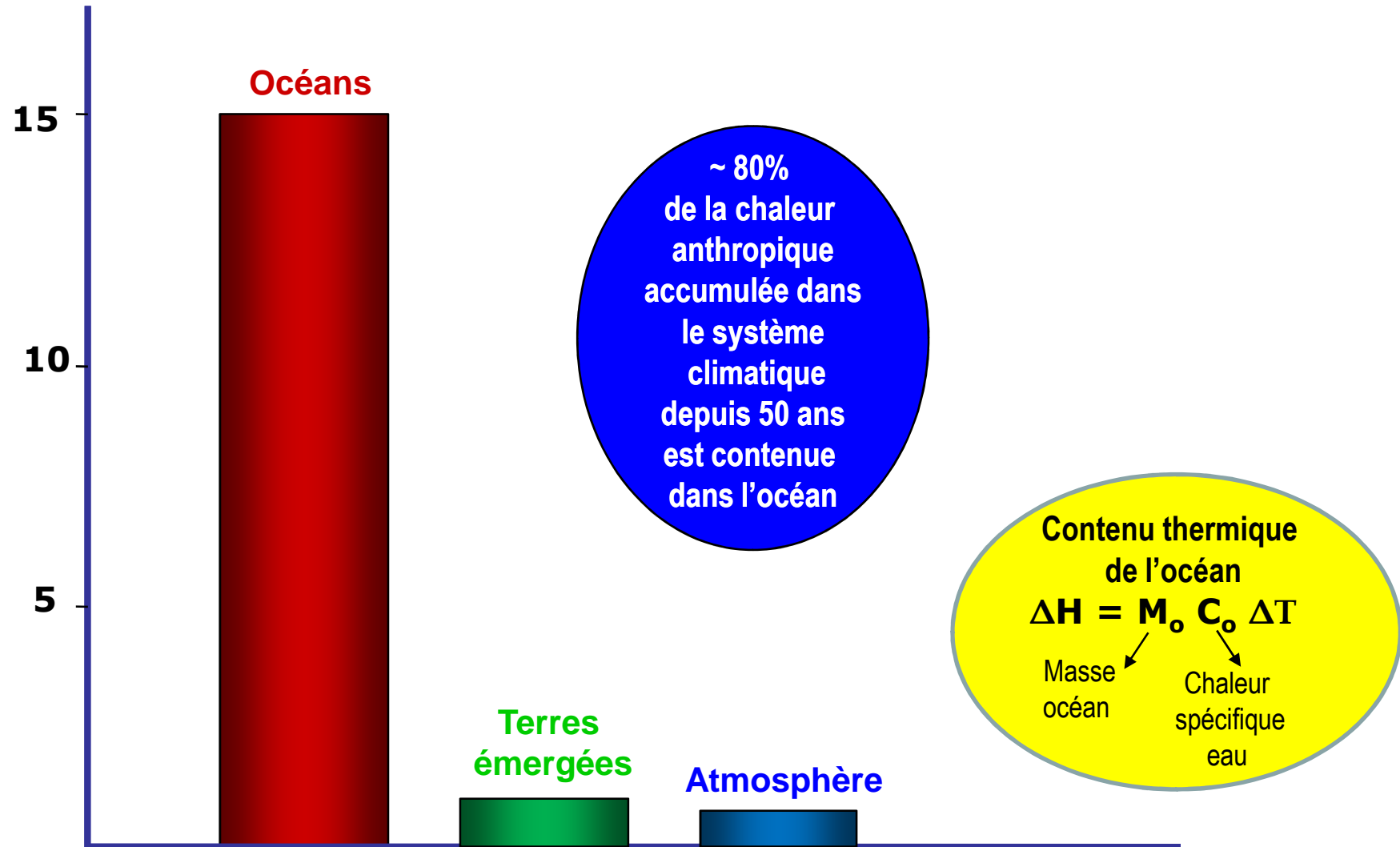
Evolution du contenu thermique de l'océan depuis 1955



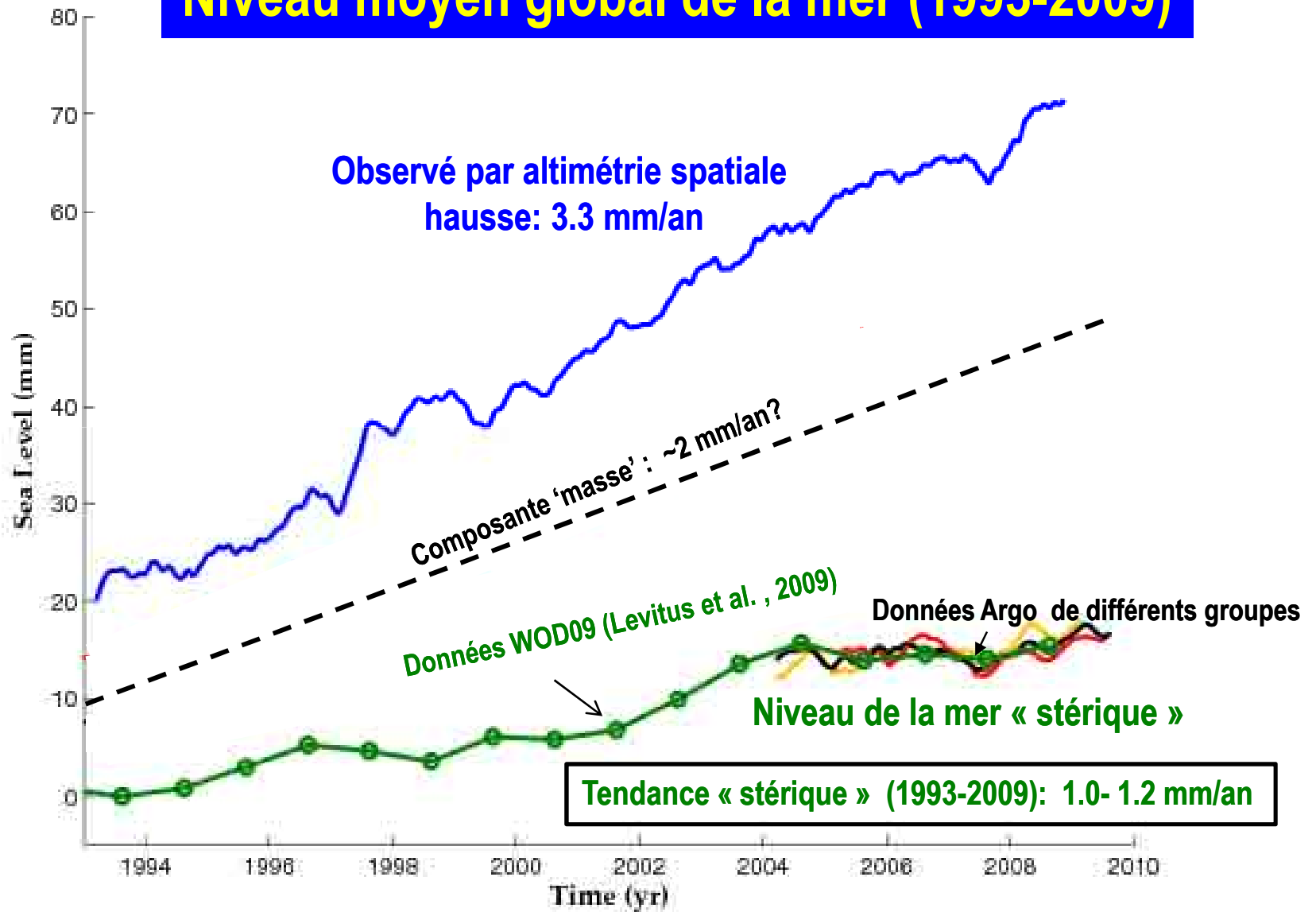
Bilan thermique du système climatique

(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



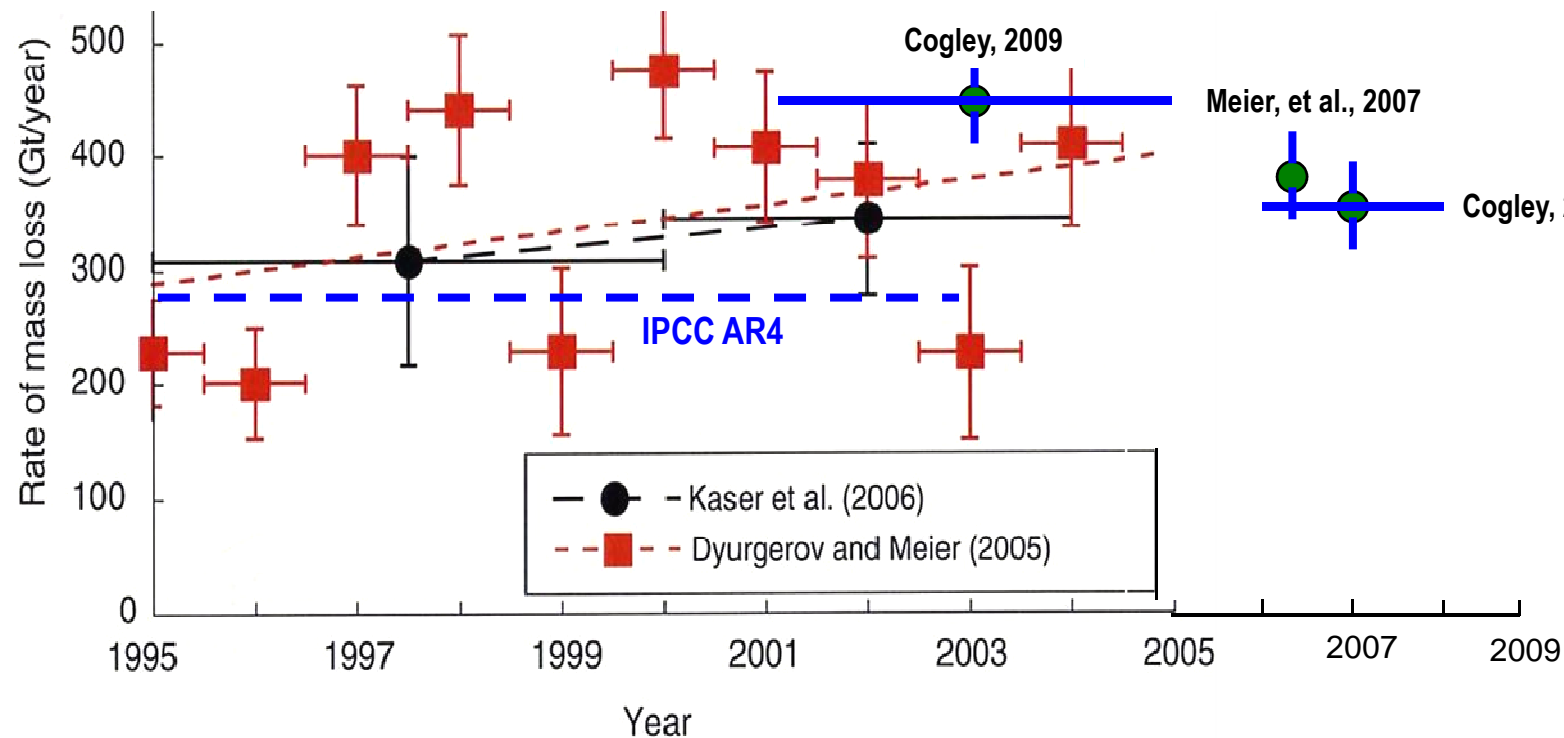
Le glacier Rhone (Alpes suisses)

1900

2008

Contribution des glaciers au niveau de la mer

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

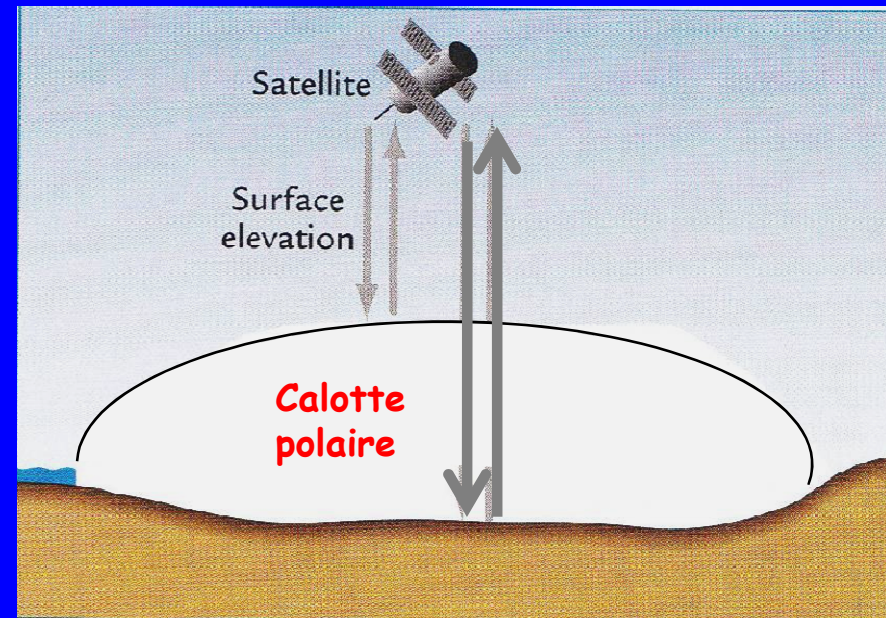


Contribution moyenne (1993-2009): ~ 1 mm/an

IceSat

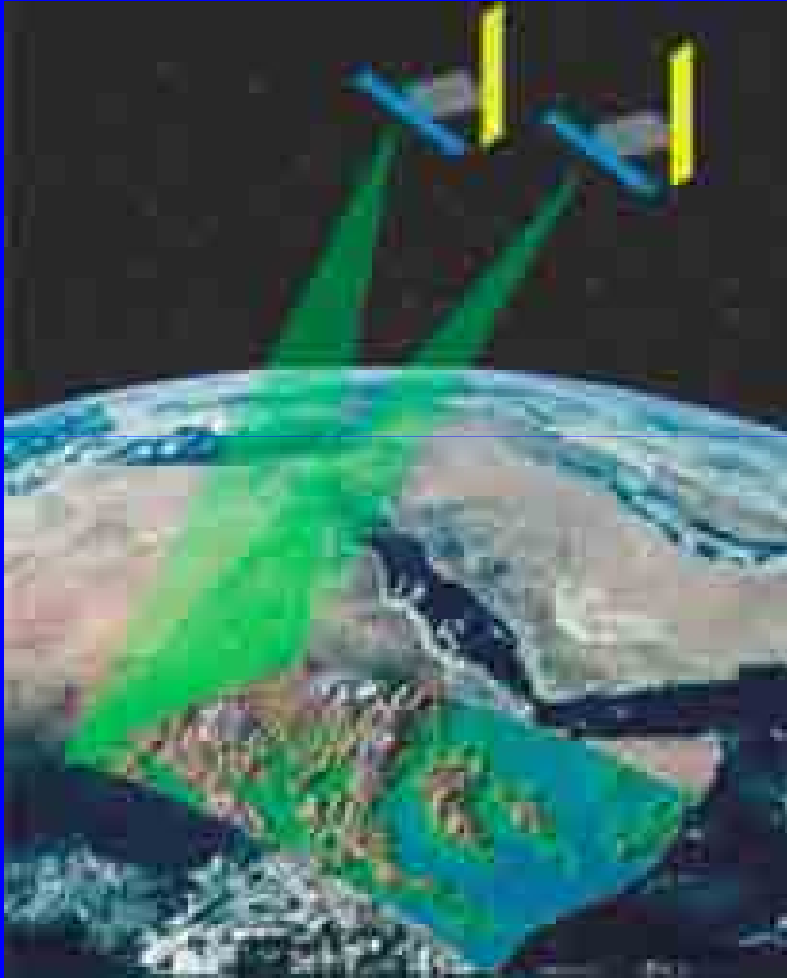


Altimétrie Radar et Laser

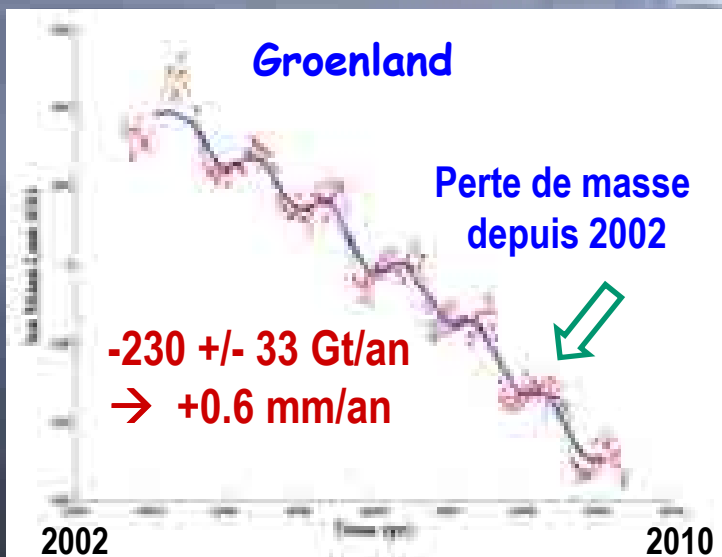


➔ Variation de l'altitude de la calotte

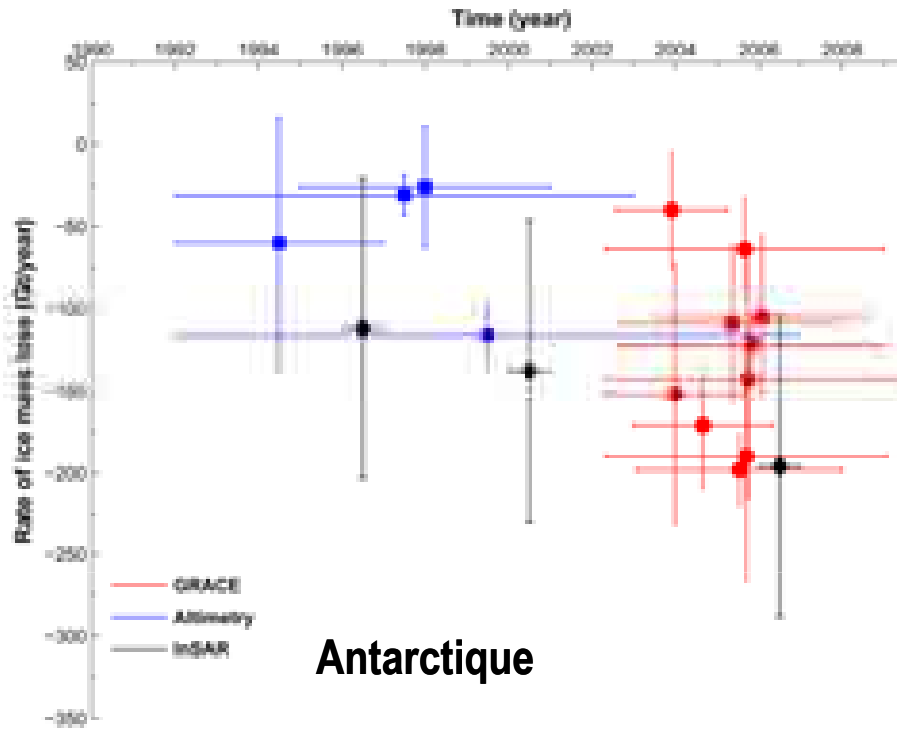
Interférométrie Radar



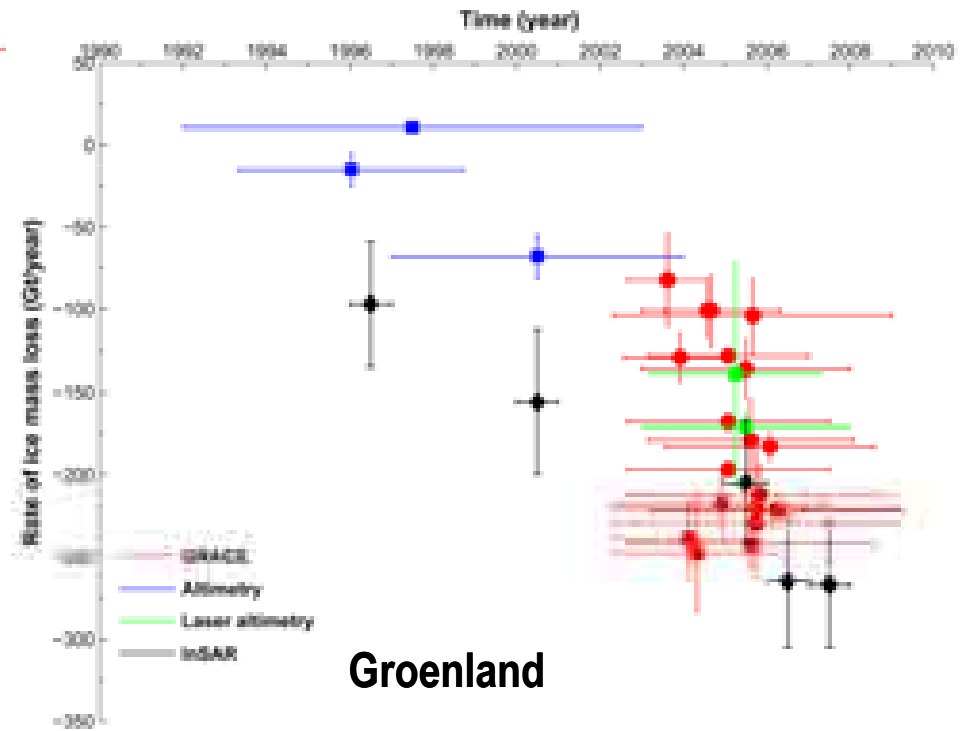
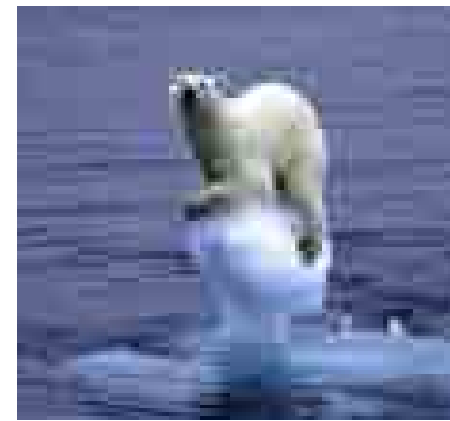
GRACE mesure la diminution des glaces des calottes polaires



Perte annuelle de glace (milliards de tonnes par an)

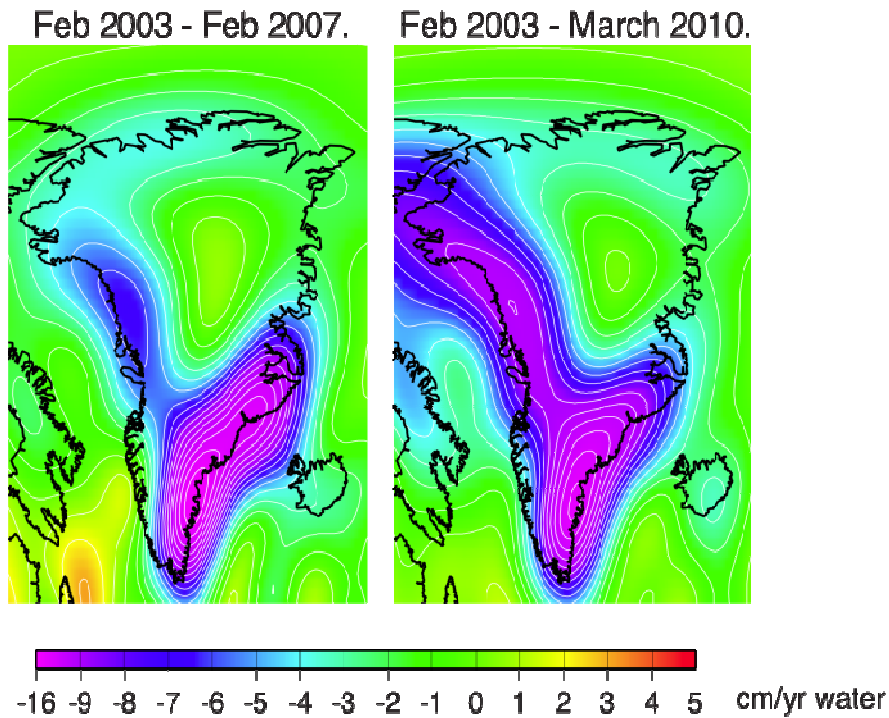


Antarctique

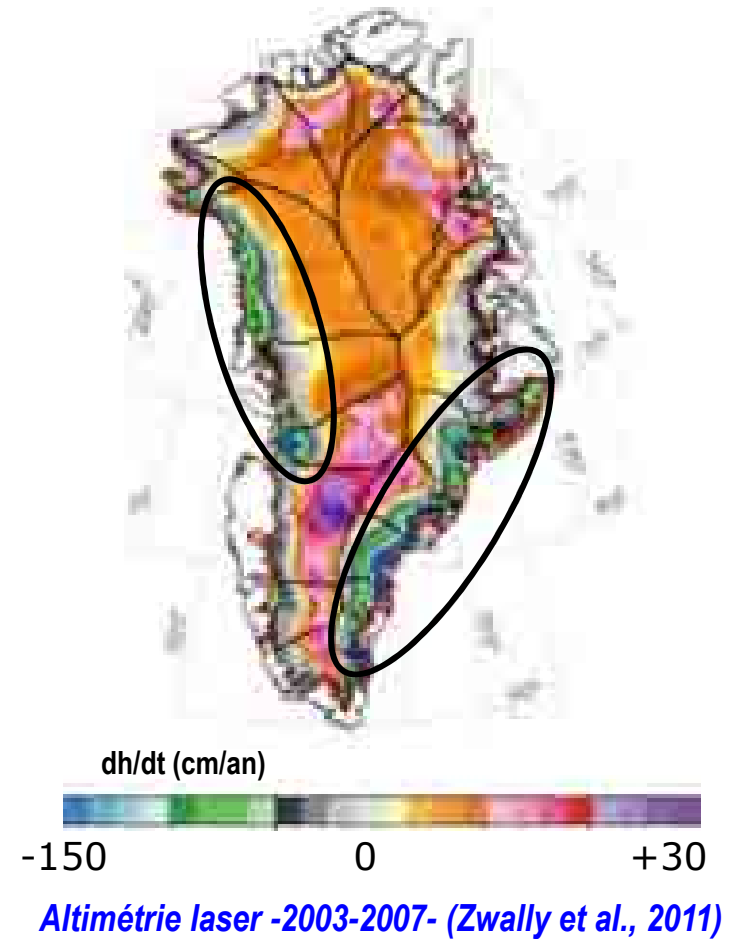


Groenland

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



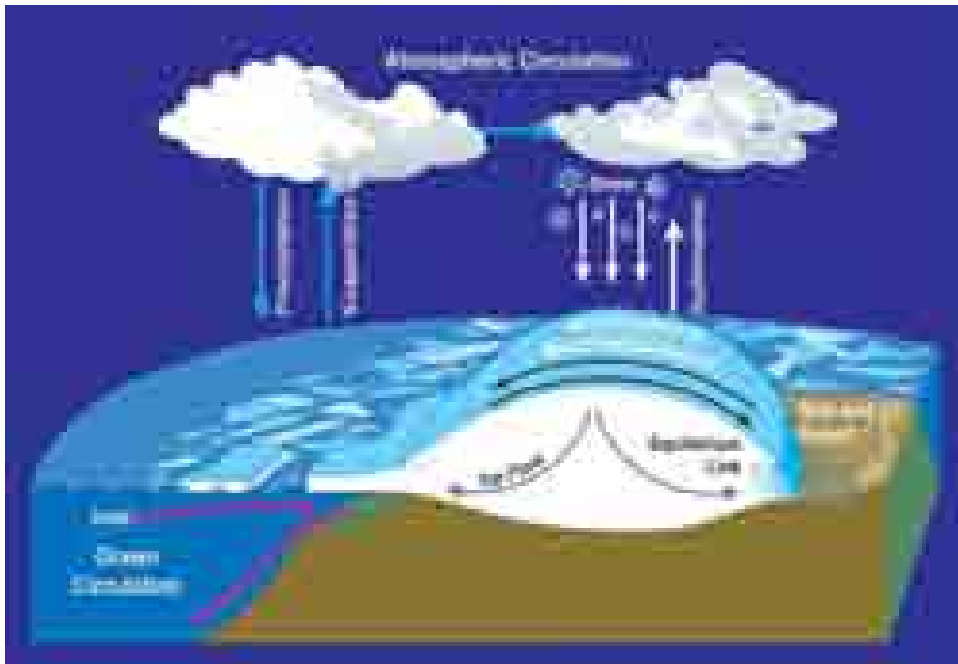
GRACE (Velicogna and Wahr, 2010)



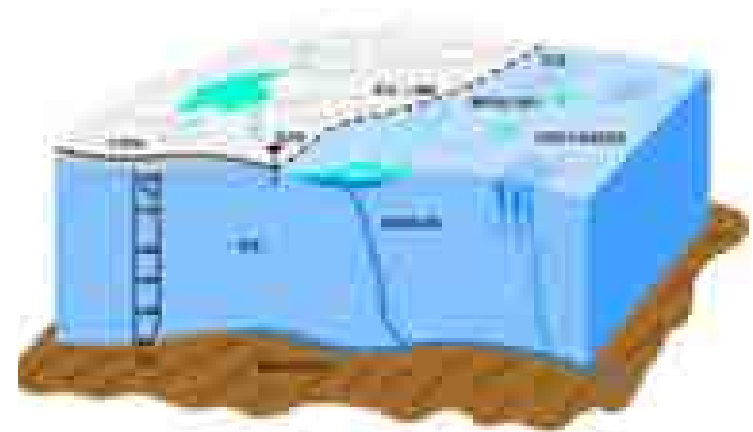
Instabilités dynamiques des calottes polaires



Differents processus...



+





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

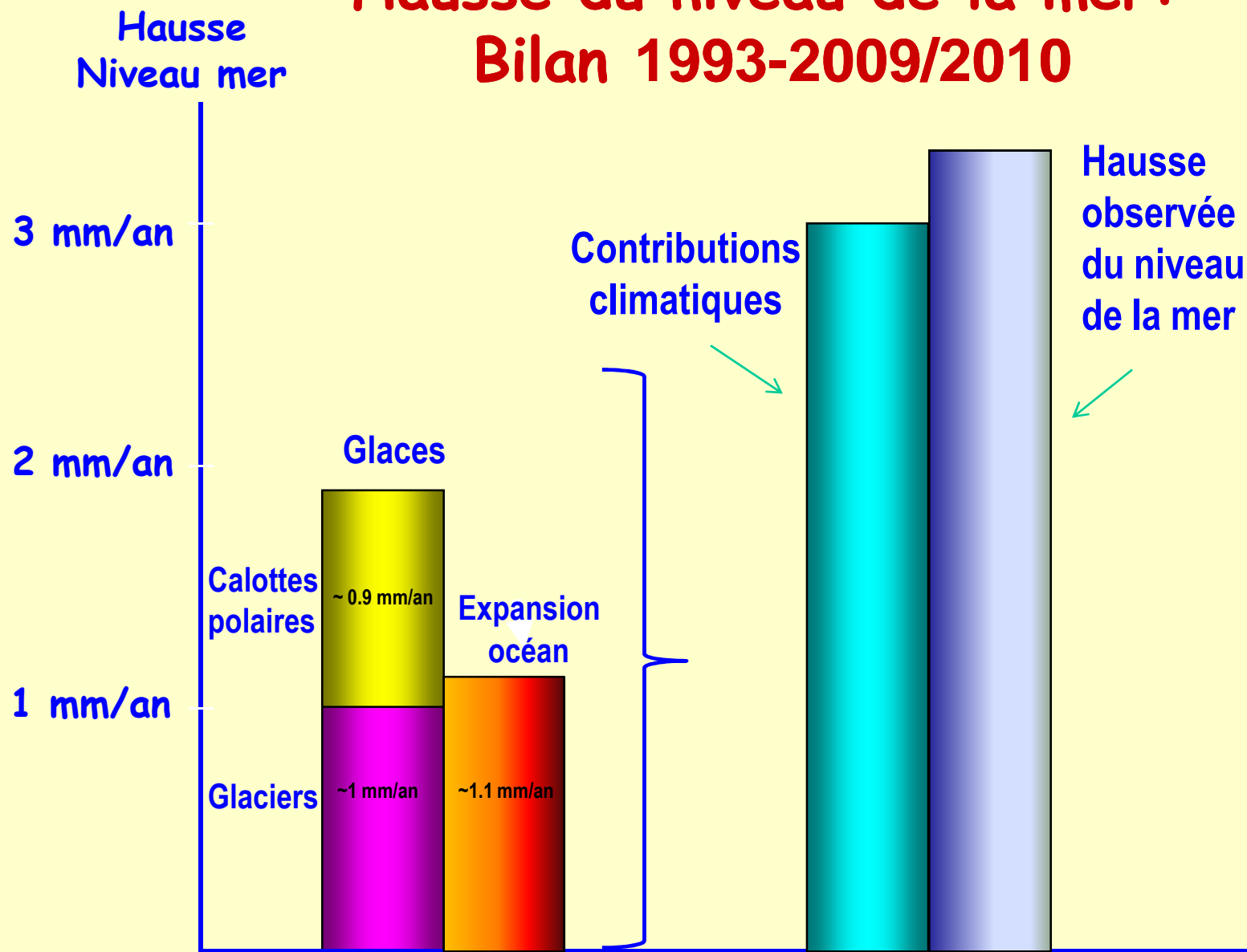
Glaciers : ~ 1 mm/an

Calottes polaires : ~ 1 mm/an

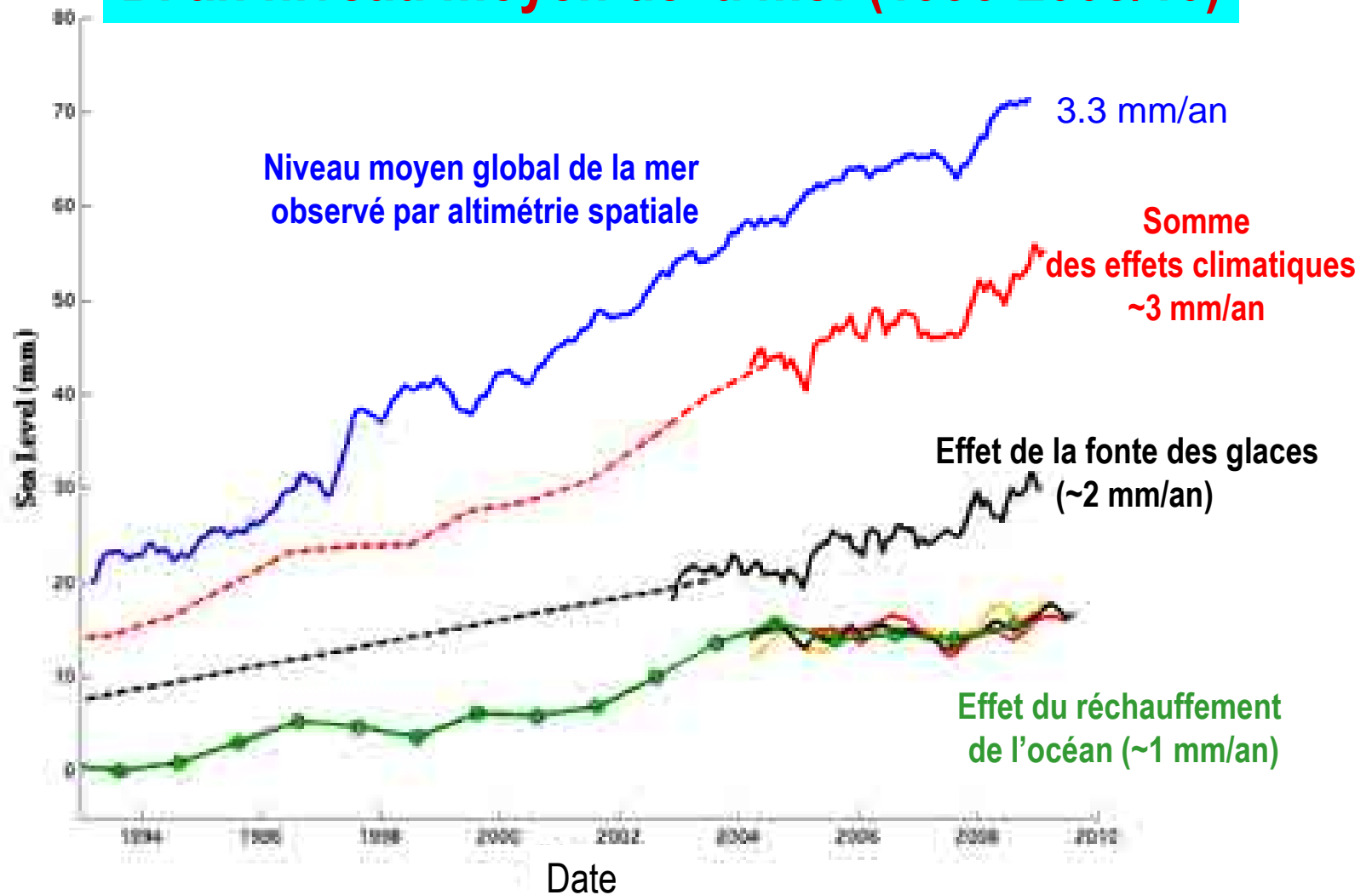


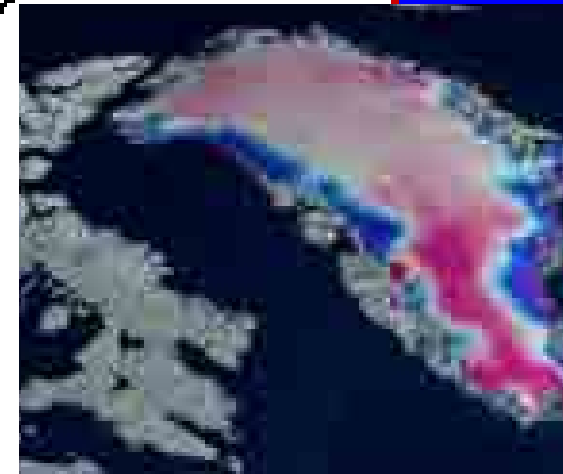
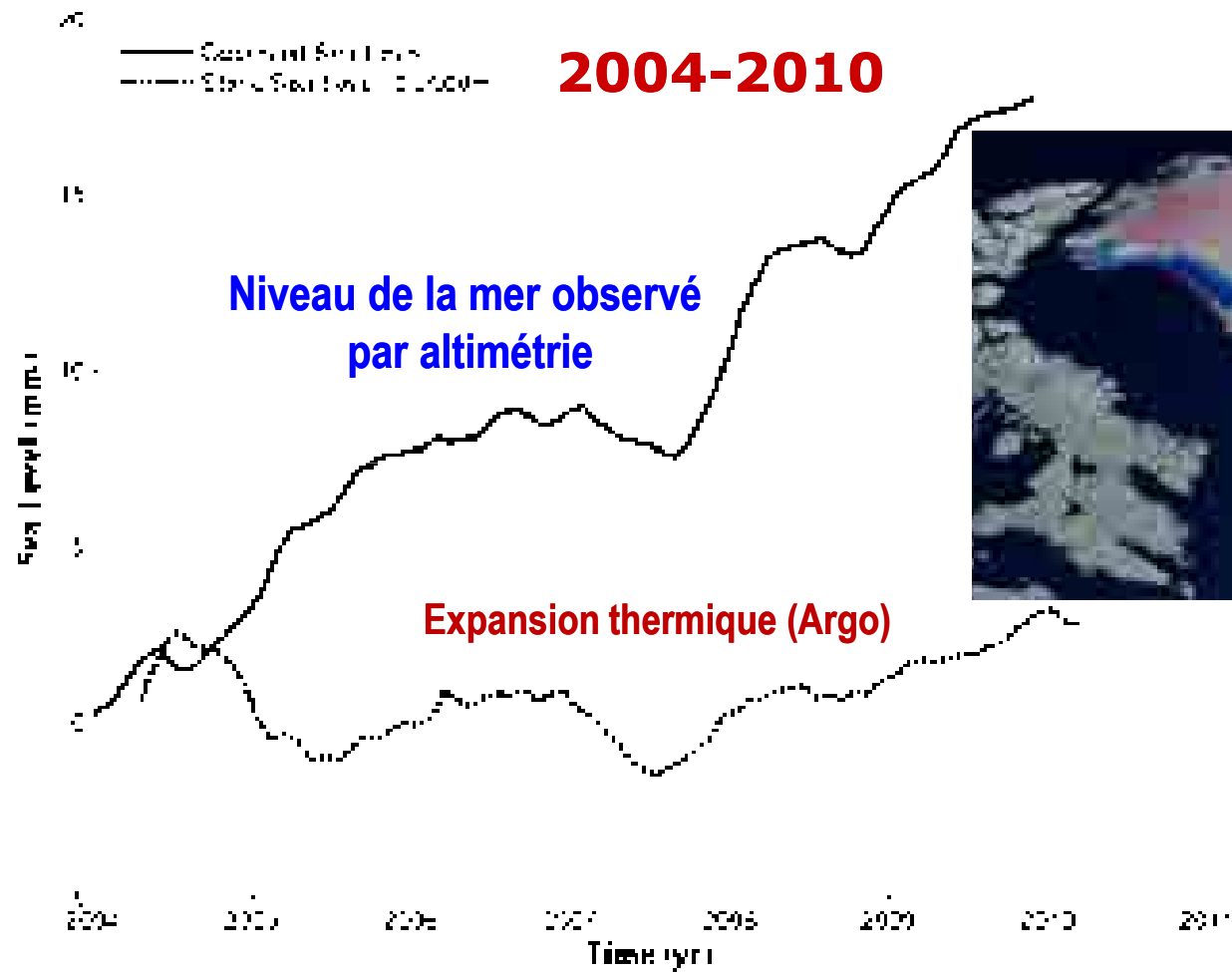
Total glaces : ~ 2 mm/an

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



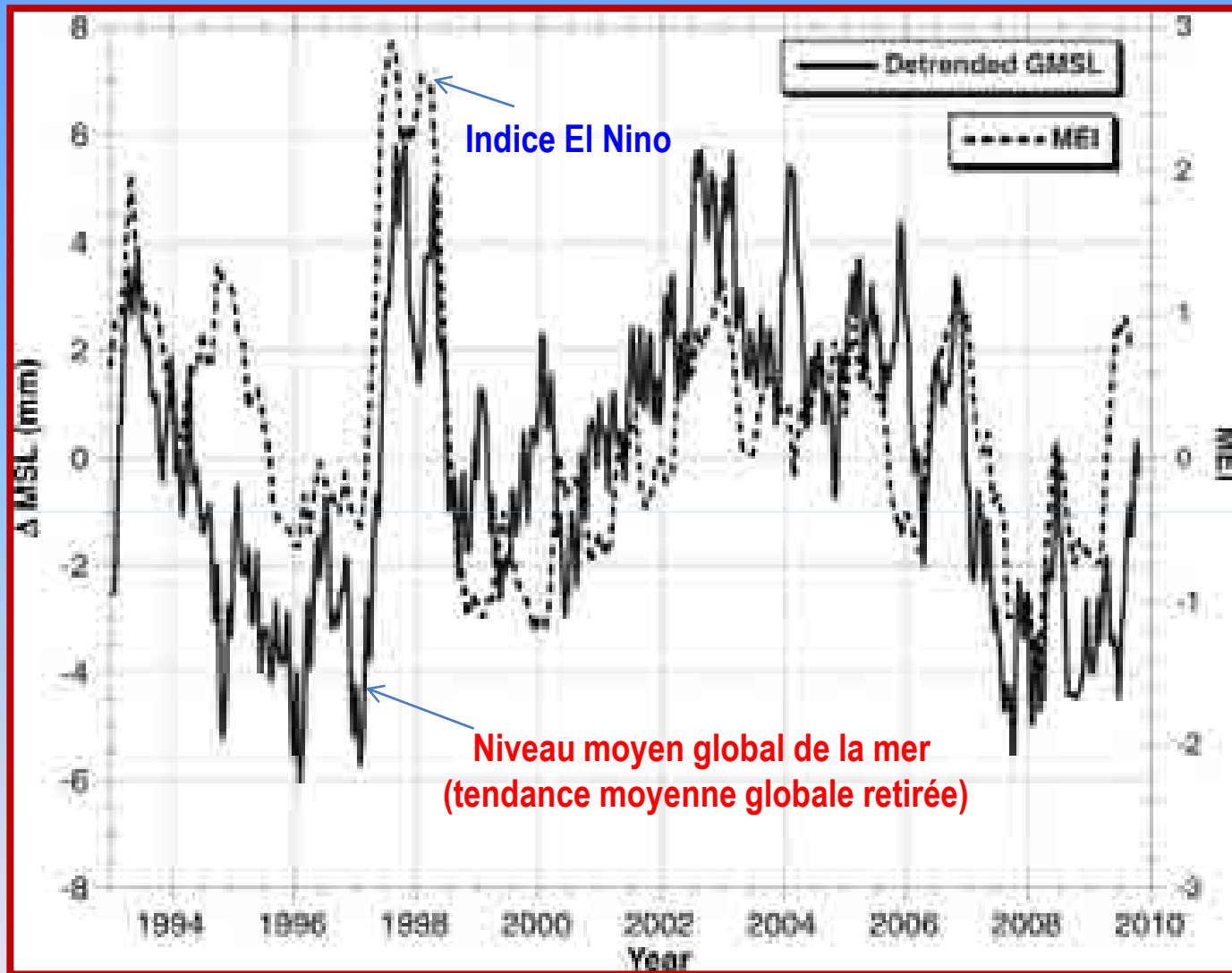
Bilan niveau moyen de la mer (1993-2009/10)





A scenic view of a beach with turquoise water and a blue sky with clouds. The text "Variabilité interannuelle du niveau de la mer" is overlaid on 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?

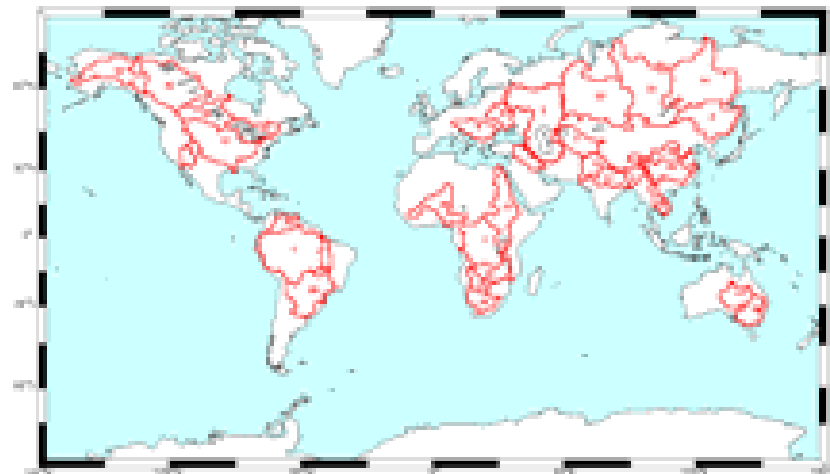
-Hydrologie continentale?



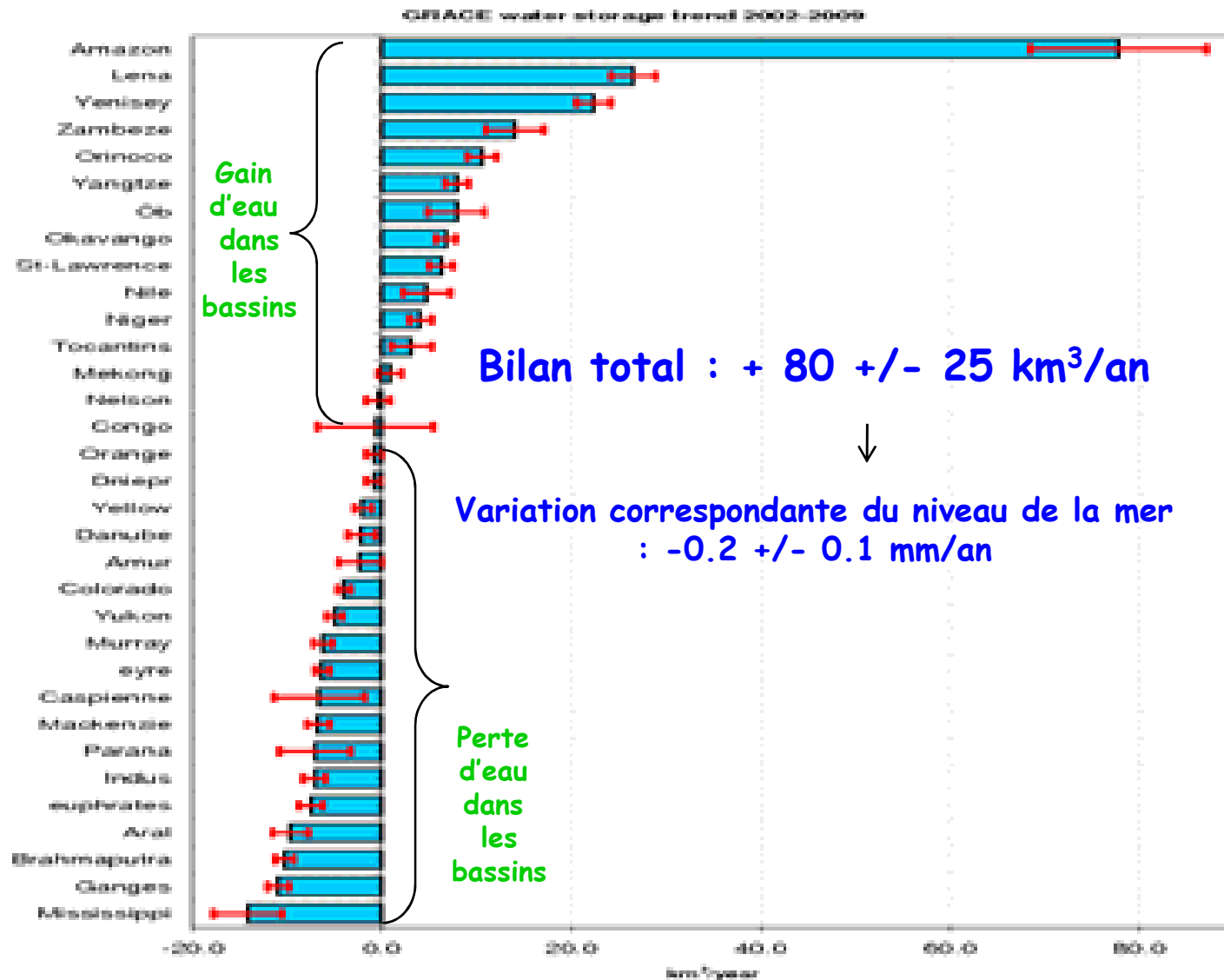
Cycle de l'eau



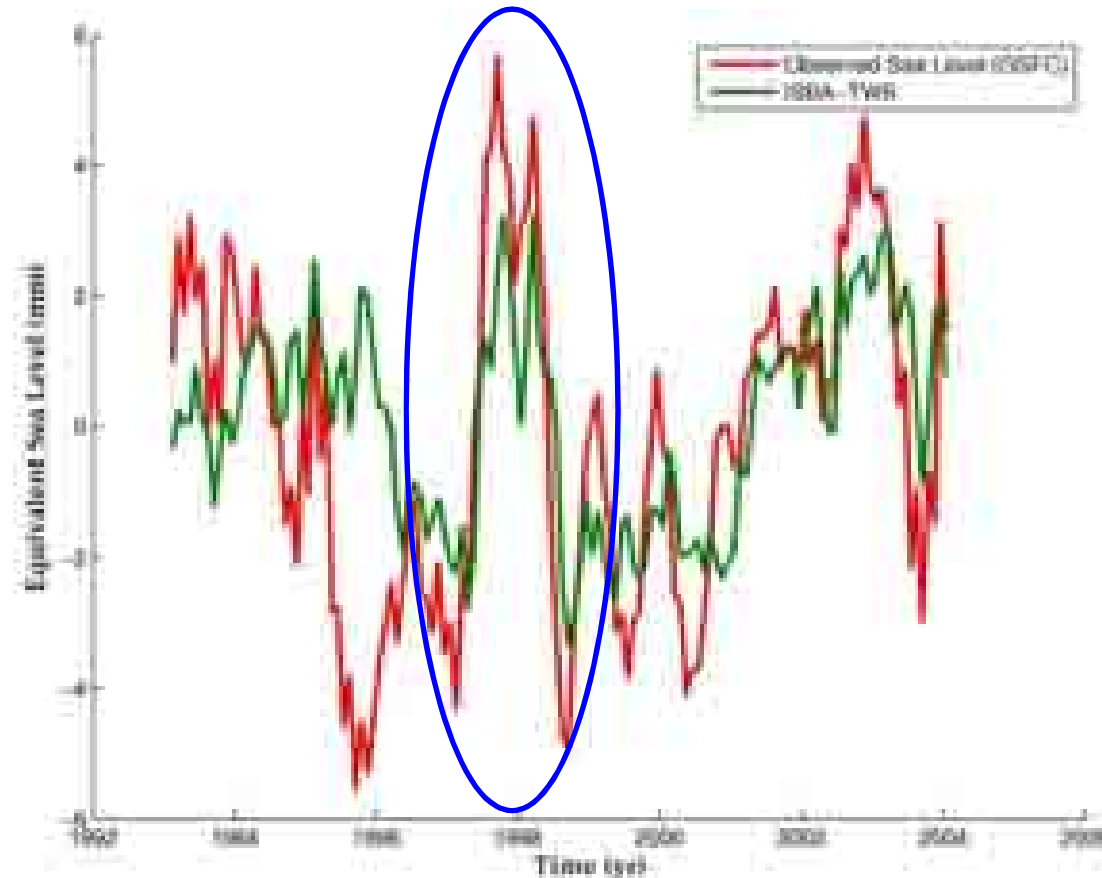
Variations du volume d'eau
dans les bassins fluviaux
d'après GRACE (depuis 2002)



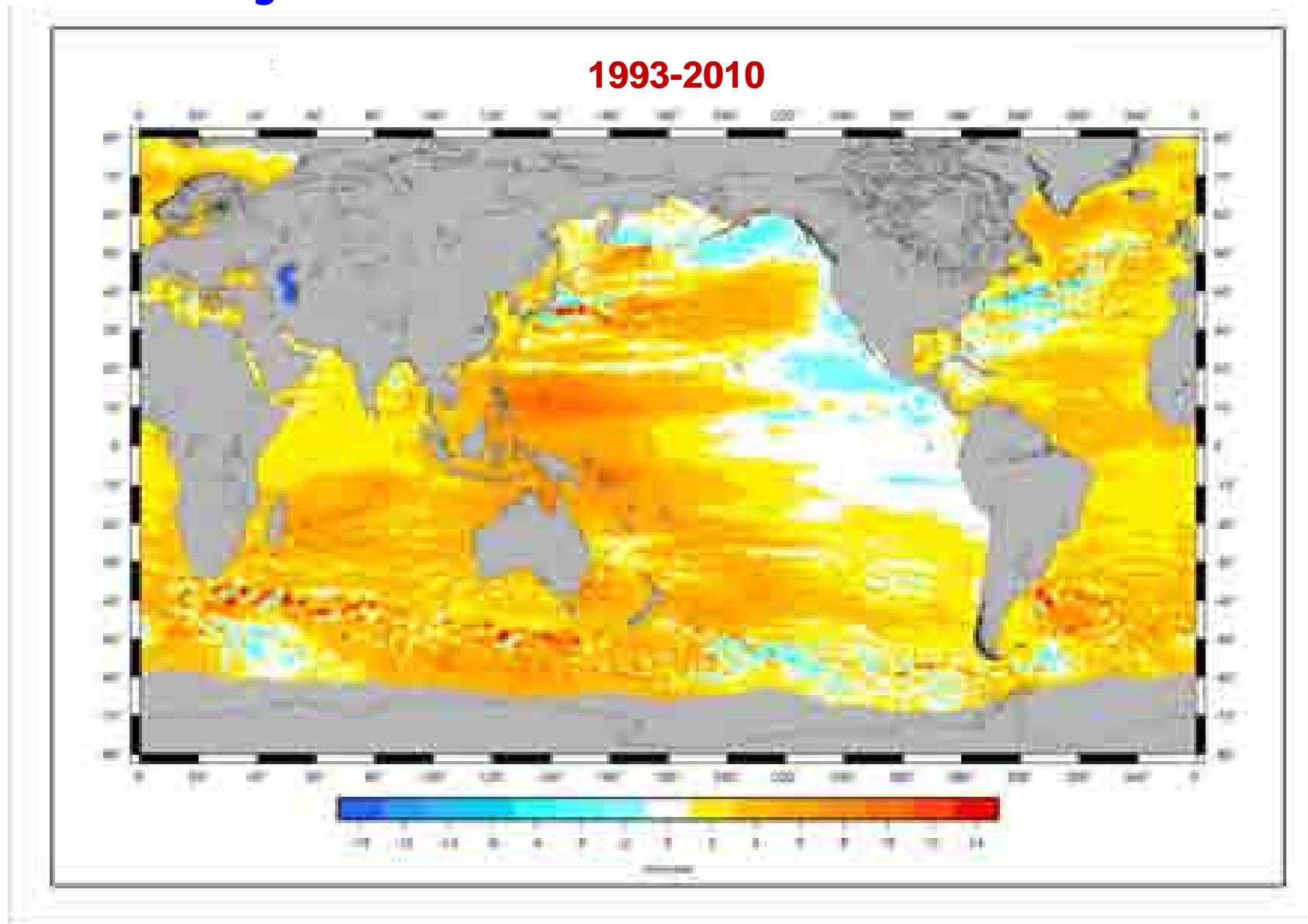
Variation du volume d'eau dans les grands bassins fluviaux d'après GRACE (km³/an) 2002-2009



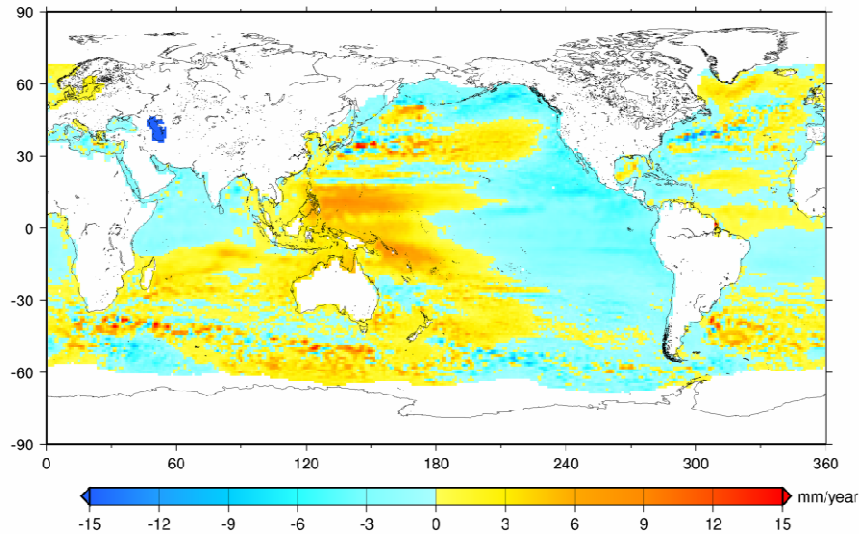
Variabilité interannuelle du niveau de la mer
→ expliquée!
(effet des stocks d'eaux continentales)



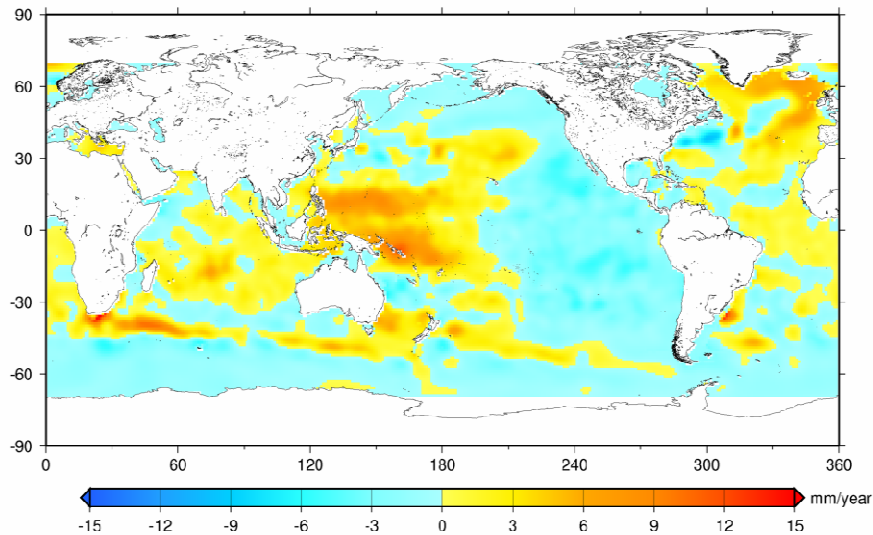
Variabilité régionale des vitesses de variation du niveau de la mer



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



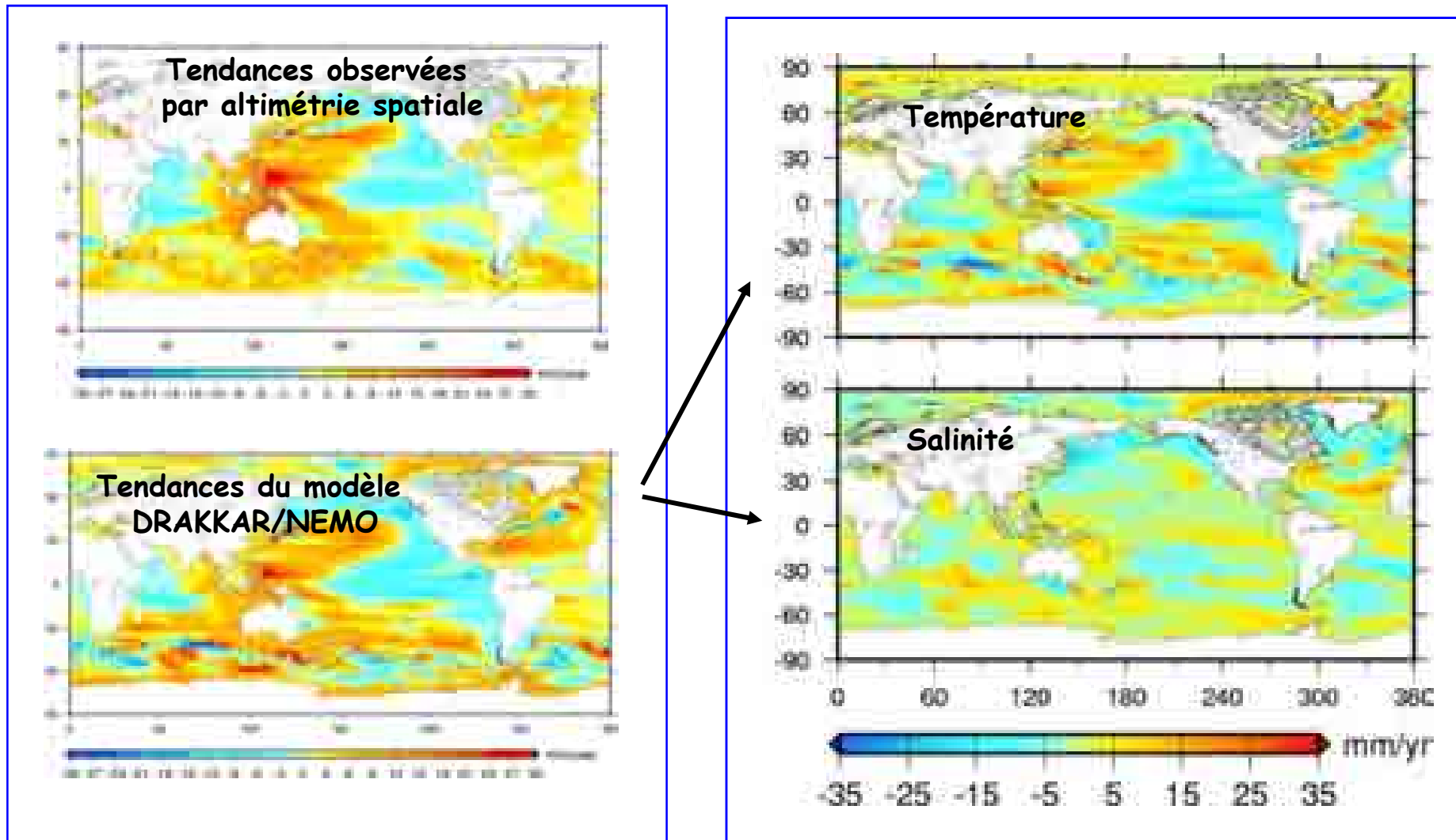
*Observations-altimétrie spatiale-
(tendance moyenne uniforme de 3.3
mm/an retirée)*



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

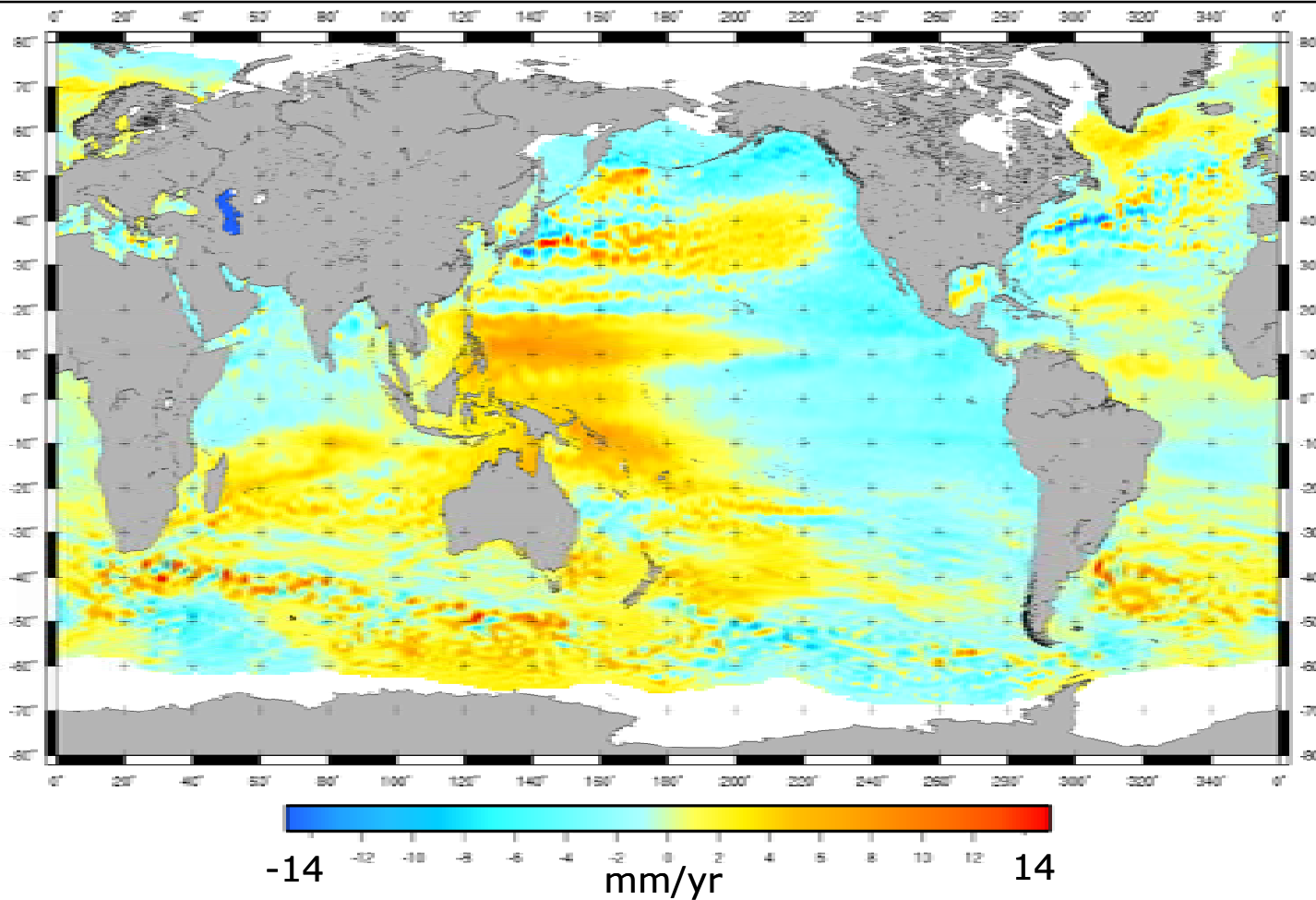
*(mesures in situ de température
d'après Levitus et al., 2009)*

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



Wunsch et al. 2007; Kohl & Stammer 2008; Lombard et al. 2009

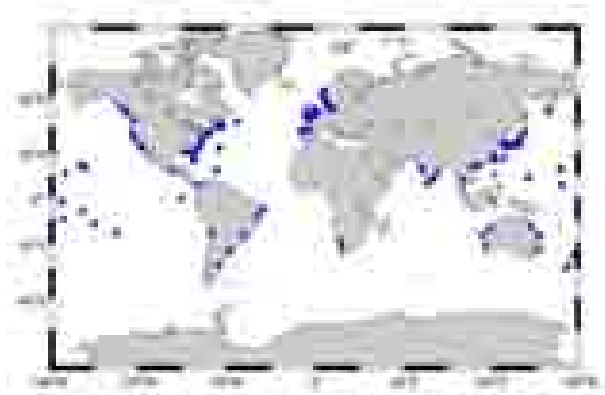
**Variabilité régionale des vitesses de variation du niveau de la mer (altimétrie spatiale)
(1993- 2010) (tendance moyenne uniforme -3.3 mm/an retirée)**



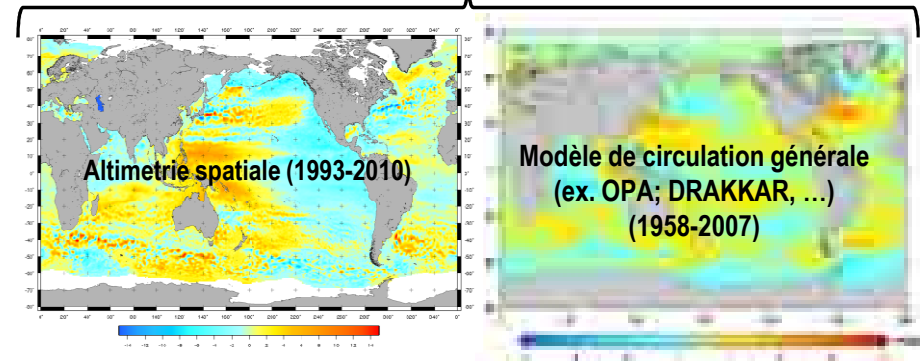
Les structures spatiales observées sur la période altimétrique sont-elles stationnaires?
Sont-elles liées à la variabilité interne du système climatique?
Portent-elles l’empreinte des forçages externes (en particulier anthropique)?

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

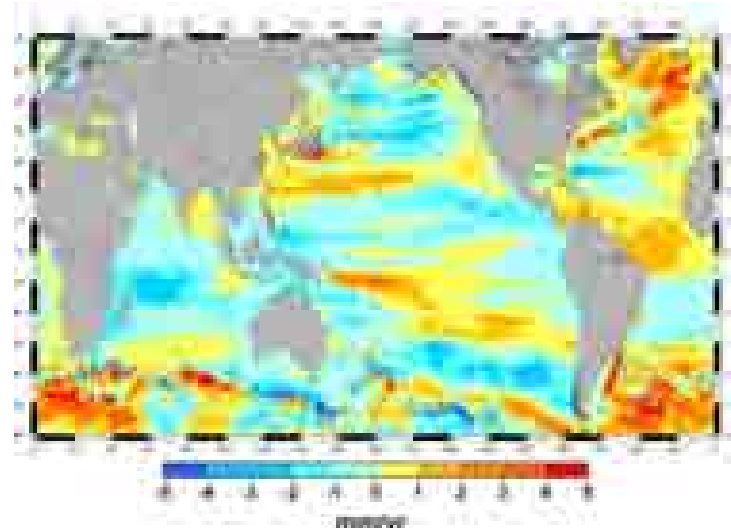
Marégraphes (1950-2010)



Séries temporelles de grilles de niveau de mer



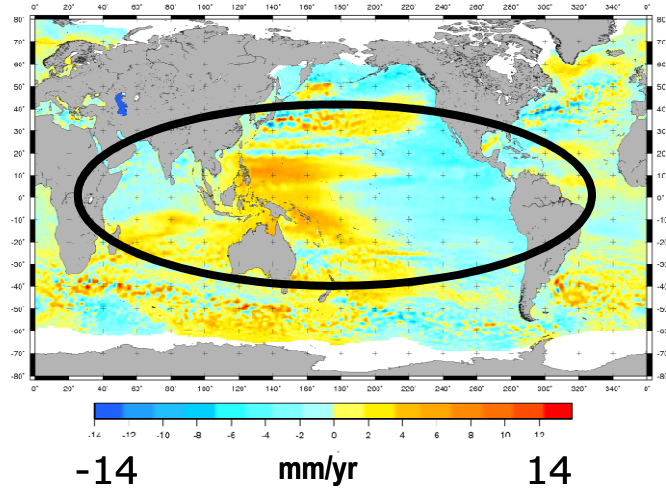
Reconstruction: séries temporelles de grilles du niveau de la mer (1950-2010)



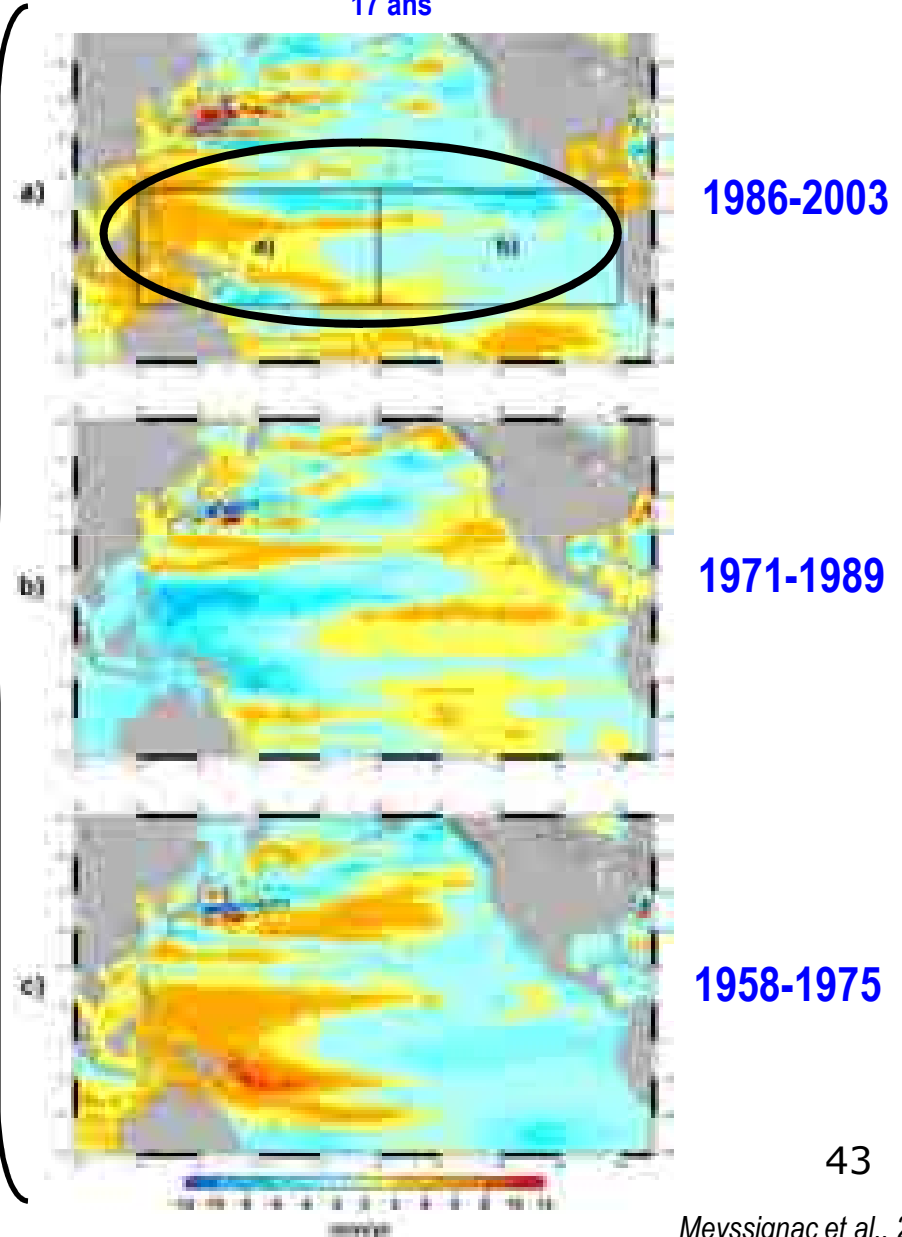
Church et al., 2004
Berge-Nguyen et al. 2008
Llovel et al.2009
Ray and Douglas, 2011
Church and White, 2011
Meysignac et al., 2011a

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

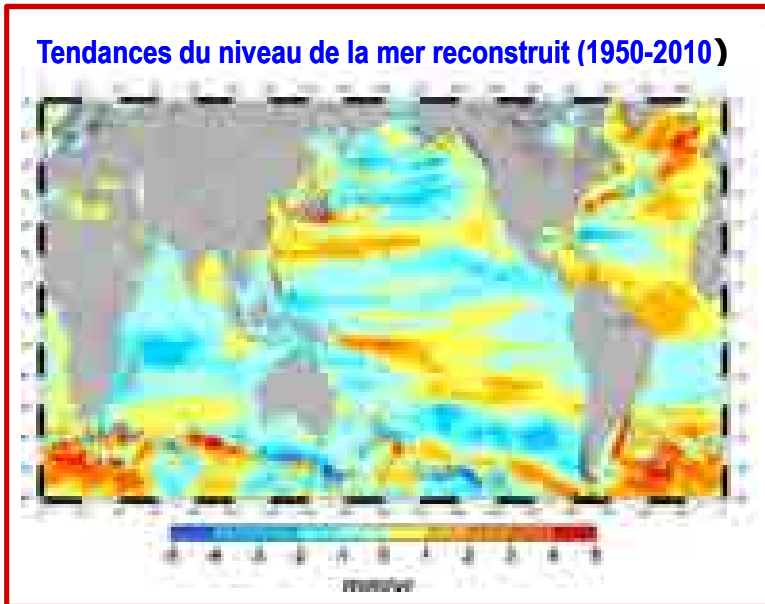
Tendances spatiales observées par altimétrie (1993-2009)



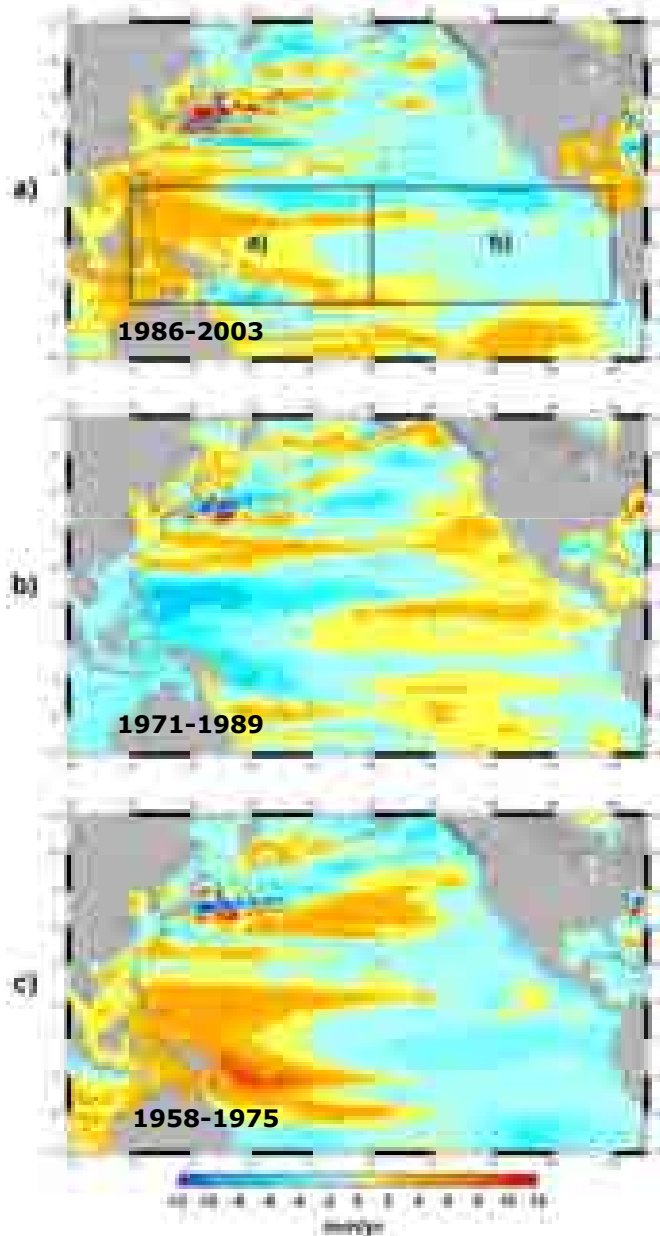
Tendances spatiales du niveau de la mer reconstruit sur des fenêtres de 17 ans



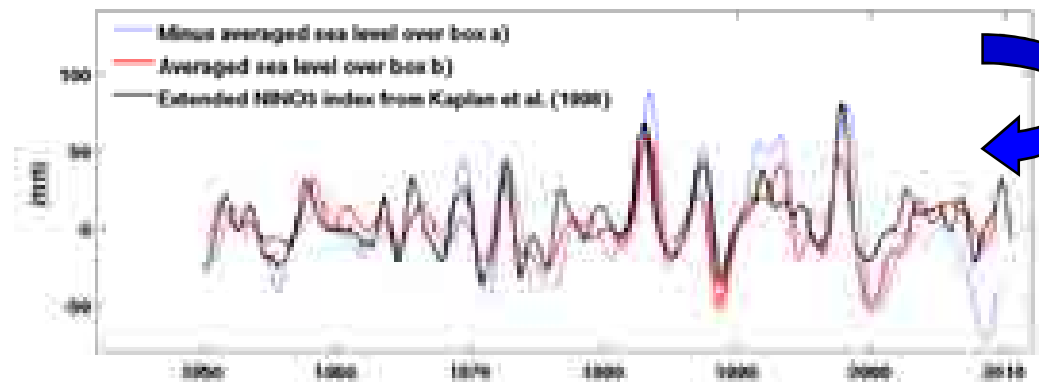
Tendances du niveau de la mer reconstruit (1950-2010)



Niveau de la mer reconstruit (1950-2010)

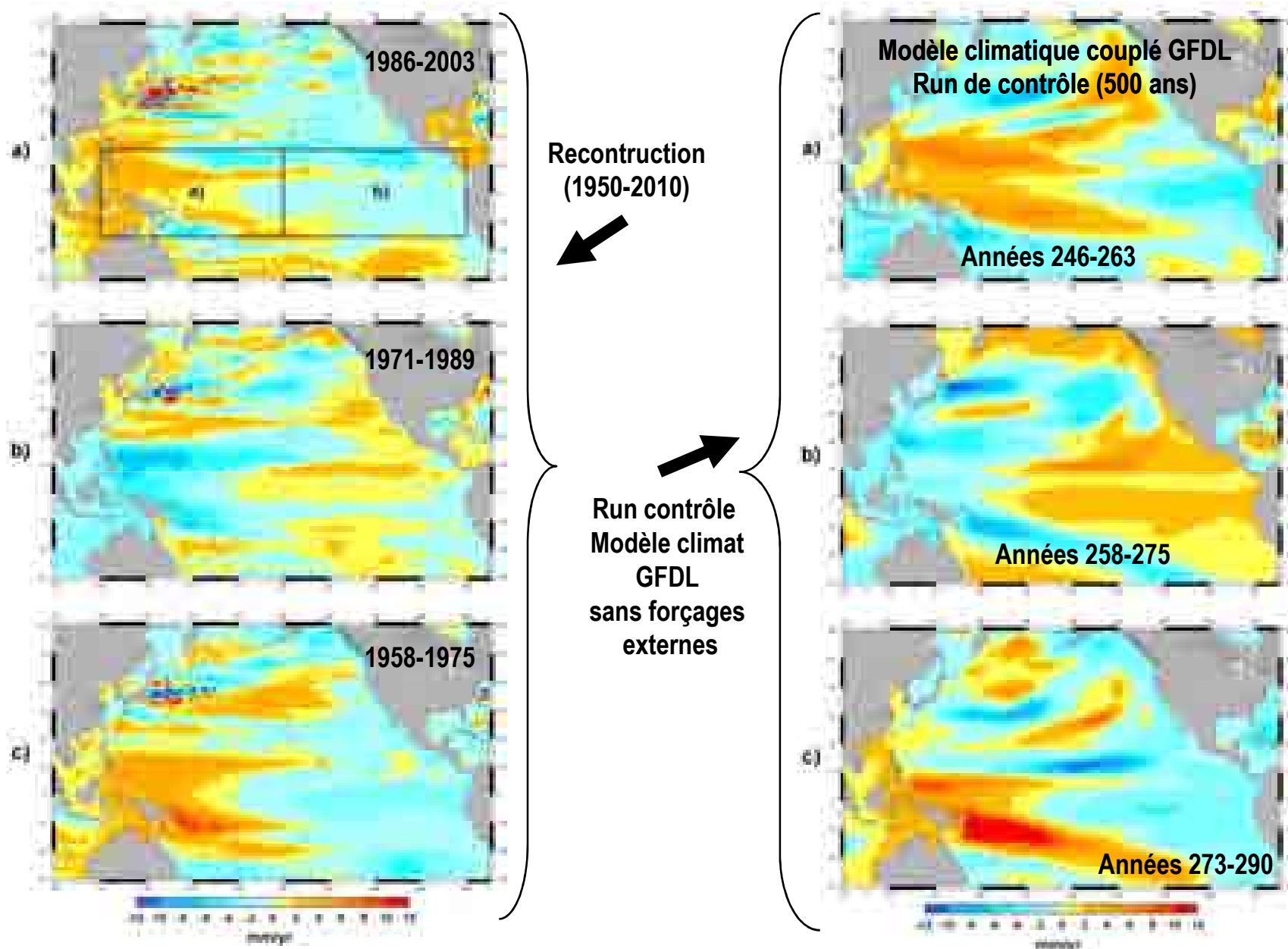


Dans le Pacifique tropical → oscillation est-ouest des structures spatiales suivant les fréquences de El Nino



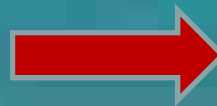
Courbe bleue: niveau de la mer dans boîte a
Courbe rouge : niveau de la mer (x -1) dans boîte b
Courbe noire : indicateur El Nino

Tendances spatiales sur des fenêtres de 17 ans successives



Conclusions

•Hausse moyenne globale

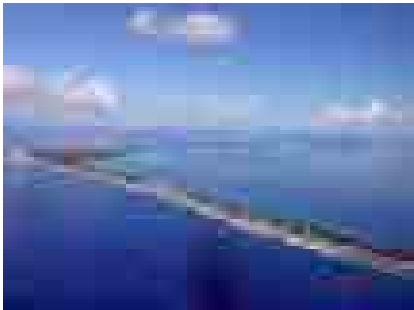
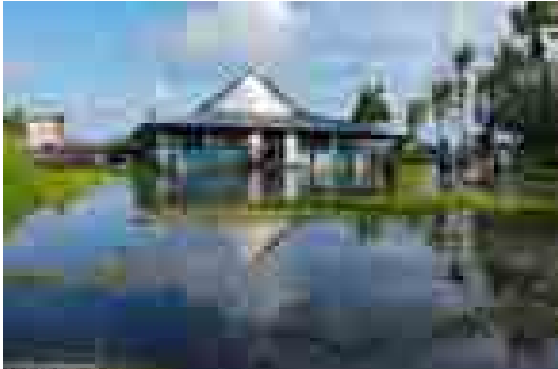
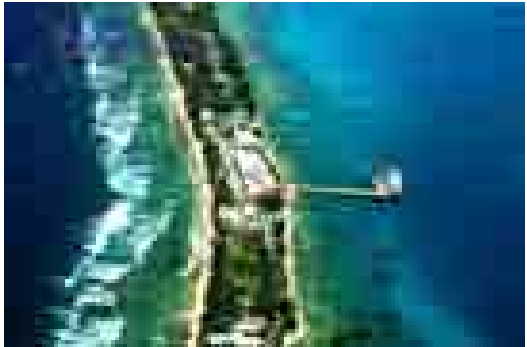


Réchauffement anthropique

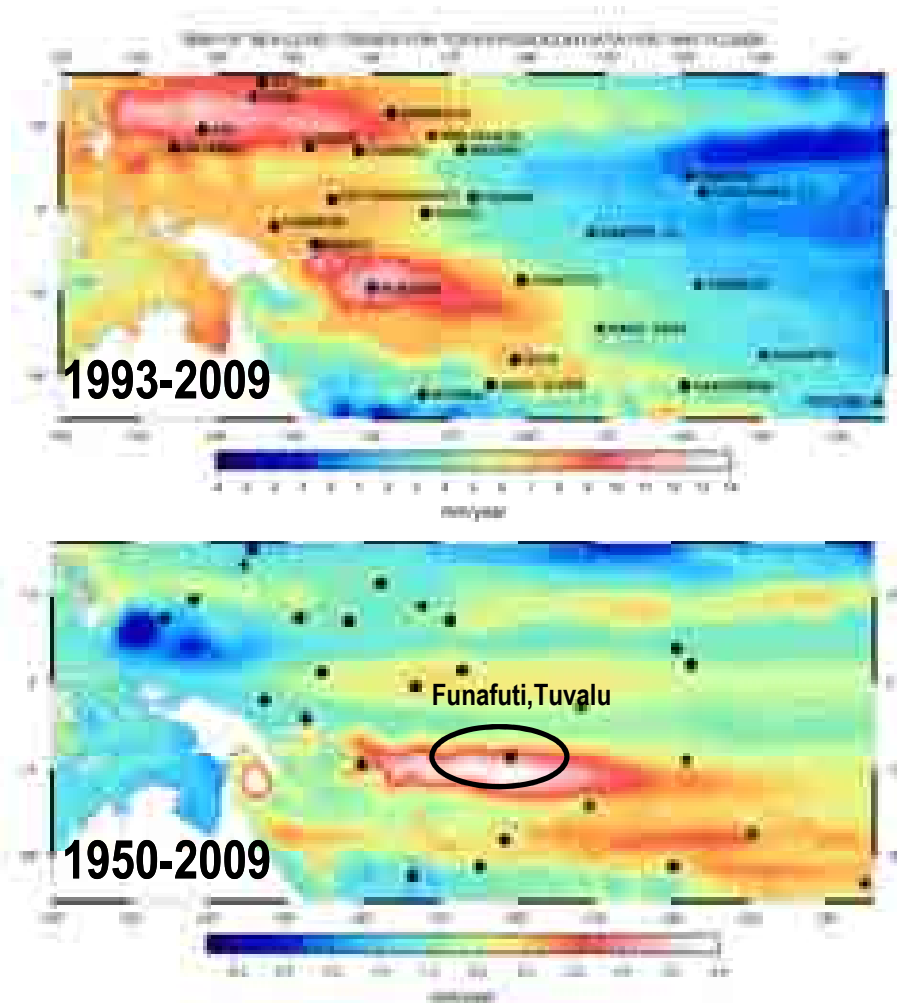
•Variabilité régionale



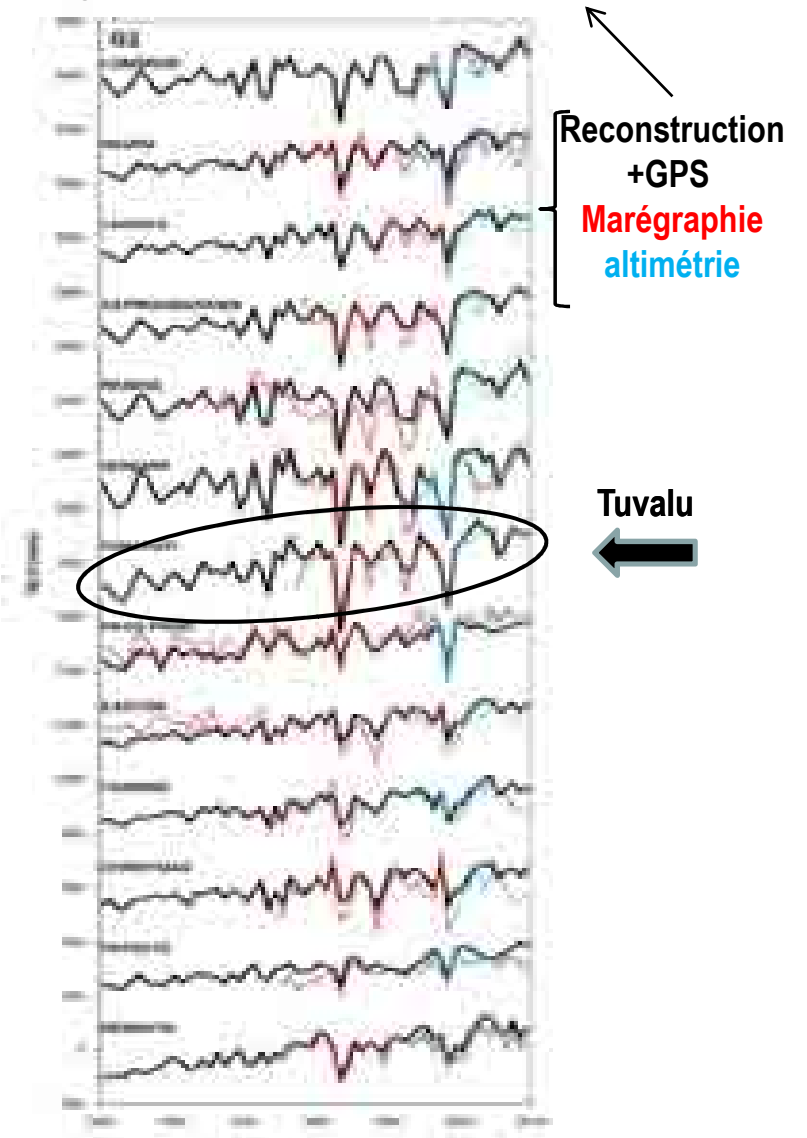
Variabilité interne
du système climatique



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



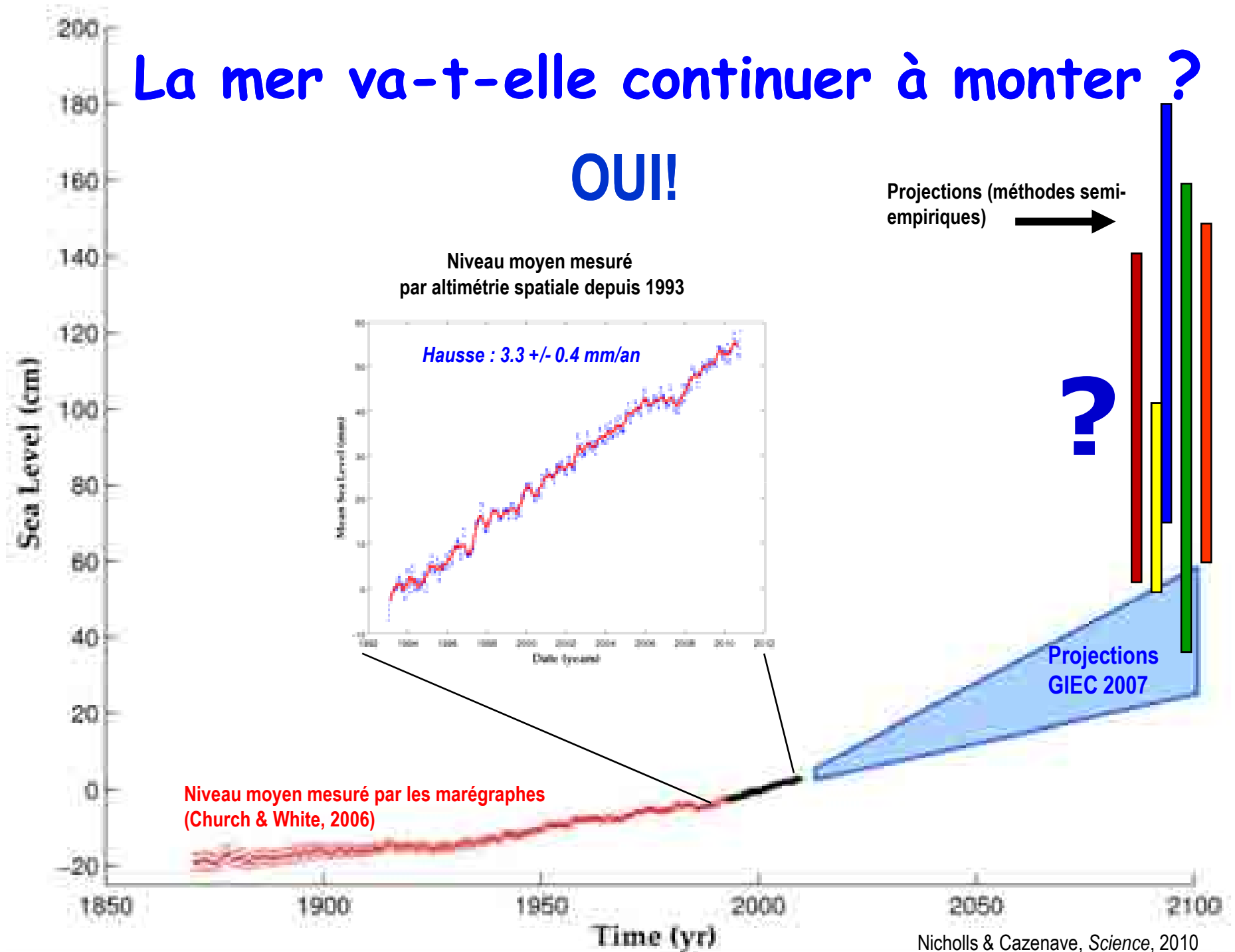
Hausse moyenne uniforme + variabilité régionale + mouvement croûte GPS



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

La mer va-t-elle continuer à monter ?

OUI!



**Merci de votre
attention**