



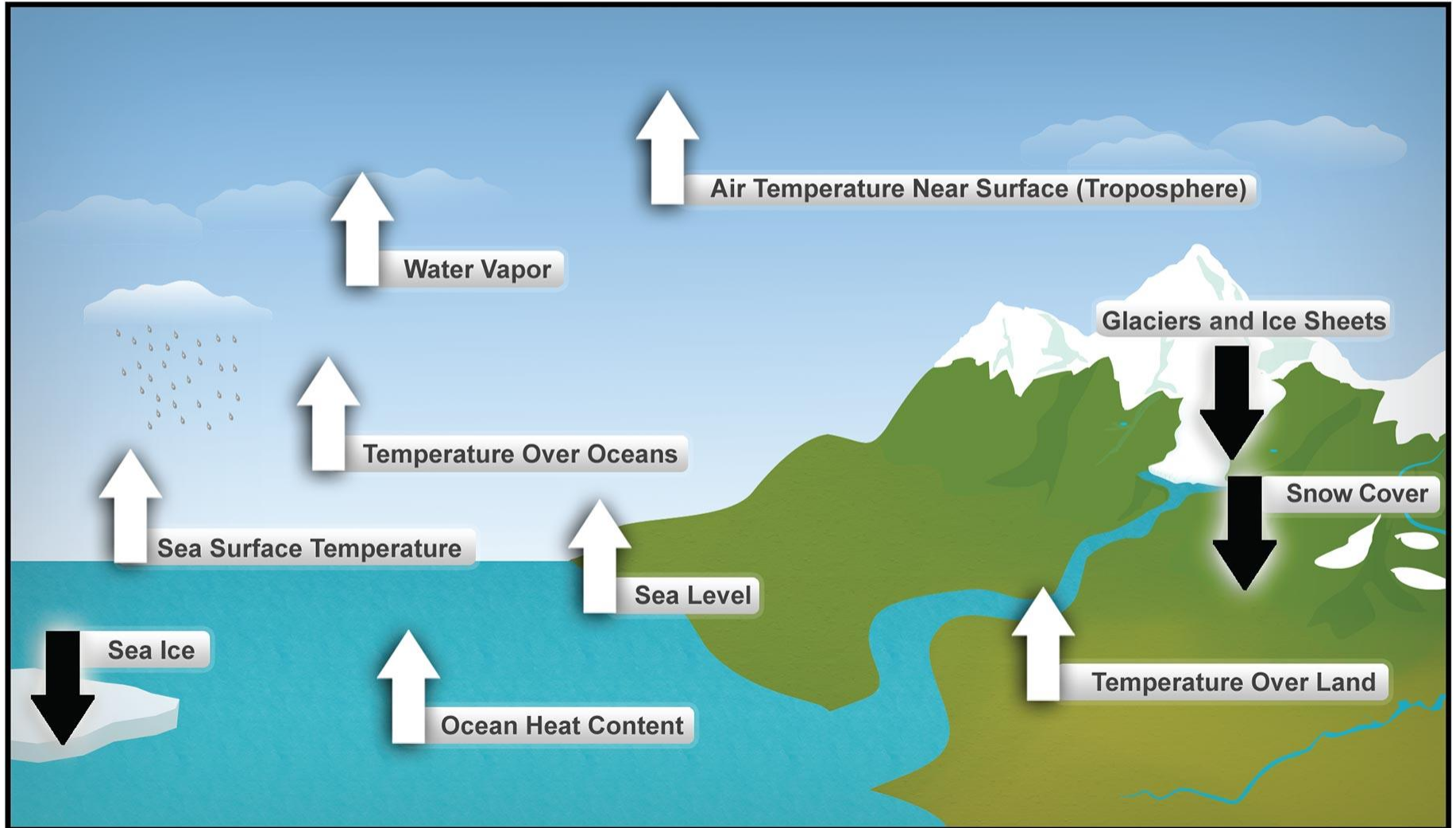
Hausse du niveau des mers

Anny Cazenave

Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales
(LEGOS, Toulouse, France)

& International Space Science Institute (ISSI, Berne, Suisse)

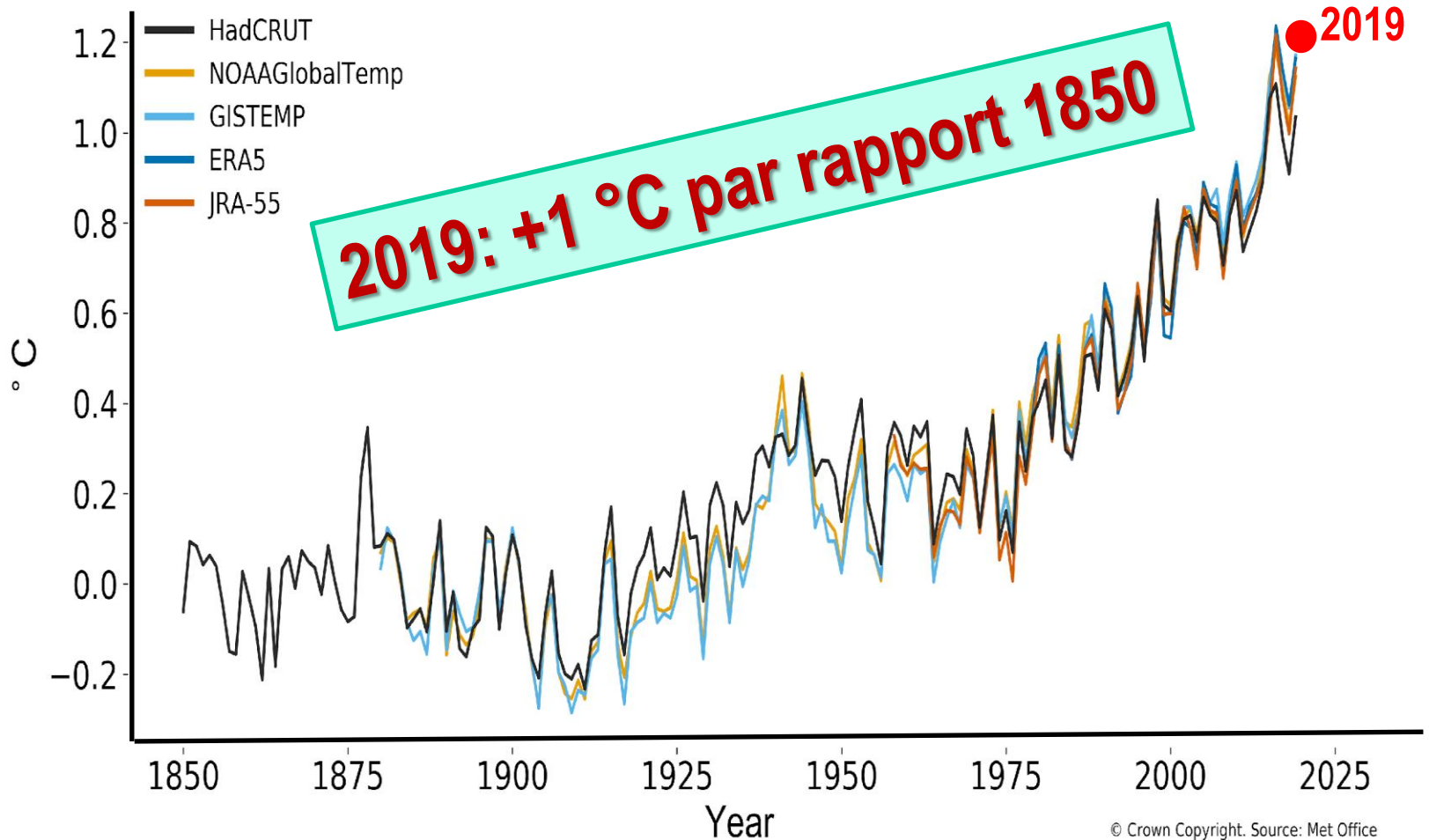
Un monde plus chaud...



Evolution de la température moyenne de la Terre depuis 1850

Met Office

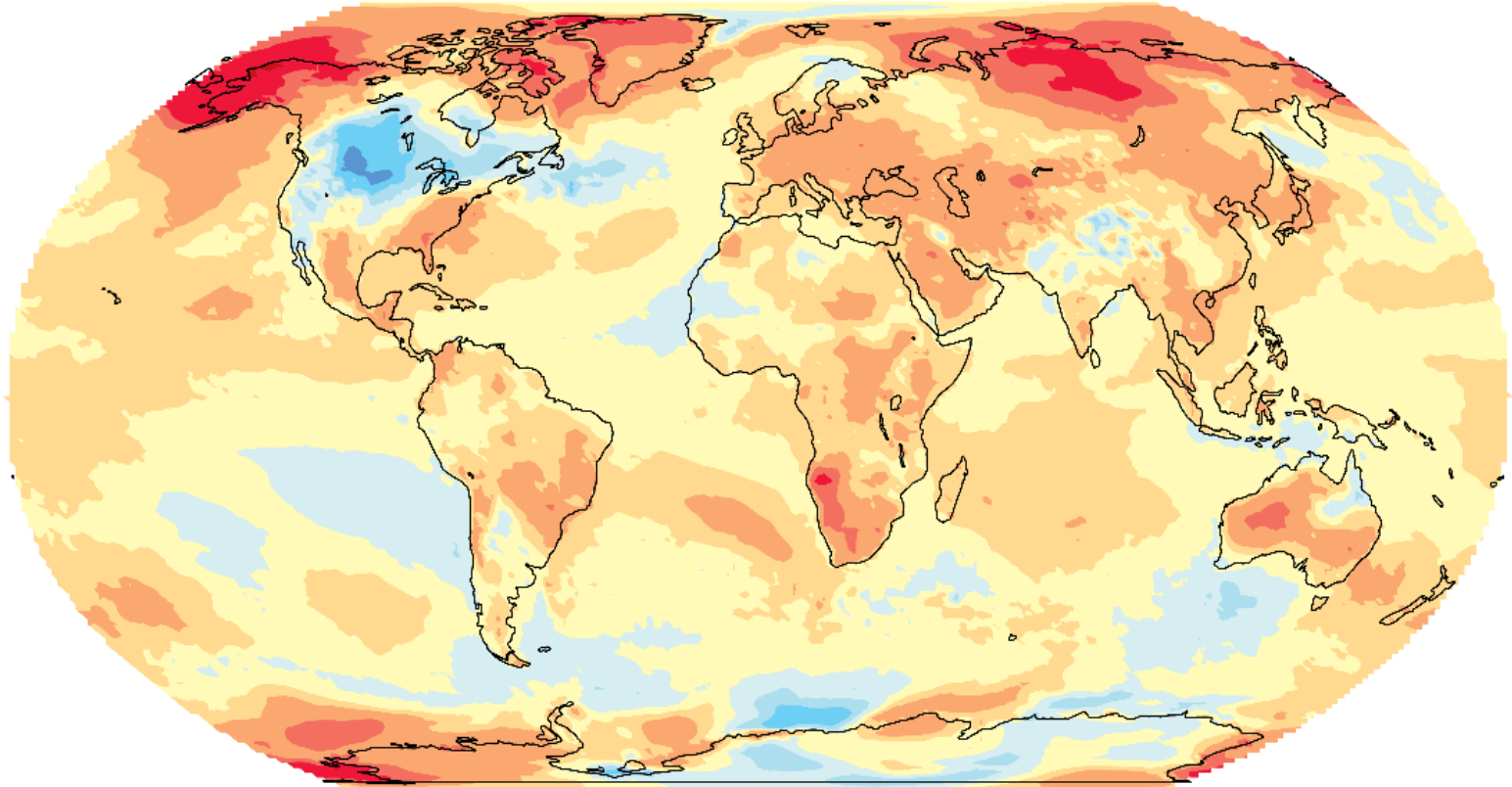
Global mean temperature difference from 1850-1900 (° C)



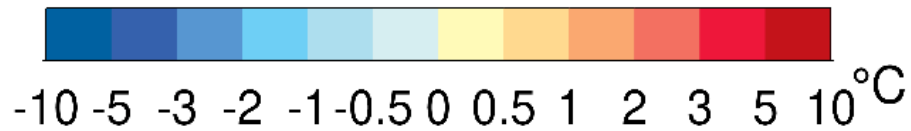
© Crown Copyright. Source: Met Office

Organisation Météorologique Mondiale, 2019

Hausse des températures par région en 2019 (par rapport à la moyenne 1980-2010)

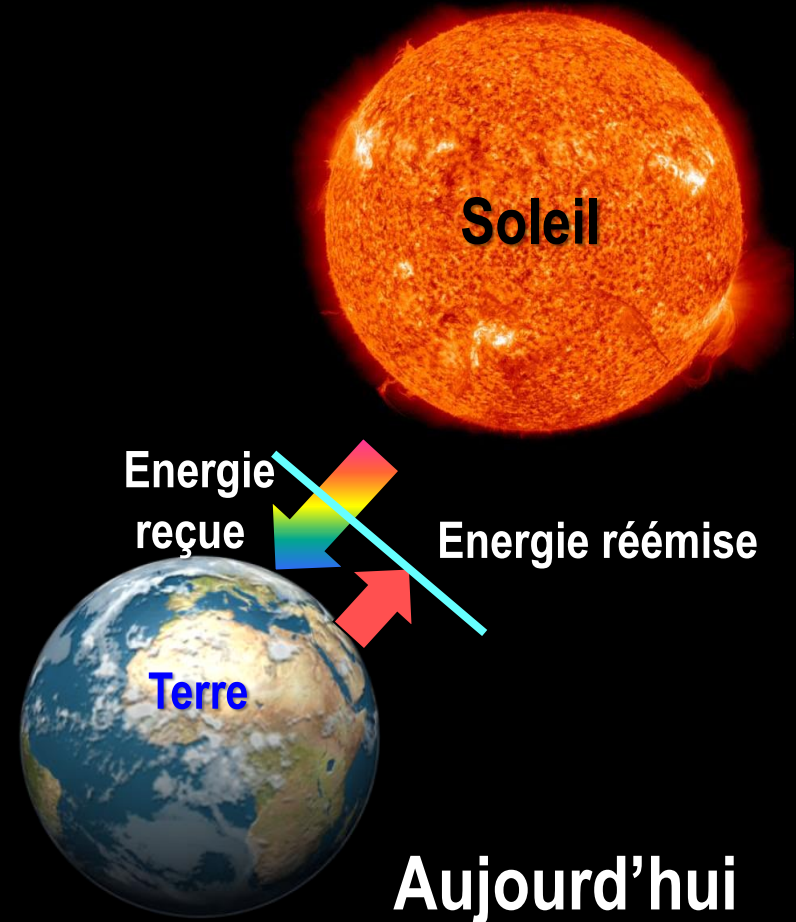
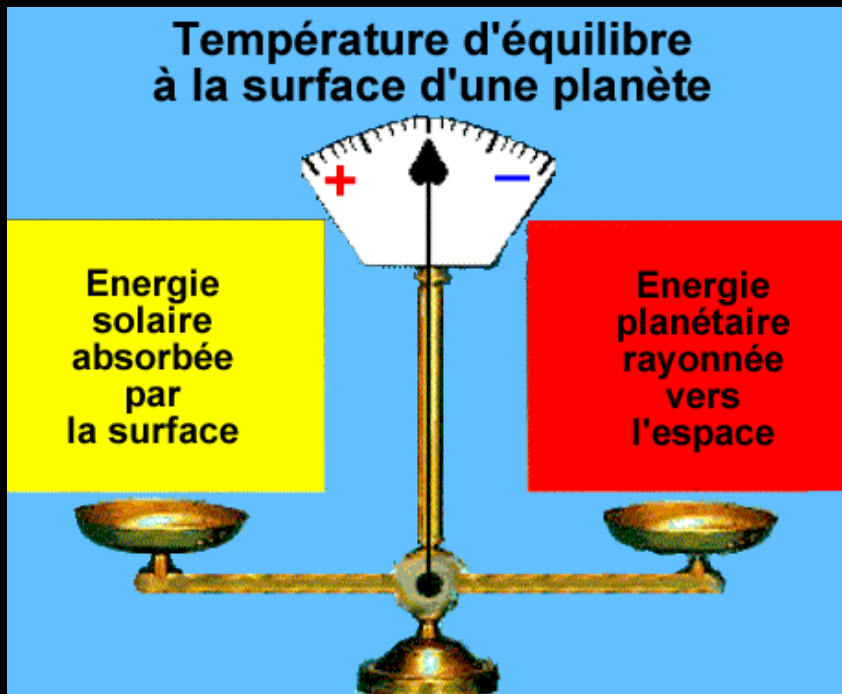


Data source: ERA5



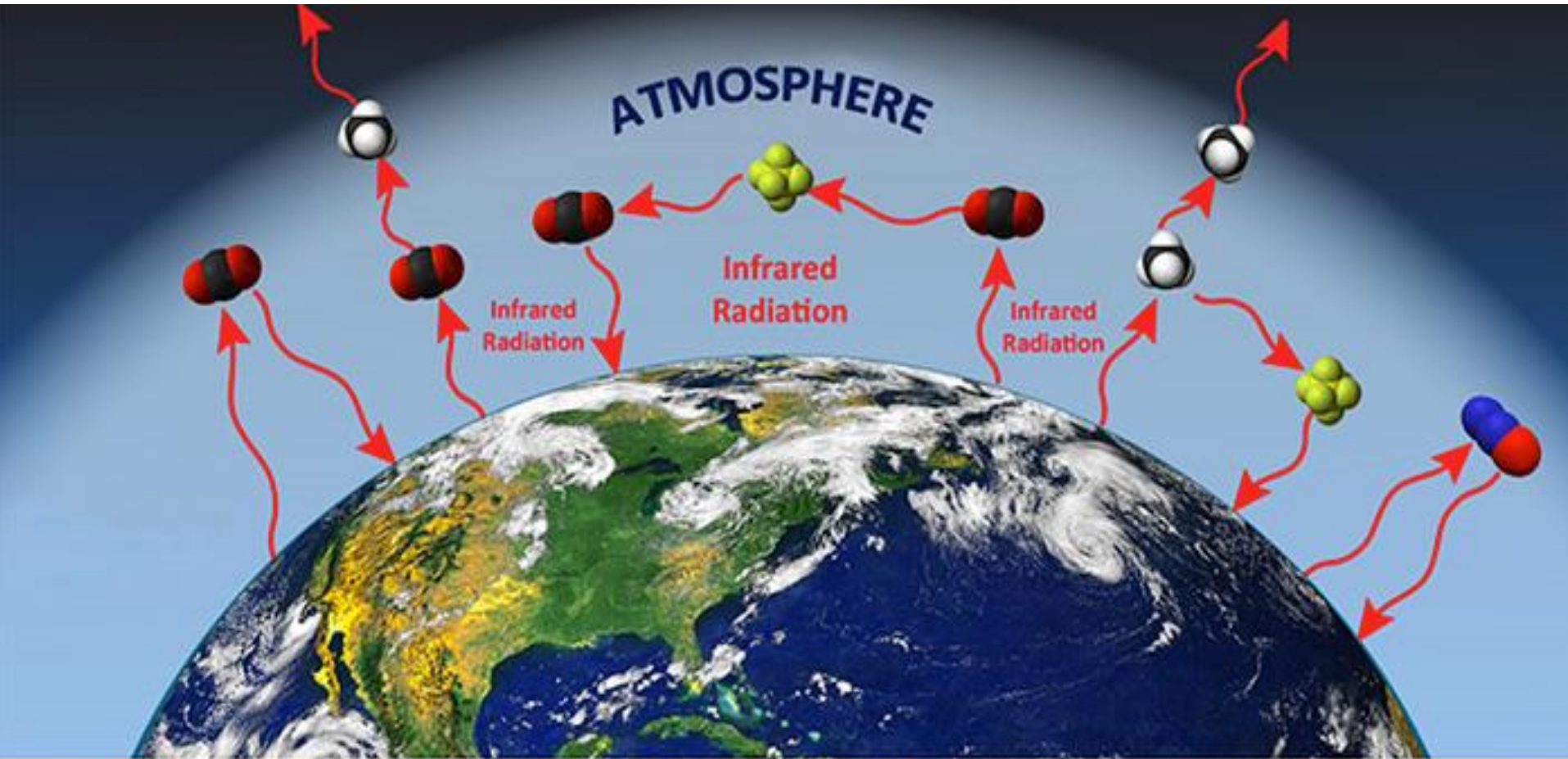
Organisation Météorologique Mondiale, 2019

Bilan énergétique de la Terre



déséquilibre énergétique $\rightarrow \sim 1 \text{ W.m}^{-2}$

Réchauffement de la Terre du aux gaz à effet de serre (GES) émis par les activités humaines



 Carbon Dioxide

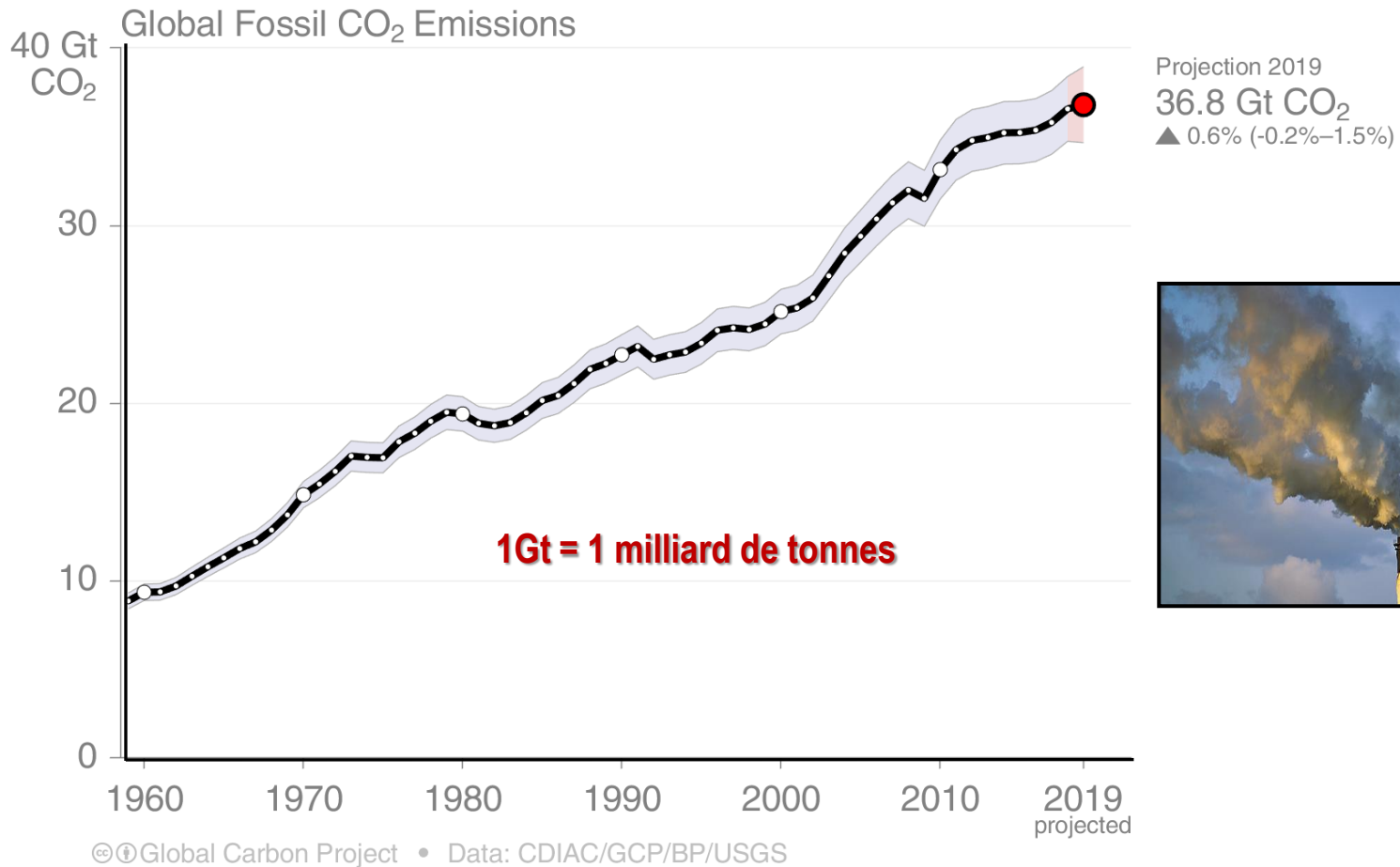
 Methane

 Nitrous oxide

 Sulfur Hexafluoride

Evolution des émissions anthropiques de GES (CO₂)

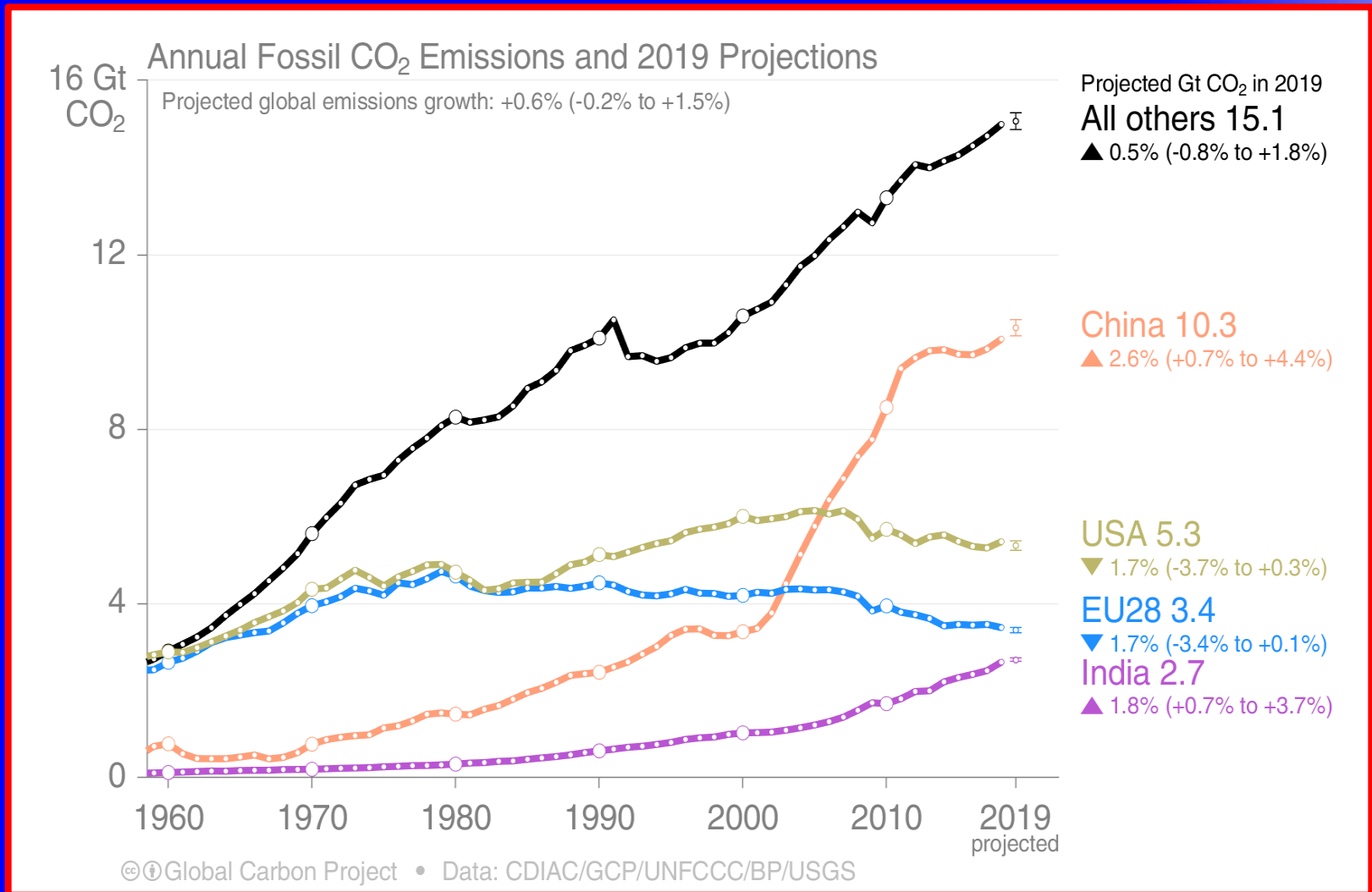
Total des émissions depuis le début de l'ère industrielle: 2000 GtCO₂
(Combustion des ressources fossiles: 1300 GtCO₂ ; Déforestation: 700 GtCO₂)



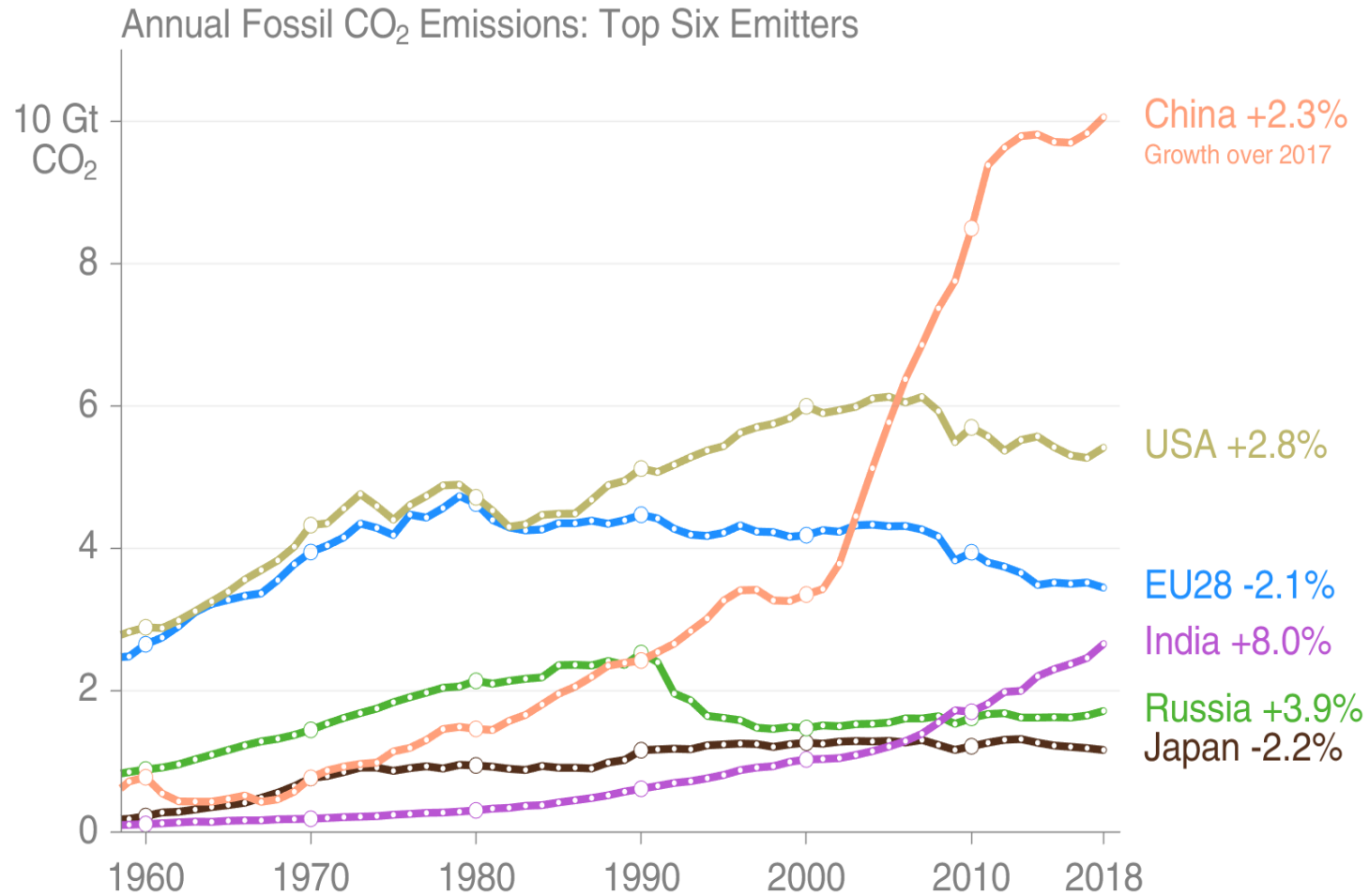
Emissions globales en 2019 : 36.8 ± 2 GtCO₂
(augmentation de 64% par rapport à 1990)

Source: Global Carbon Project 2019

Emissions de dioxyde de carbone par région depuis 1960

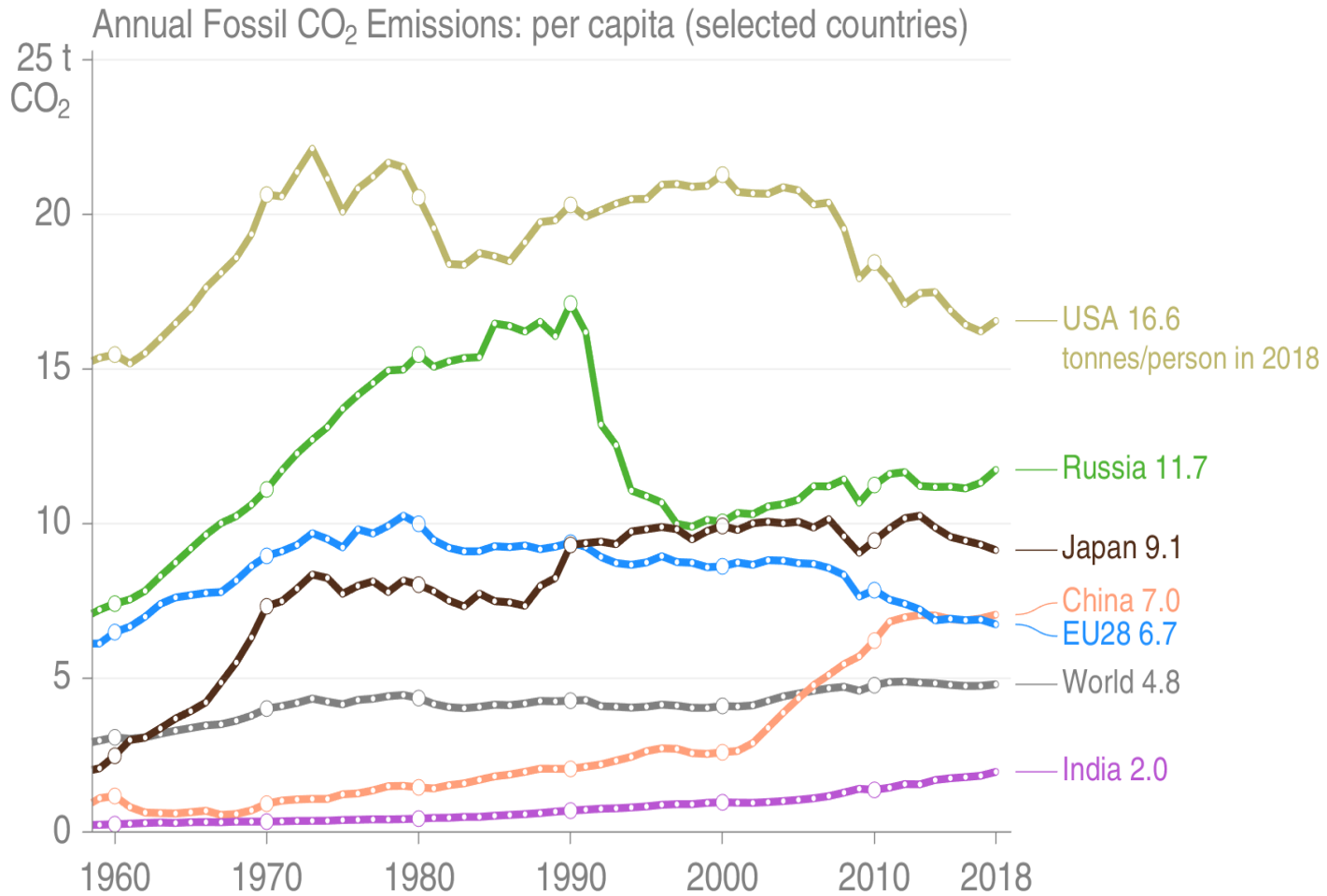


Les 6 régions émettant le plus

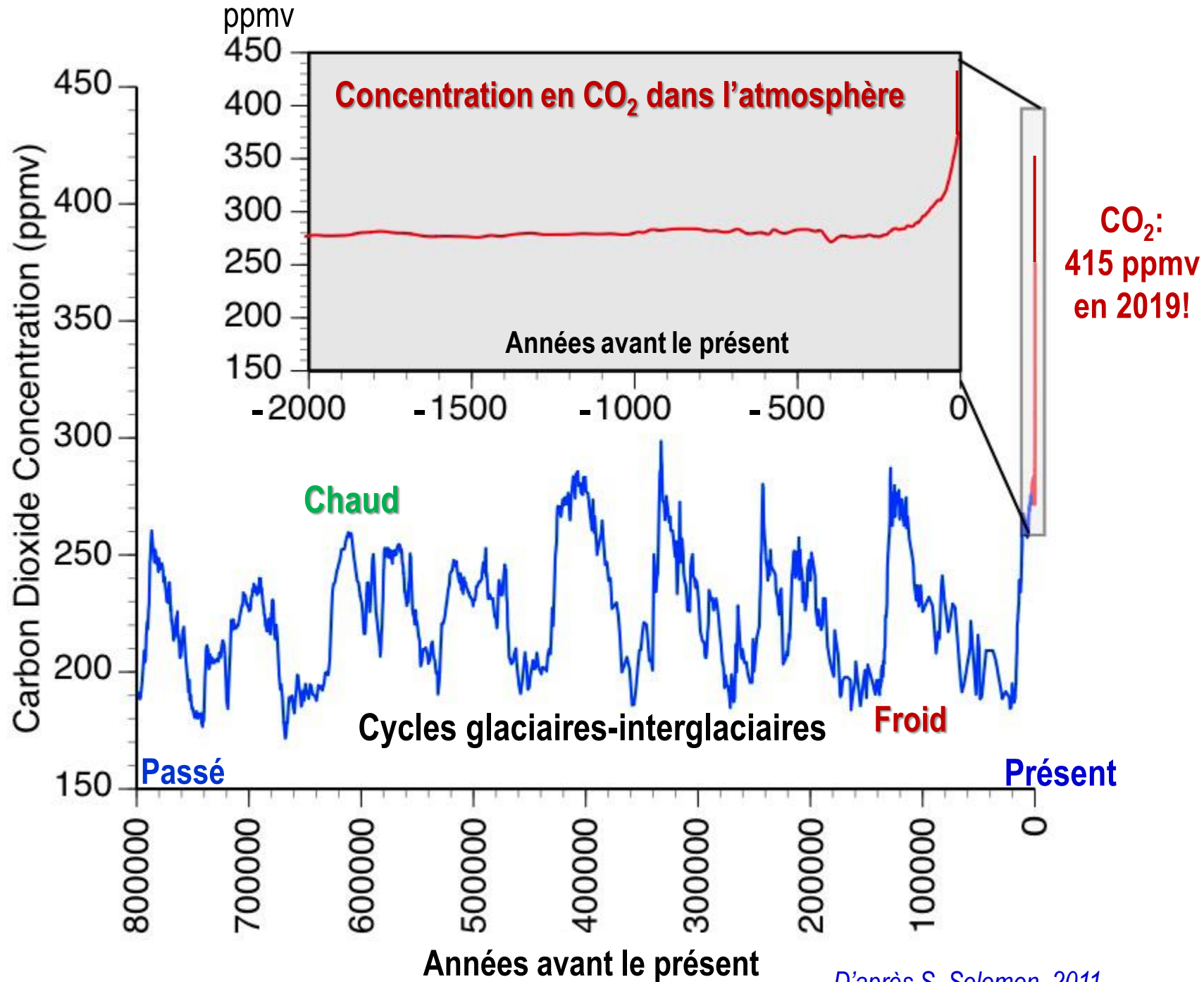


© Global Carbon Project • Data: CDIAC/GCP

Emissions annuelles par habitant



© Global Carbon Project • Data: CDIAC/GCP



D'après S. Solomon, 2011

Bilan CO₂ (moyenne 2009-2018)

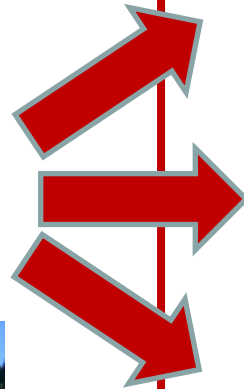


Emissions anthropiques
34.7 GtCO₂/an (86%)

Sources



Déforestation
5.5 GtCO₂/an (14%)



Atmosphère
17.9 GtCO₂/an
44%



Végétation
11.5 GtCO₂/an
29%

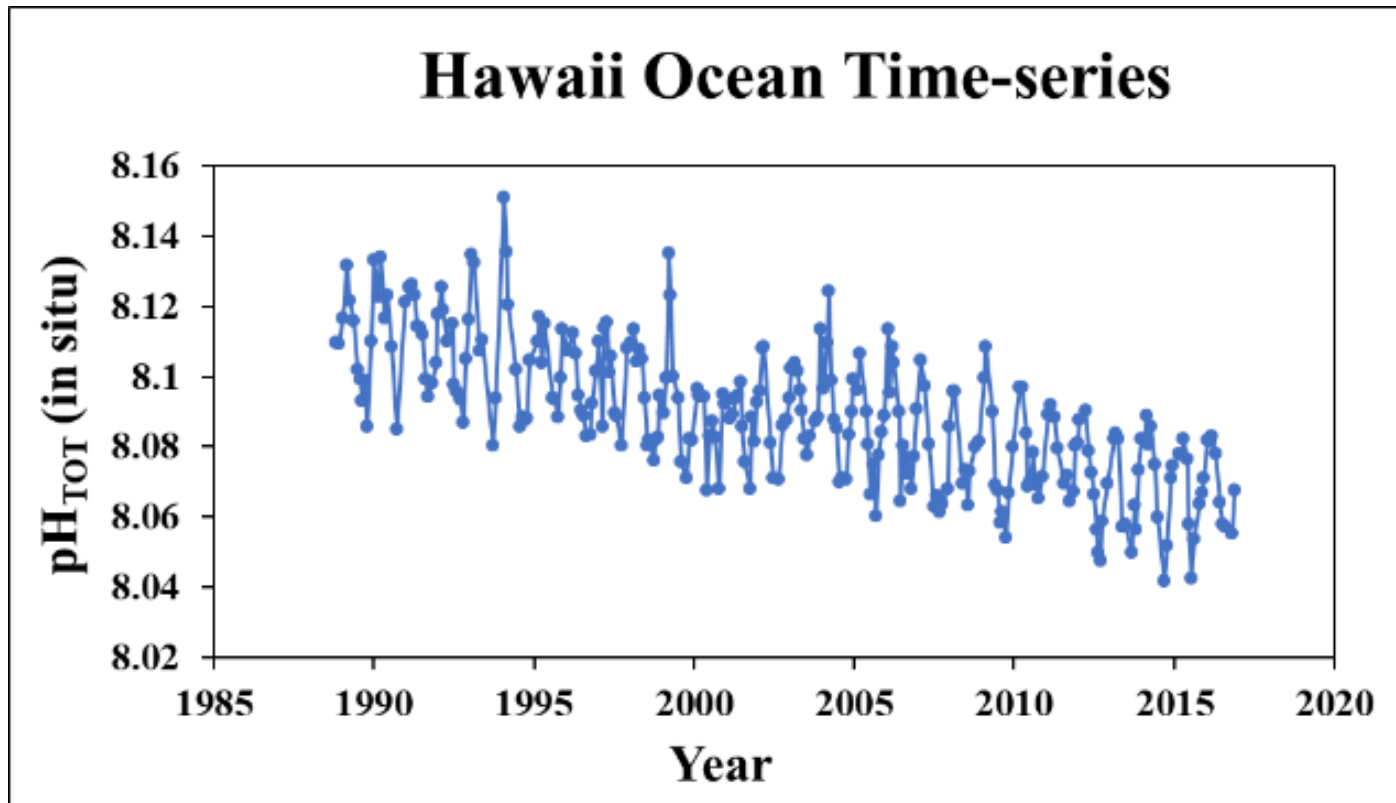


Puits

Océan
9.2 GtCO₂/an
23%

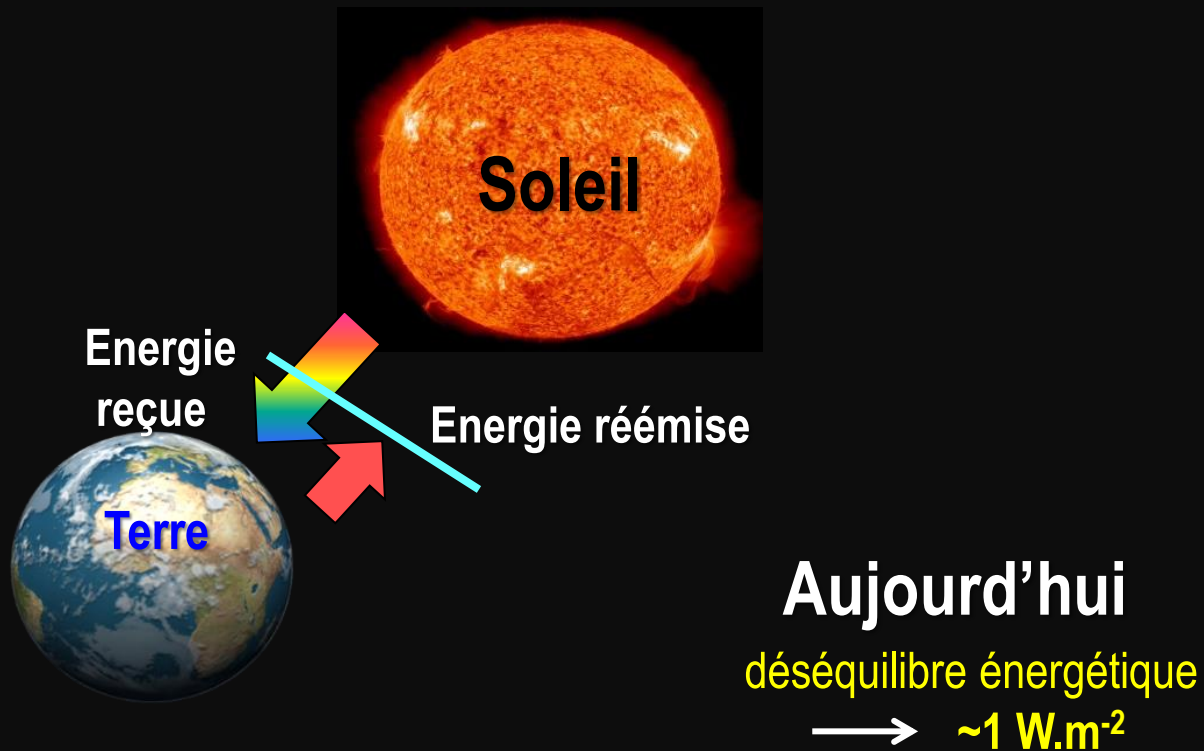


Acidification de l'océan → Diminution du pH de l'eau de mer



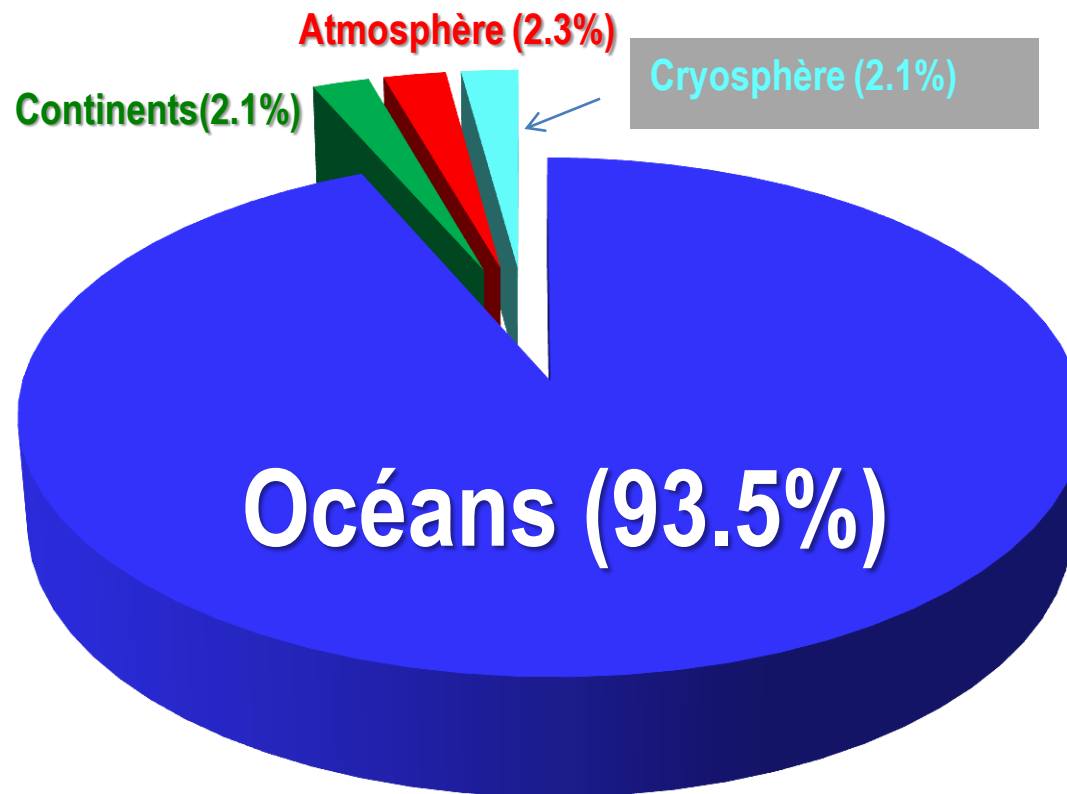
Source: Organisation Météorologique Mondiale, State of the Global Climate, 2018

Bilan énergétique de la Terre



Excès de chaleur

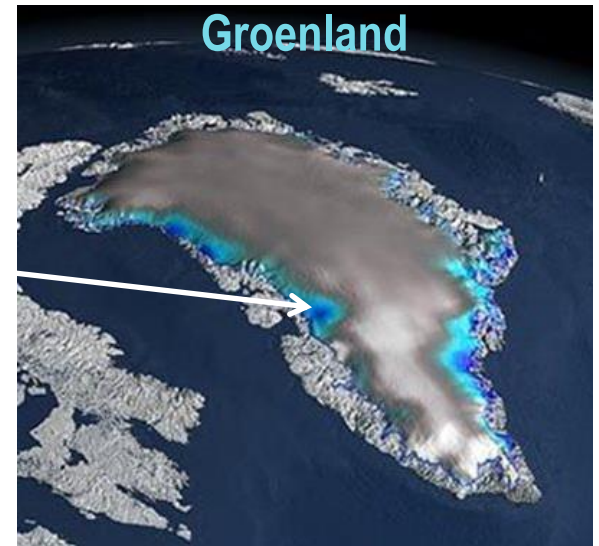
*Accumulée dans les différents réservoirs du système climatique
au cours des 50 dernières années*

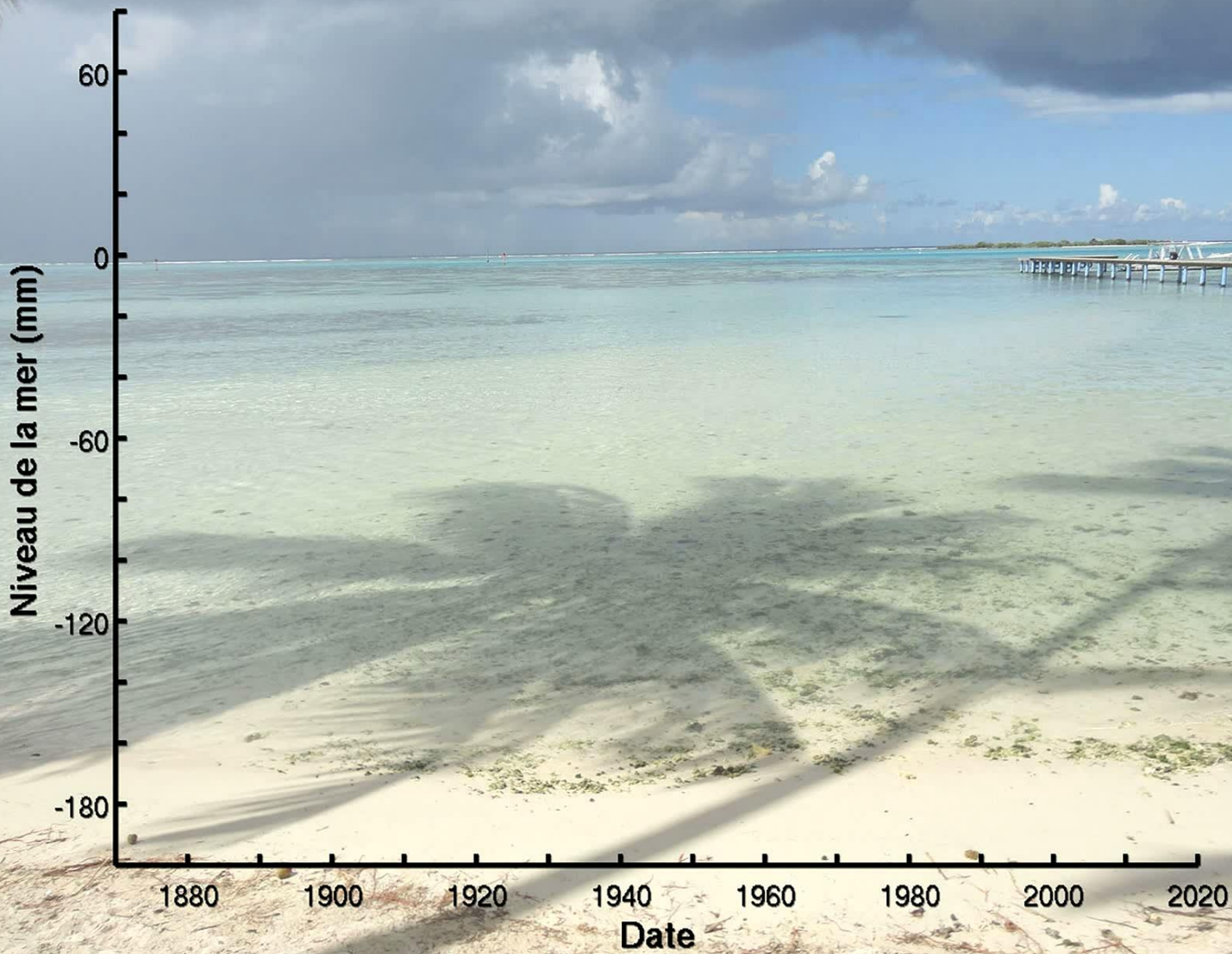


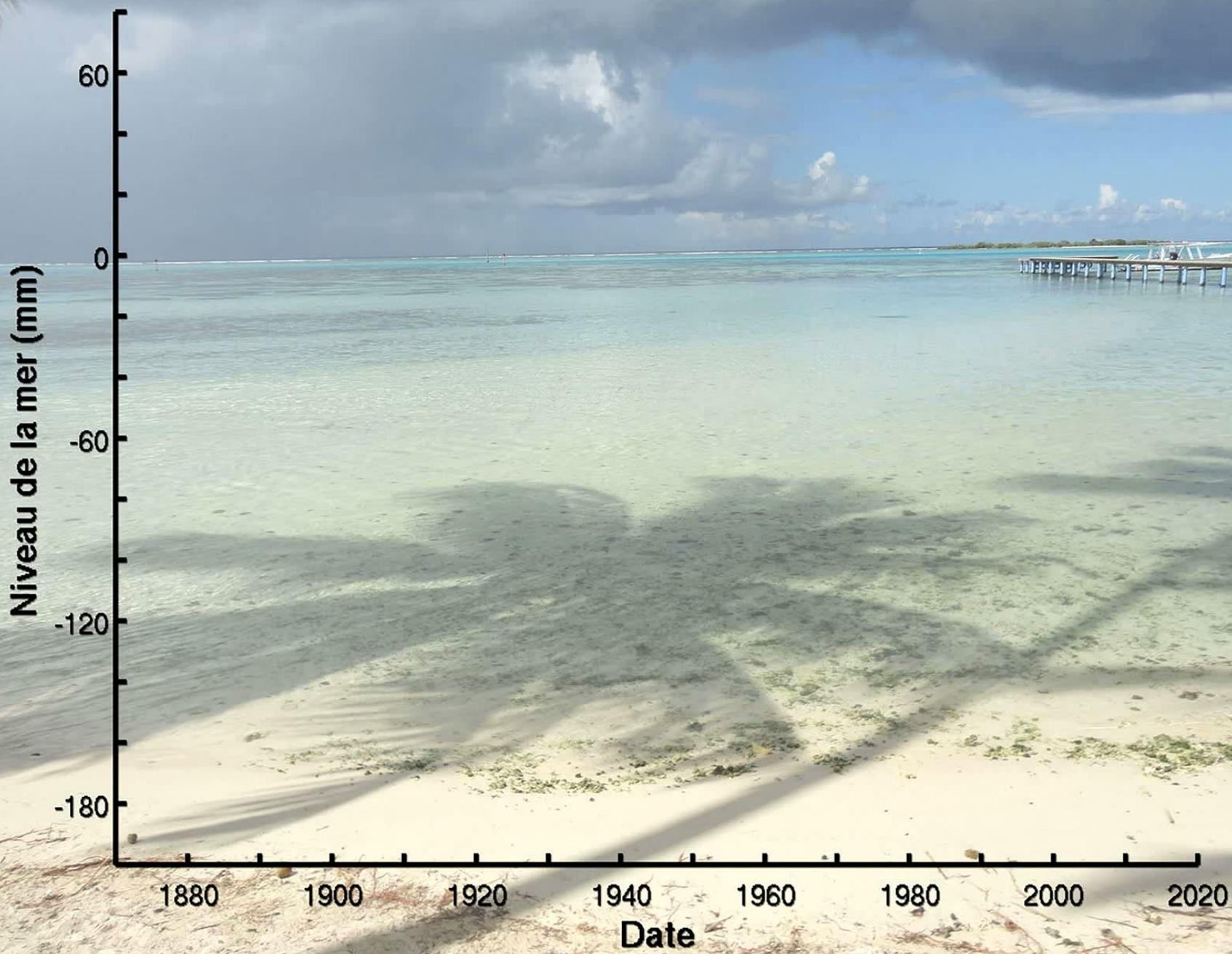
Les glaces fondent



Le Glacier 'Rhône' dans les Alpes suisses







Hausse du niveau des mers au cours du 20^{ème} siècle

1900-1990 (marégraphes)

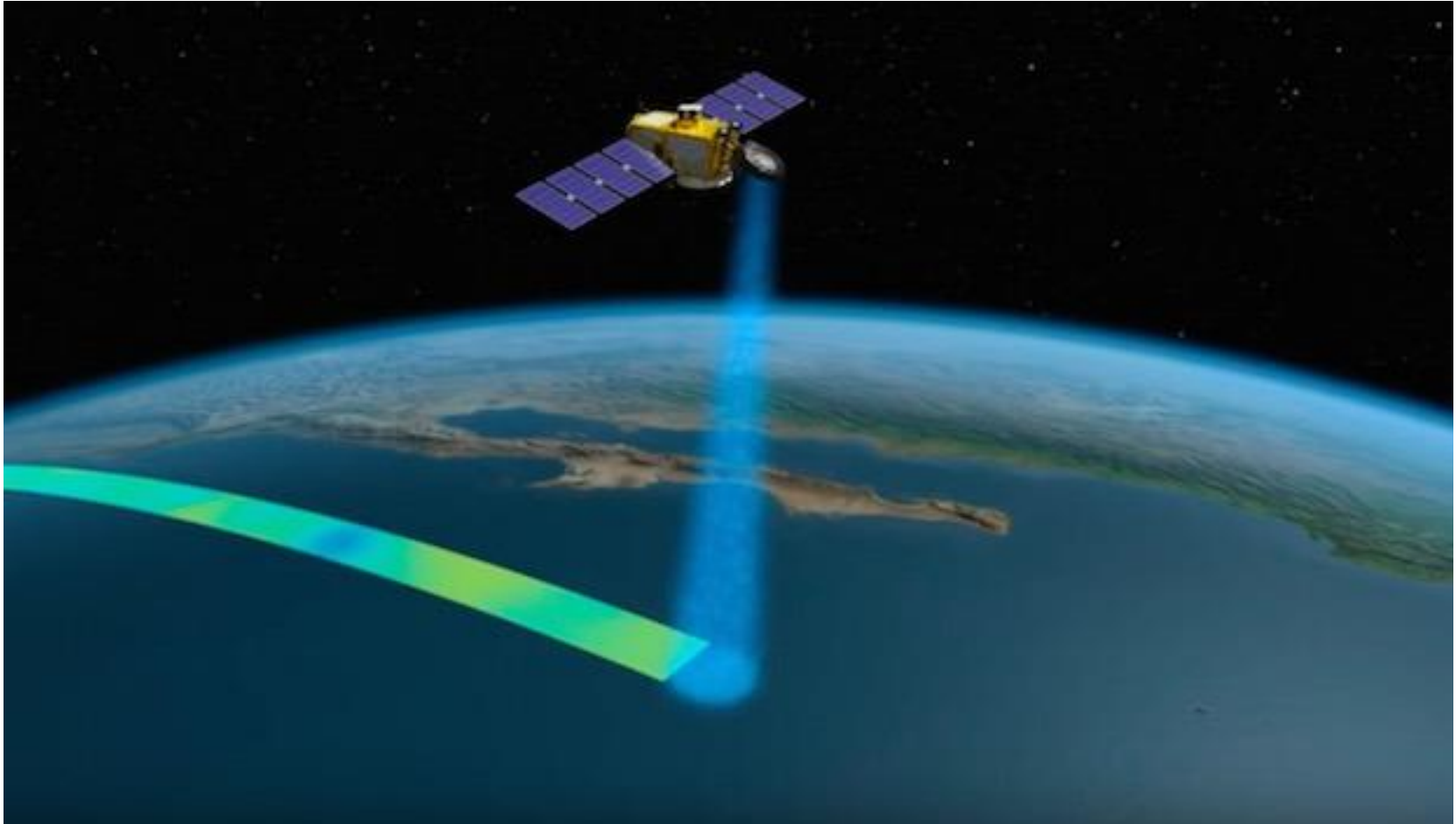


Environ 15 cm en moyenne globale



Le réseau marégraphique avec plus de 40 ans de mesures

Aujourd'hui on mesure la hausse de la mer depuis l'espace → Altimétrie spatiale



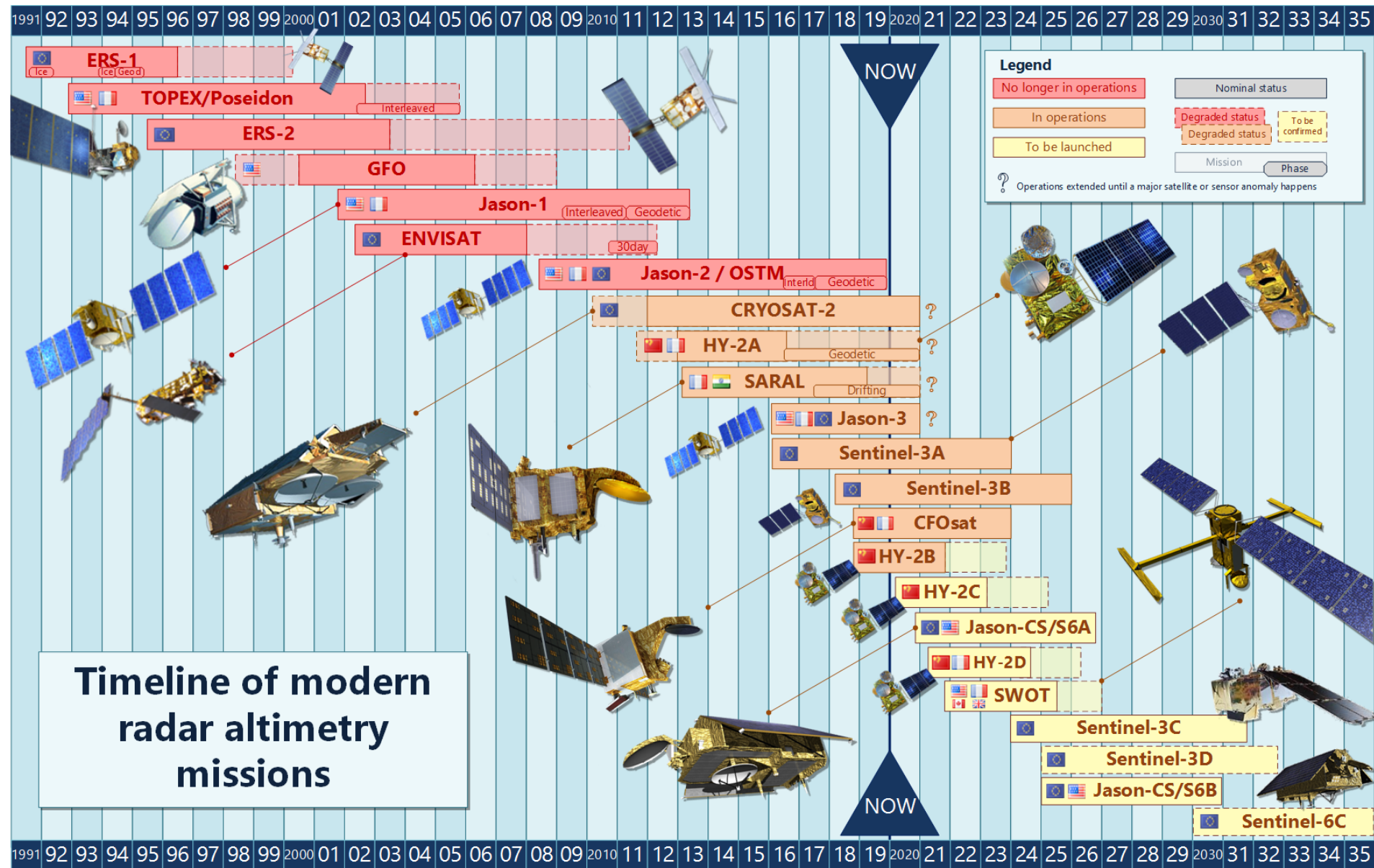


Altimétrie Spatiale



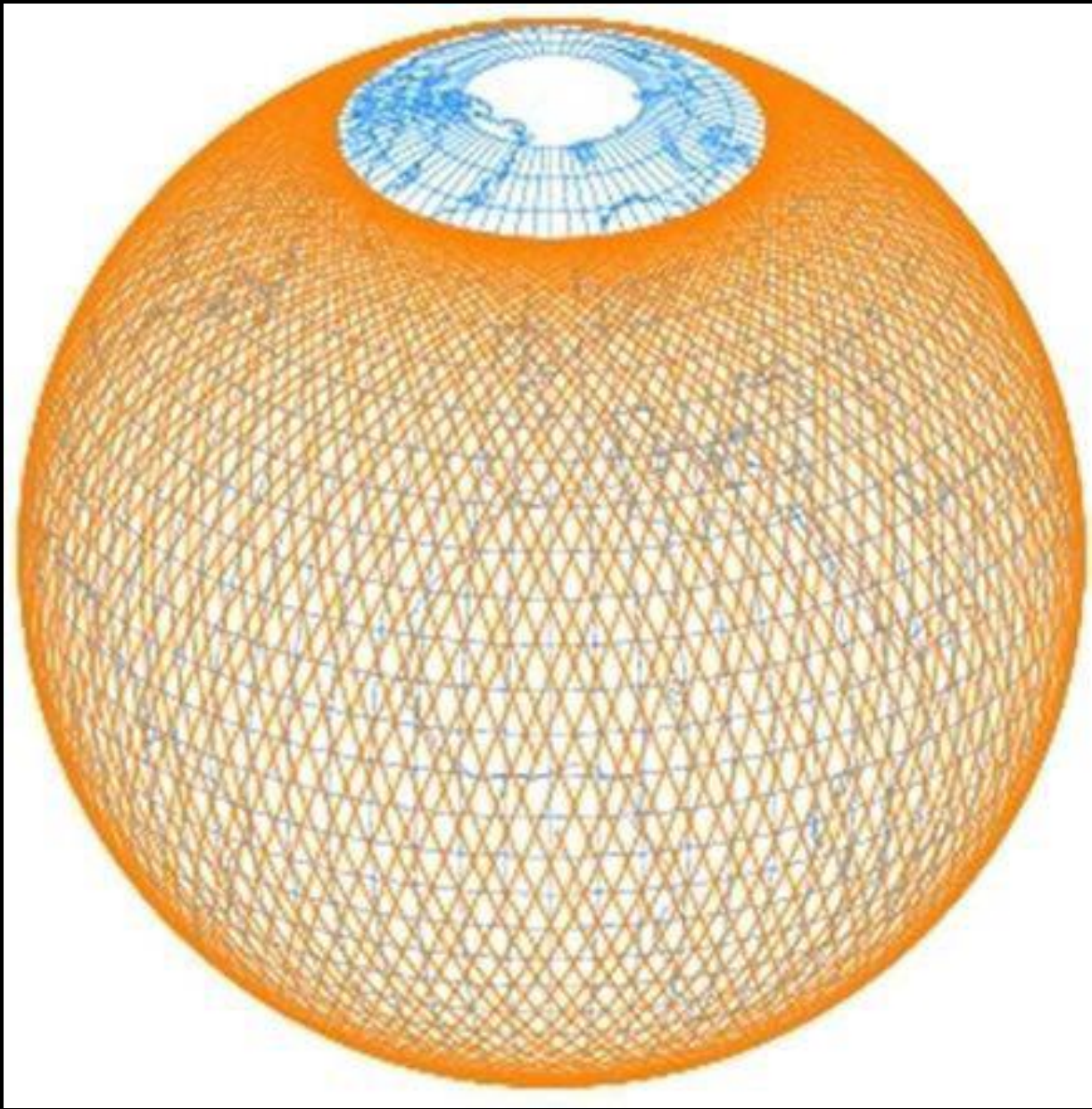
Couverture globale des océans
en quelques jours

Constellation des satellites 'altimétriques' de haute précision

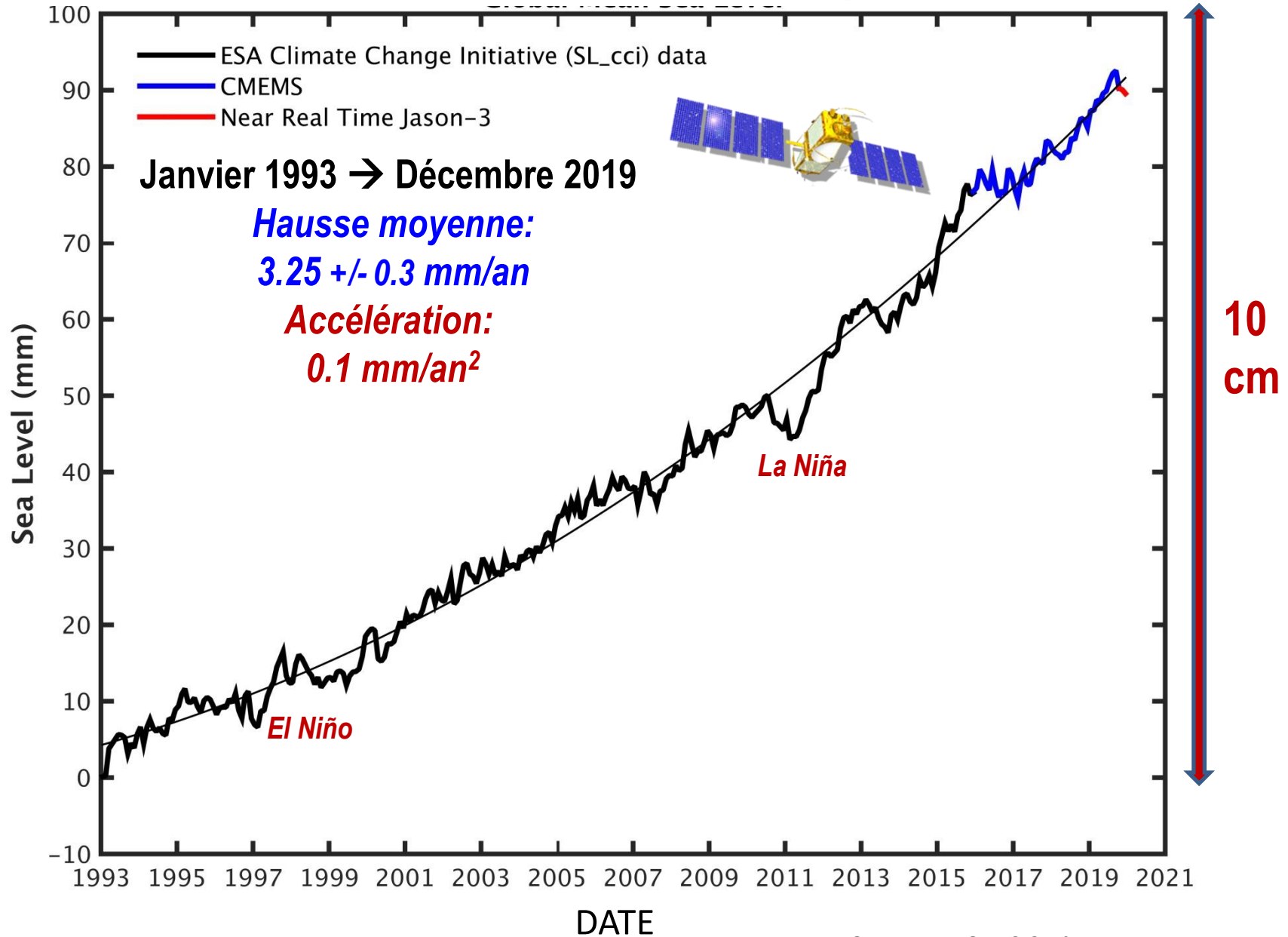


DATE

Courtesy: G. Dibarboure, CNES



Evolution du niveau de la mer depuis 1993

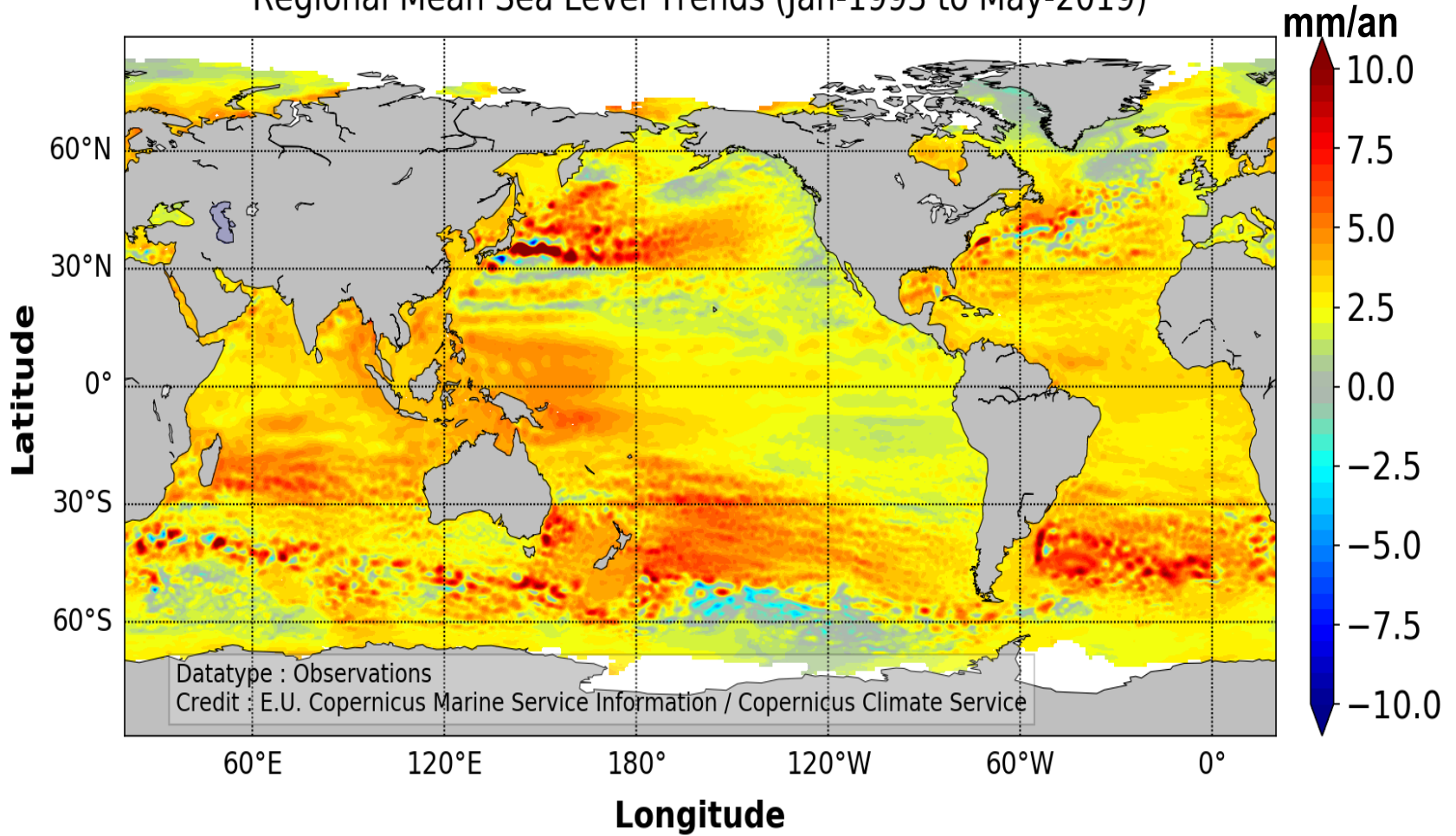


Source: ESA CCI & Legos

La hausse de la mer n'est pas uniforme...

Tendances régionales de la hausse de la mer (mm/an)

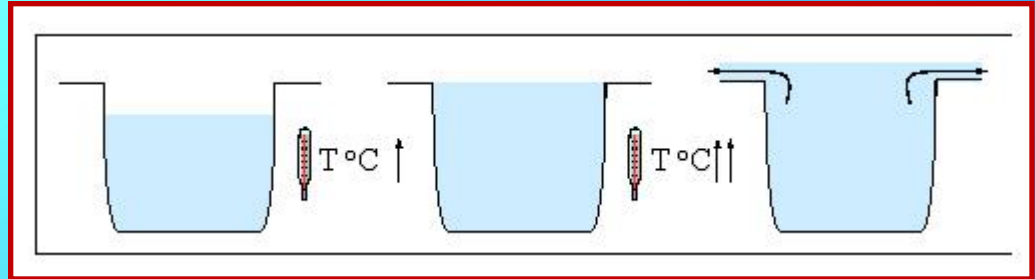
Regional Mean Sea Level Trends (Jan-1993 to May-2019)



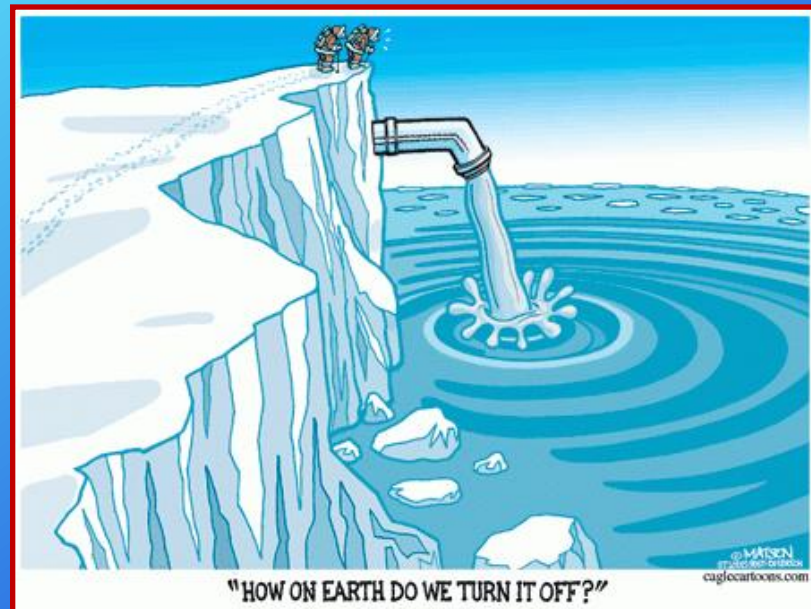
**Quelles sont les causes de
la hausse actuelle de la mer?**

2 causes principales à la hausse de la mer...

➤ Dilatation thermique de l'océan → l'océan se réchauffe, l'eau se dilate et la mer monte



➤ Apports d'eau douce → les glaces continentales fondent et la mer monte

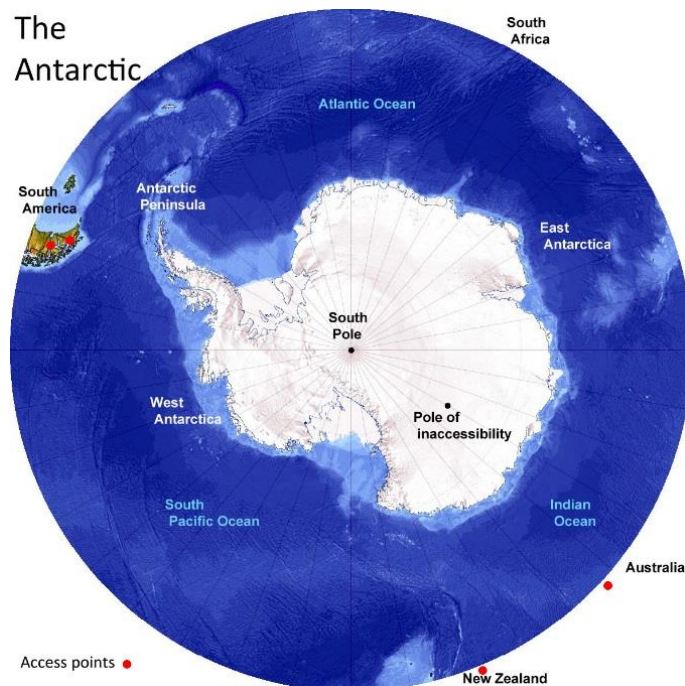


Le Groenland



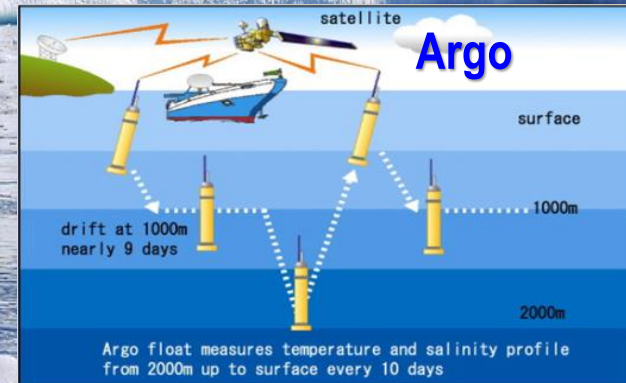
Si toute la glace du Groenland fondait, la mer s'élèverait de 7 m

L'Antarctique

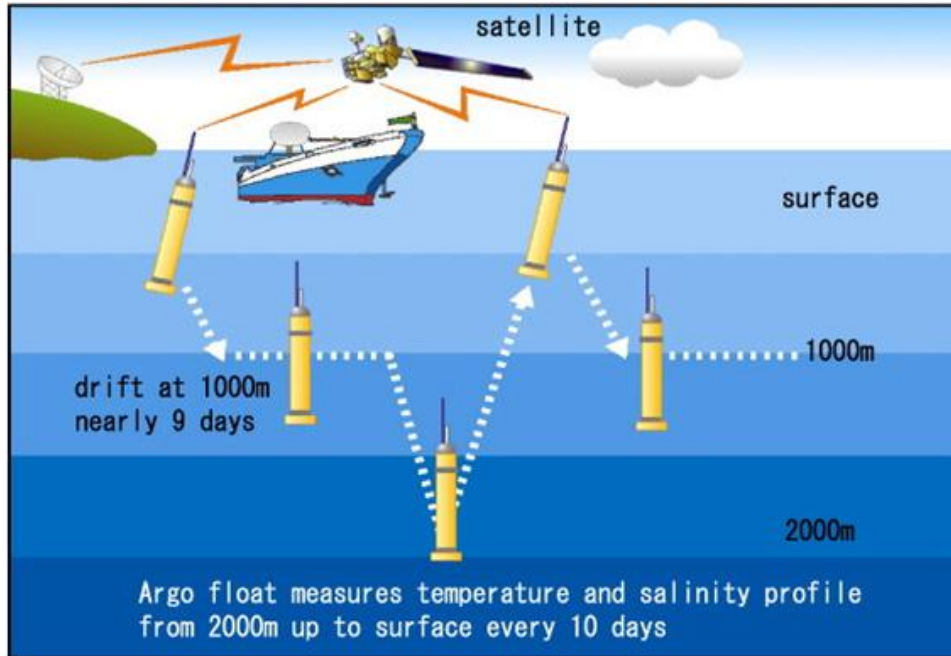


**Si toute la glace de l'Antarctique fondait, la mer s'élèverait de 55 m
(Antarctique de l'ouest → 5 m)**

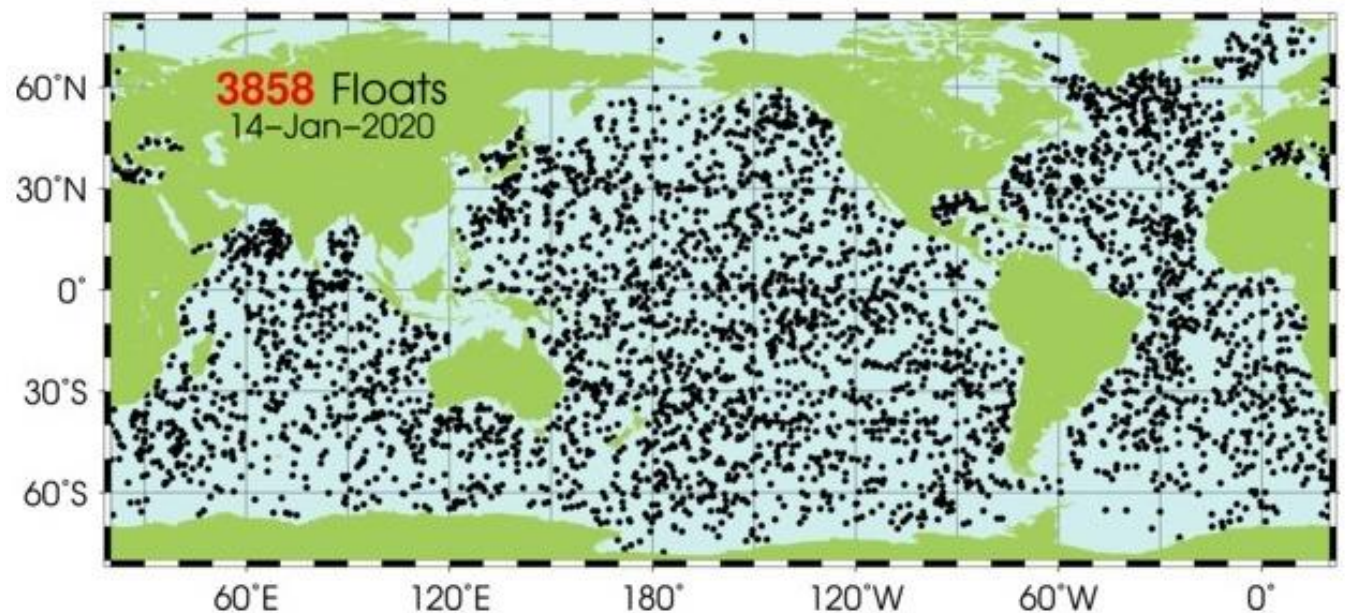
Différents systèmes d'observations



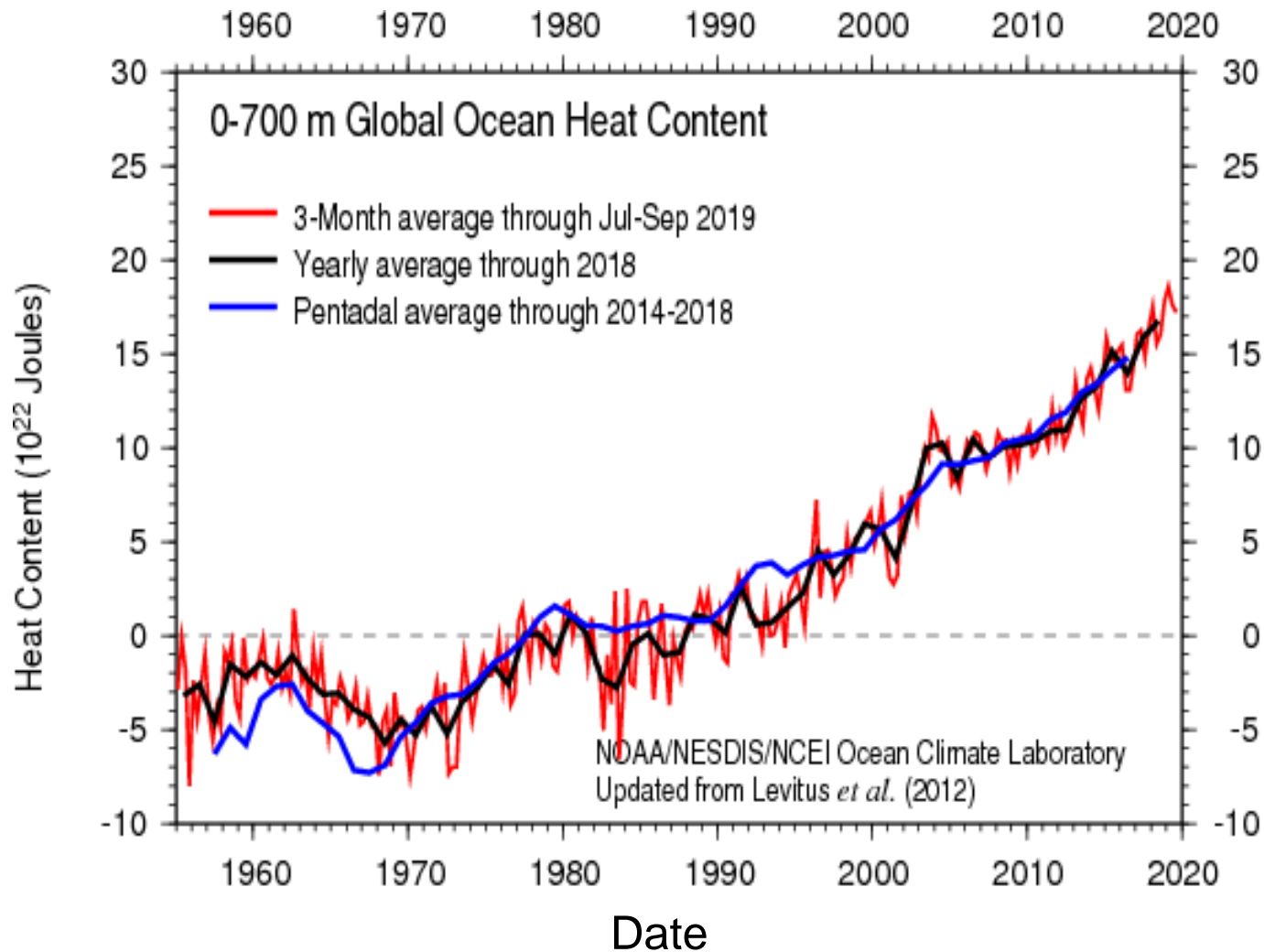
Projet international ARGO → Expansion thermique de l'océan



~3900 flotteurs automatiques
(temperature & salinité
de l'océan → 2000 m)



Augmentation de la quantité de chaleur contenue dans l'océan



Source: Organisation Météorologique Mondiale, State of the Global Climate, 2019

Depuis 2002, Gravimétrie Spatiale GRACE
→ mesure des variations spatio-temporelles des masses
à la surface de (et dans) la Terre (résolution: 1 mois, 300 km)

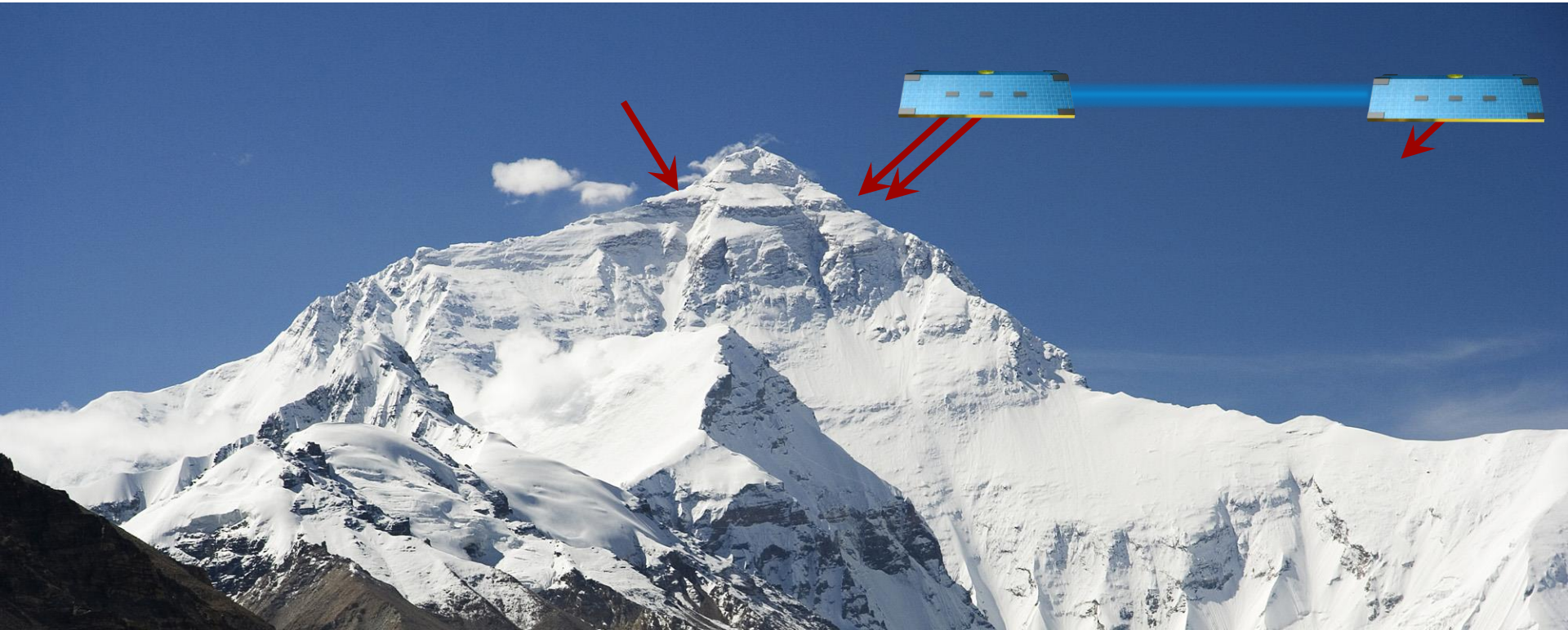


Measurement Principle



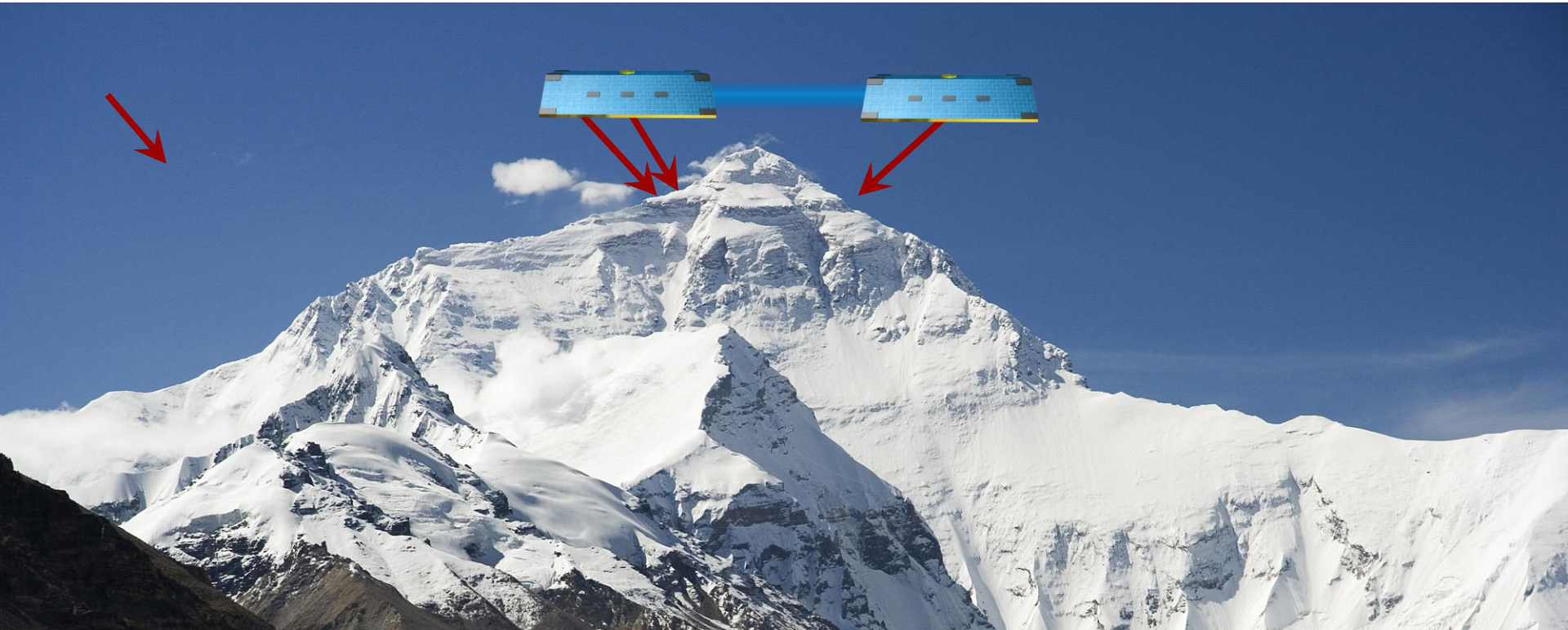
Courtesy: D. Schütze (AEI Hannover)

Measurement Principle



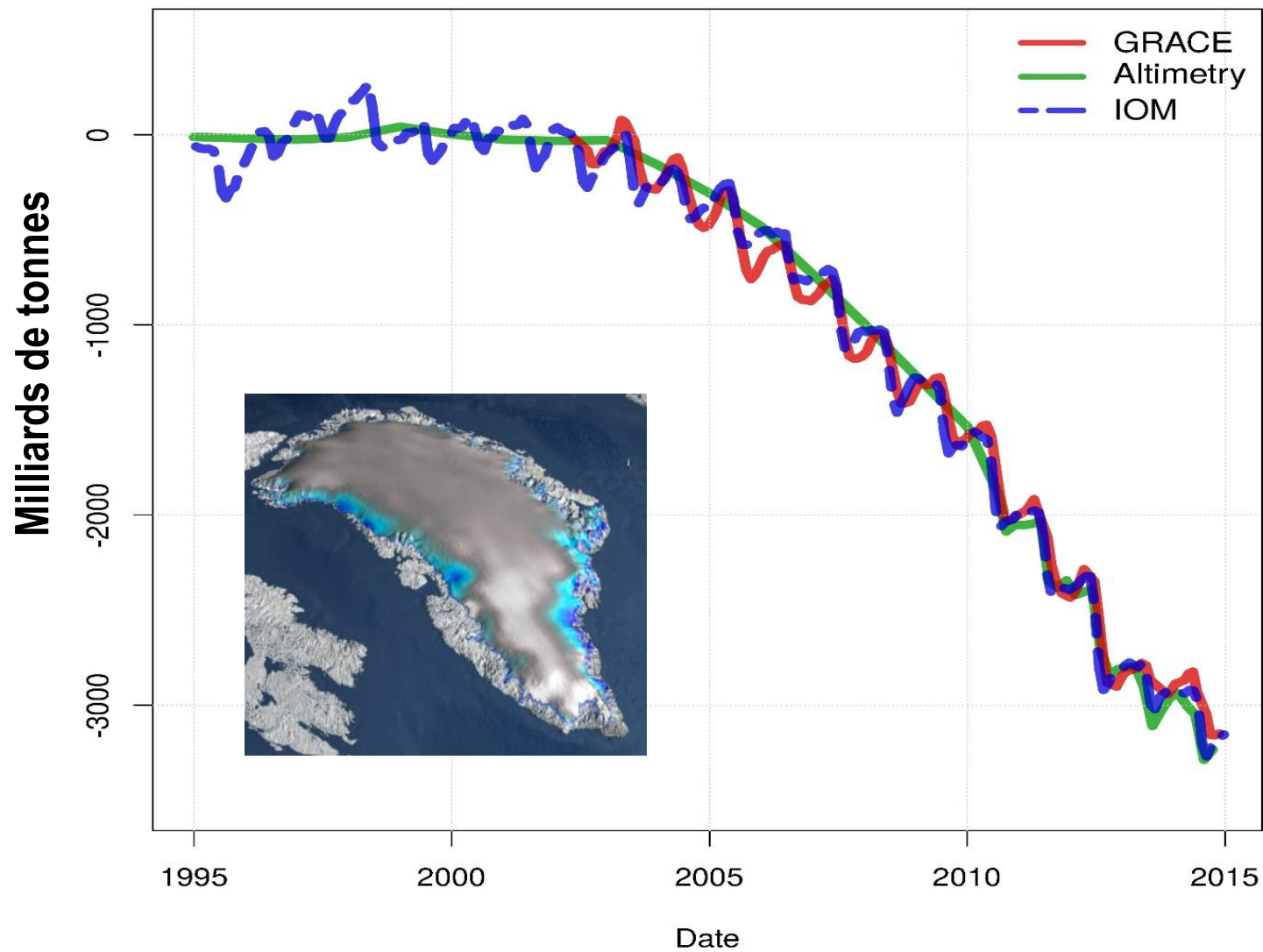
Courtesy: D. Schütze (AEI Hannover)

Measurement Principle

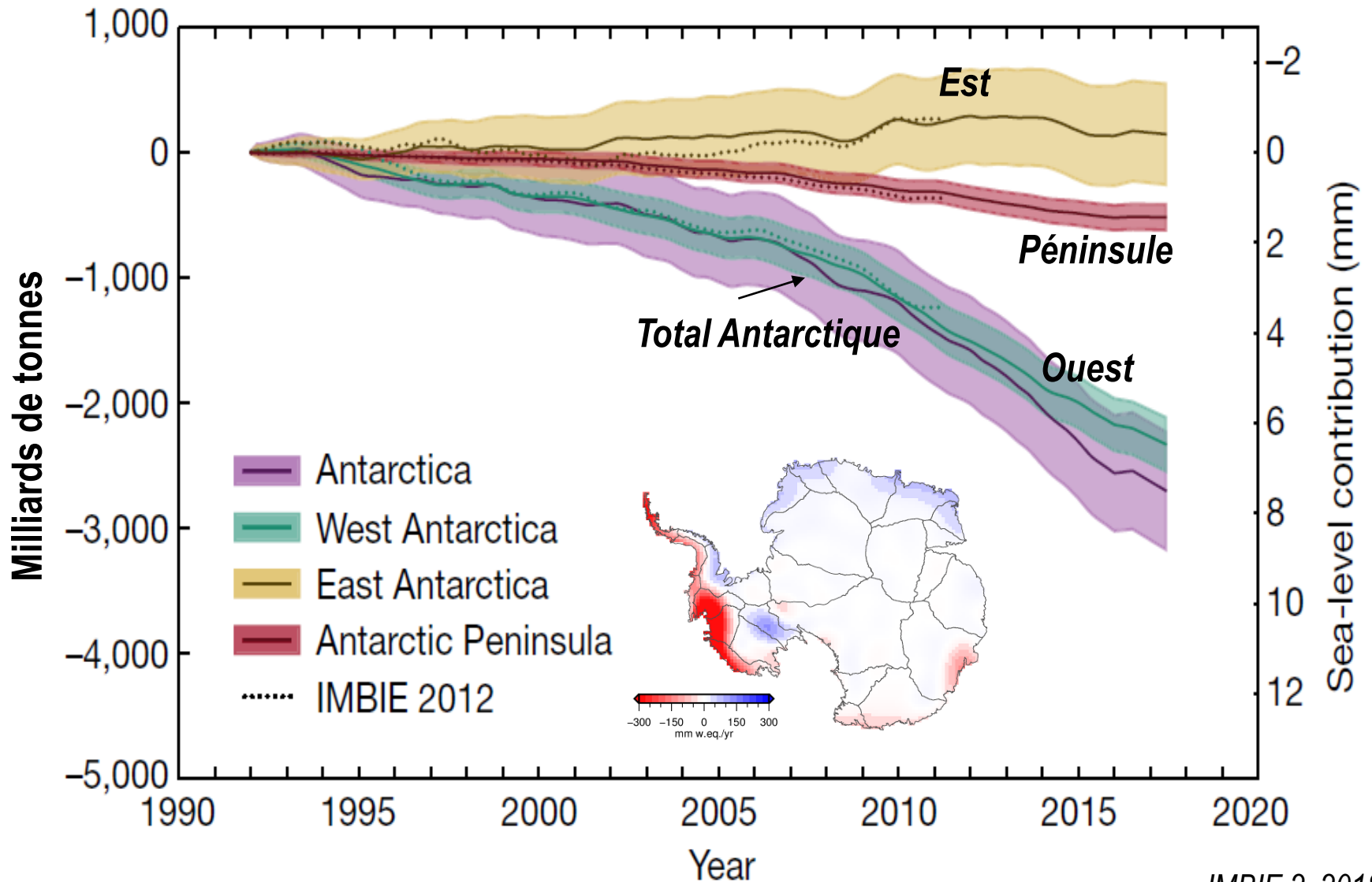


Courtesy: D. Schütze (AEI Hannover)

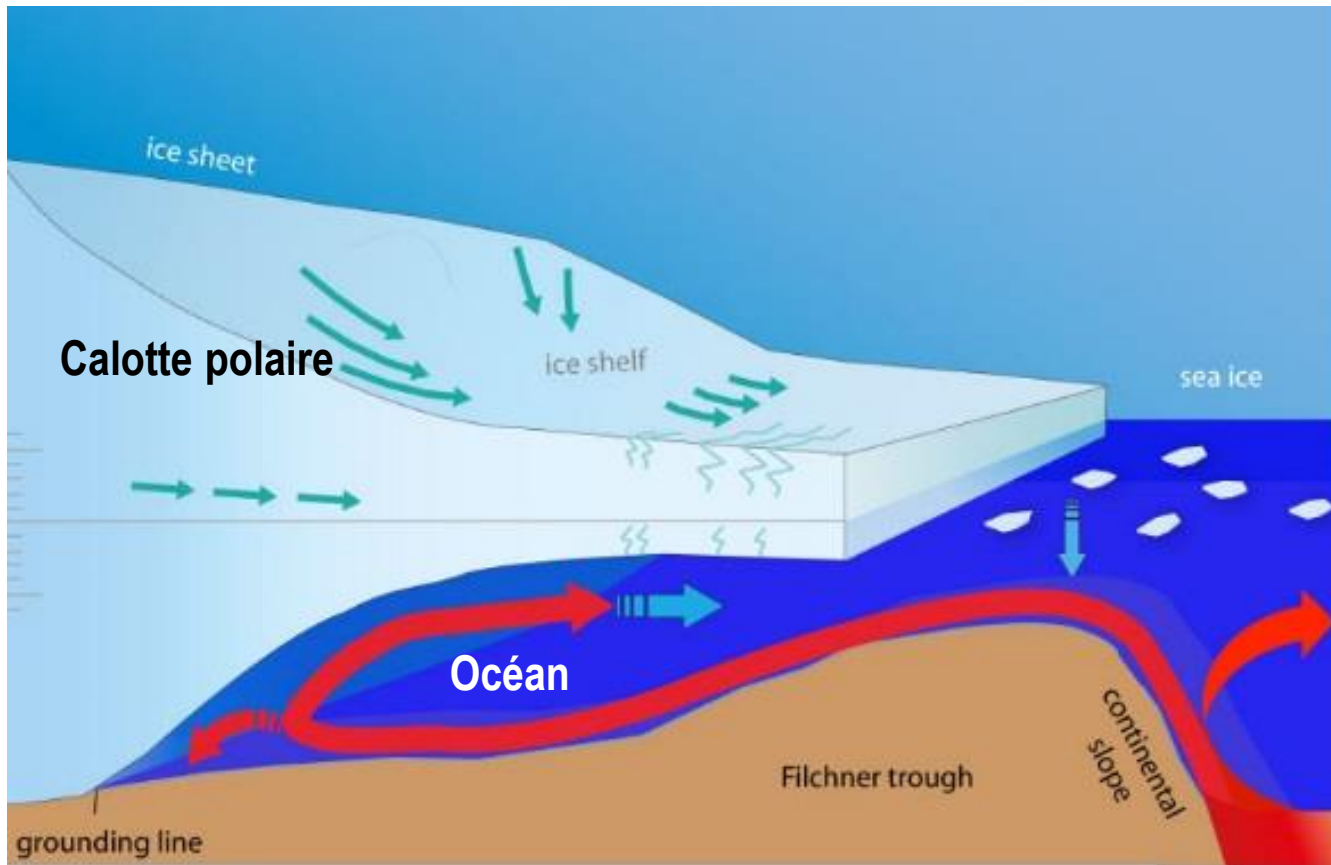
Perte de masse de glace du Groenland mesurée depuis l'espace (en milliards de tonnes)



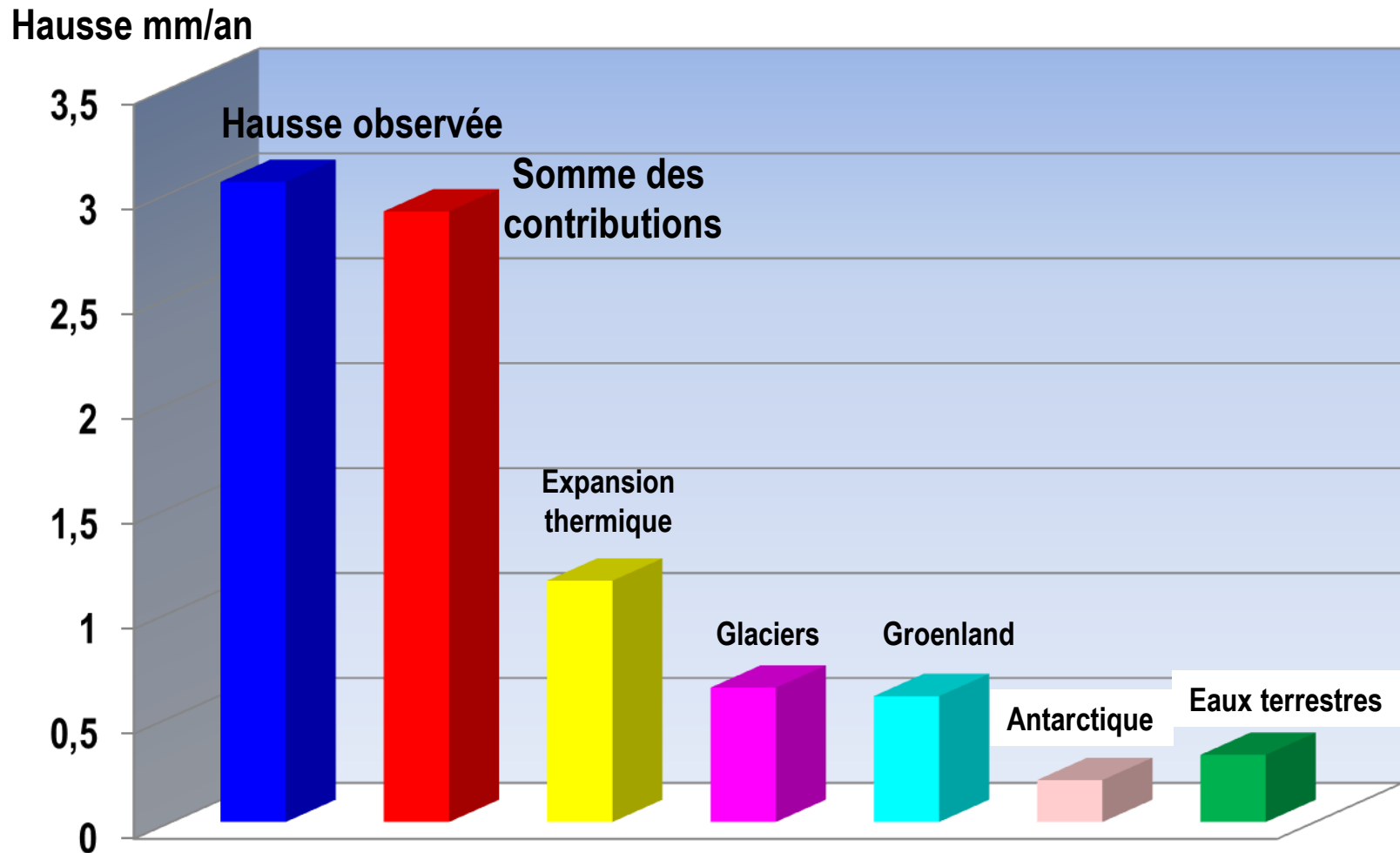
Perte de masse de glace en Antarctique mesurée depuis l'espace (en milliards de tonnes)



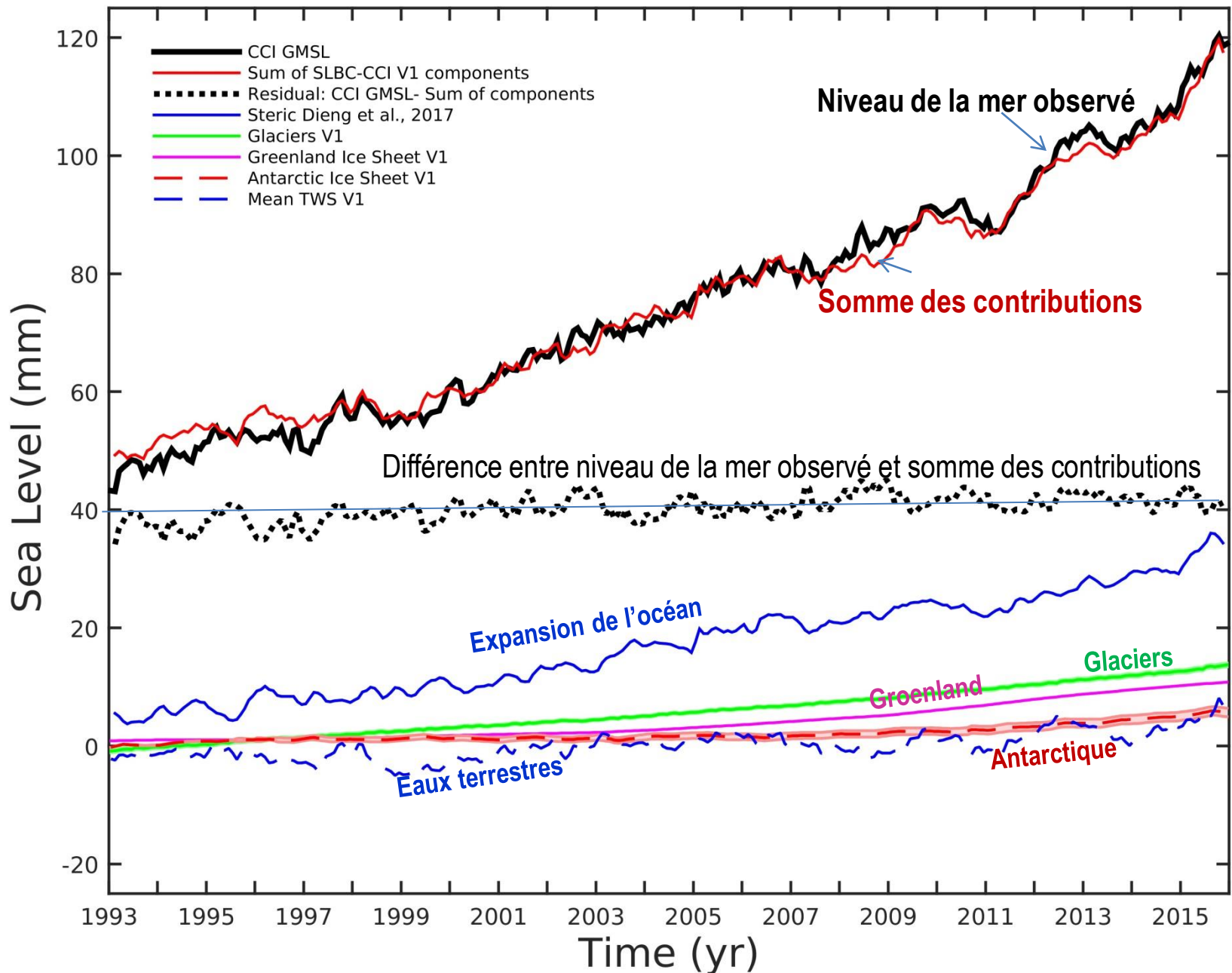
**Instabilités à la périphérie de la calotte antarctique
→ fonte par-dessous des plateformes de glace due
au réchauffement des eaux océaniques**



Contributions à la hausse du niveau de la mer (1993-présent)



Bilan du niveau de la mer (1993-2016)



Variations du stock d'eau sur les continents

☐ Activités humaines



**Barrages sur les fleuves
→ Baisse de la mer**



**Pompage de l'eau dans les aquifères
→ Hausse de la mer**

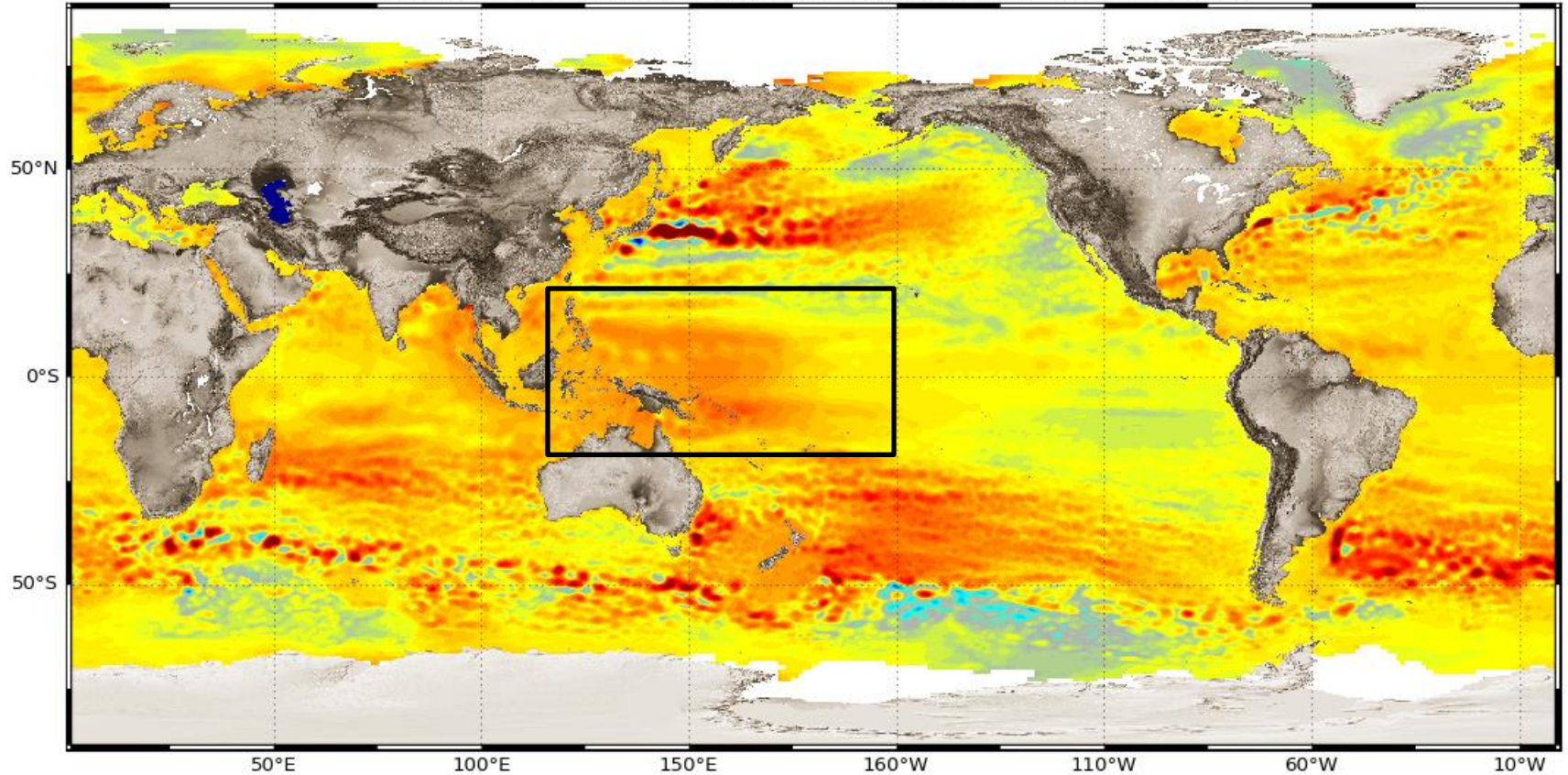
A quoi servent ces études de bilan?

- Mieux comprendre les processus en jeu et suivre l'évolution temporelle des composantes (accélération?)
- Intercalibrer des systèmes d'observations indépendants (altimétrie, Argo, GRACE, ...)
- Déterminer les composantes 'manquantes' (ex. océan profond >2000m)
- Valider les modèles simulant le climat du futur

**Pourquoi la hausse de la mer
n'est-elle pas uniforme?**

Hausse régionale du niveau de la mer (mm/an)

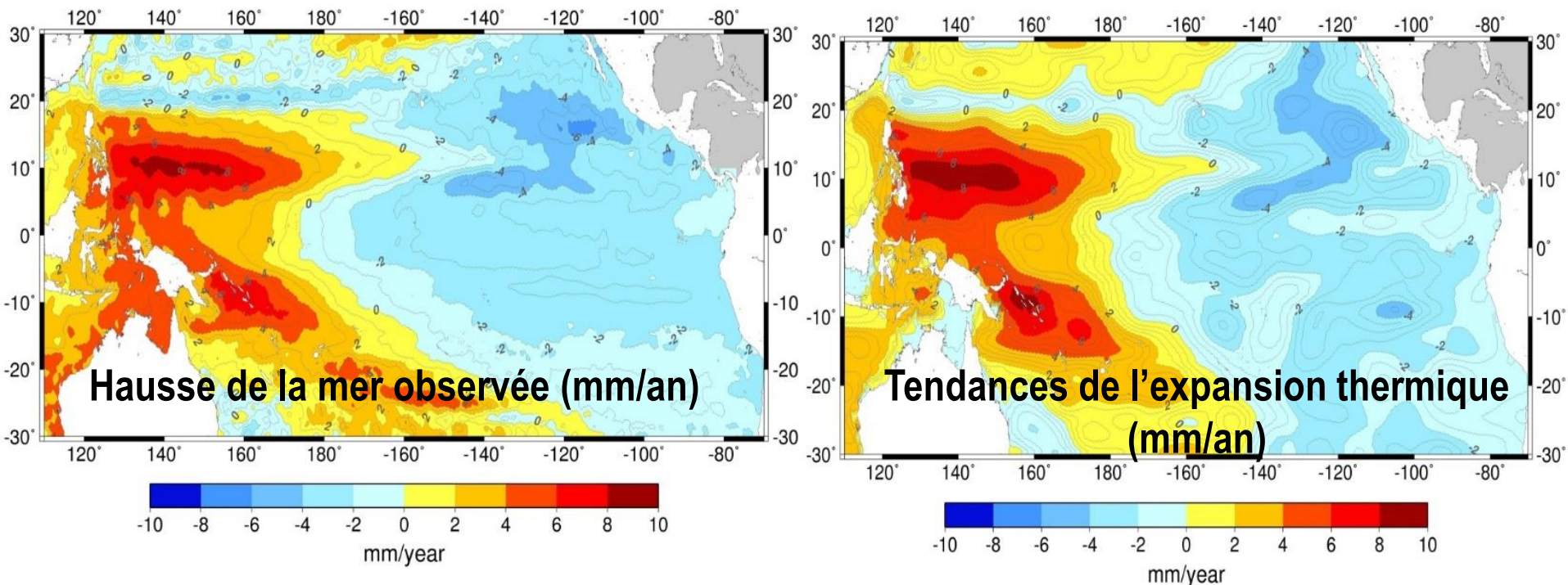
Regional Mean Sea Level Trends (Jan-1993 to May-2019), (Copernicus/CLS/CNES/LEGOS)



Data Type: Observations
(mm/year)



Tendances du niveau de la mer et de l'expansion thermique dans le Pacifique tropical ouest (1993-2015)

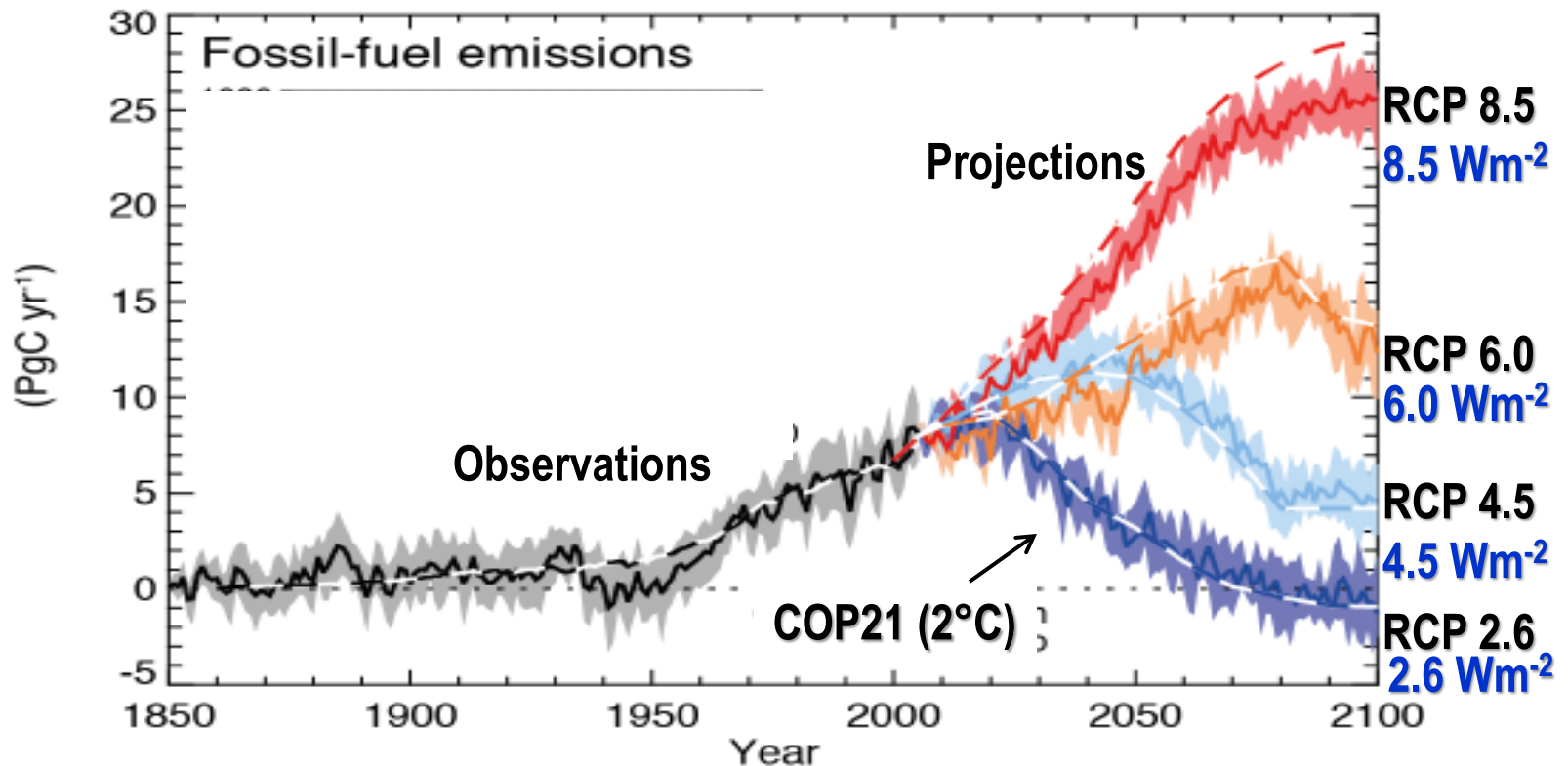


Cause : intensification des alizés

→ accumulation d'eau chaude à l'ouest du bassin Pacifique tropical

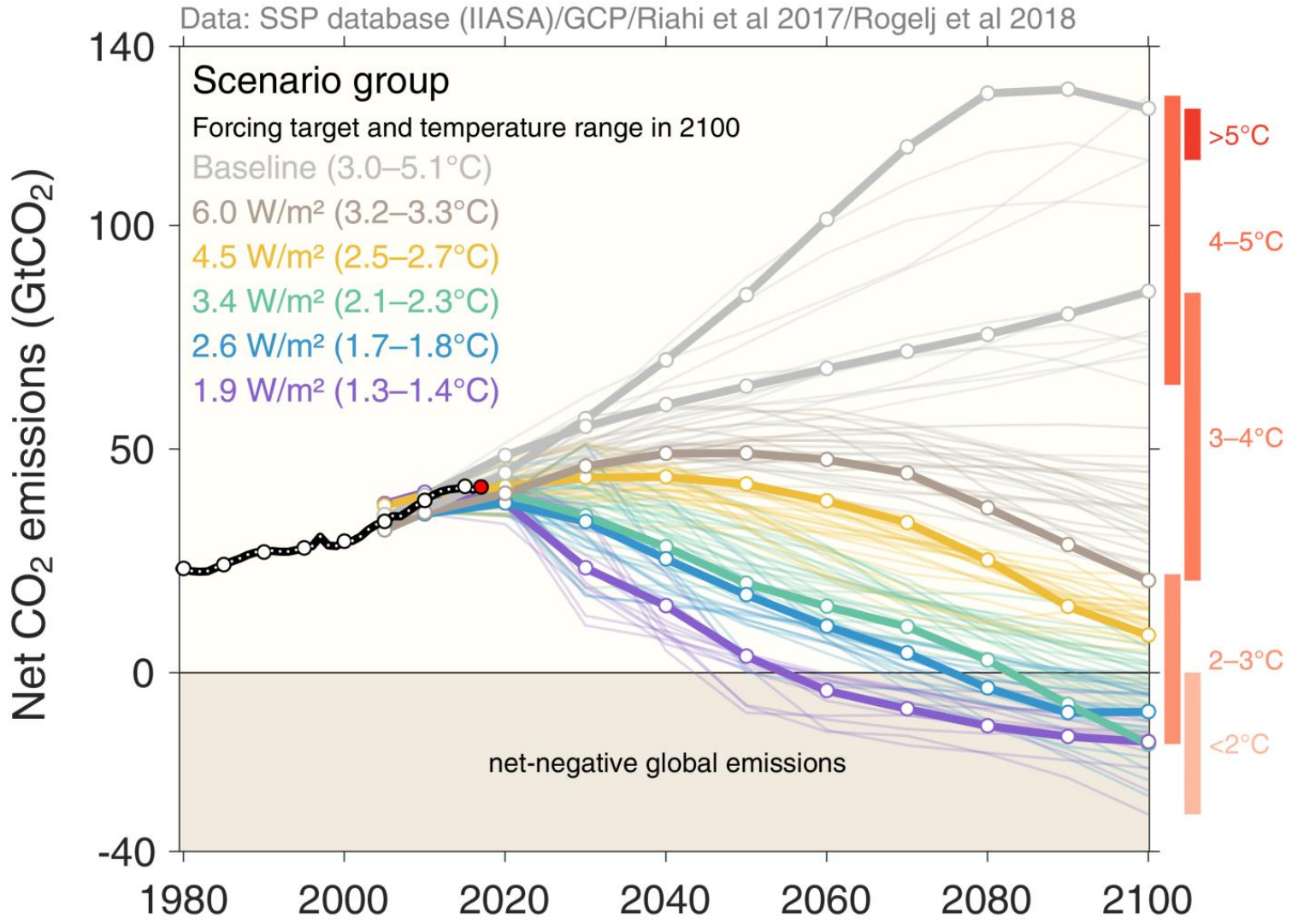
La mer va-t-elle continuer à monter?

4 scénarios d'émissions futures de gaz à effet de serre



RCP = Representative Concentration Pathway (scénarios d'émissions exprimés en termes de forçage radiatif → déséquilibre énergétique imposé au système climatique, exprimé en unités de Wm^{-2})

Différents scénarios d'émissions futures de GES



The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate

This Summary for Policymakers was formally approved at the Second Joint Session of Working Groups I and II of the IPCC and accepted by the 51th Session of the IPCC, Principality of Monaco, 24th September 2019

Summary for Policymakers



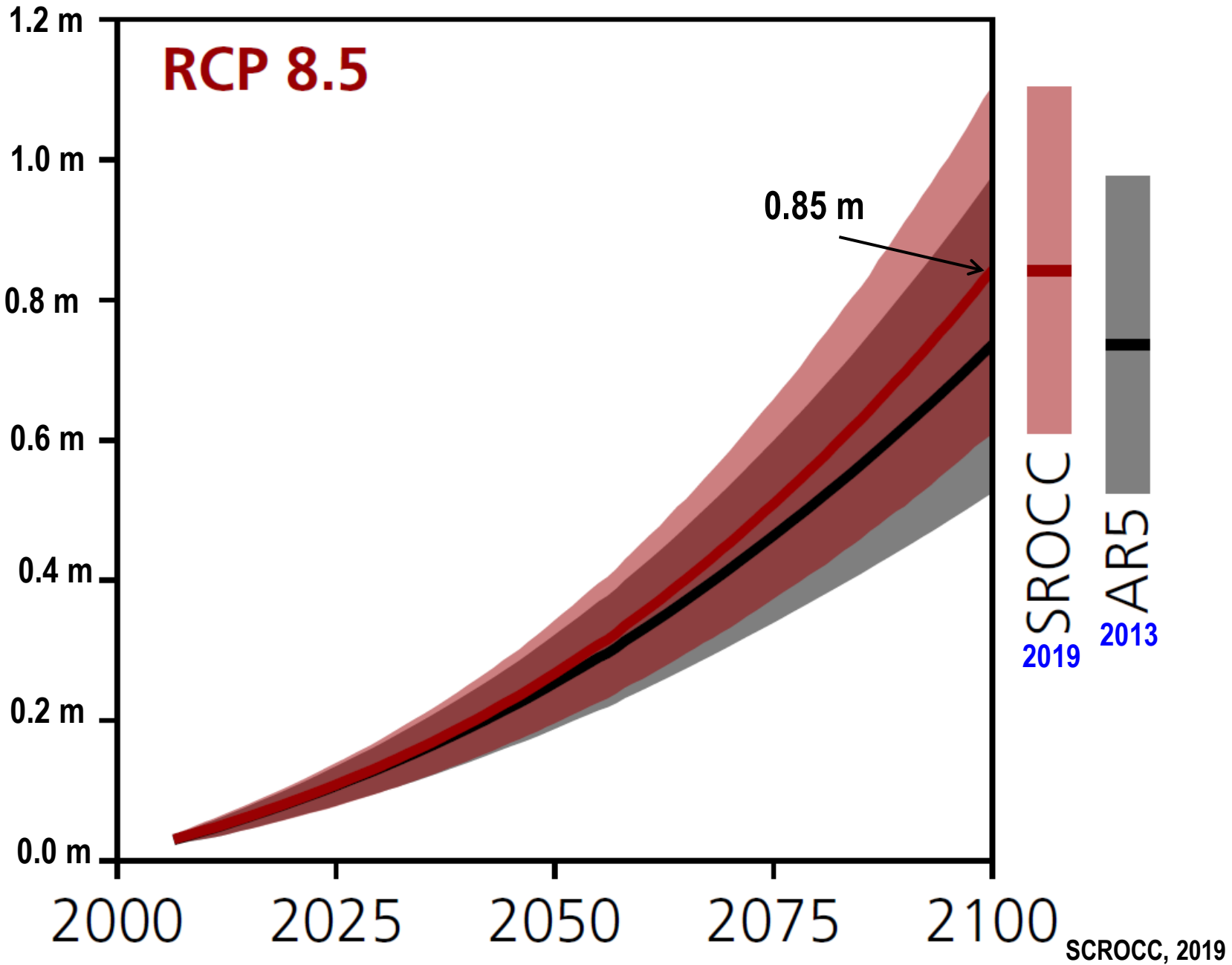
WG I WG II

Rapport
spécial du
GIEC sur
l'océan et les
glaces,
septembre
2019

GIEC= Groupe d'experts
intergouvernemental
sur l'évolution du climat

IPCC: Intergovernmental Panel
on Climate Change

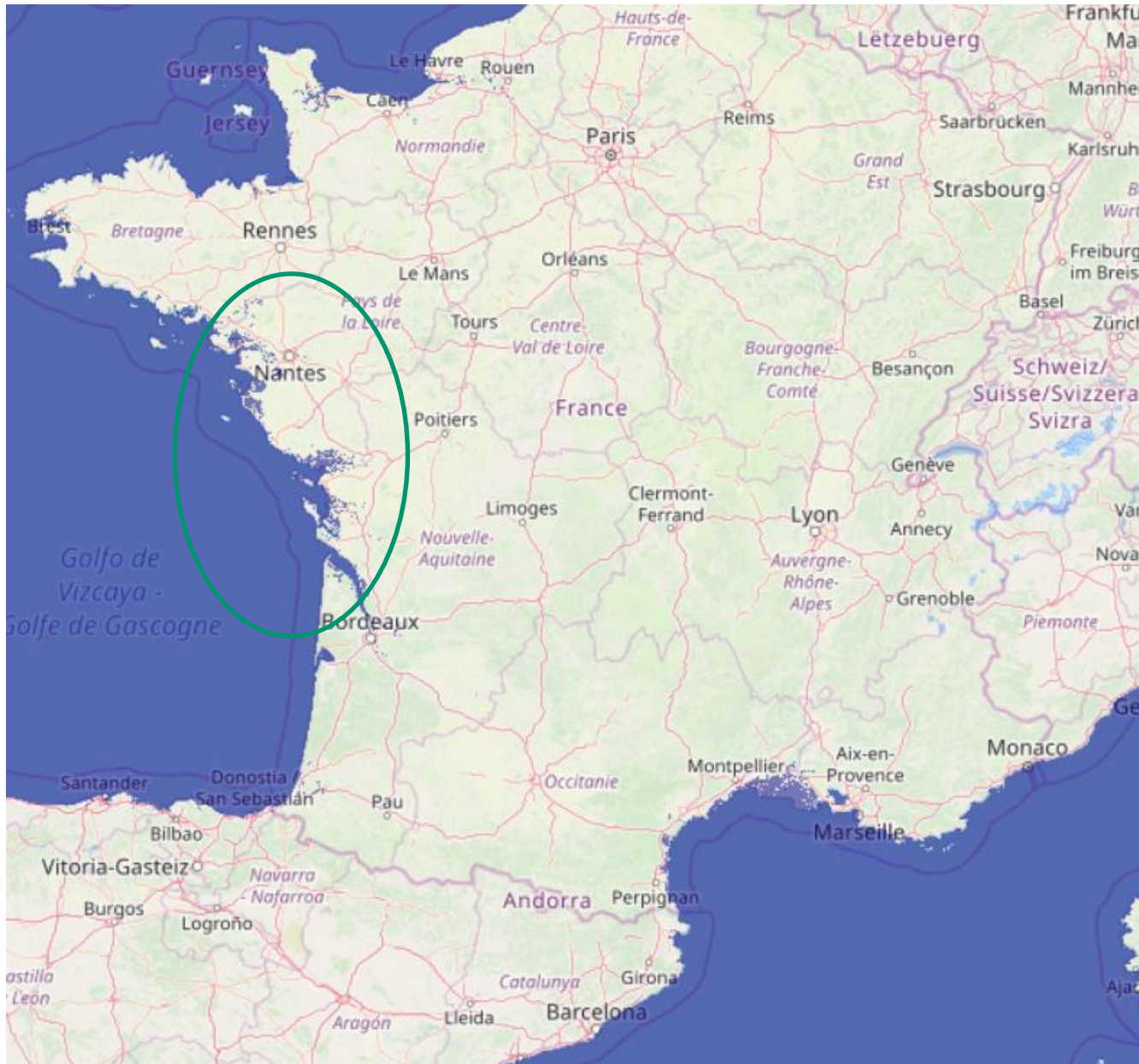
Projections de la hausse moyenne de la mer (21^{ème} siècle)

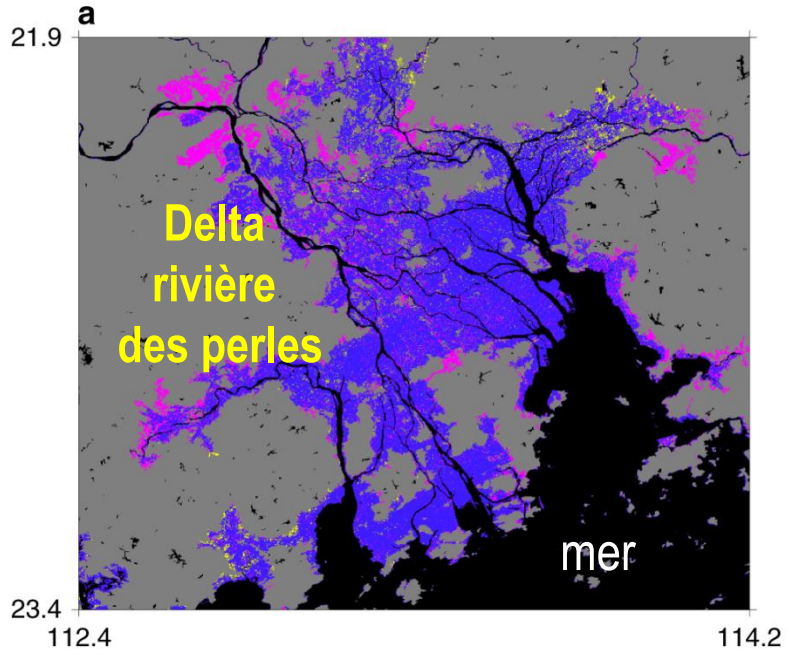


Zones inondées si la mer monte de +1 m

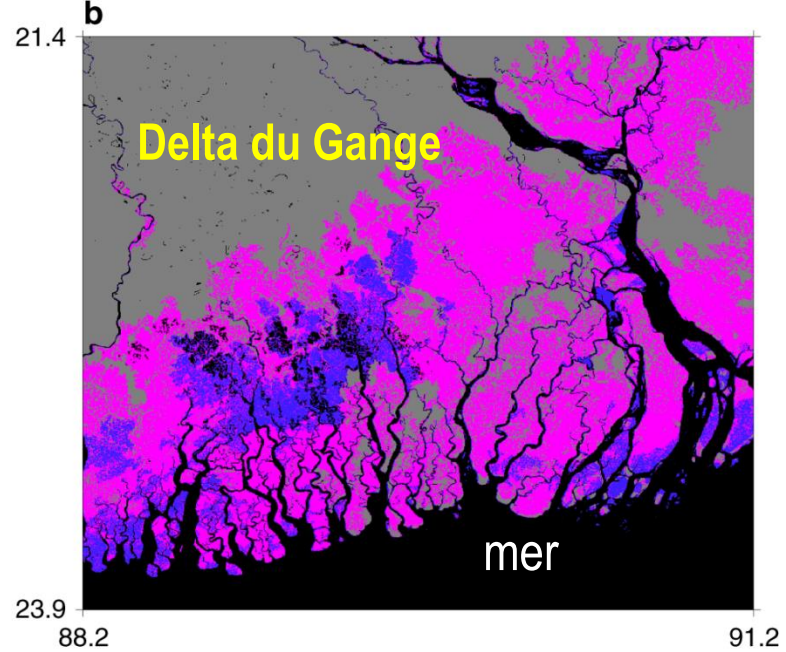


Zones inondées si la mer monte de + 1m en 2100

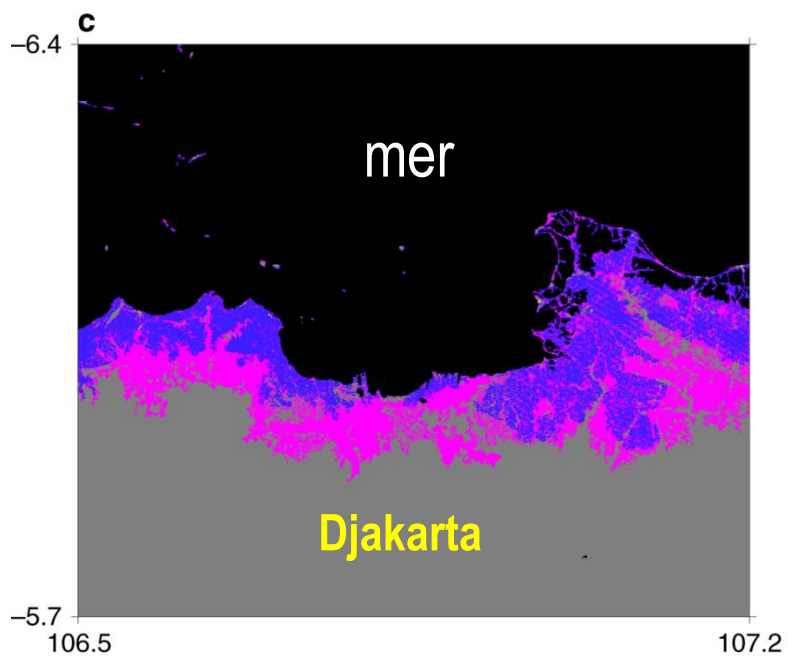




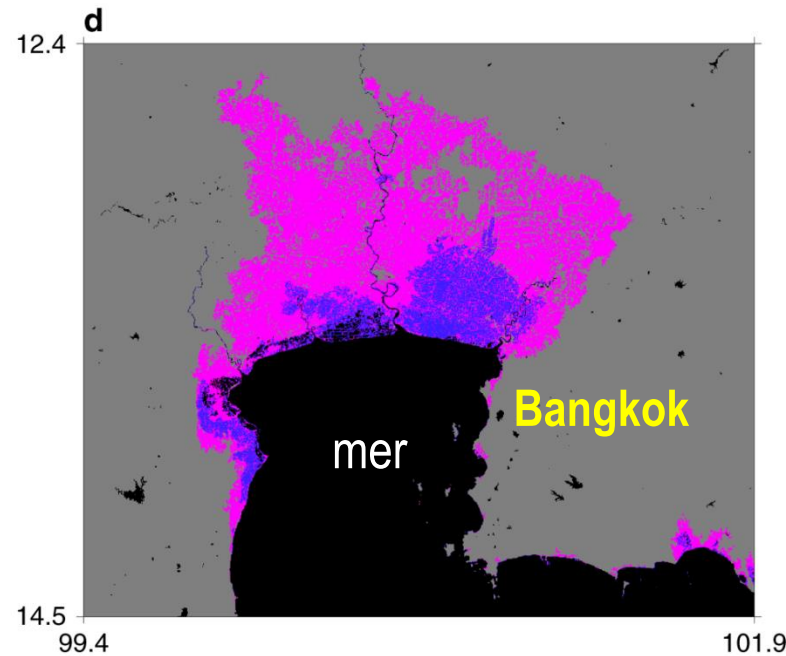
Pearl River Delta, China



Bangladesh



Jakarta, Indonesia



Bangkok, Thailand

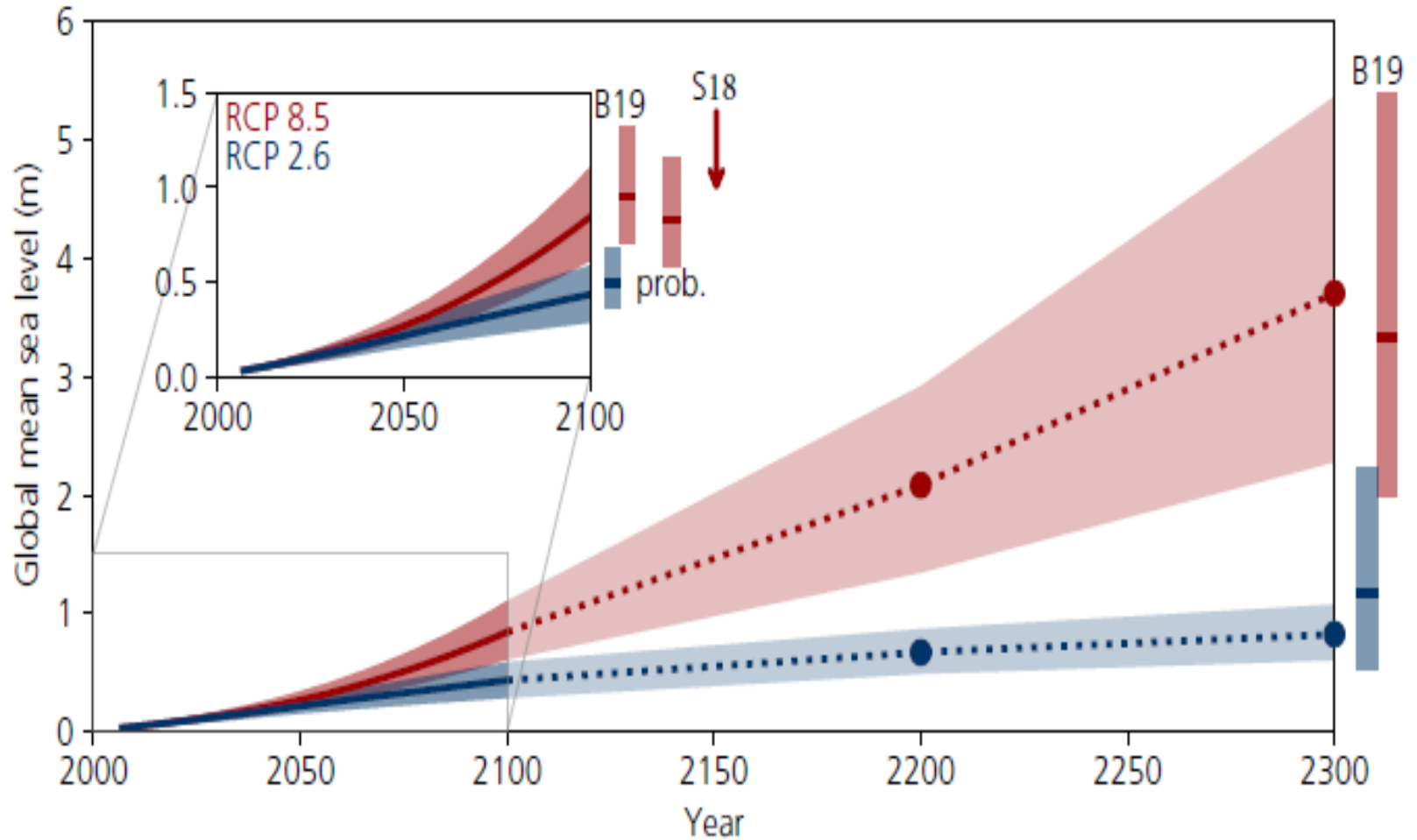
**Estimation des populations
exposées à la hausse du niveau
de la mer en 2050 et 2100**

pour un scénario de réchauffement RCP 8.5 →

(émissions futures de gaz à effet de serre au même rythme qu'aujourd'hui)

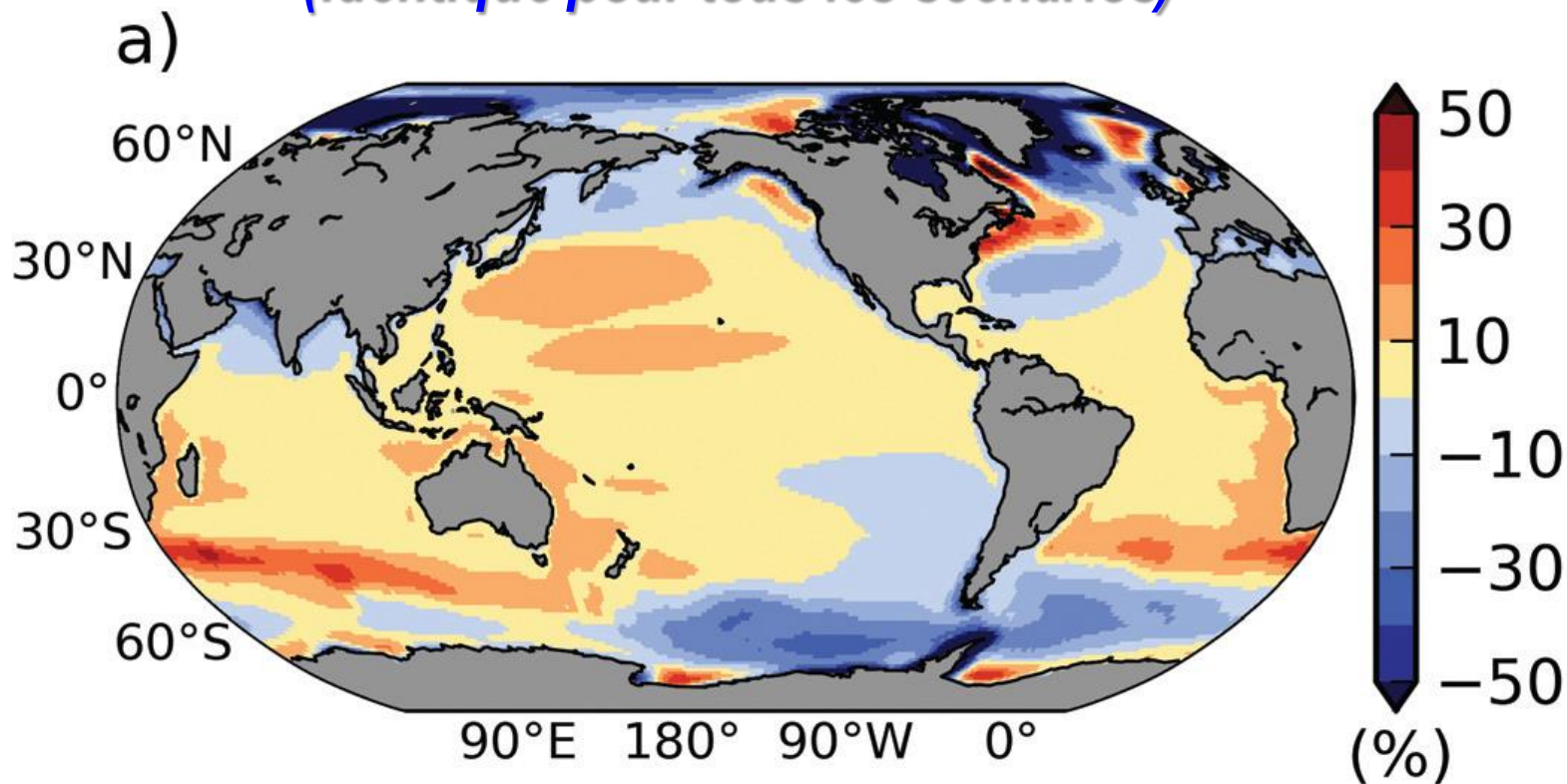
	2050	2100
Inondation permanente	150 millions	230 millions
Inondations temporaires à récurrence annuelle	300 millions	390 millions

Projections de la hausse future du niveau des mers



Rapport du GIEC sur l'Océan et la Cryosphère (septembre 2019)

Variabilité régionale de la mer en 2100 Ecart (%) à la hausse moyenne (identique pour tous les scénarios)

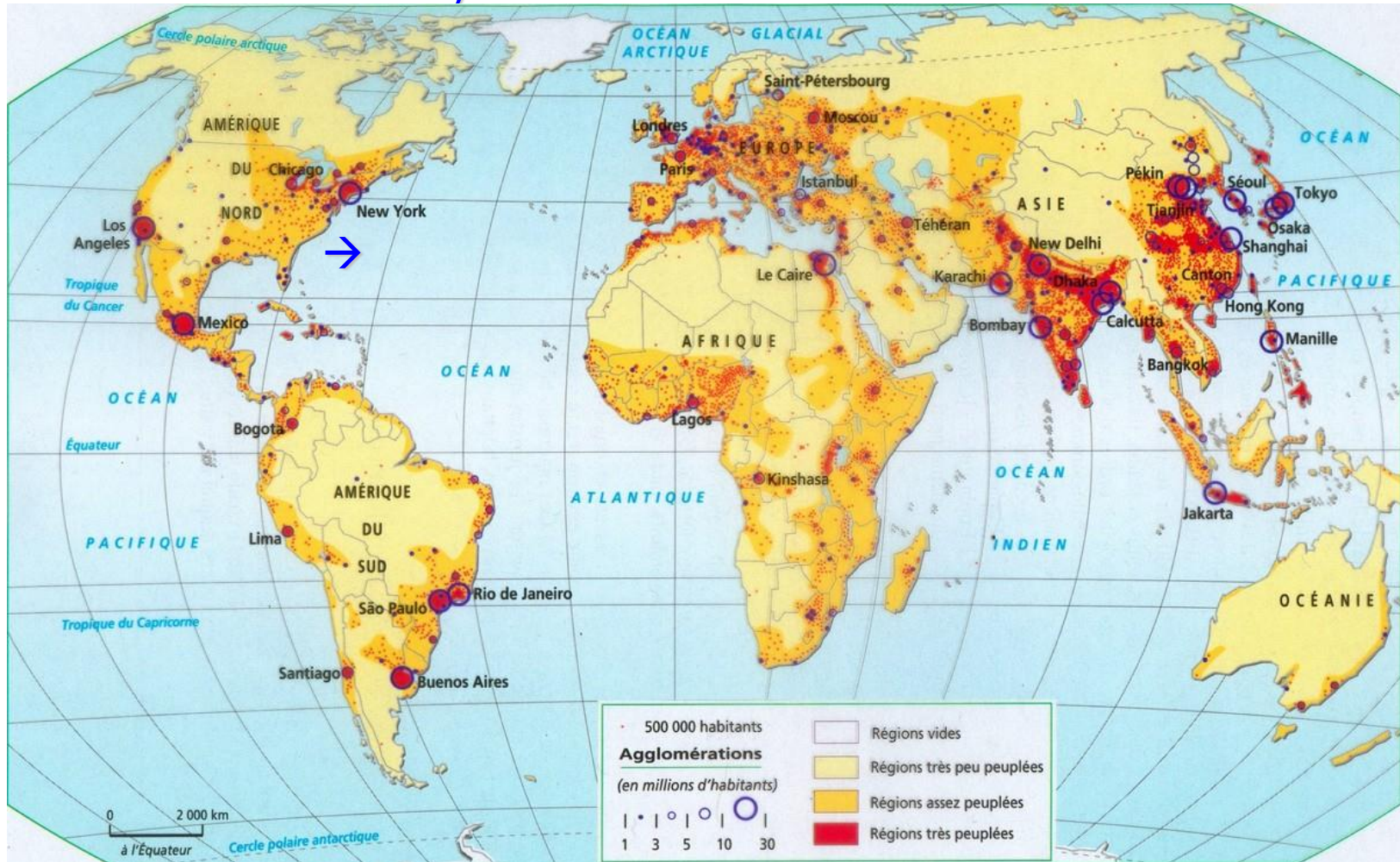


Nouveaux défis

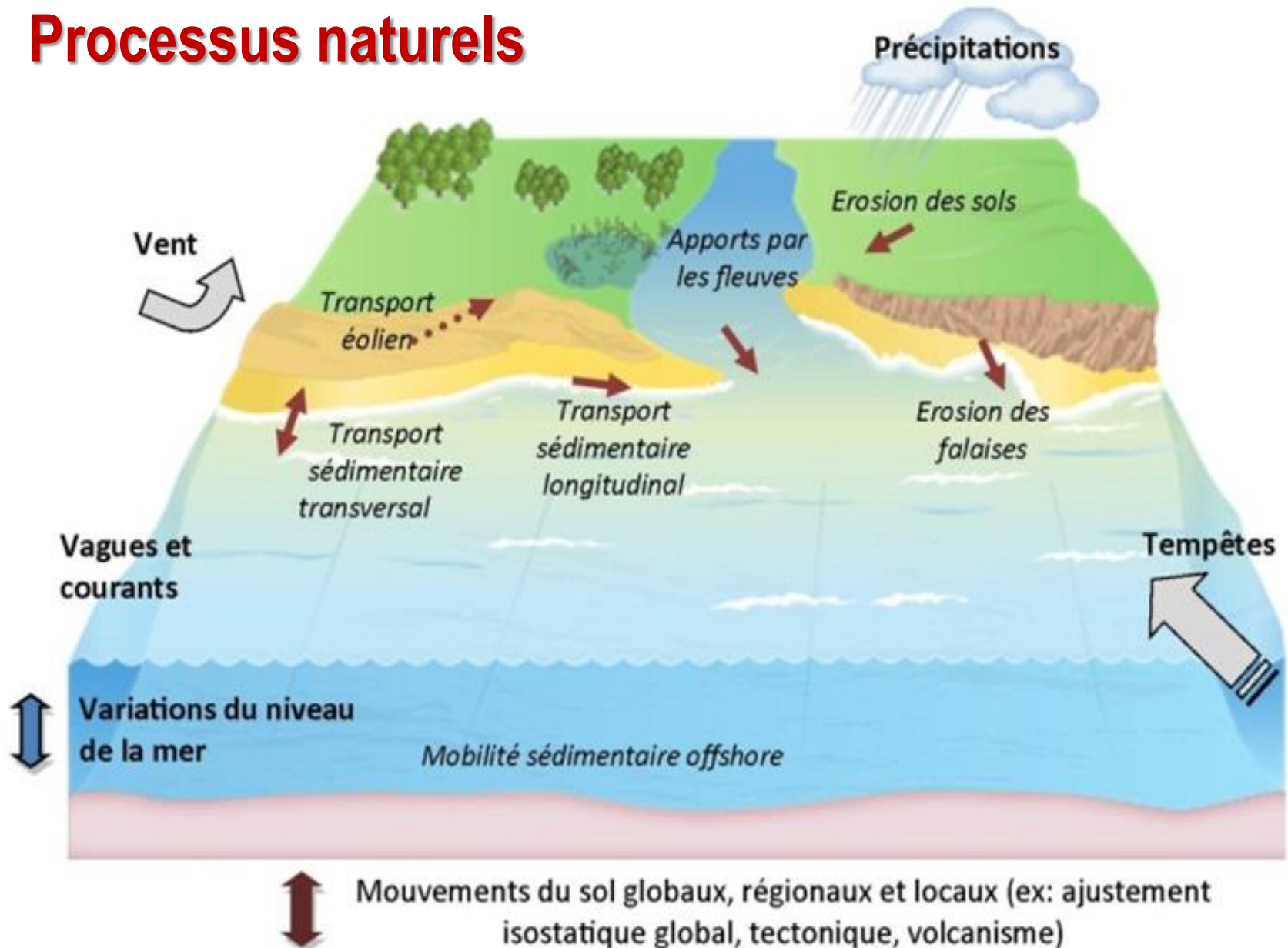
→ Hausse de la mer dans les zones côtières

Les zones côtières

- 10% de la population mondiale (altitude <10 m au dessus du niveau de la mer) → 600 millions de personnes (1,5 milliard en 2060)
- La moitié vit dans des zones urbaines (11 des 15 plus grandes mégapoles sont situées au bord de la mer)



Processus naturels



Activités humaines

Aménagements fluviaux

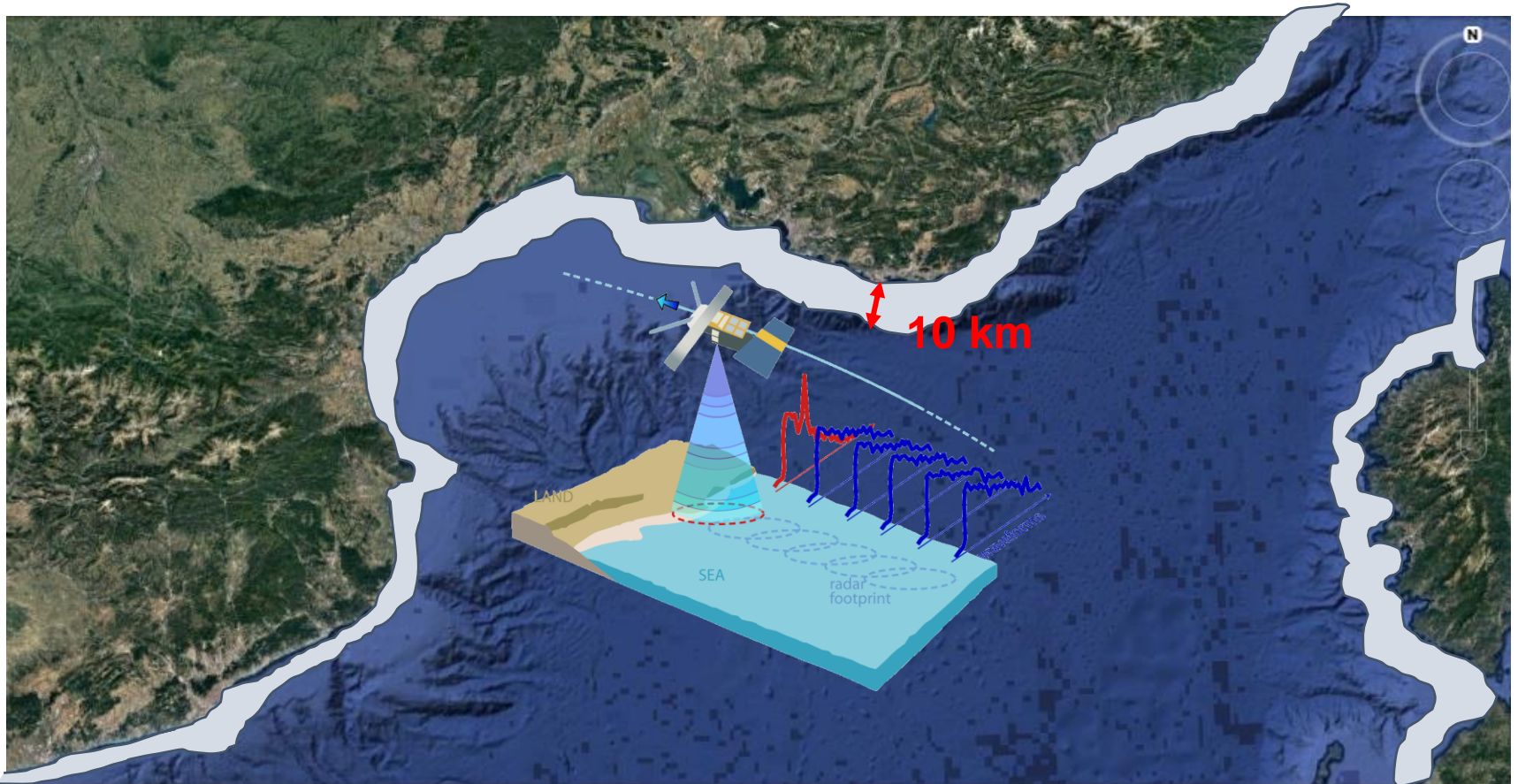


Mouvements du sol régionaux et locaux d'origine anthropogénique (ex. extractions d'eau, d'hydrocarbures)

Erosion des côtes: 25% des plages sableuses; en Europe, 75% des littoraux

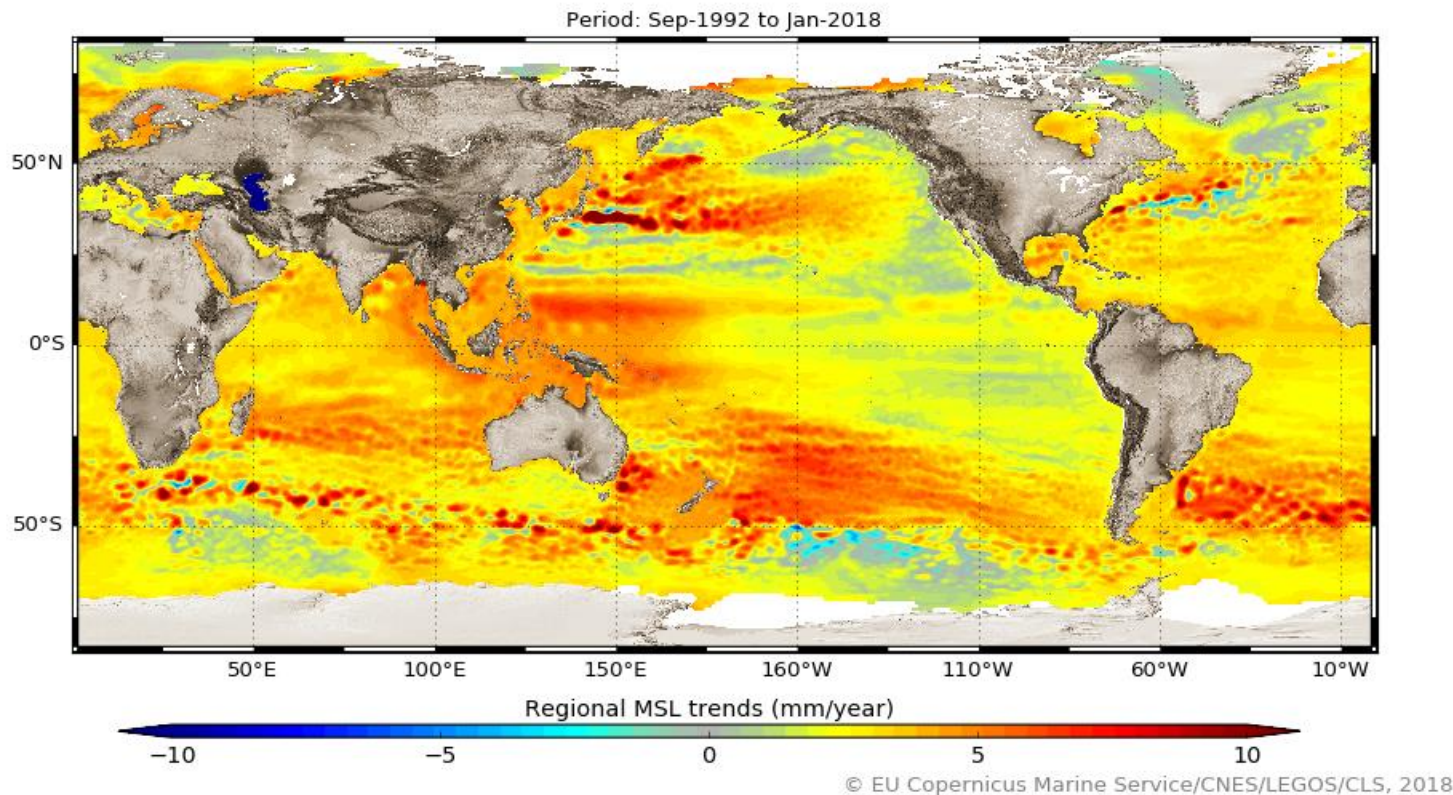


- Mais on ne sait pas quels sont les rôles respectifs des phénomènes naturels et des activités humaines dans le recul du trait de de côte et l'érosion du littoral



Et on ne sait toujours pas répondre à la question:
« Le niveau de la mer à la côte monte-t-il à la même vitesse qu'au large ? »

Hausse régionale de la mer (1992-2018)

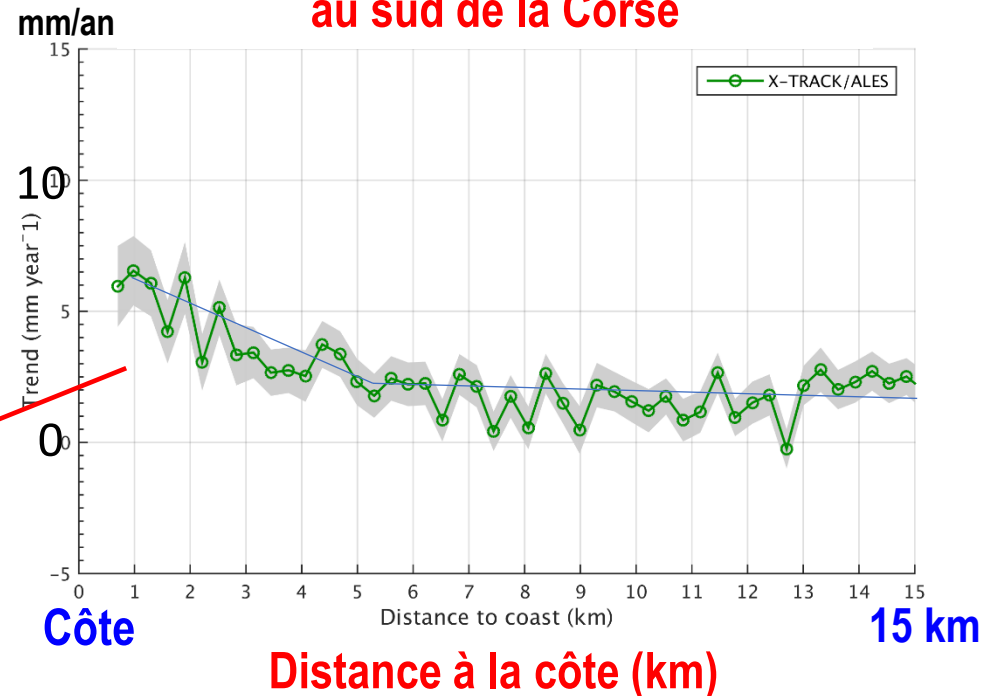


La hausse du niveau de la mer à la côte n'est pas juste une extrapolation de la hausse au large → certains phénomènes côtiers viennent se superposer à la hausse moyenne globale et sa variabilité régionale (ex. **courants côtiers, tendances des vagues, apports d'eau douce par les rivières dans les estuaires, ...**)



Des traitements 'adaptés' des mesures des satellites altimétriques permettent d'estimer la hausse de la mer au plus près de la côte

Hausse de la mer entre 2002 et 2018 au sud de la Corse



Côte

Distance à la côte (km)

15 km

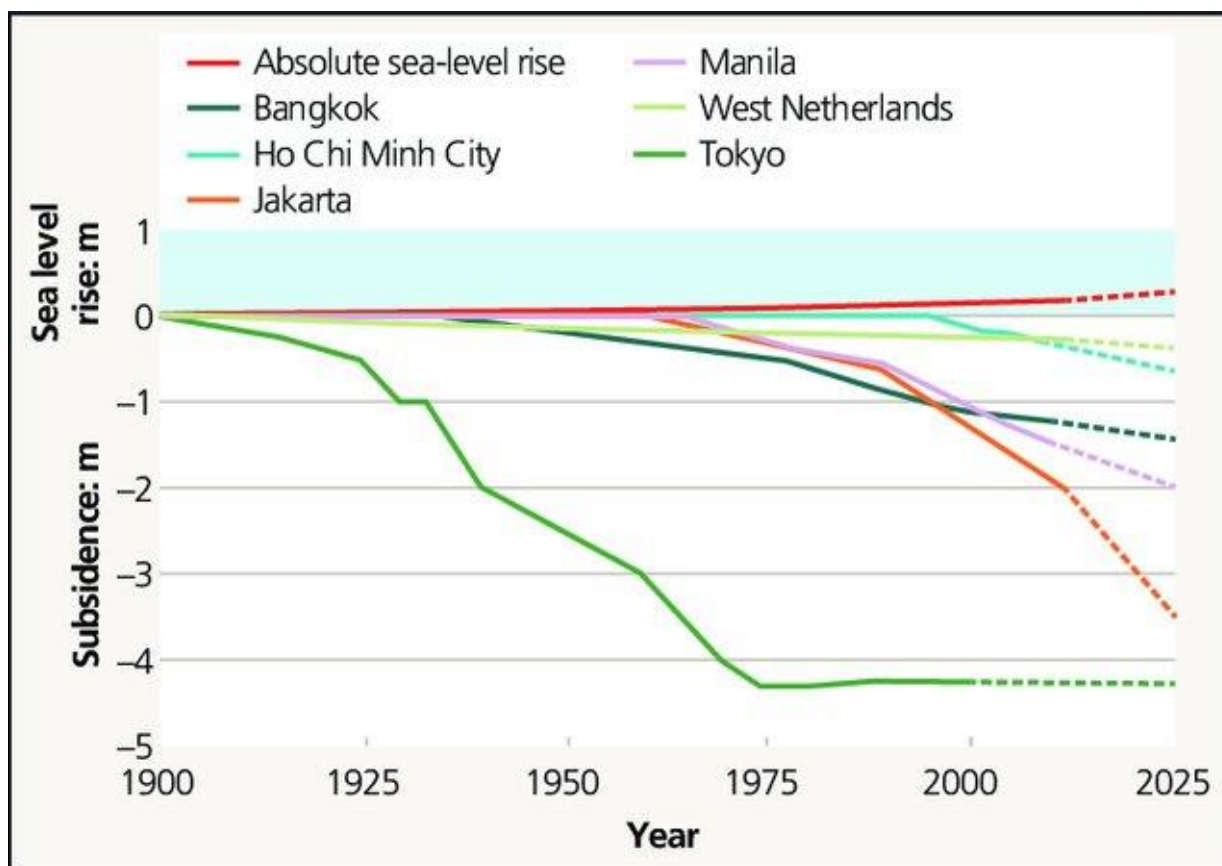
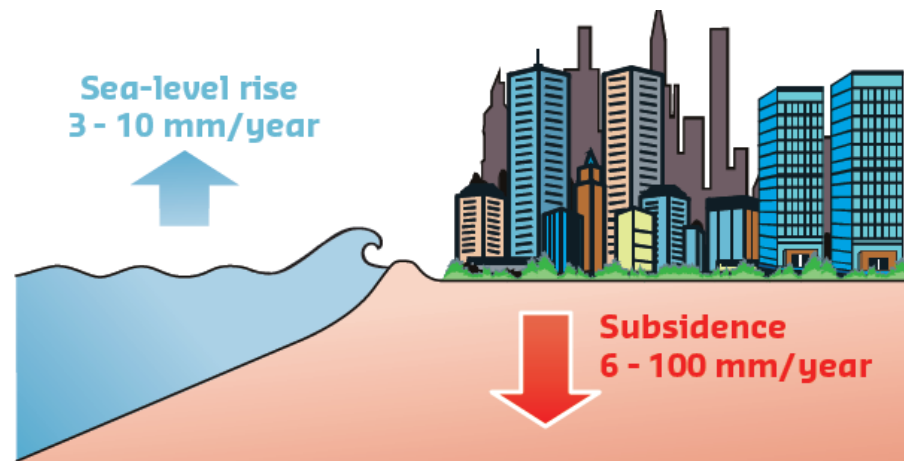
Ce qui compte à la côte:

**→ Variation totale de la mer 'relativement' à la
croûte terrestre**



**Σ (*hausse moyenne globale*
+ tendances régionales
+ dynamique local océanique locale)
*+ mouvements verticaux du sol***

Mouvements verticaux du sol
→ autre source de variation du
niveau de la mer à la côte



Pour conclure, ce que l'on sait aujourd'hui:

- ❖ La mer monte (vitesse moyenne 3 mm/an depuis 1993)
- ❖ La mer ne monte pas de manière uniforme :
→ dans certaines régions, la hausse est 3 fois supérieure à la moyenne globale
- ❖ On sait bien quantifier les différentes contributions à la hausse actuelle de la mer
- ❖ La hausse de la mer s'est **accélérée** au cours de la dernière décennie
- ❖ La fonte accélérée du **Groenland** est largement responsable

Pour conclure, ce que l'on sait (ou pas) aujourd'hui (suite) :

- ❖ La mer va continuer à monter pendant plusieurs siècles**
- ❖ De combien? Cela dépend de nos émissions de gaz à effet de serre**
- ❖ Il est probable que la hausse de la mer à la côte diffère significativement de la hausse au large, au moins en certains sites**
- ❖ Les projections actuelles ne prennent pas encore en compte les phénomènes côtiers**
- ❖ → difficulté supplémentaire pour estimer les impacts**

Les accords de Paris sur le climat en 2015....

- **2°C de hausse de la température moyenne de la Terre (par rapport à 1880) →**

Au rythme actuel des émissions, seuil atteint vers 2040



Pour rester au dessous de 2°C, la valeur cumulée des émissions de CO₂ ne doit pas dépasser 3200 GtCO₂

Déjà émis : 2000 GtCO₂; Reste 1200 GtCO₂.....



Correspond à 1.7 tonnes CO₂/habitant

Plan A



There is no planet B

Il n'y a pas de Planète B...



Merci de votre attention