

Océan et Climat - Des destins liés

Laurent Bopp

Département de Géosciences
Ecole Normale Supérieure



Introduction : vagues de chaleur, feux, pluies, cyclones...

Extrêmes de température et Vagues de Chaleur

sam 12	 	13 26		Nord-Ouest 5 km/h	L'anticyclone maintient un temps calme et très ensoleillé - tout au plus quelques cirrus l'après-midi avec des températures très agréables	+5°
Ciel peu nuageux - le soleil domine largement - Coucher du soleil : 20:05 0mm						
dim 13	 	14 28		Est 5 km/h	Les hautes pressions s'affirment - plein soleil et ambiance estivale l'après-midi	+7°
0% Pluie 24H 0mm						
lun 14	 	17 33		Sud-Est 5 km/h	Flux de sud-est apportant un pic de forte chaleur digne du cœur de l'été !	+12°
0% Pluie 24H 0mm						

INTERNATIONAL • ÉTATS-UNIS

Partag

En Californie, des feux de forêts ont ravagé plus de 8 000 km²

Confronté à de fortes chaleurs, l'Etat américain doit lutter depuis plusieurs jours contre de nombreux incendies. Plus de 14 000 pompiers sont mobilisés.



Des pompiers luttent contre un incendie dans le comté de Madera, en Californie aux Etats-Unis, lundi 7 septembre. JOSH EDELSON / AFP



Ouragan Dorian (2019)

Inondations au Japon: au moins 61 morts, pluies record dans le centre

AFP

Modifié le 08/07/2020 à 16:17 - Publié le 08/07/2020 à 13:57 | AFP



Introduction : Le changement climatique ?



Episode Méditerranéen dans le Sud-Est – Septembre 2020

(>500 mm de pluie sur certaines zones)



Introduction : Le changement climatique ?

Date	Matin	Aprèm	Matin	Aprèm	
mer 16			20	32	+11°
jeu 17			18	28	+8°
ven 18			16	30	+9°
sam 19			18	30	+9°

Episode de forte chaleur en France
(Septembre 2020)

(>10° au delà des normales
saisonnieres)

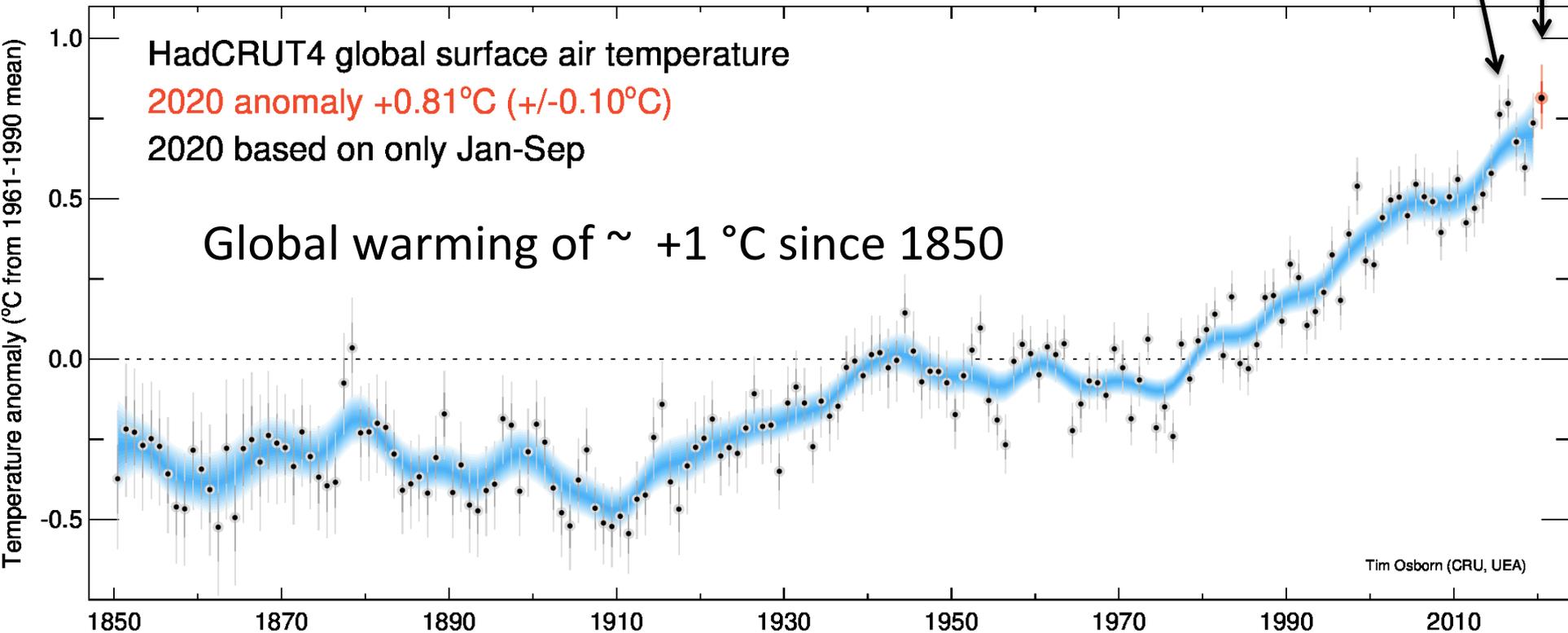
Sécheresse des sols sévère
(Normandie, Hauts de France,
Bourgogne, Grand Est, ...)

(site Meteo-Paris)



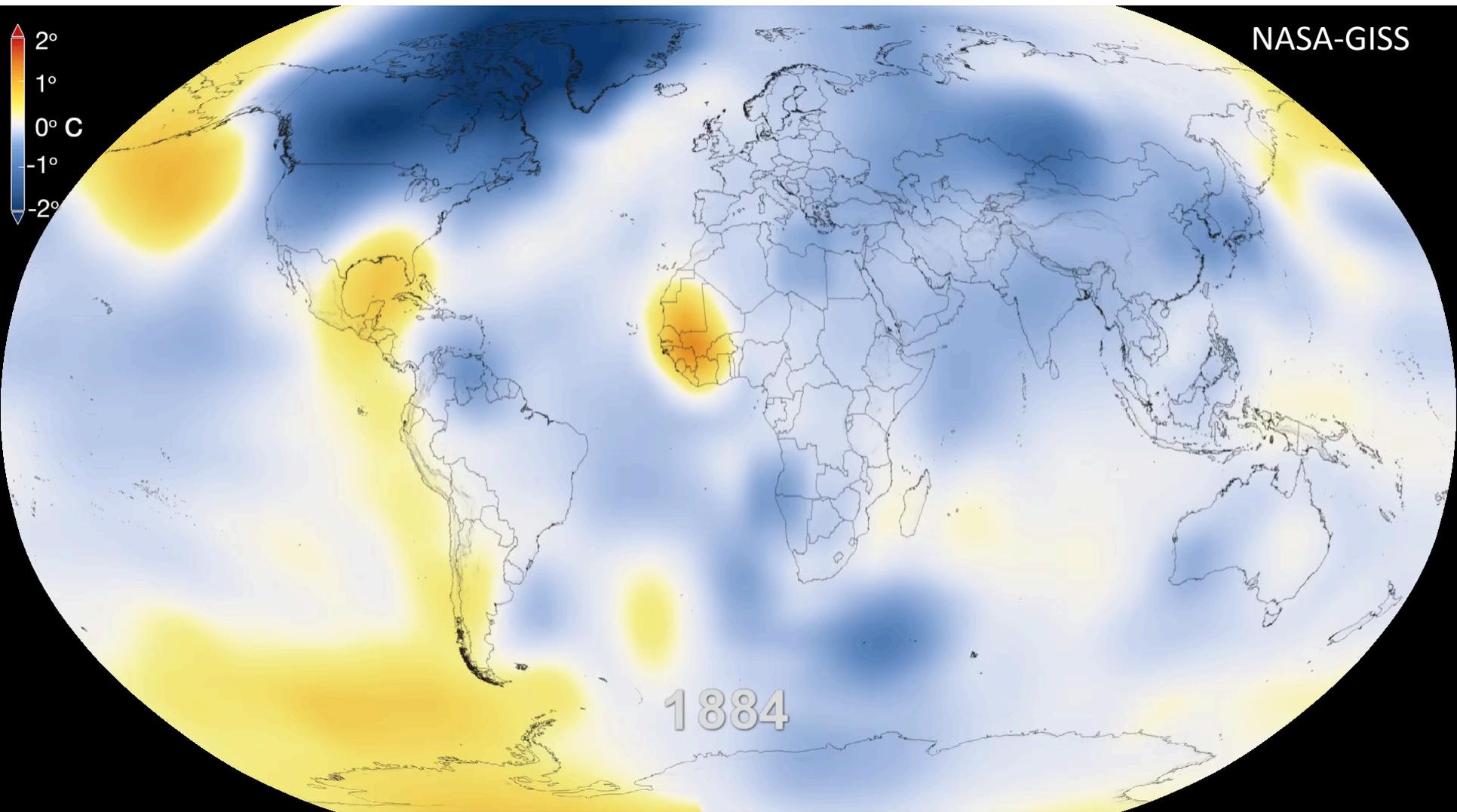
Introduction : réchauffement climatique

Temperature Anomaly – global average



2016 was the warmest year on the record (since 1850),
but now comes 2020...

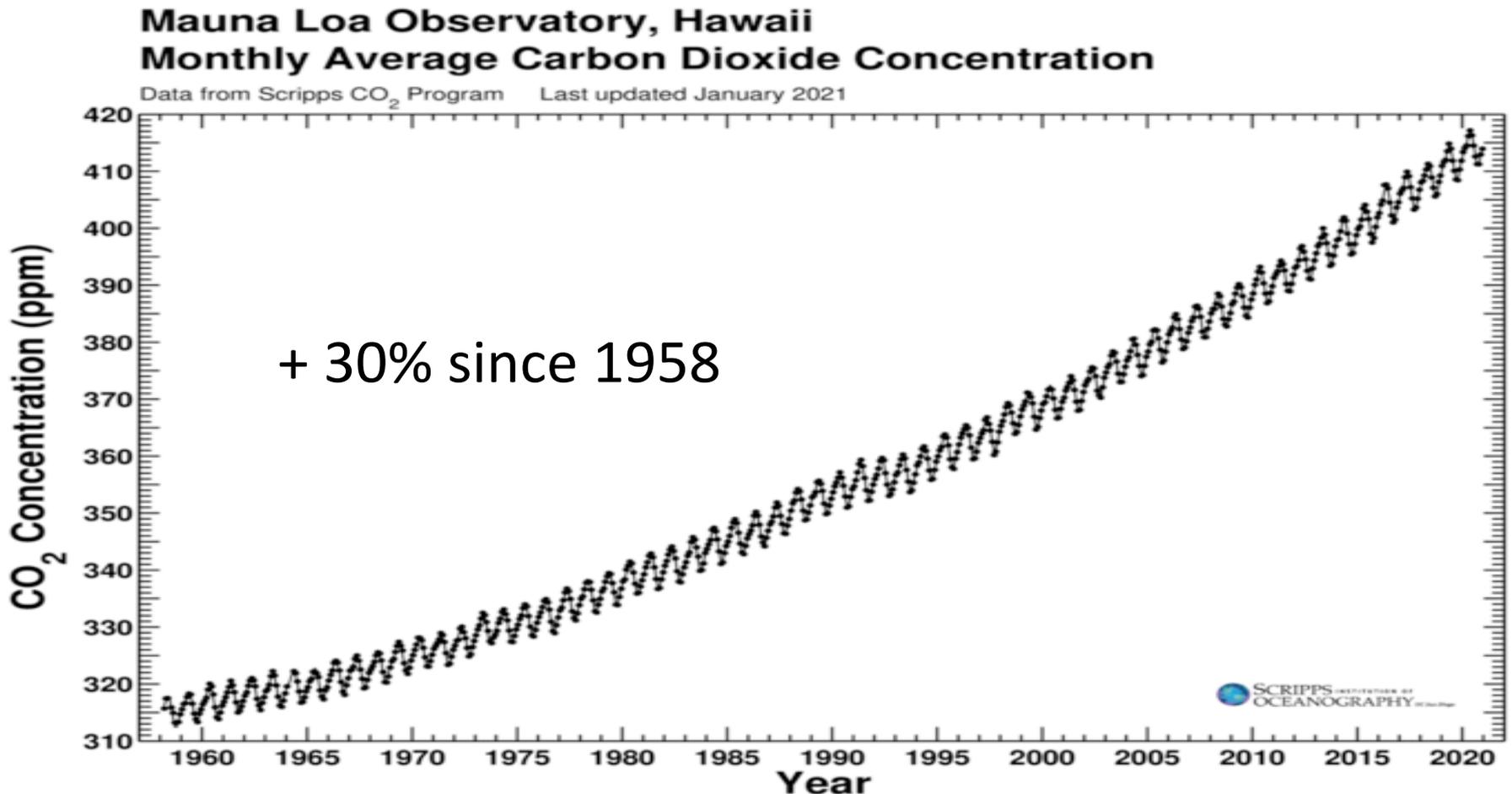
Introduction : le changement climatique – sur le globe



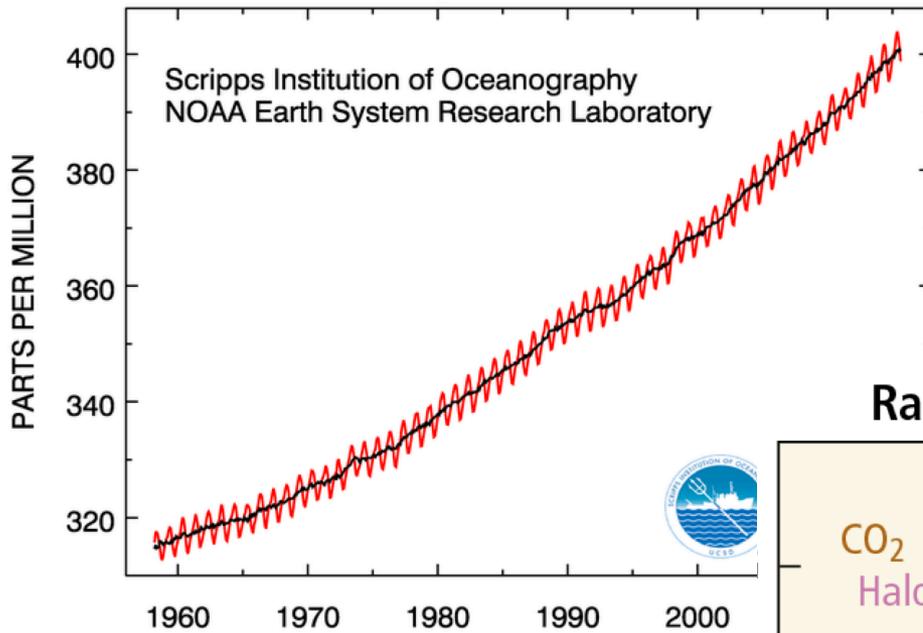
Introduction : Augmentation du CO₂ dans l'atmosphère

Le CO₂ atmosphérique à Mauna Loa est > 415 ppm en 2019

Les émissions de combustibles fossiles ont dépassé 10 milliards de tonnes de C en 2019

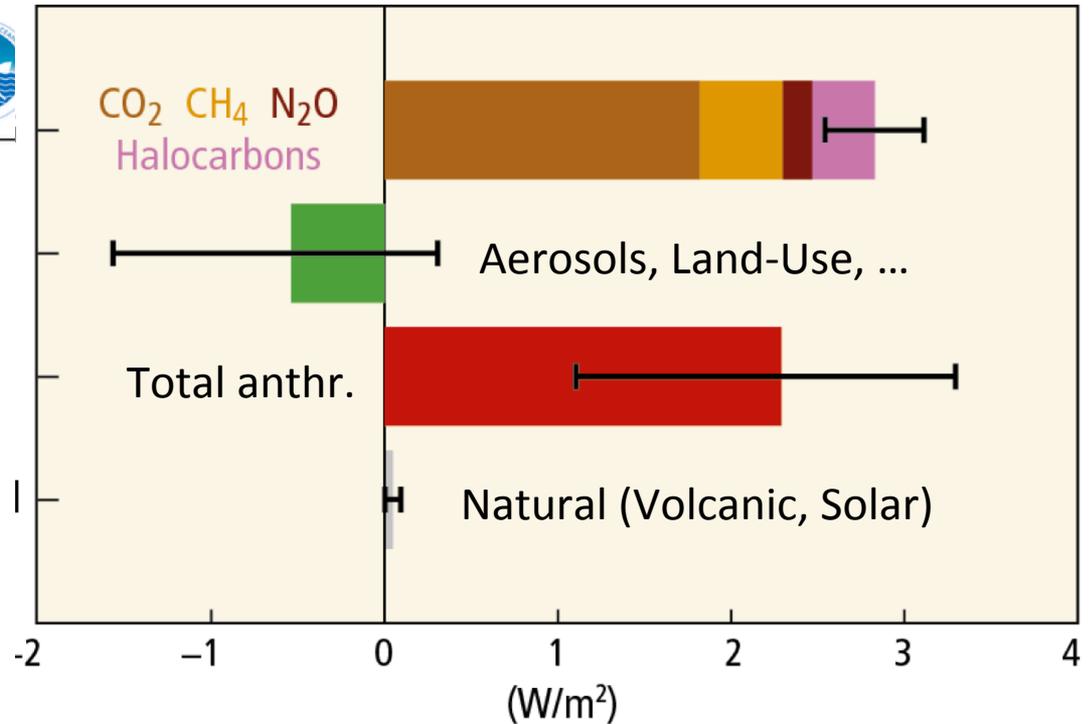


Introduction : CO₂ et réchauffement climatique



Le CO₂ est le principal responsable du changement climatique en cours.

Radiative forcing in 2011 relative to 1750

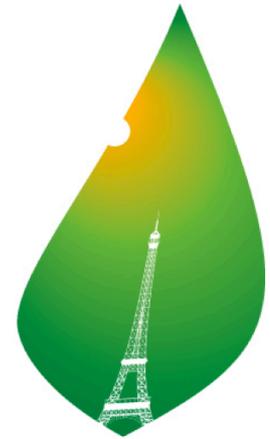


Introduction : 2015 – L'accord de Paris

21^{ème} Conférence des Nations Unies sur le
Changement Climatique

Organisée à Paris-Le Bourget du 30 Novembre
au 11 Décembre 2015

Accord de Paris pour contenir le réchauffement
global en deçà de 1.5°C / 2°C



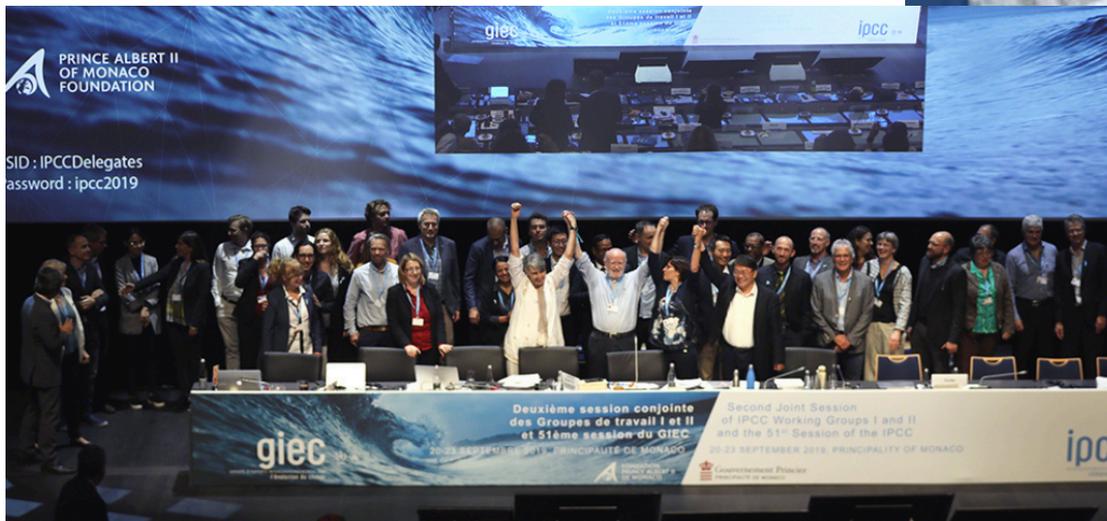
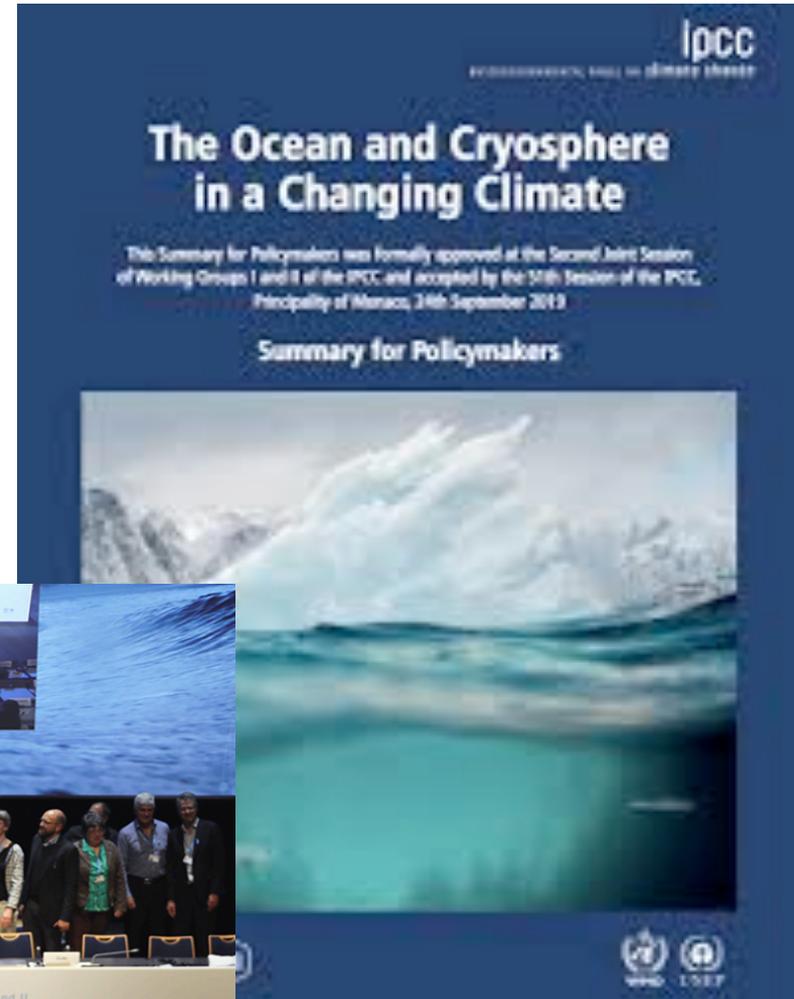
PARIS2015
UN CLIMATE CHANGE CONFERENCE
COP21·CMP11



Introduction : les rapports du GIEC depuis 1990....

Adoption du rapport spécial Océan et Cryosphère (24 Septembre 2019)

La montée du niveau des mers
Les zones polaires et les régions de montagne
Impact sur les écosystèmes océaniques
Evènements extrêmes océaniques

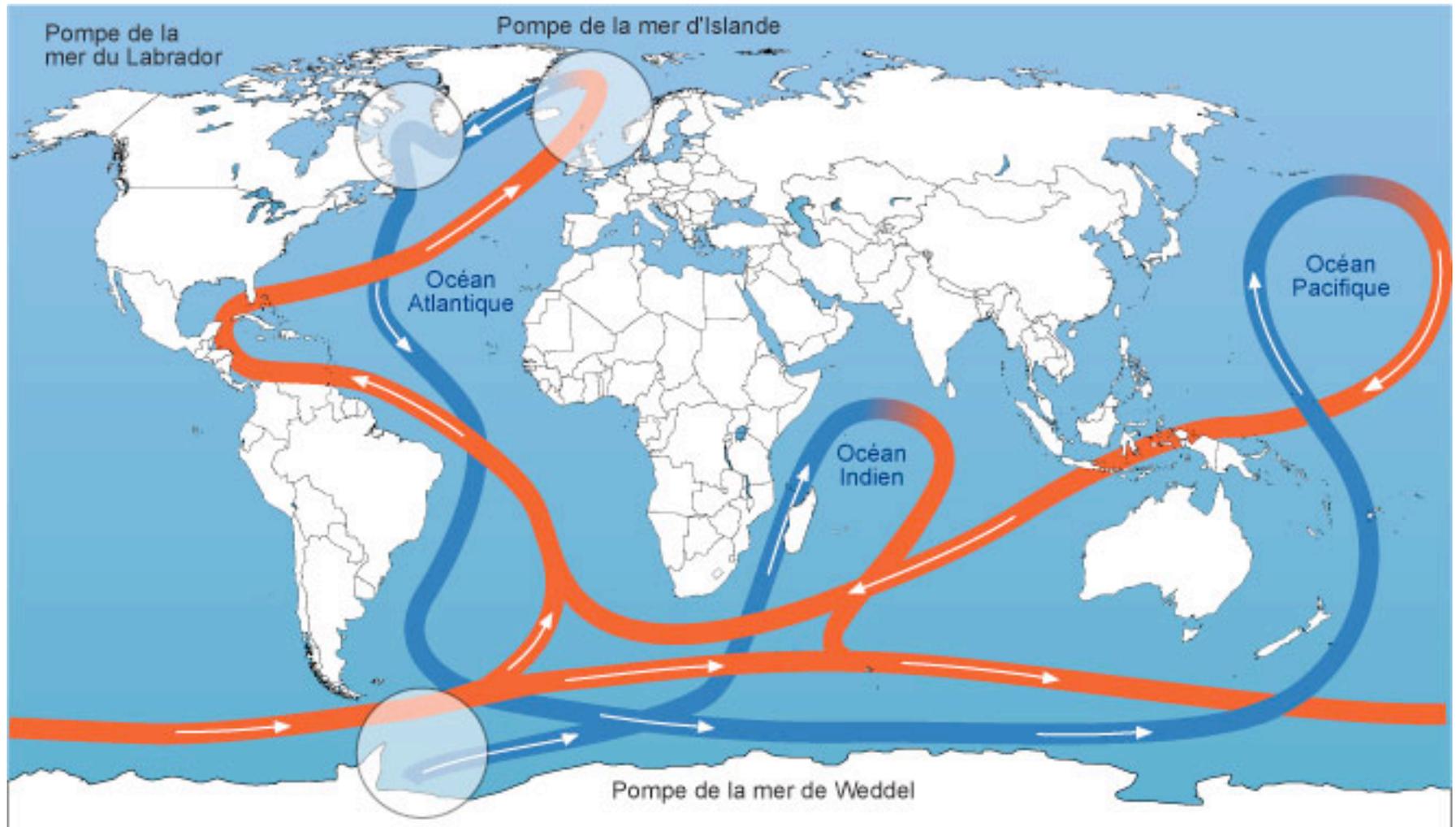


Et l'océan ?

- Contient **97 % de l'eau** contenue à la surface de la Terre (seulement 0.001% dans l'atmosphère)
- **Une capacité thermique 1200 fois plus élevée** que celle de l'atmosphère (masse 300x plus importante et la chaleur spécifique de l'eau est 4x plus forte que celle de l'air)
→ Très forte inertie thermique
- **Contient 50 fois + de carbone que l'atmosphère** (38000 GtC contre 750 pour l'atmosphère)

L'océan et le climat

La circulation océanique redistribue de la chaleur de l'équateur vers les pôles



L'océan et le CO₂

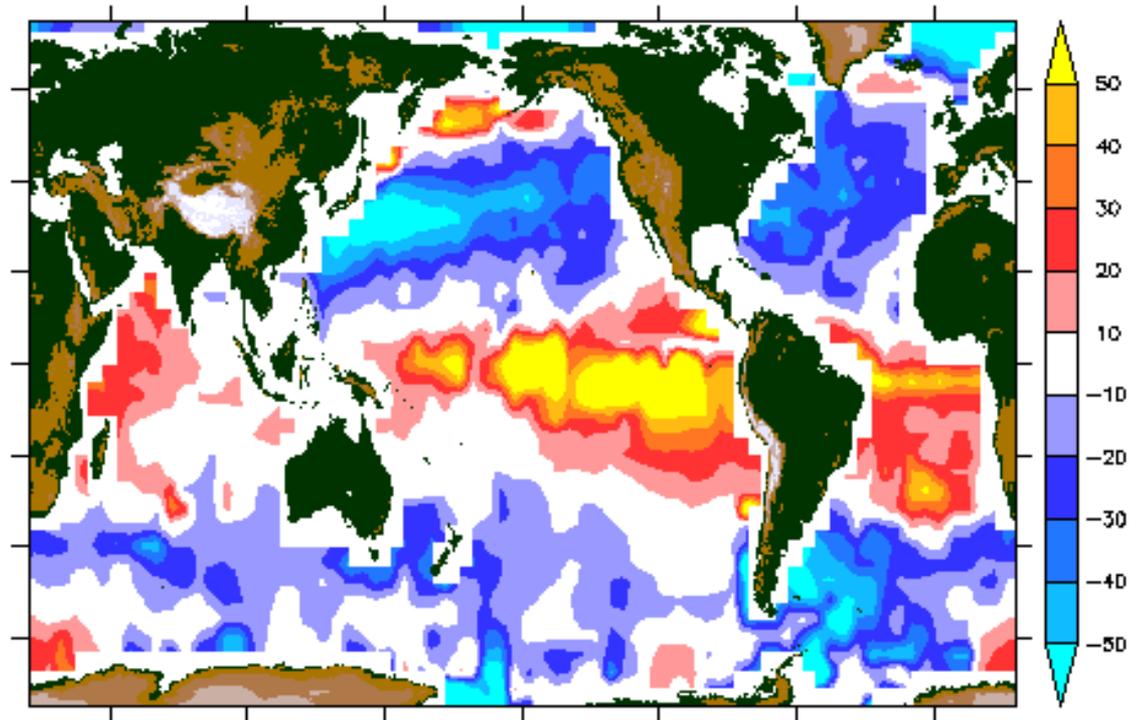
L'océan échange chaque année 100 GtC avec l'atmosphère



Puits de C



Source de C



Janvier



Quel est le rôle de l'océan
dans le changement climatique ?



Quels sont les impacts du changement
climatique sur l'océan
et sur ses écosystèmes ?



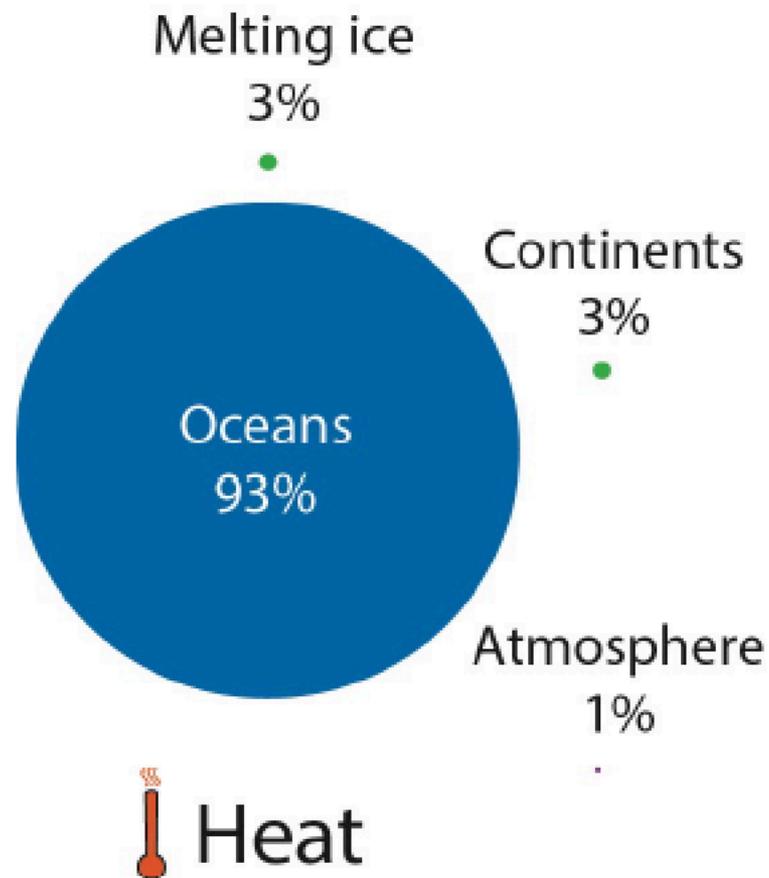
D'autres menaces sur l'océan ?

Quel est le rôle de l'océan dans le changement climatique ?

- L'océan absorbe de la chaleur
- ... et du CO₂ anthropique
- Il limite de fait l'amplitude
du dérèglement climatique

L'océan absorbe la grande majorité de l'énergie additionnelle

Le réchauffement océanique constitue l'essentiel de l'augmentation de la quantité d'énergie emmagasinée au sein du système climatique et représente **plus de 90% de l'énergie accumulée** entre 1971 et 2010.

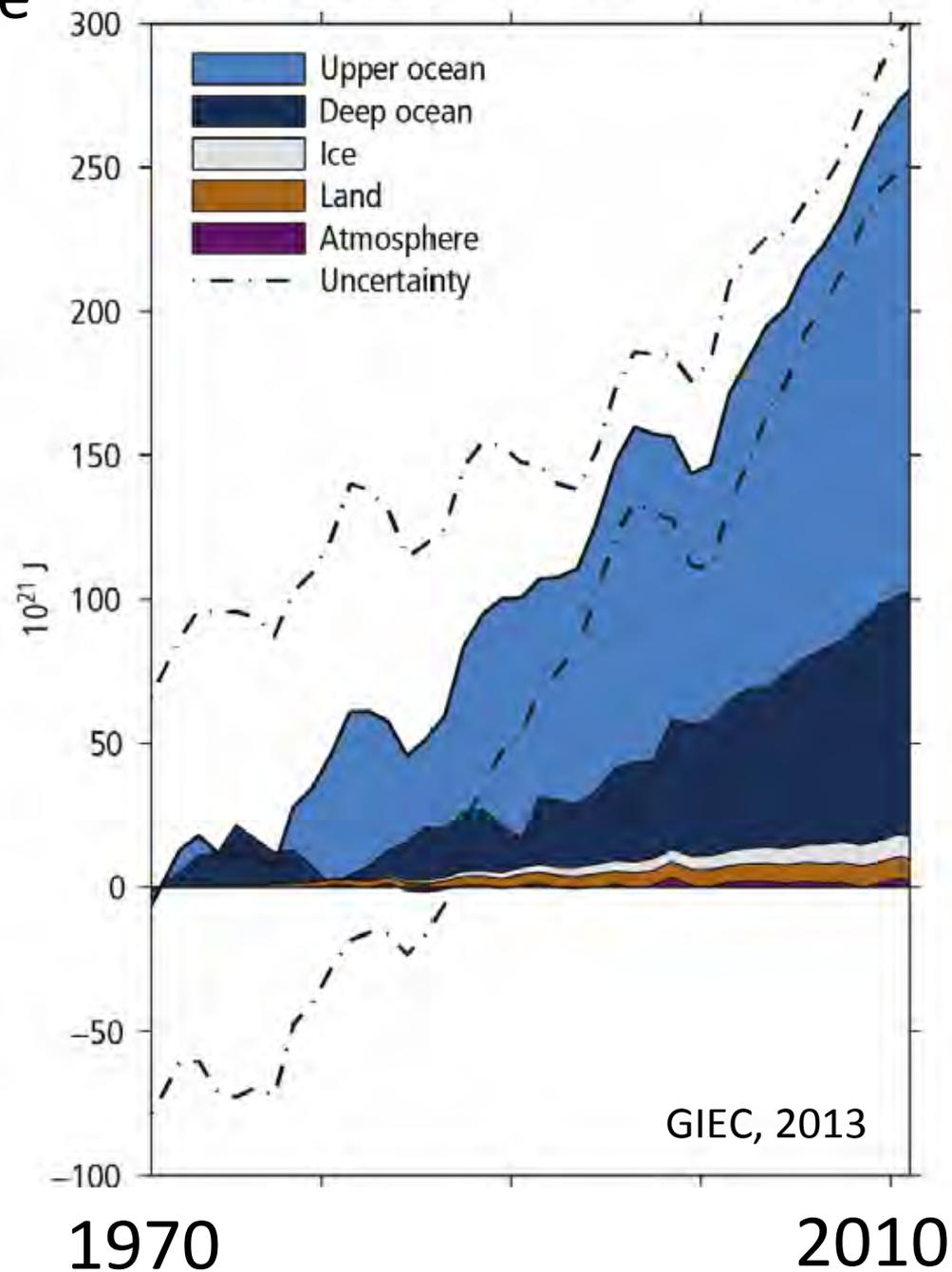


1970

2010

L'océan absorbe la grande majorité de l'énergie additionnelle

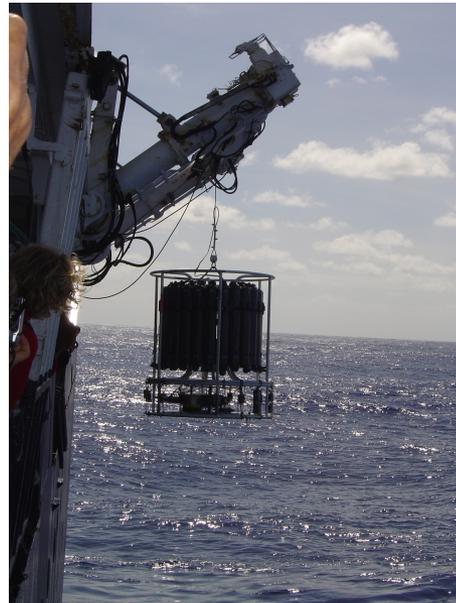
Le réchauffement océanique constitue l'essentiel de l'augmentation de la quantité d'énergie emmagasinée au sein du système climatique et représente **plus de 90% de l'énergie accumulée** entre 1971 et 2010.



Mesure des températures océaniques sur toute la profondeur

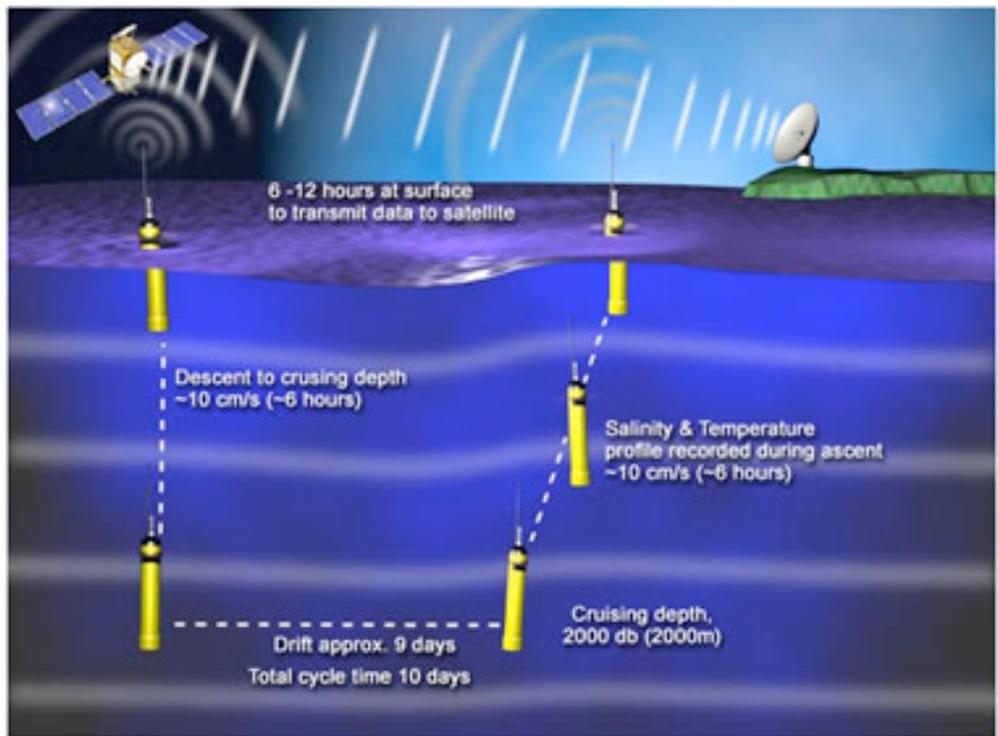


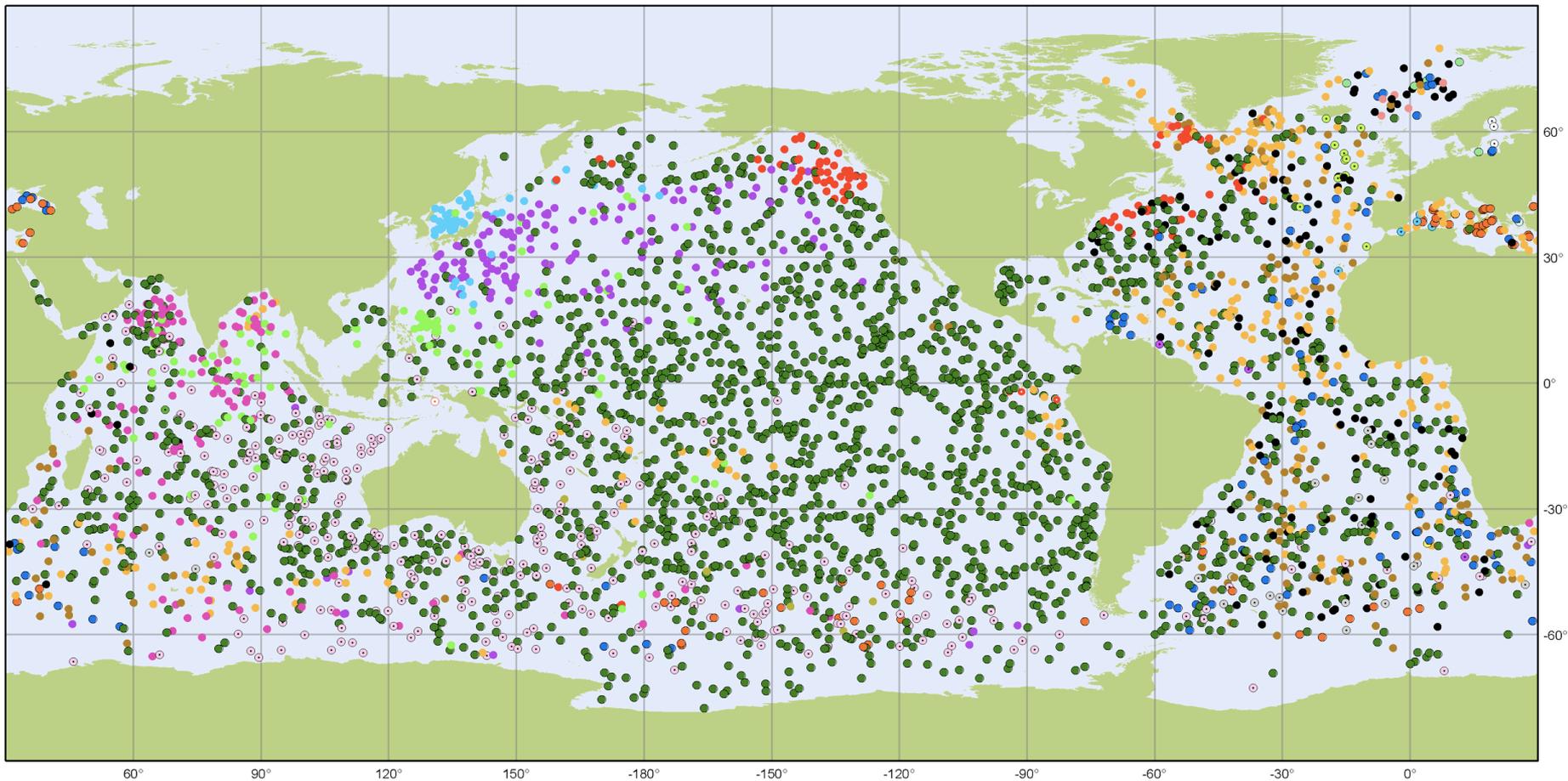
Campagnes Océanographiques depuis la fin du XIXème siècle



Mesure des températures océaniques en 3D ?

Les Bouées et le réseau ARGO depuis le début du XXème siècle





Argo

National contributions - 3881 Operational Floats

February 2018

Latest location of operational floats (data distributed within the last 30 days)

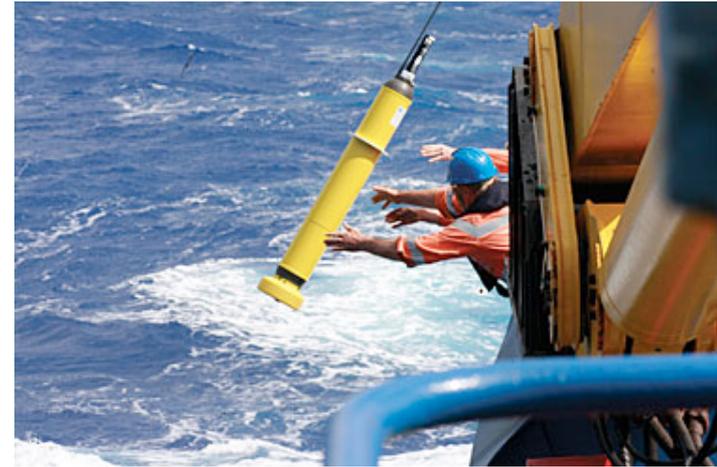
- | | | | | | |
|-------------------|-----------------|-----------------|--------------------|---------------------------|--------------|
| ● ARGENTINA (1) | ● EUROPE (94) | ● INDIA (124) | ● KENYA (1) | ● PERU (3) | ● USA (2179) |
| ○ AUSTRALIA (361) | ○ FINLAND (3) | ○ INDONESIA (1) | ● MEXICO (2) | ● POLAND (5) | |
| ● BRAZIL (3) | ● FRANCE (277) | ● IRELAND (12) | ○ NETHERLANDS (24) | ● KOREA, REPUBLIC OF (53) | |
| ● CANADA (87) | ● GERMANY (142) | ● ITALY (65) | ● NEW ZEALAND (6) | ● SPAIN (5) | |
| ● CHINA (105) | ○ GREECE (2) | ● JAPAN (156) | ● NORWAY (7) | ● UK (163) | |



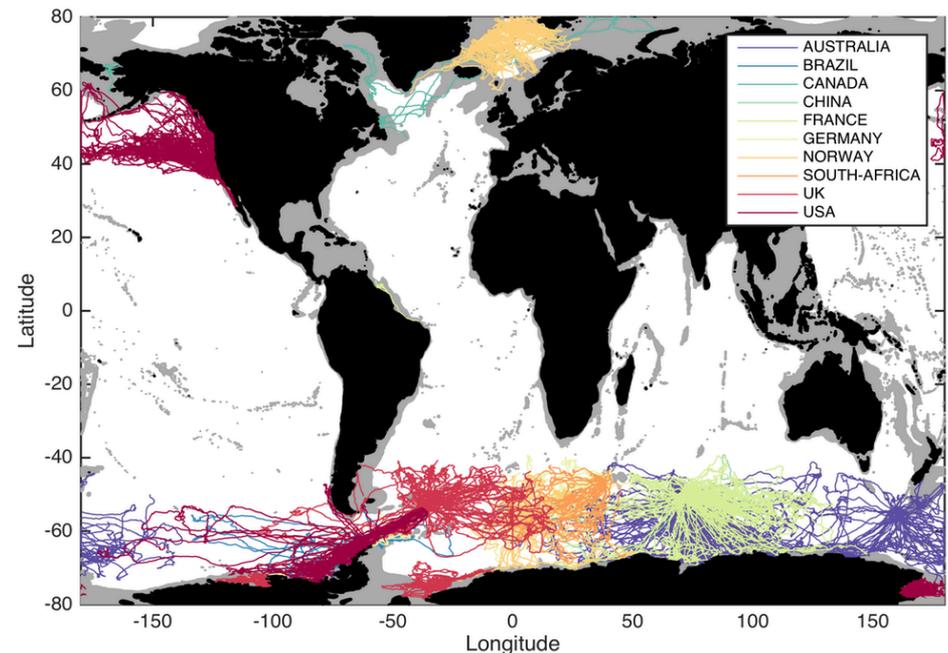
Mesure des températures océaniques en 3D ?

Les Bouées et le réseau ARGO depuis le début du XXème siècle

Et même des mammifères marins équipés d'instruments océanographiques



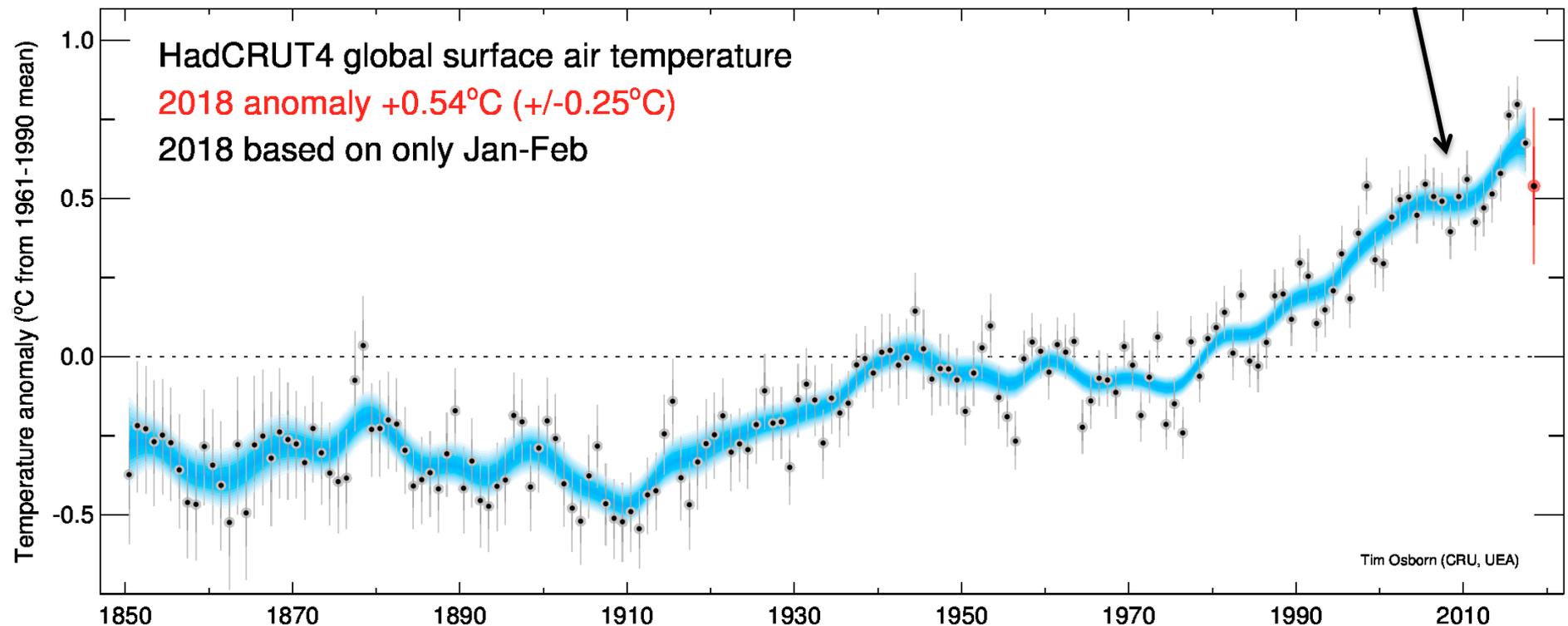
MEOP-CTD dataset : 333395 profiles, 107 deployments, 789 tags



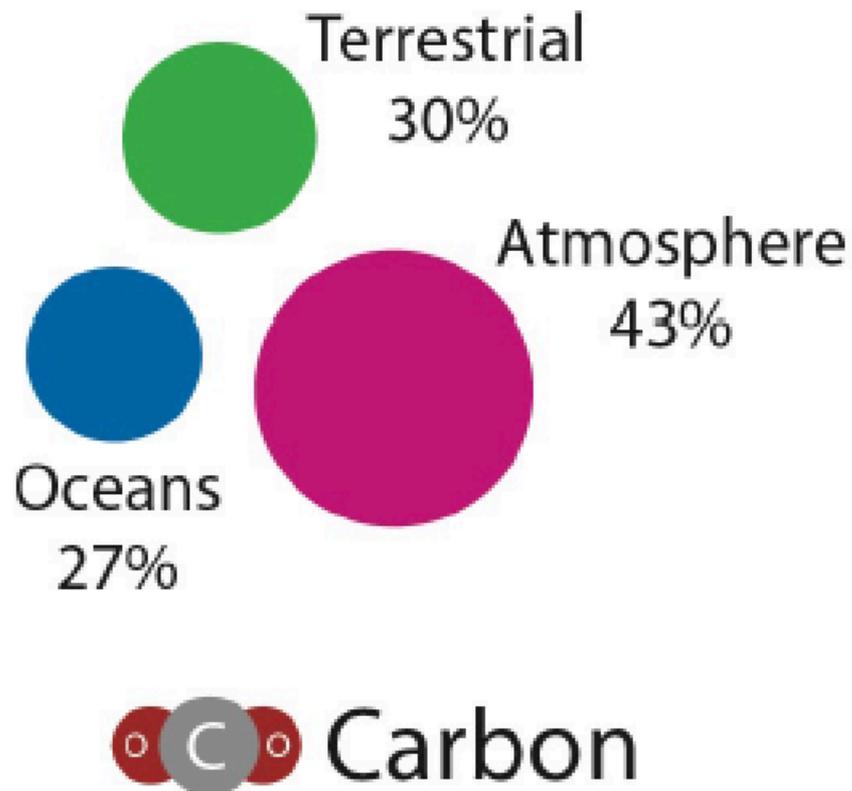
Absorption de chaleur par l'océan et évolution des températures de l'air

Variations décennales de l'absorption importantes !

Hiatus du réchauffement dans les années 2000 ... largement utilisés par les climato sceptiques pour remettre en doute le lien activités humaines - réchauffement

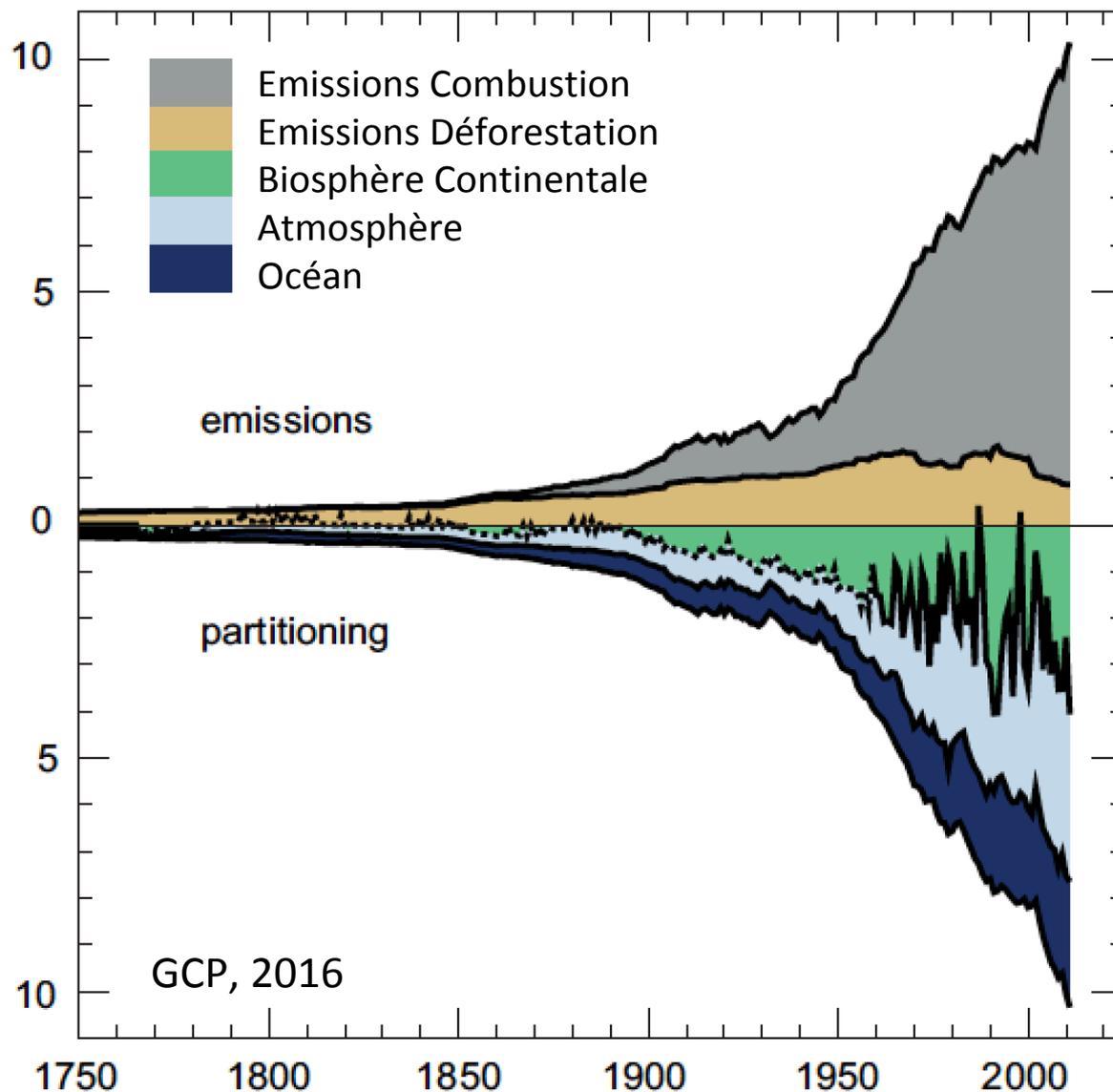


L'océan absorbe un quart des émissions de CO₂



L'océan représente un puits de carbone important : il a absorbé 155 milliards de tonnes de carbone depuis 1750, soit 30% des émissions liées à la combustion des réserves fossiles et à la déforestation.

L'océan absorbe un quart des émissions de CO₂



L'océan représente un puits de carbone important : il a absorbé 155 milliards de tonnes de carbone depuis 1750, soit 30% des émissions liées à la combustion des réserves fossiles et à la déforestation.

Les Puits de Carbone : Océanique

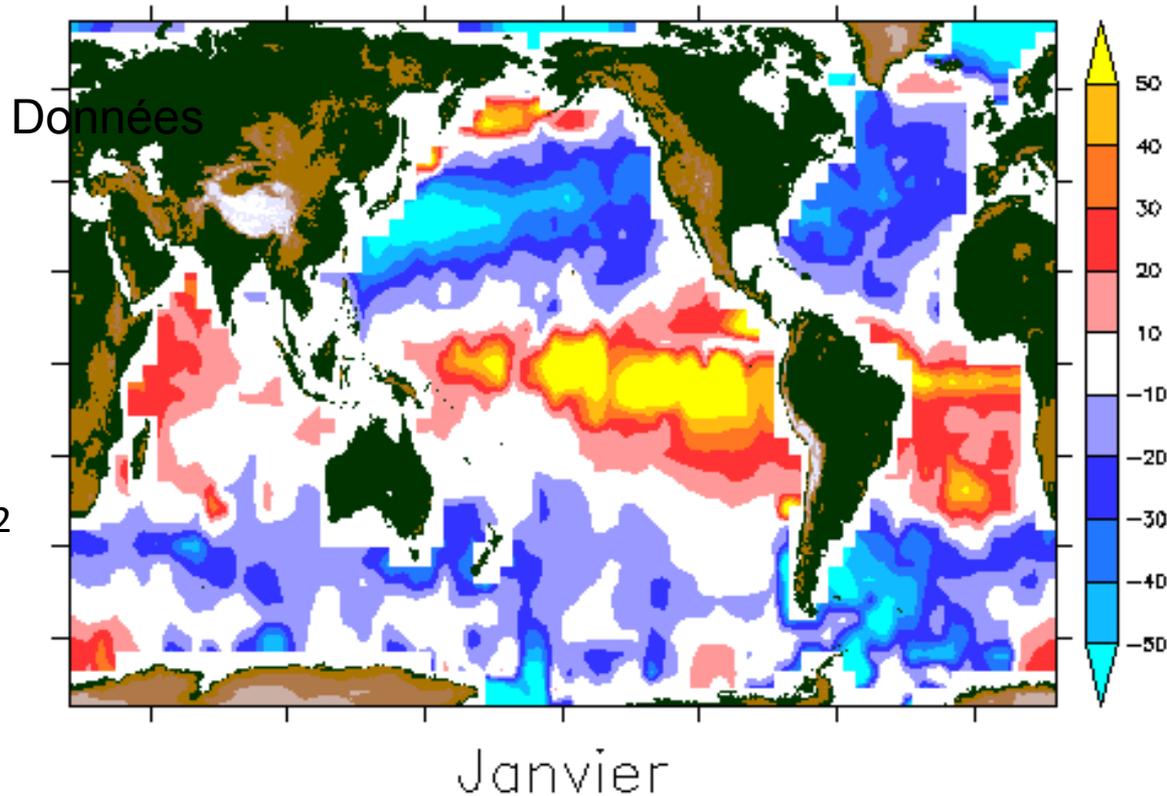
Un cycle naturel très dynamique : Puits et Sources

-  Carbon Sink
-  Carbon Source

Méthode :

- Base de données de $p\text{CO}_2$
- Relation entre F_{CO_2} et $\Delta p\text{CO}_2$

$$F_{\text{CO}_2} = k(w, \text{SST}, \dots) \Delta p\text{CO}_2$$

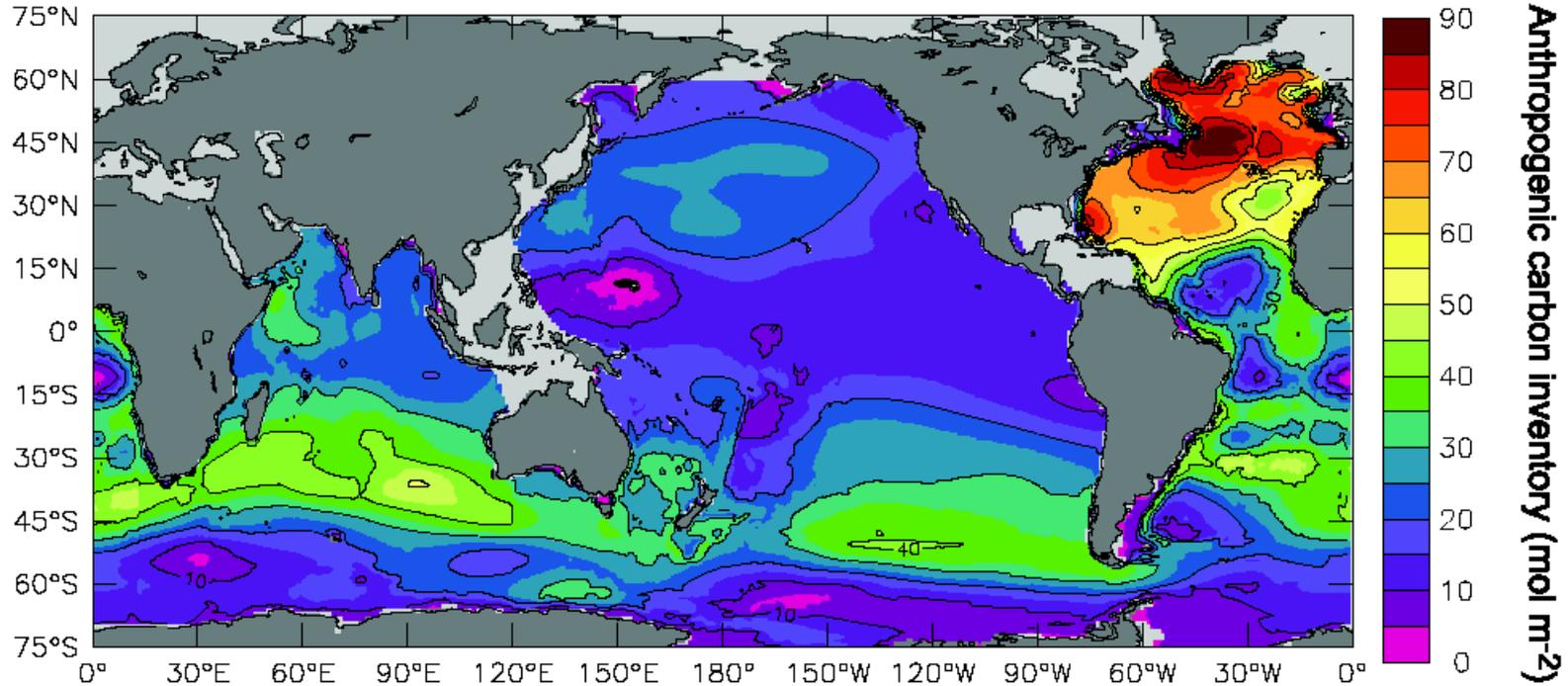


(Takahashi et al. 2009)

(Base de données SOCAT (18.6 millions data) : <http://www.socat.info/about.html>)

Les Puits de Carbone : Océanique

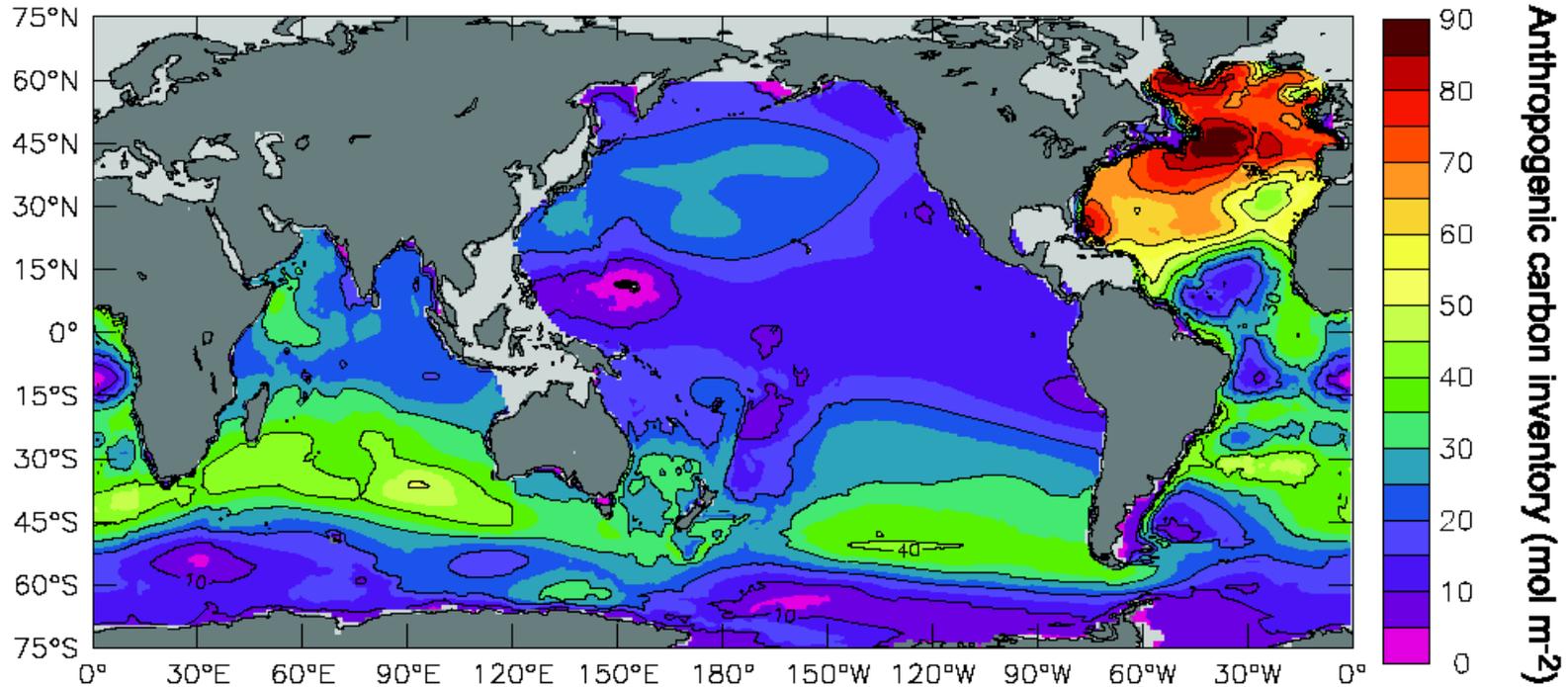
La perturbation Anthropique



Carbone anthropique dans l'océan (2010) : 155 PgC

Les Puits de Carbone : Océanique

La perturbation Anthropique

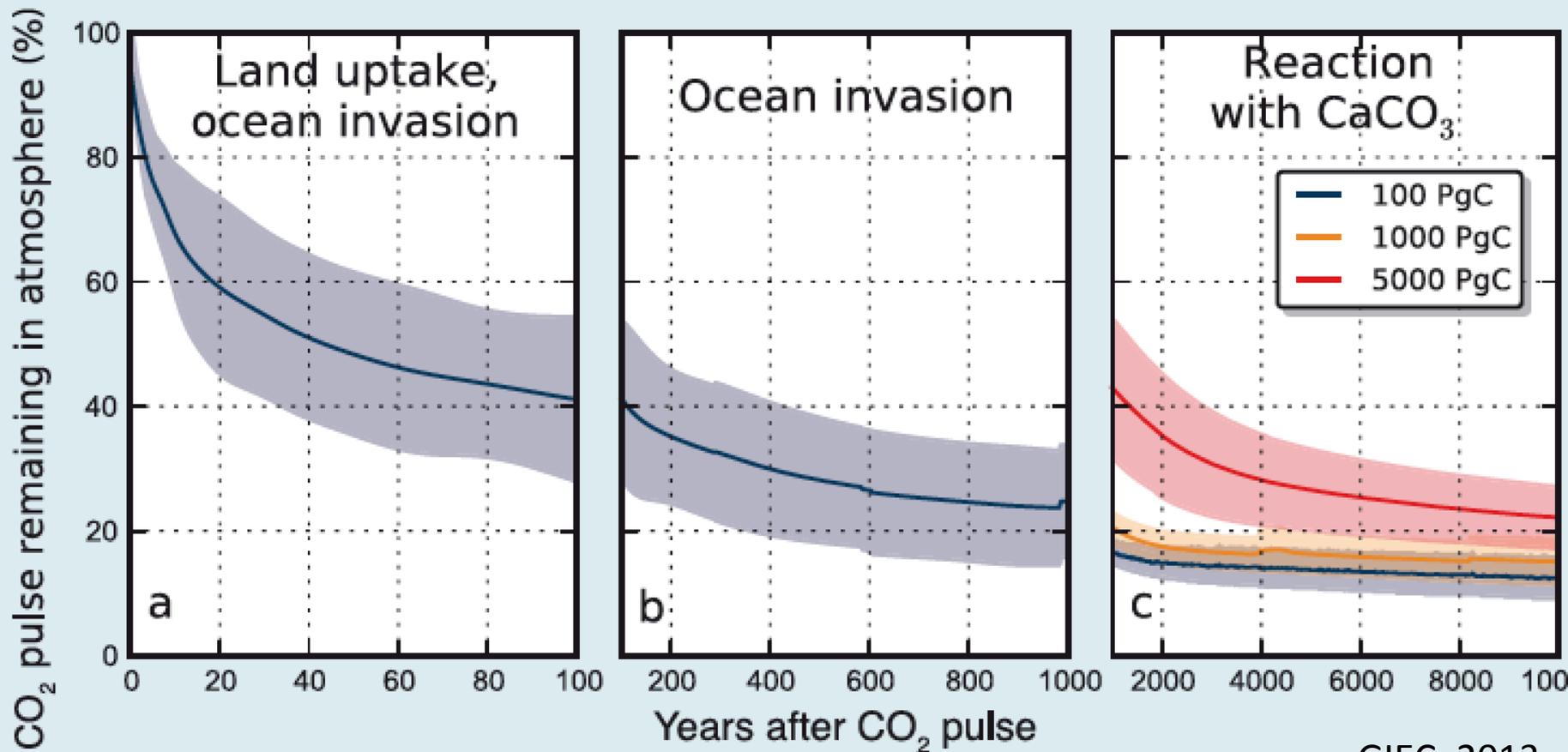


Processus Responsables du Puits Anthropique de Carbone dans l'océan

« Despite the importance of biological processes for the ocean's natural cycle, current thinking maintains that the oceanic uptake of anthropogenic CO₂ is primarily a physically and chemically controlled process surimposed on a biologically driven carbon cycle that is close to steady state » (IPCC, 2001)

Le CO₂ : un « problème » pour le long terme

L'océan un acteur majeur du cycle du carbone sur le long terme

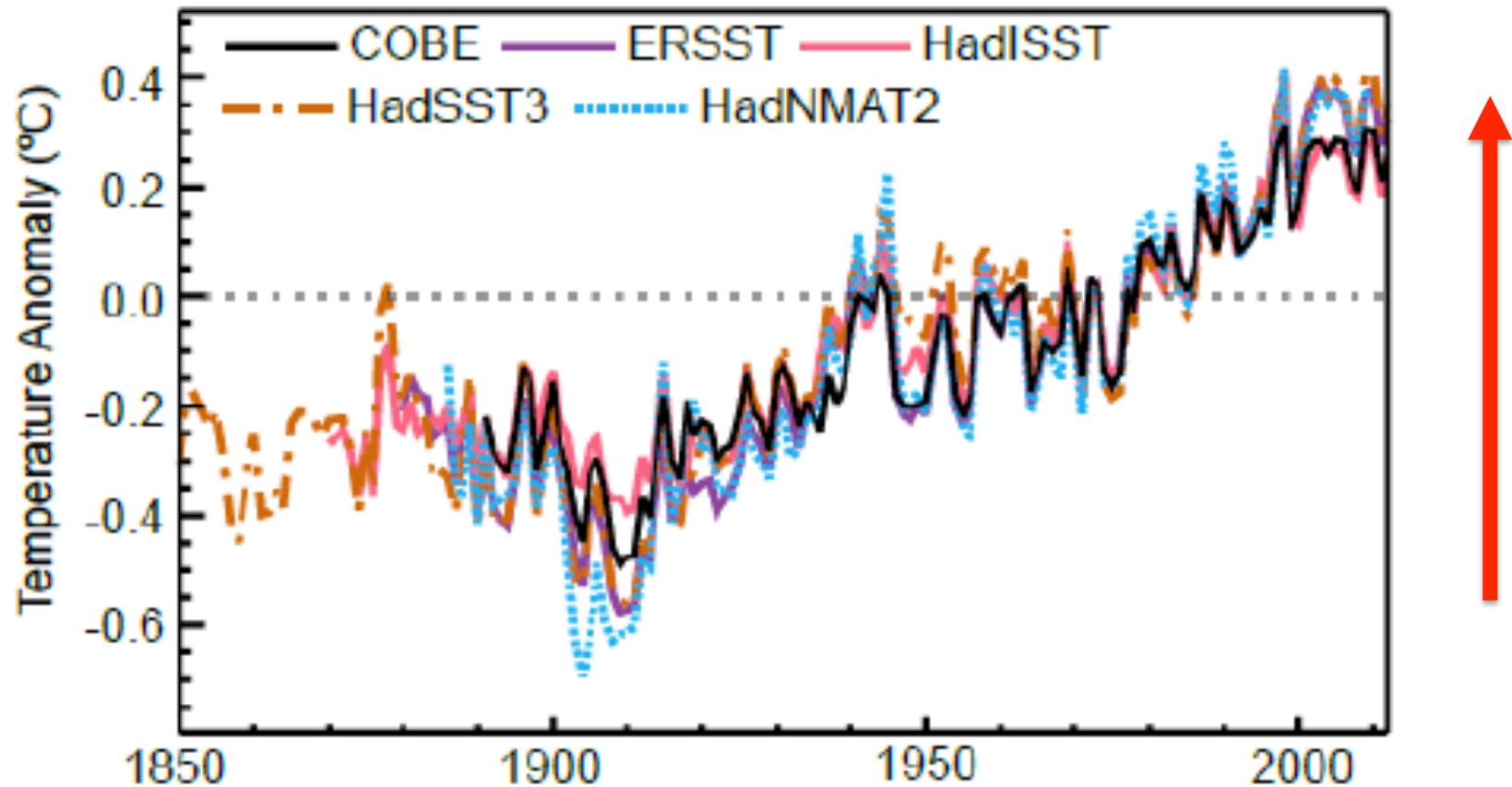


Quels sont les impacts du changement climatique sur l'océan ?

- Le changement climatique modifie les propriétés physiques, chimiques, et biologiques de l'océan.
- En fonction des différents scénarios pour le 21^{ème} siècle, des changements encore plus importants sont attendus.

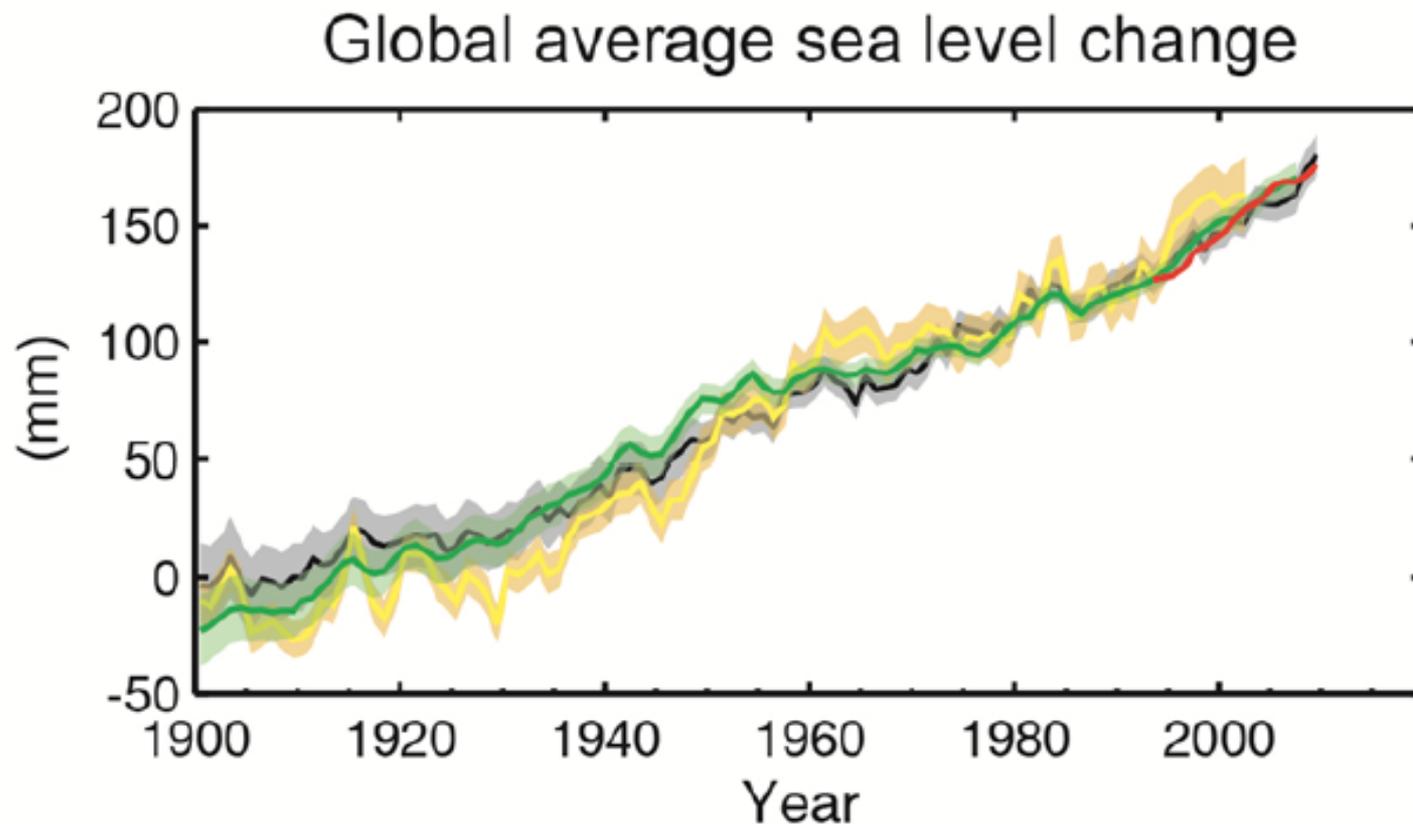
Réchauffement des eaux, Montée du niveau des mers et Acidification de l'océan

La surface des océans s'est réchauffée de $\sim 0.6-0.8^{\circ}\text{C}$ depuis 1900.



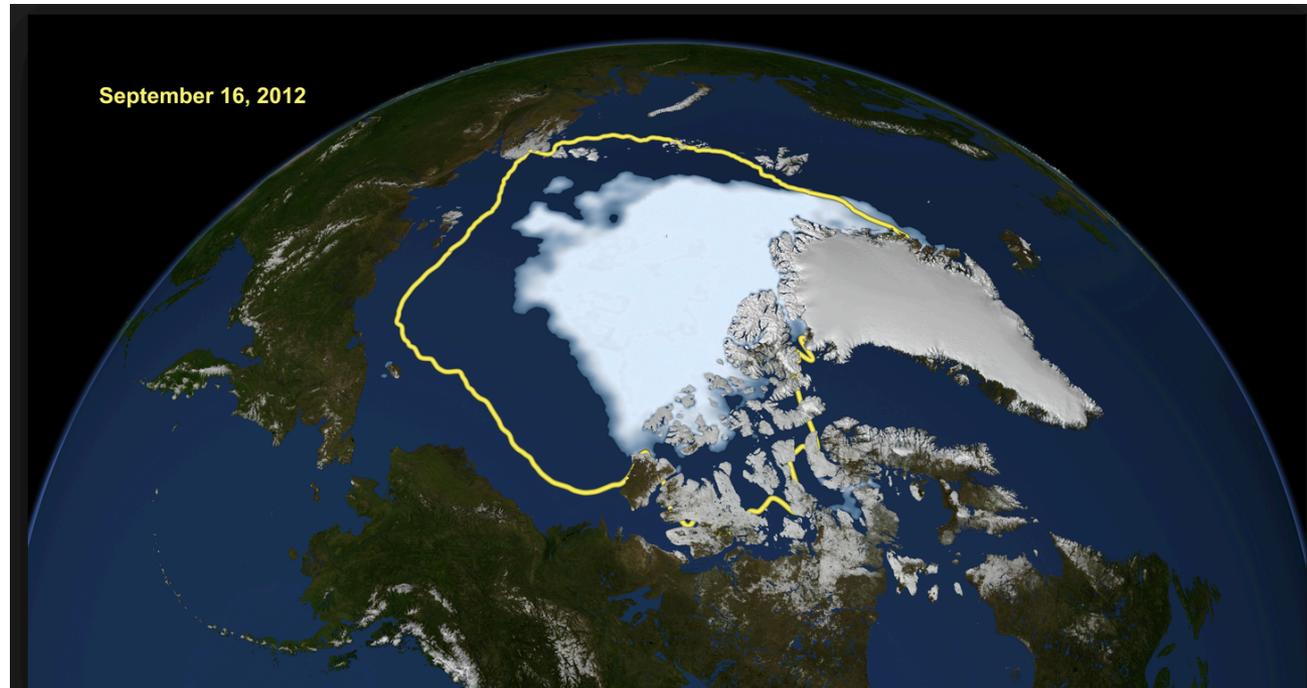
Réchauffement des eaux, Montée du niveau des mers et Acidification de l'océan

- La surface des océans s'est réchauffée de $\sim 0.6-0.8^{\circ}\text{C}$ depuis 1900.
- Le niveau des mer s'est élevé de 19 cm entre 1910 et 2010.



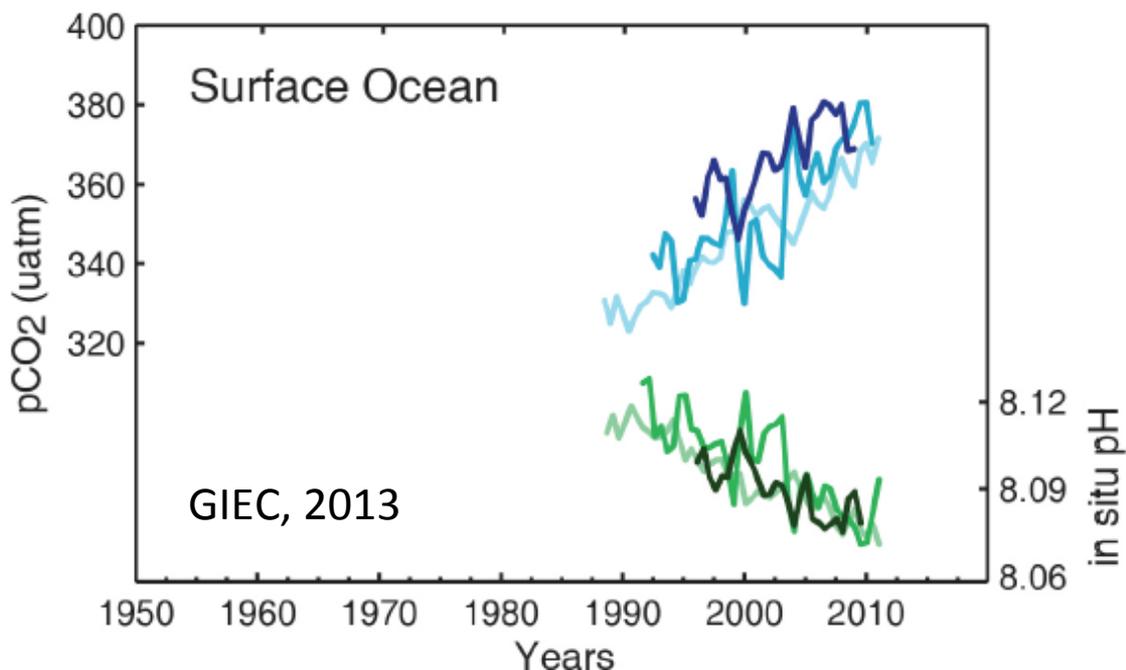
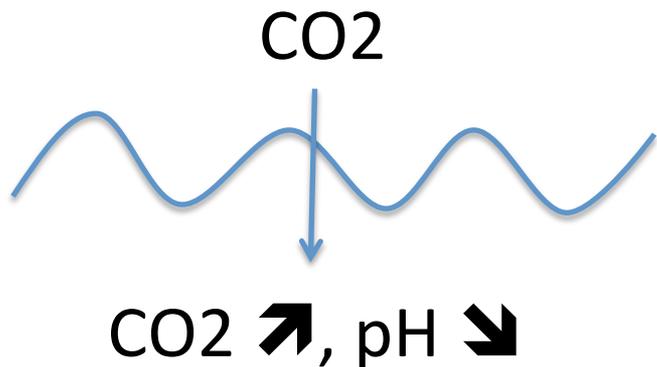
Réchauffement des eaux, Montée du niveau des mers et Acidification de l'océan

- La surface des océans s'est réchauffée de $\sim 0.6-0.8^{\circ}\text{C}$ depuis 1900.
- Le niveau des mer s'est élevé de 19 cm entre 1910 et 2010.
- La banquise en Arctique a perdu la moitié de sa surface en été



Réchauffement des eaux, Montée du niveau des mers et Acidification de l'océan

- La surface des océans s'est réchauffée de $\sim 0.6-0.8^{\circ}\text{C}$ depuis 1900.
- Le niveau des mer s'est élevé de 19 cm entre 1910 et 2010.
- La banquise en Arctique a perdu la moitié de sa surface en été
- La surface de l'océan s'est acidifiée – le pH a perdu 0.1 unité.

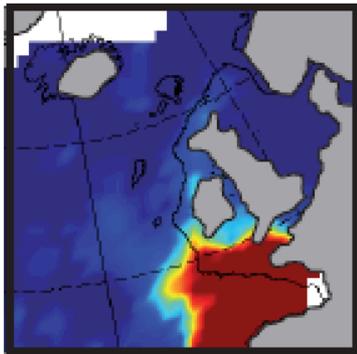


Ré-organisation des écosystèmes océaniques

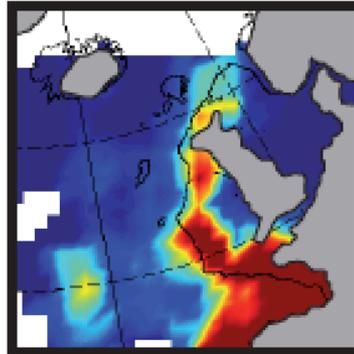
Modifications des abondances, des distributions spatiales,

Déplacement vers le Nord des espèces tempérées d'eaux chaudes

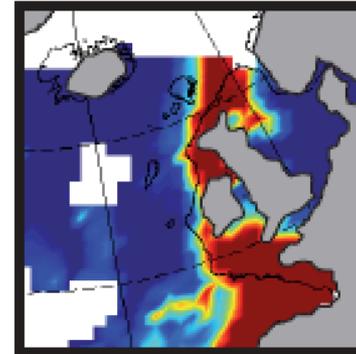
1958–1981



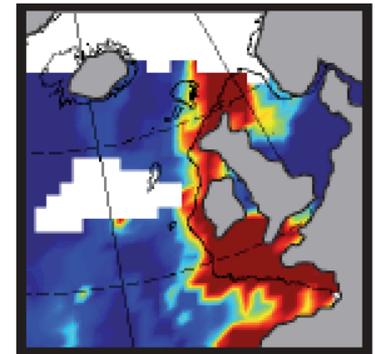
1982–1999



2000–2002



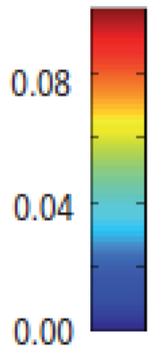
2003–2005



Copépodes



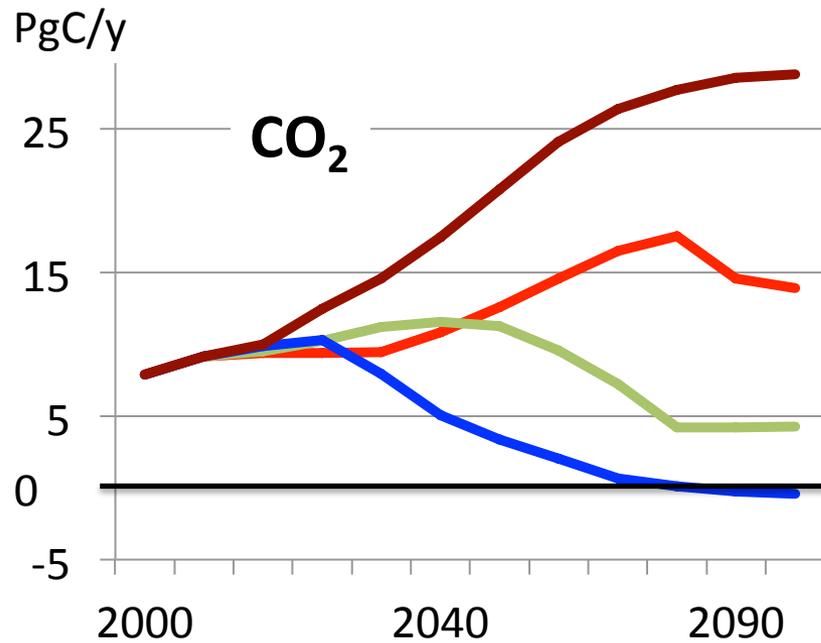
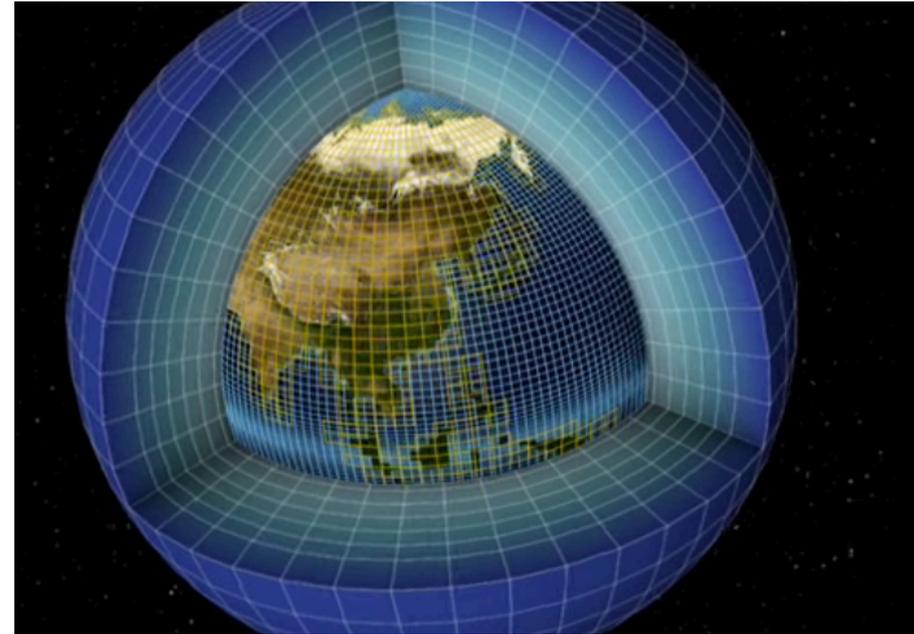
Nombre moyen
d'espèces
annuel



(Beaugrand et al. 2009)

Projections Climatiques : Comment ?

Scénarios d'Emissions de CO₂



Emissions
Elevées

Modèles Climatiques

Atténuation Importante

Projections Climatiques : des différences importantes entre les différents scénarios.

En fonction des scénarios, la température de surface des océans augmente de 0.7 à 2.7°C et le pH diminue de -0.07 à -0.33 (en 2100 par rapport à 2000)

Température

Emissions
Importantes



2006

+ chaud



Atténuation
Elevée (<2°C)



2006

Acidification



2006

pH Change



+ acide



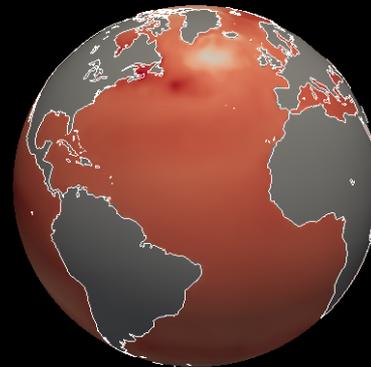
2006

Projections Climatiques : des différences importantes entre les différents scénarios.

En fonction des scénarios, la température de surface des océans augmente de 0.7 à 2.7°C et le pH diminue de -0.07 à -0.33 (en 2100 par rapport à 2000)

Température

Emissions Importantes

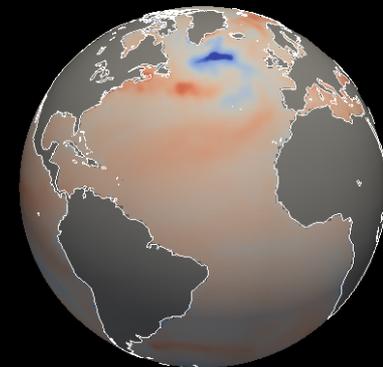


2097

+ chaud

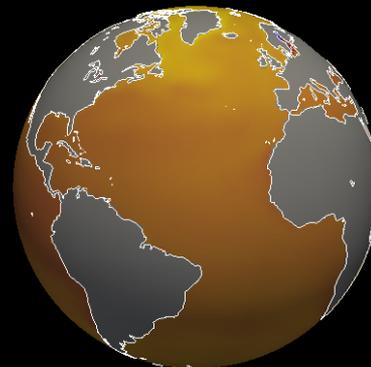


Atténuation Elevée (<2°C)



2097

Acidification



2098

pH Change



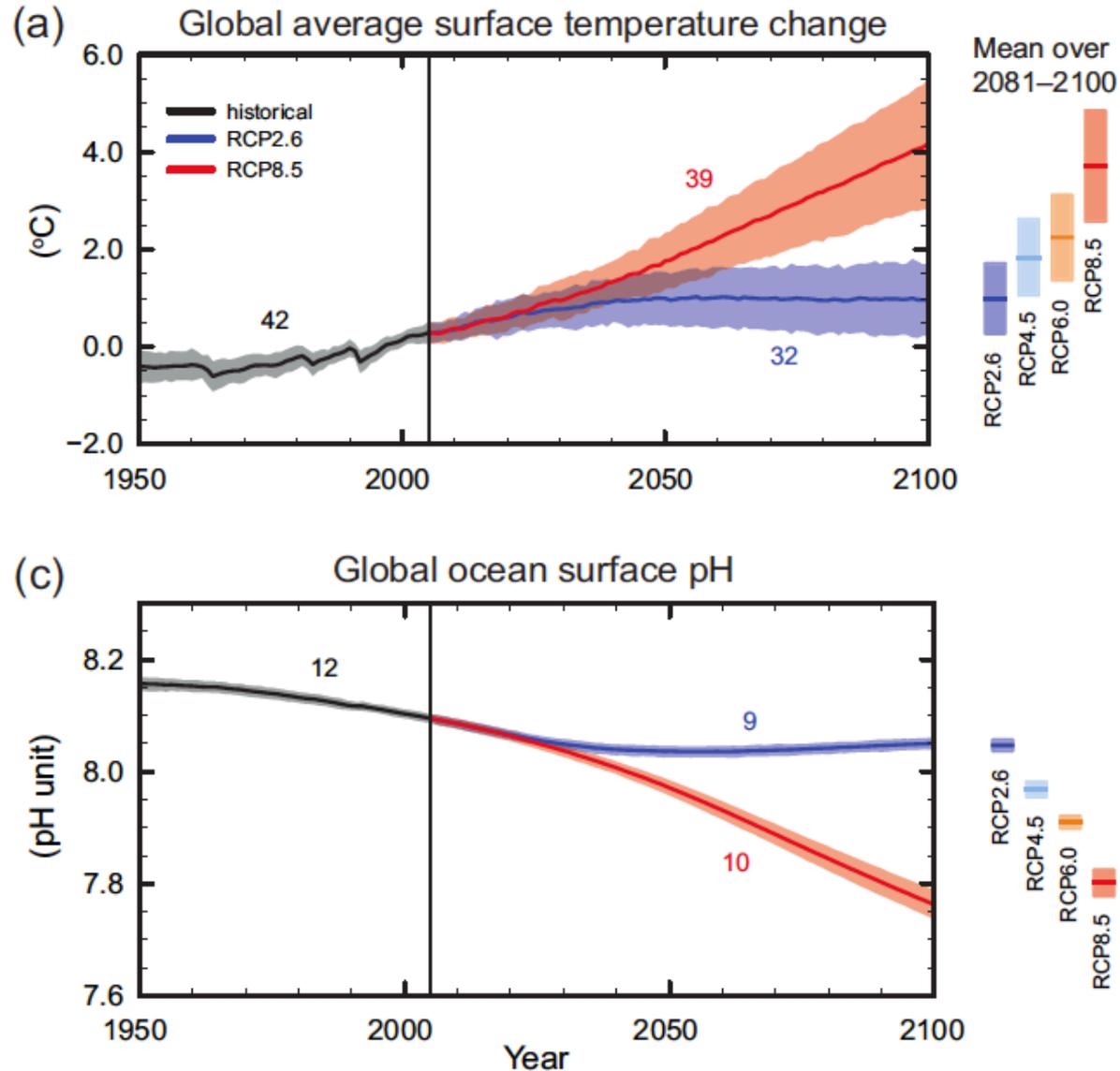
+ acide



2098

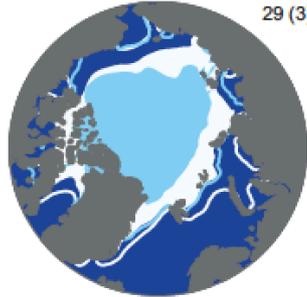
Projections Climatiques : des différences importantes entre les différents scénarios.

En fonction des scénarios, la température de surface des océans augmente de 0.7 à 2.7°C et le pH diminue de -0.07 à -0.33 (en 2100 par rapport à 2000)

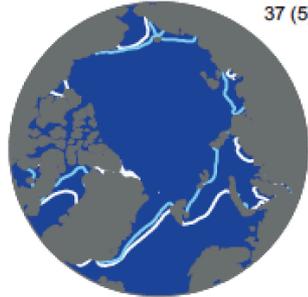


Projections Climatiques

Banquise

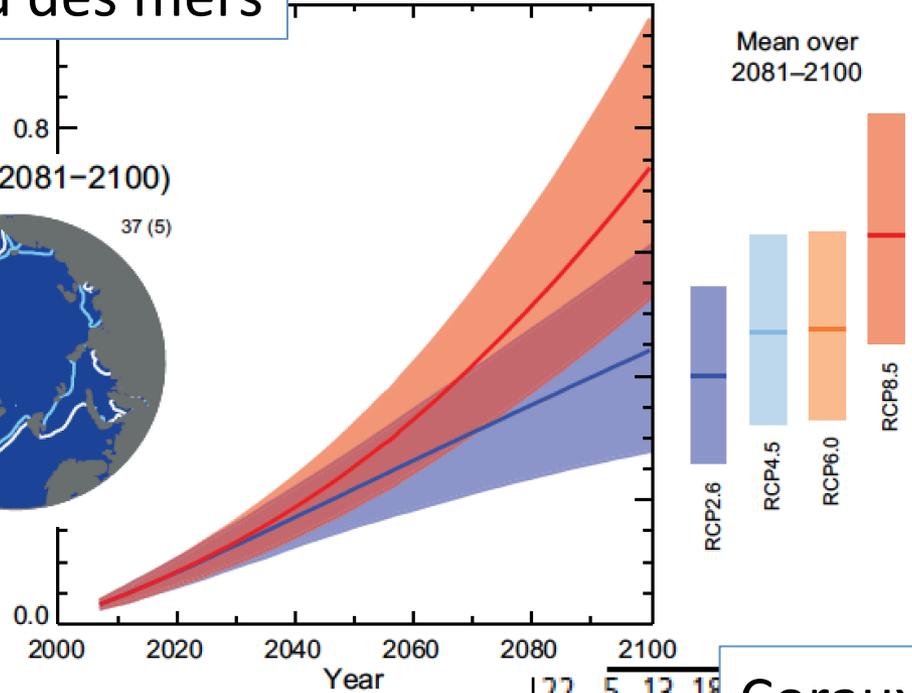


- CMIP5 multi-model average 1986–2005
- CMIP5 multi-model average 2081–2100
- CMIP5 subset average 1986–2005
- CMIP5 subset average 2081–2100

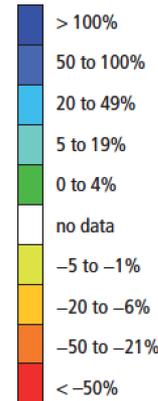
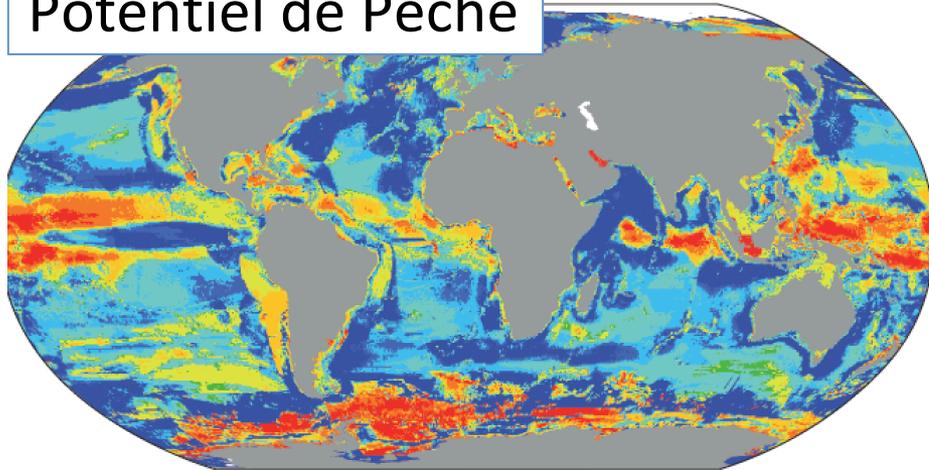


Niveau des mers

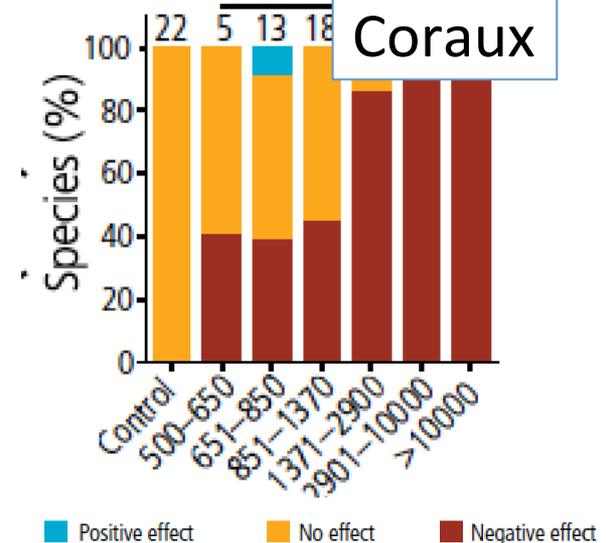
Mean sea level rise



Potentiel de Pêche



Coraux



Sous la direction de
AGATHE EUZEN
FRANÇOISE GAILL
DENIS LACROIX
PHILIPPE CURY

L'océan à découvert

CNRS EDITIONS

Ouvrage Collectif
Editions du CNRS
130 articles
160 spécialistes