



Changement climatique - Impacts et adaptation

Quelles conséquences sur le cycle de l'eau et les océans

Les Rendez-vous Climat d'Antea Group



Changement climatique - Impacts et adaptation

Quelles conséquences sur le cycle de l'eau et les océans

Les Rendez-vous Climat d'Antea Group

Conférence animée par :



Laurent BOPP

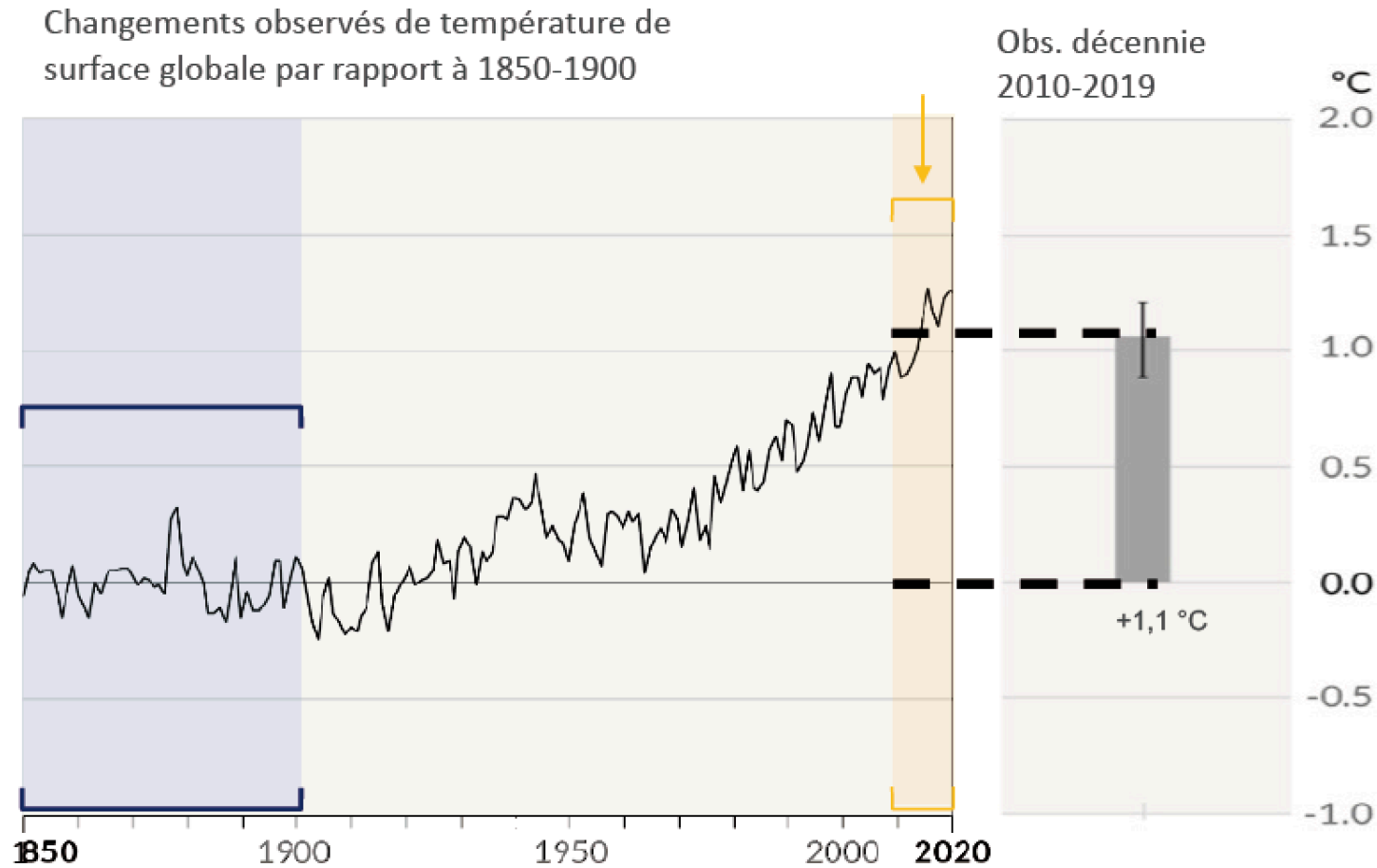
Océanographe et climatologue

Directeur de Recherche CNRS, Institut Pierre Simon Laplace

Directeur du Département de Géosciences de l'Ecole Normale Supérieure (ENS-PSL)

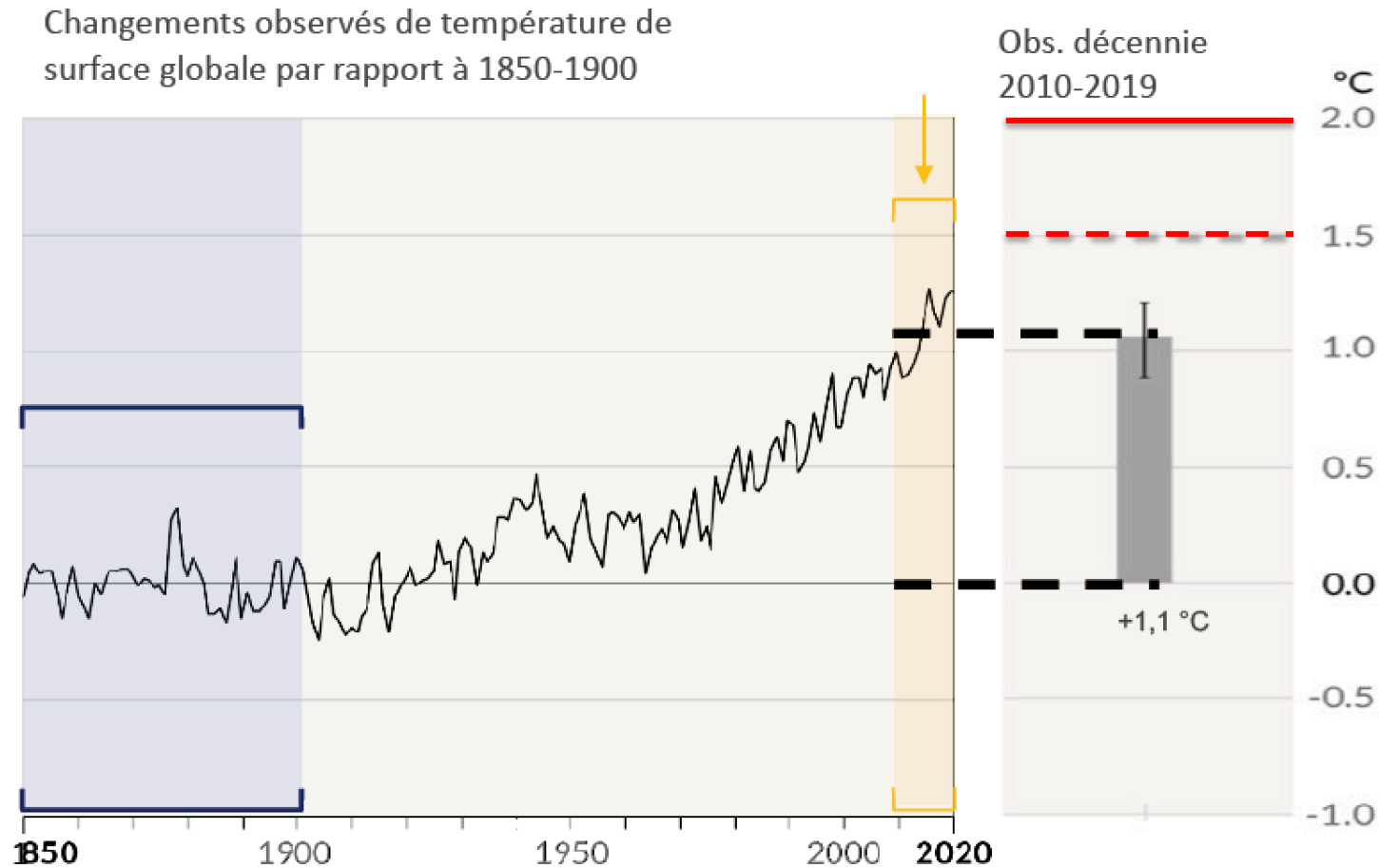
Introduction : Réchauffement Climatique

- Le réchauffement global a atteint **+1.1°C** depuis l'époque pré-industrielle (GIEC 2021)



Introduction : Réchauffement Climatique

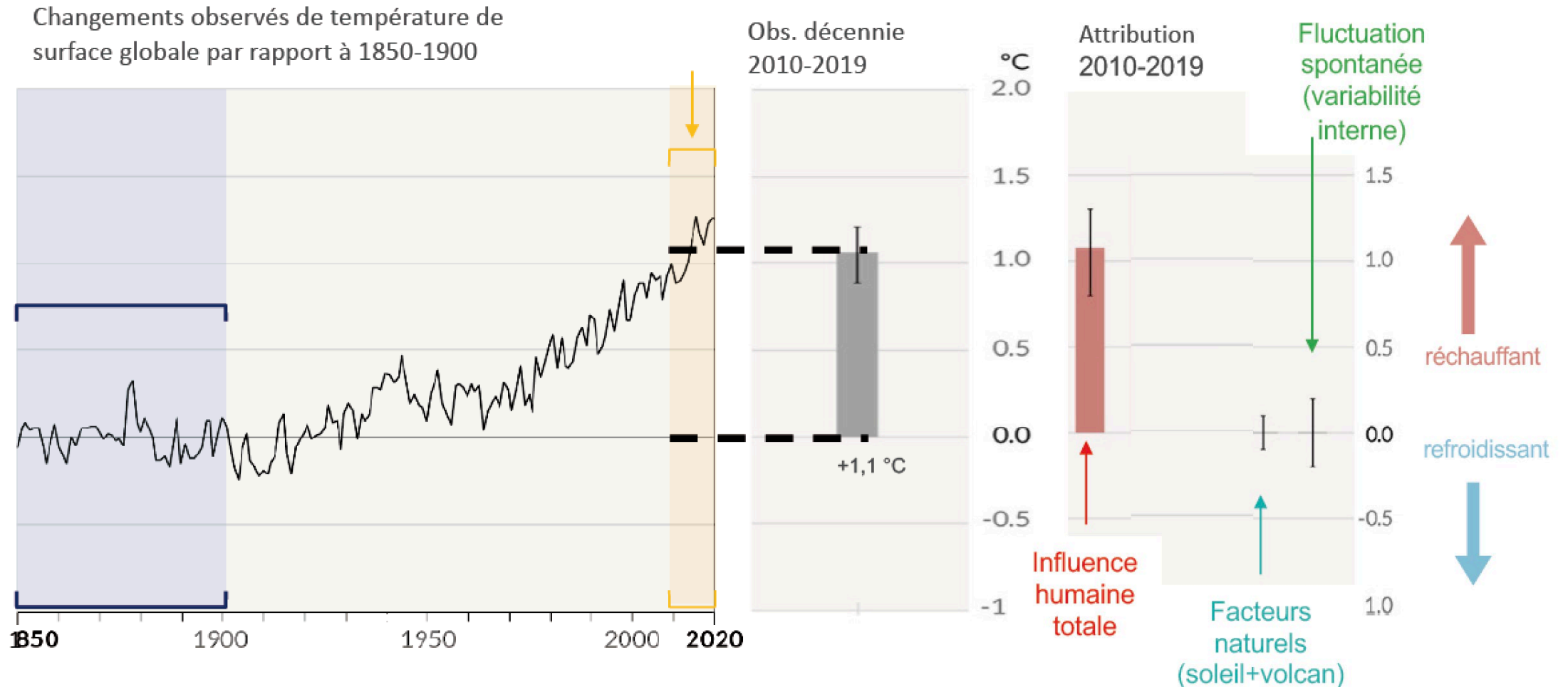
- Le réchauffement global a atteint **+1.1°C** depuis l'époque pré-industrielle (GIEC 2021)



Les objectifs de l'Accord de Paris sont de limiter ce réchauffement à **moins de +2°C**, et si possible à **moins de +1.5°C**

Introduction : Réchauffement Climatique

- Le réchauffement global a atteint **+1.1°C** depuis l'époque pré-industrielle (GIEC 2021)
- L'influence humaine explique la **quasi-totalité** du réchauffement global (GIEC 2021)



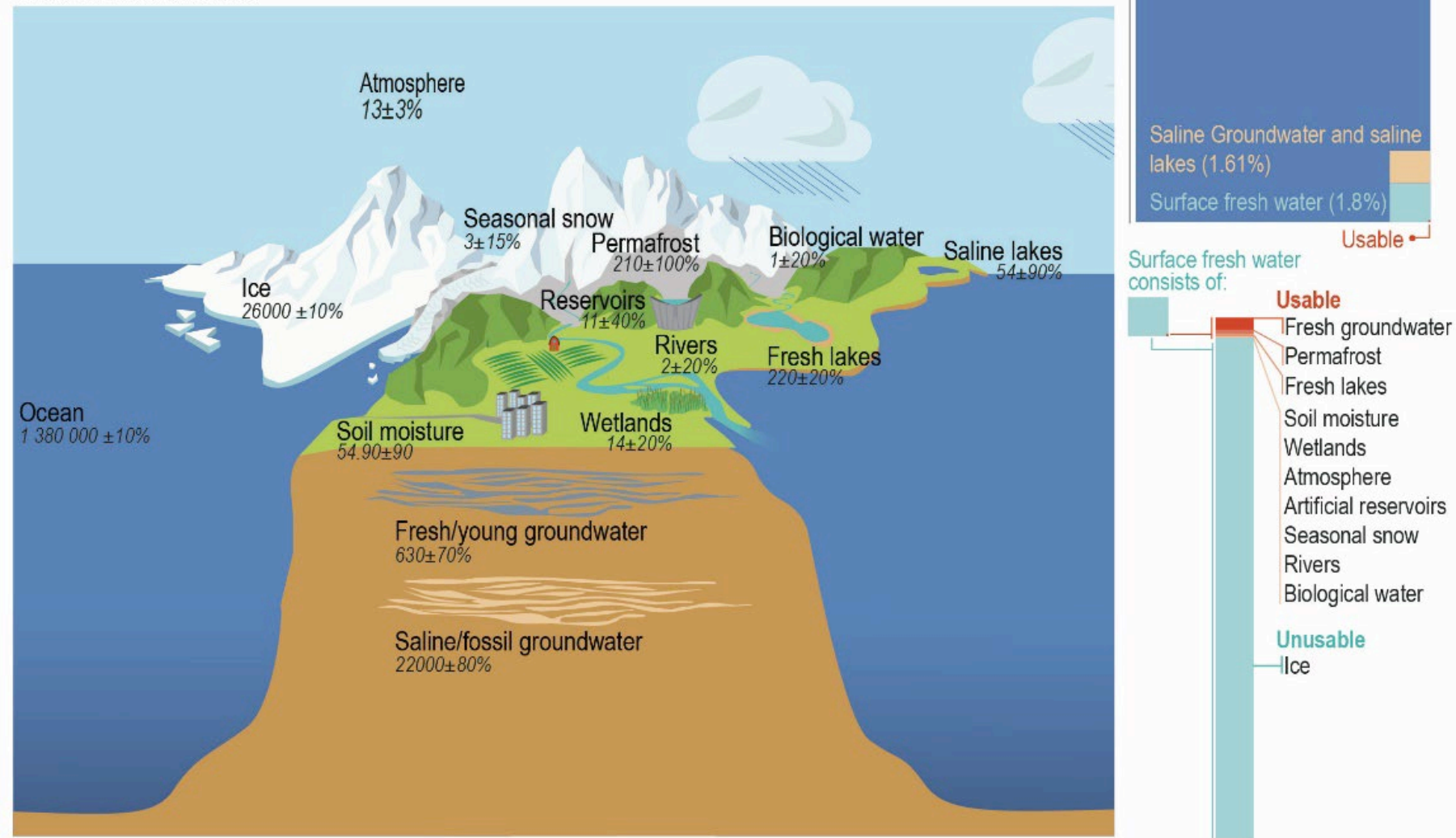
Le cycle de l'eau – au centre du système climatique

The global water cycle

(a) Water stores

Units in thousands of km³

Total water on Earth
(1 380 000 000 km³)

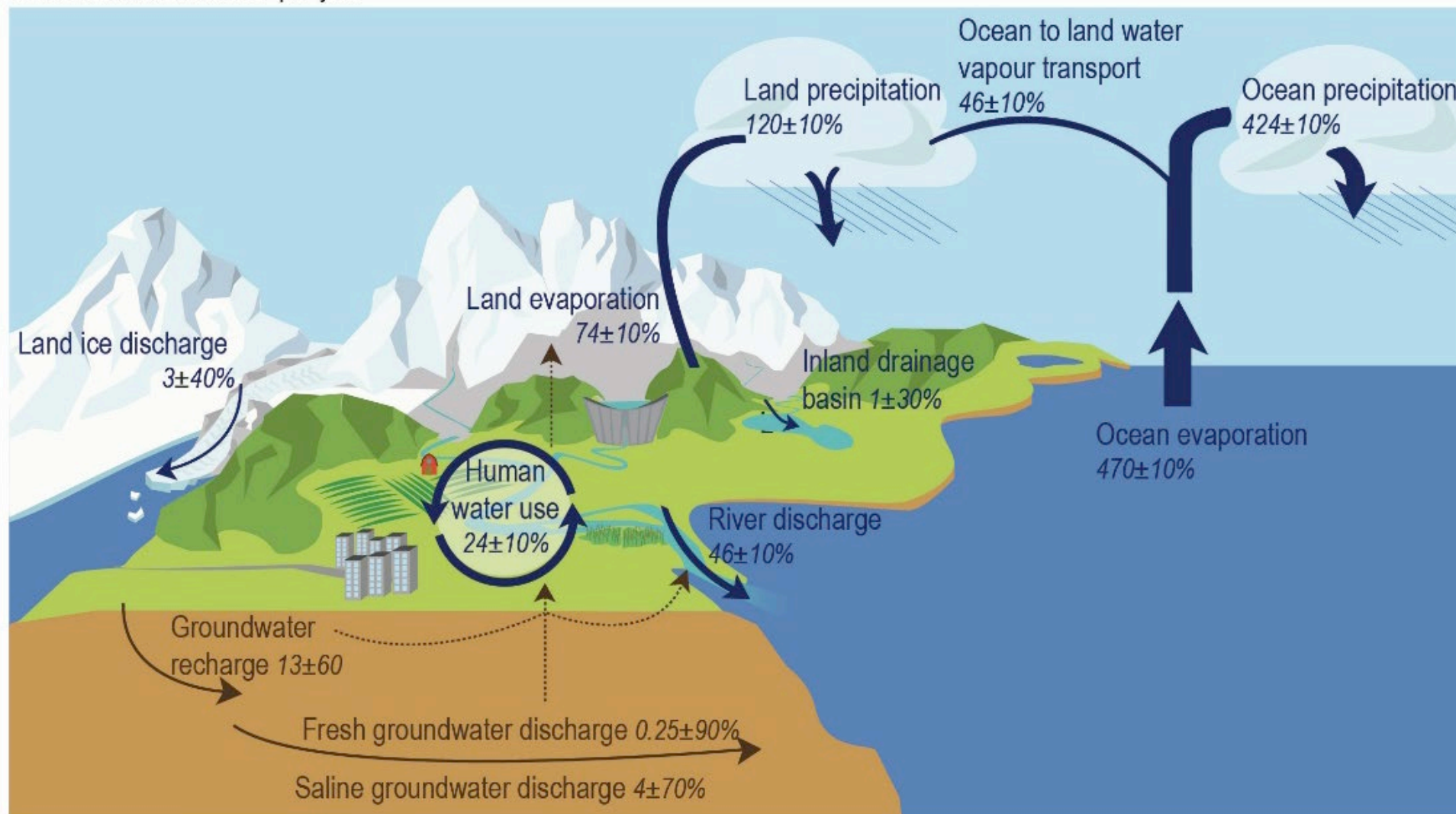


(GIEC, 2021)

Le cycle de l'eau – au centre du système climatique

(b) Water fluxes

Units in thousands of km³ per year



(GIEC, 2021)

Le cycle de l'eau – au centre de l'actualité

Le Monde 24 Août 2021

Les inondations de juillet en Allemagne et en Belgique sont bien liées au réchauffement climatique

C'est la conclusion d'une étude du World Weather Attribution (WWA), qui regroupe des experts de divers instituts de recherche dans le monde. Les pluies diluviennes survenues à la mi-juillet avaient fait plus de 200 morts.



Le cycle de l'eau – au centre de l'actualité

Le Monde

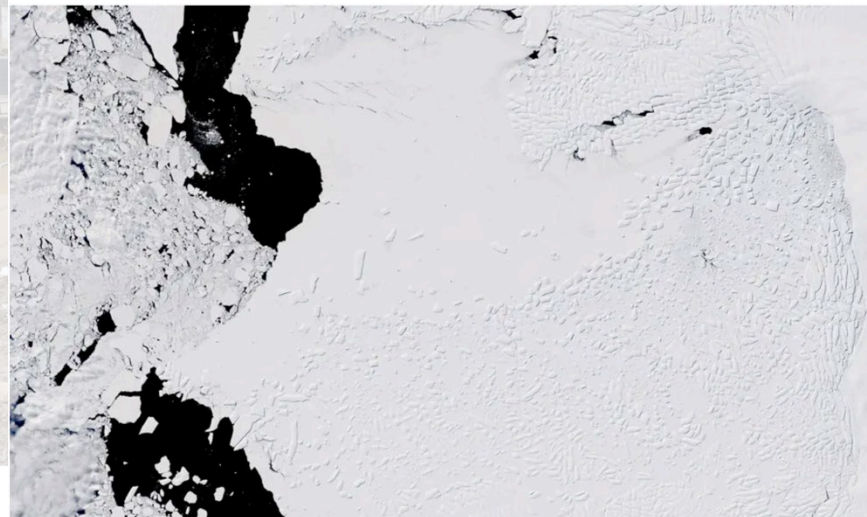
Les inondations
Belgique sont liées
au changement
climatique

C'est la conclusion d'une étude
de divers instituts de recherche
qui ont constaté que les pluies
avaient fait plus de 200 morts.

franceinfo : le et en
ment 15 Janvier 2022

Le glacier de l'apocalypse se fissure

Le glacier Thwaites, surnommé le glacier de l'apocalypse, est particulièrement surveillé depuis des années. Un gros glacier à l'ouest de l'Antarctique situé dans la Terre Marie Byrd. Des spécialistes ont signalé une nouvelle fissure importante détectée récemment.



Le cycle de l'eau – au centre de l'actualité

Le Monde

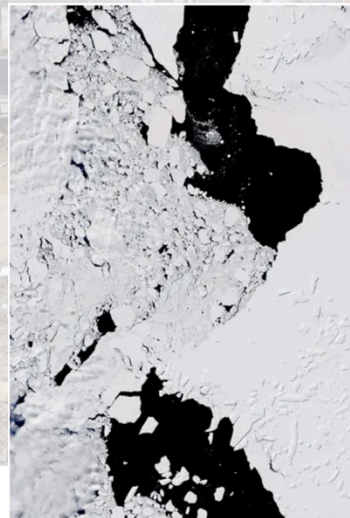
Les inondations de juillet en Allemagne et en Belgique sont bien liées au réchauffement climatique

14 Janvier 2022

C'est la conclusion d'une étude du World Weather Attribution (WWA), qui regroupe des experts de divers instituts de recherche dans le monde. Les pluies diluviennes survenues à la fin juillet avaient fait plus de 200 morts.

Le glacier de l'apocalypse

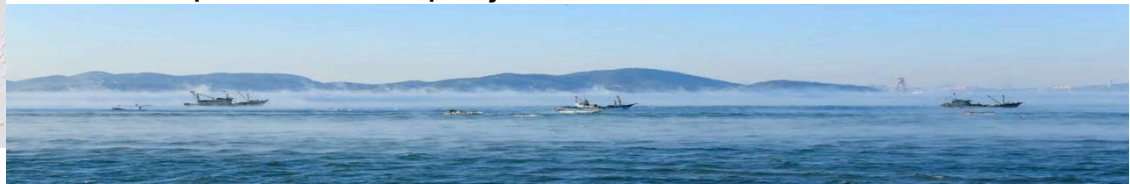
FUTURA PLANÈTE



Le glacier Thwaites particulièrement sensible à l'Antarctique suite à une nouvelle fissure im-






2021 ne restera pas dans les mémoires comme l'année la plus chaude jamais enregistrée. Pas dans l'atmosphère au moins. Mais dans les océans se joue un tout autre scénario. Les chercheurs nous confirment aujourd'hui qu'ils ont été, l'année dernière, plus chauds que jamais.





Cycle de l'eau et Changement Climatique

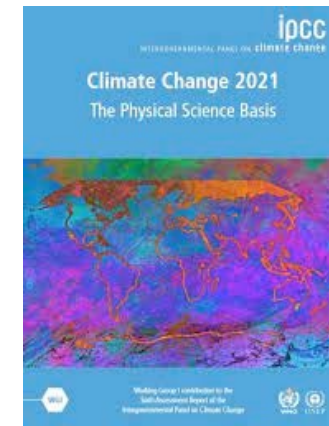
-  Changement climatique et modifications des précipitations
-  Changement climatique et fontes des glaces
-  Changement climatique et rôle de l'océan

Cycle de l'eau et Changement Climatique

- Changement climatique et modifications des précipitations
- Changement climatique et fontes des glaces
- Changement climatique et rôle de l'océan

Quelques mots de méthodologie :

- Importance des **observations**
(données in-situ, observations satellitales, longues séries temporelles)
- Considérations **théoriques** et **Modèles de climat**
(attribution, scénarios et projections)
- Rôle clé du **consensus scientifique**
(les rapports du GIEC)

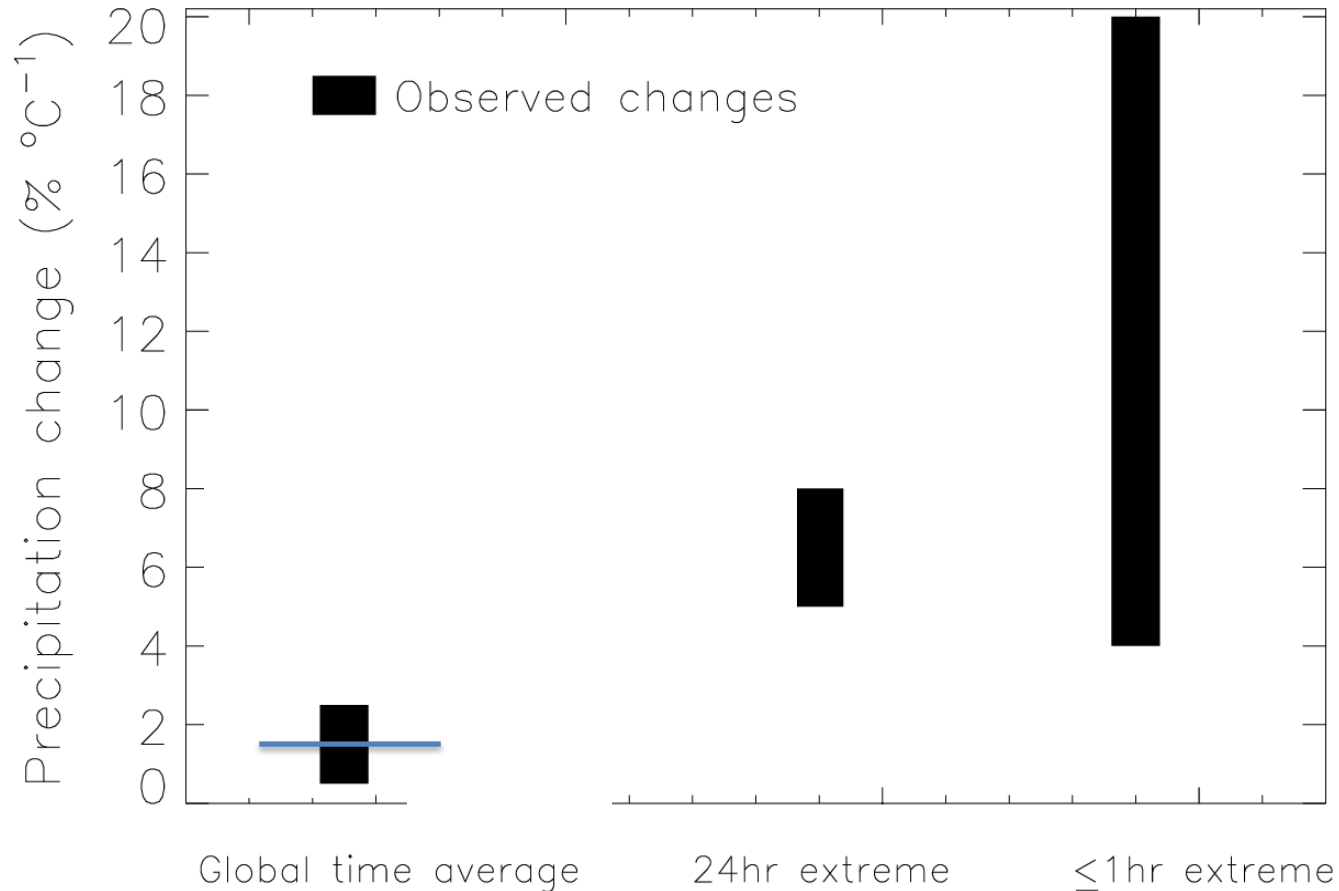


Changement climatique et Précipitations

Que nous disent les observations ?

Augmentation des Précipitations : **1-3% / °C**

Augmentation des Extrêmes de Précipitations : **4 à 20% / °C**



Changement climatique et Précipitations

Que nous disent les observations ?

Augmentation des Précipitations : **1-3% / °C**

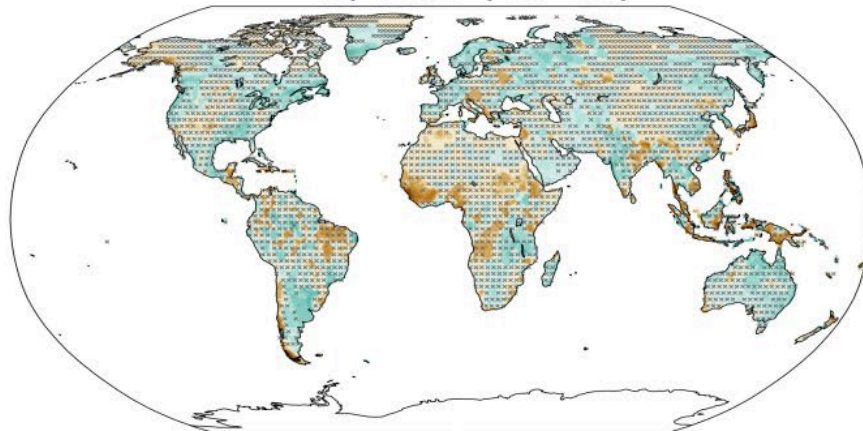
Augmentation des Extrêmes de Précipitations : **4 à 20 % / °C**

Augmentation des Contrastes de Précipitations

Trend in annual mean Precipitation

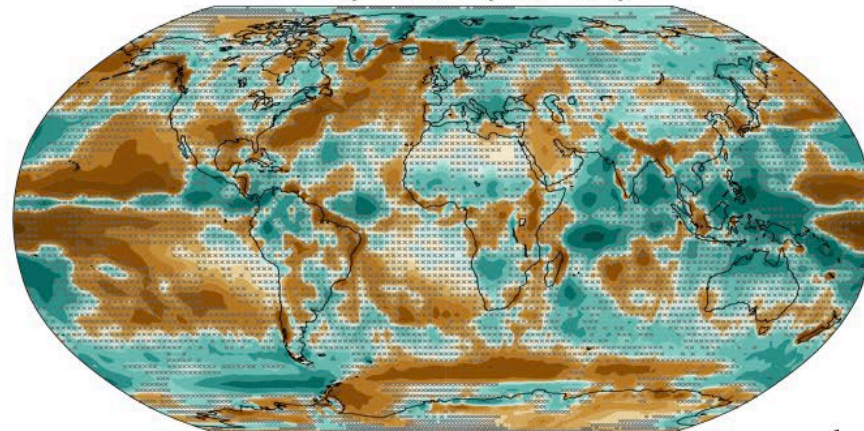
(1901-1984)

a) Obs (GPCC)



(1985-2014)

e) Obs (GPCP)



mm/day per decade

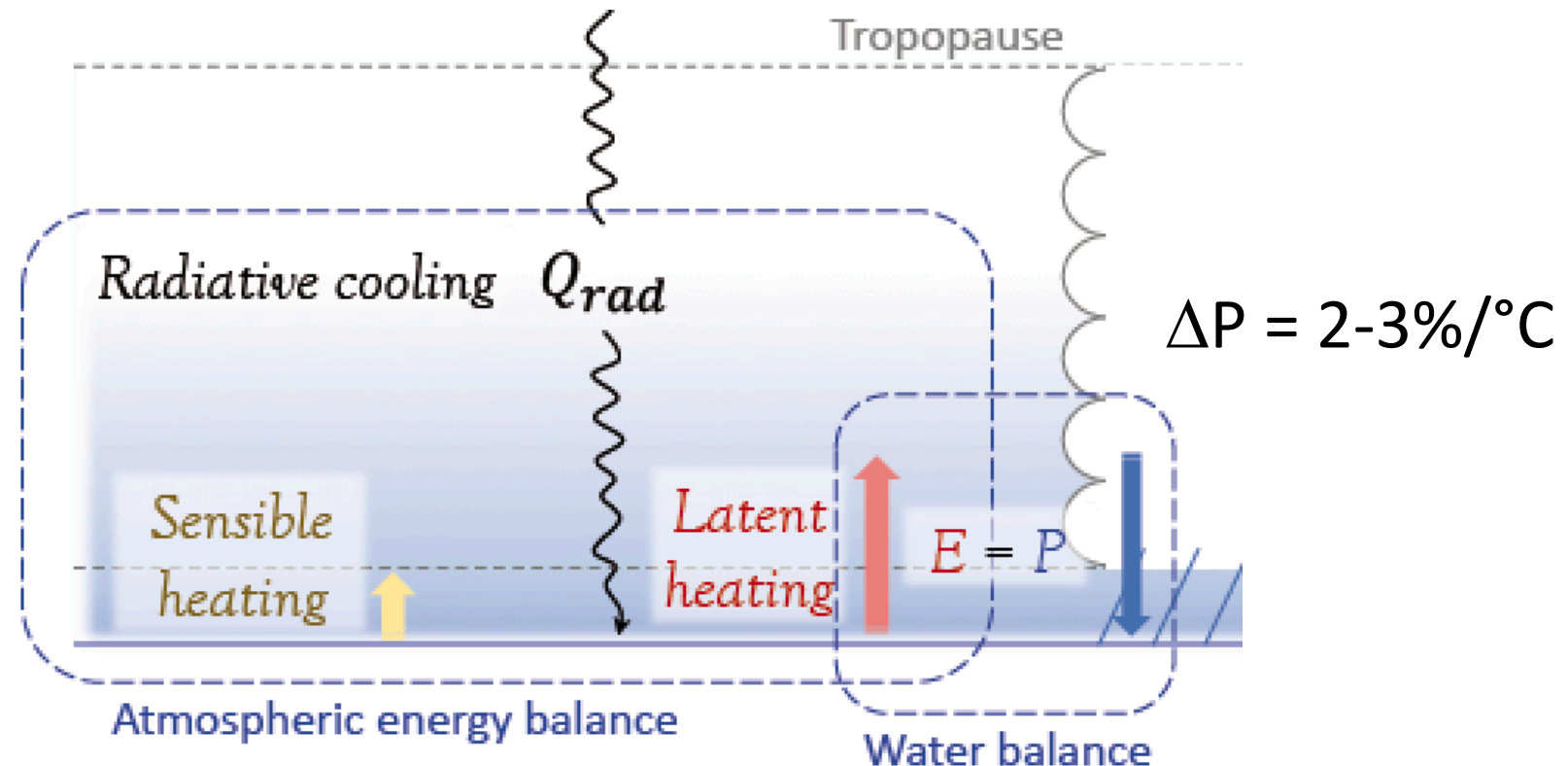
« Wet gets wetter, dry gets drier »

GIEC 2021

Changement climatique et Précipitations

- Que nous disent les observations ?
- Que nous disent les approches théoriques ?

→ La modification de l'équilibre énergétique de la Terre entraîne une accélération du cycle hydrologique

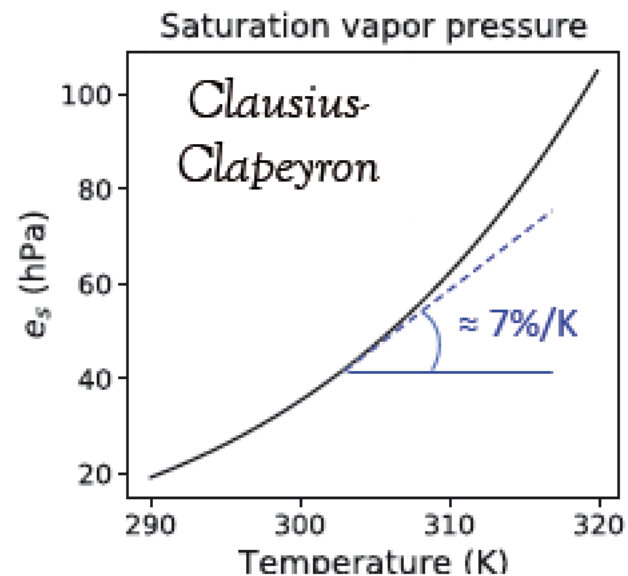


Changement climatique et Précipitations

- Que nous disent les observations ?
- Que nous disent les approches théoriques ?

→ La modification de l'équilibre énergétique de la Terre entraîne une accélération du cycle hydrologique

→ L'augmentation de température entraîne une humidification de l'atmosphère

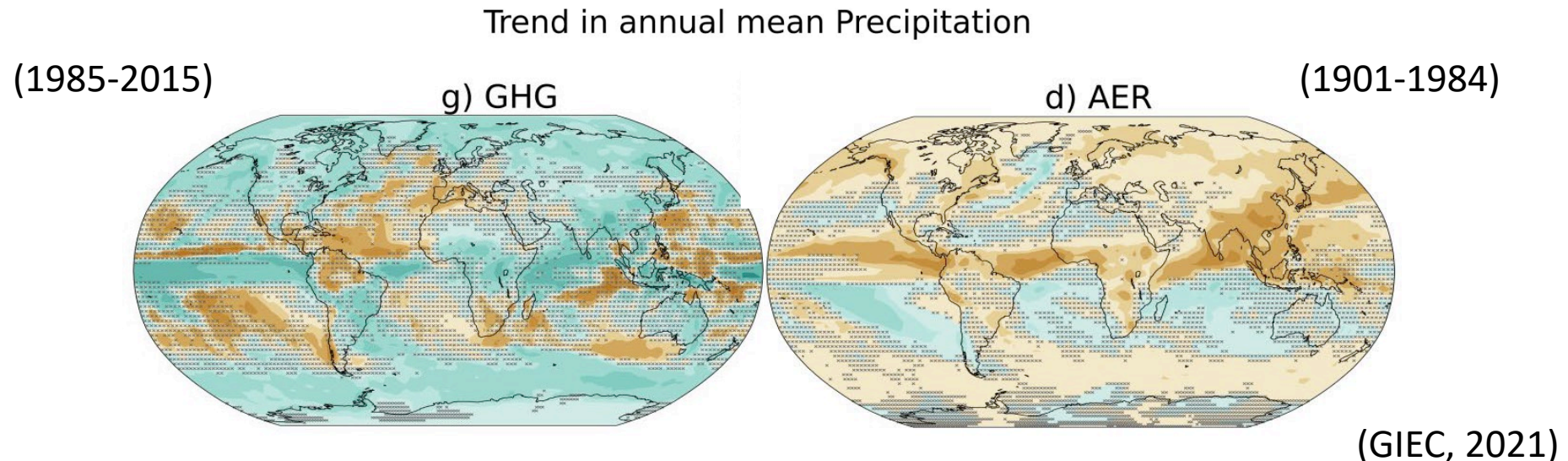


$$\Delta P = 7\%/^{\circ}\text{C}$$

Changement climatique et Précipitations

- Que nous disent les observations ?
- Que nous disent les approches théoriques ?

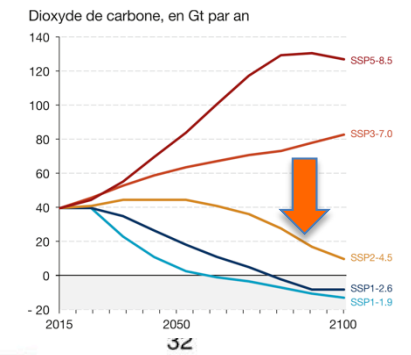
→ Les simulations climatiques montrent le rôle de l'augmentation des Gaz à Effet de Serre, et celui des Aérosols



- 1). L'augmentation des GES explique l'augmentation des précipitations et les contrastes entre grandes régions
- 2). Les aérosols ont fortement contribué à la sécheresse du Sahel des années 1970 aux années 1980

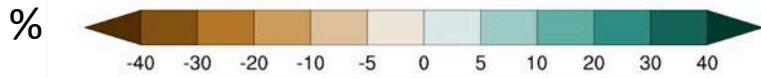
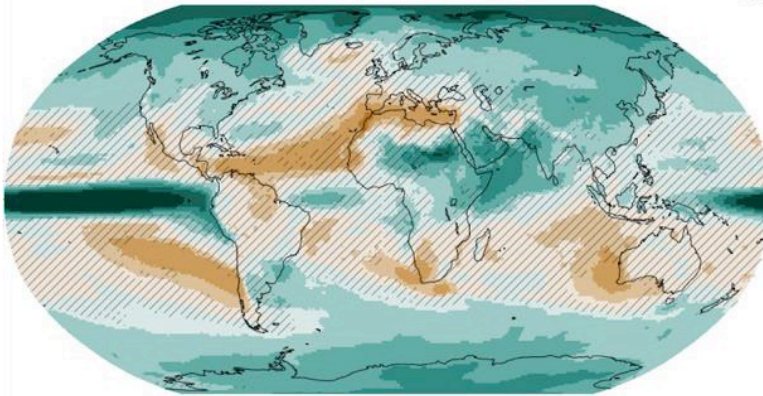
Changement climatique et Précipitations

Que disent les projections climatiques ?

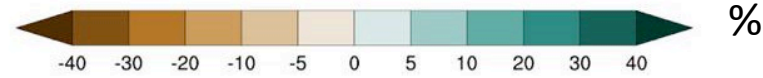
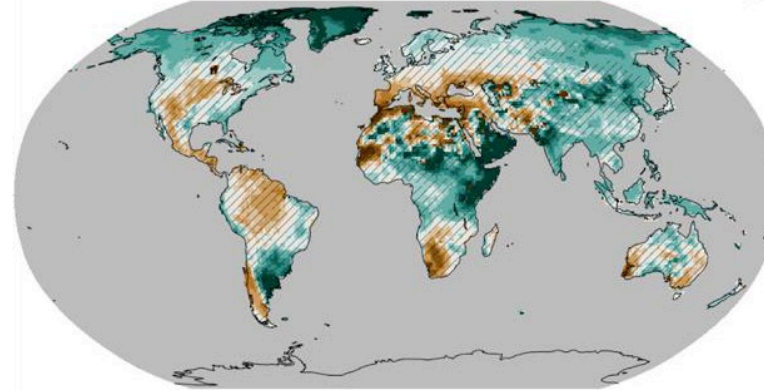


Précipitations

38

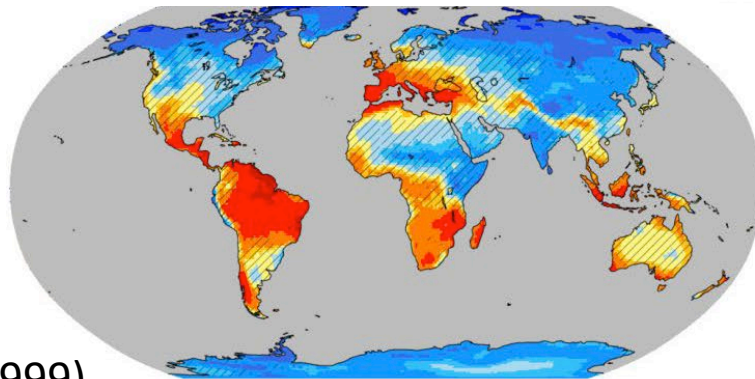


Débits Fleuves

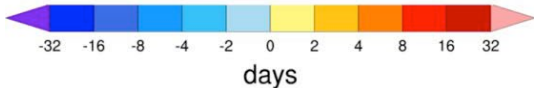


Jours Secs

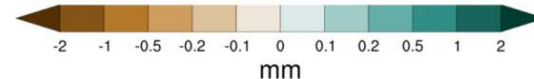
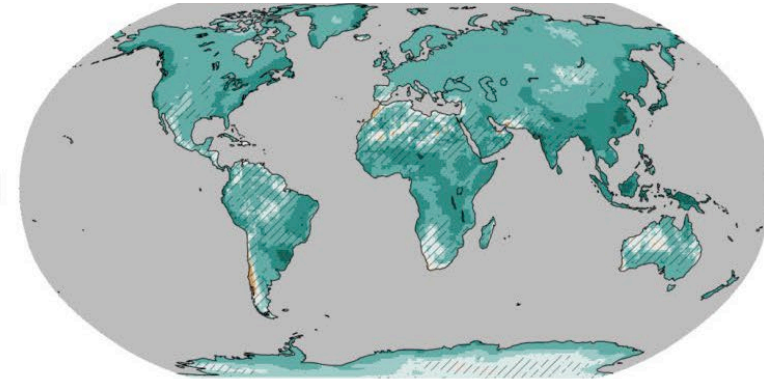
29



(2080-2999)
(SSP2-4.5)



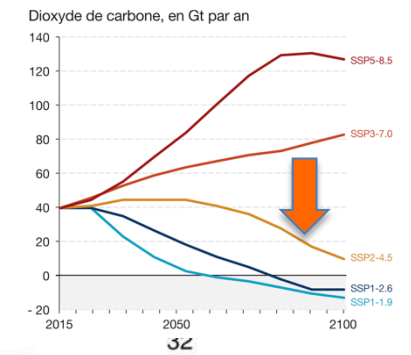
Intensité Précipitations Extrêmes



Color High model agreement ($\geq 80\%$)
Low model agreement ($< 80\%$)

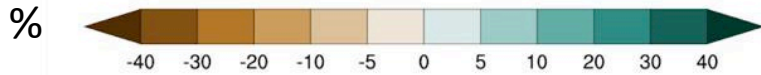
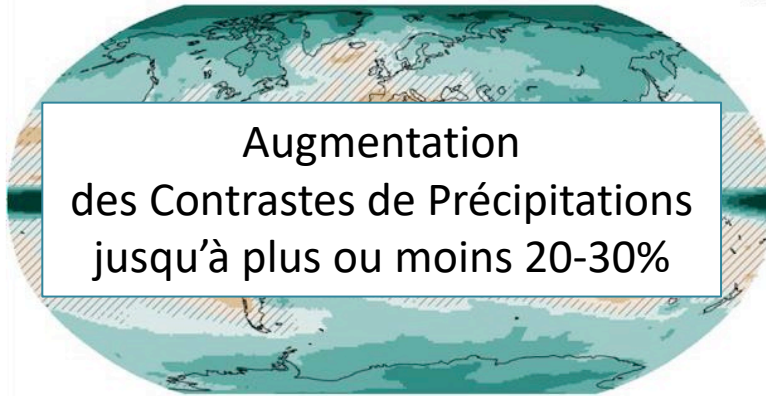
Changement climatique et Précipitations

Que disent les projections climatiques ?

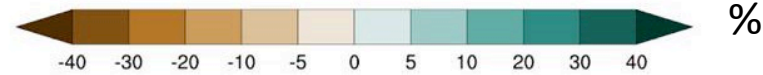
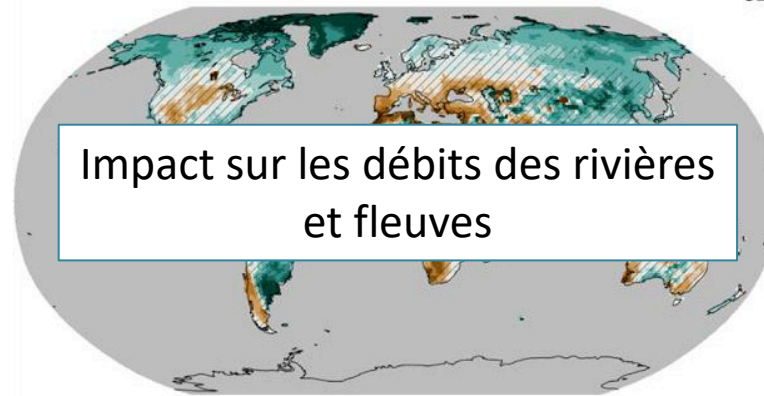


Précipitations

38

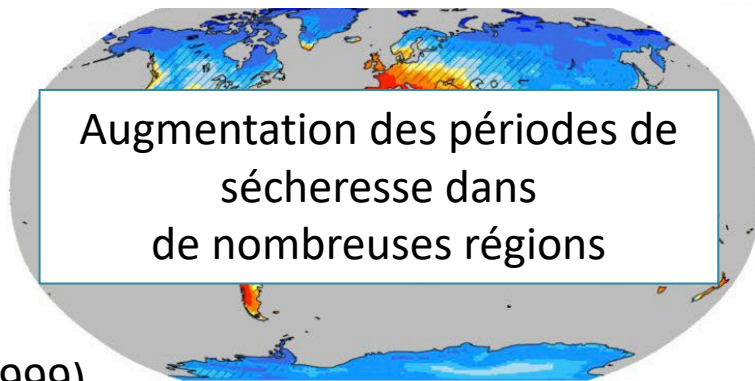


Débites Fleuves

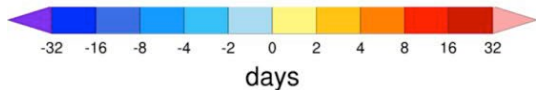


Jours Secs

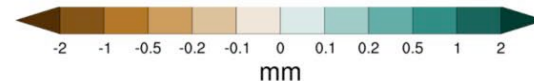
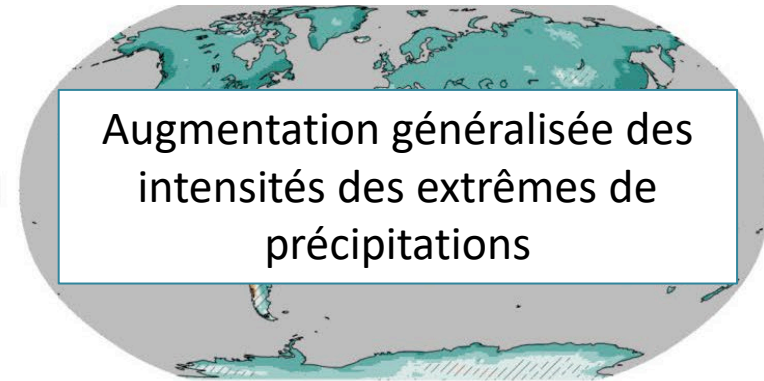
29



(2080-2999)
(SSP2-4.5)



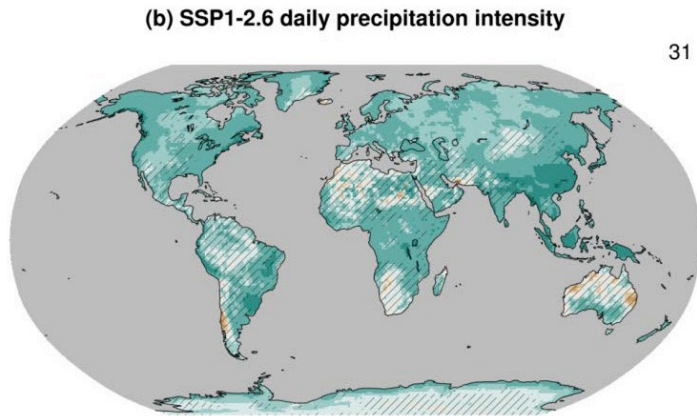
Intensité Précipitations Extrêmes



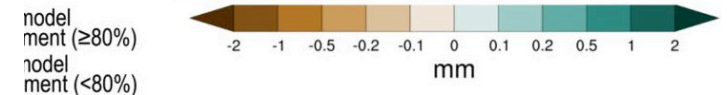
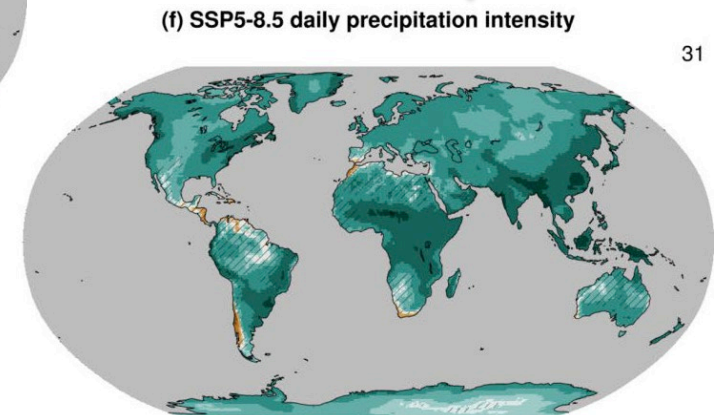
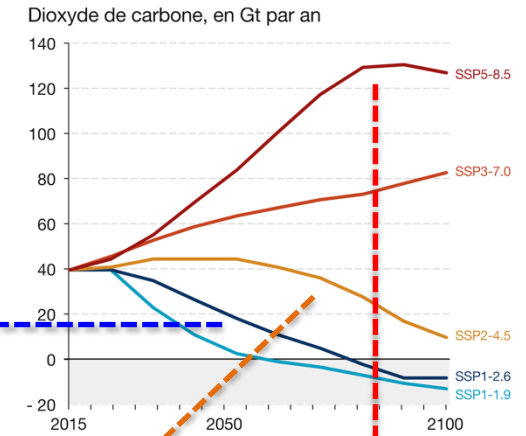
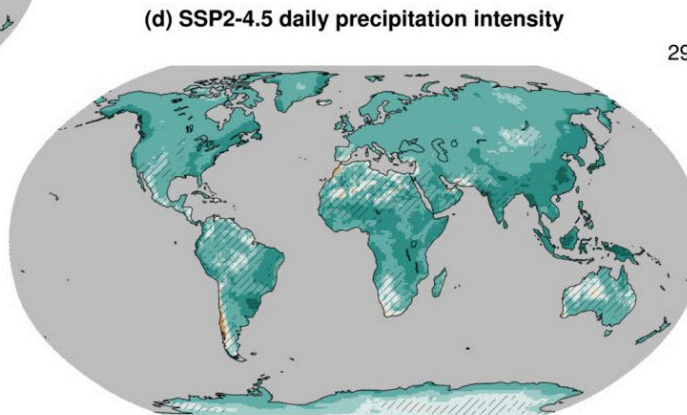
Color High model agreement ($\geq 80\%$)
Low model agreement ($< 80\%$)

Changement climatique et Précipitations

Que disent les projections climatiques ?






Changement d'intensité des Pluies Extrêmes en 2080-2099 en fonction des scénarios



« En l'absence de réduction importante des émissions de GES, le réchauffement climatique devrait entraîner des changements substantiels dans le cycle de l'eau, tant à l'échelle mondiale que régionale » (GIEC 2021).



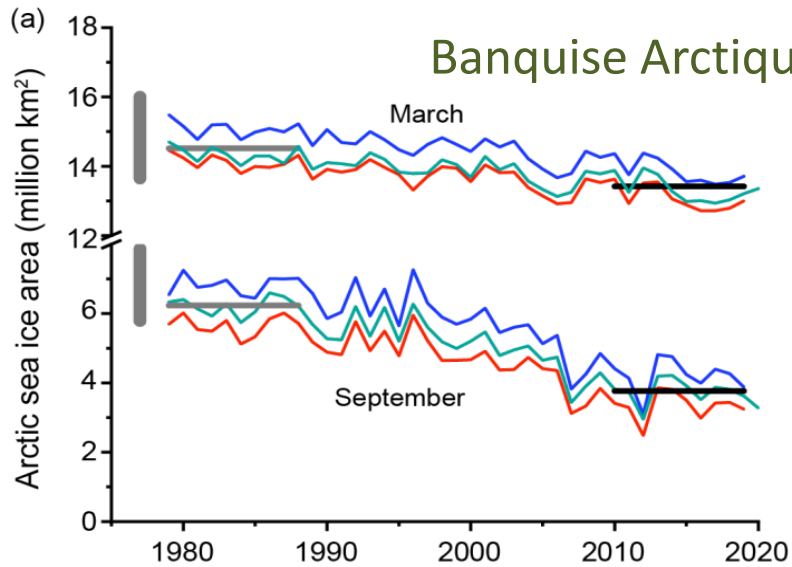
Cycle de l'eau et Changement Climatique

-  Changement climatique et modifications des précipitations
-  Changement climatique et fontes des glaces
-  Changement climatique et rôle de l'océan

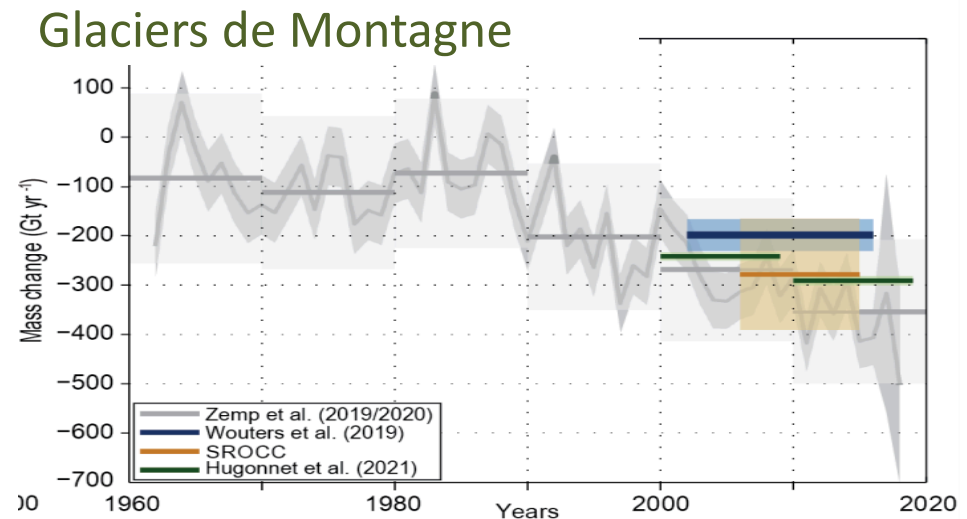
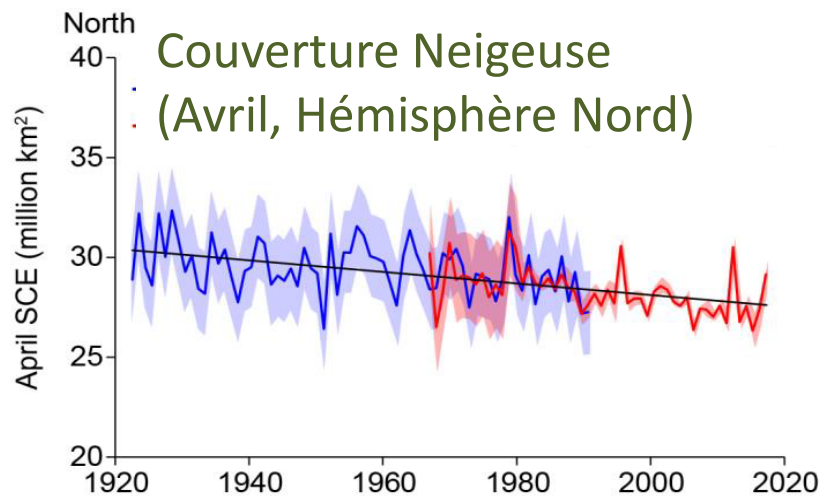
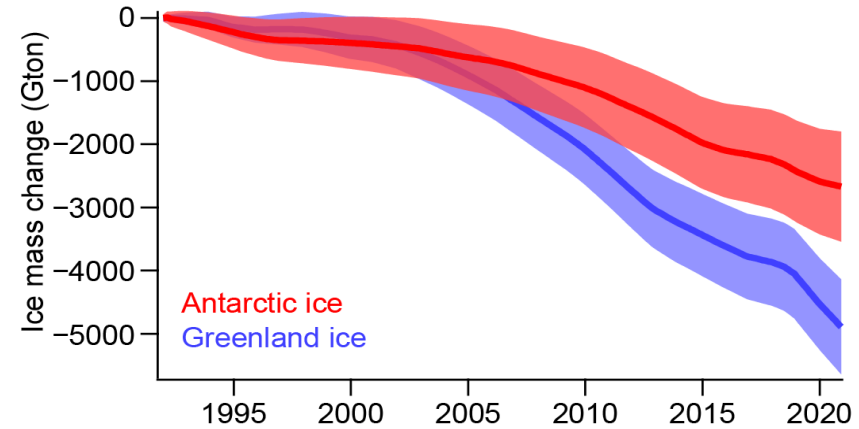
Changement Climatique et Fonte des Glaces

(GIEC, 2021)

Que nous disent les observations ?



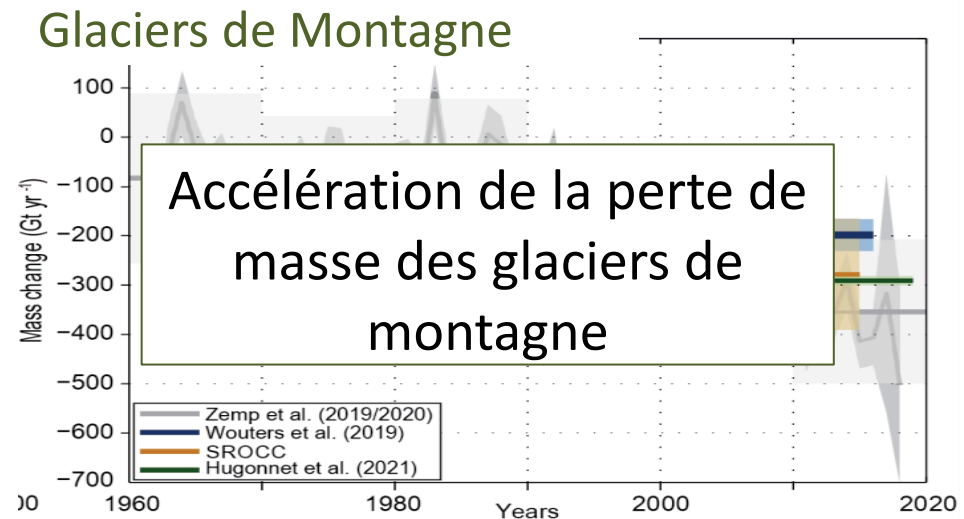
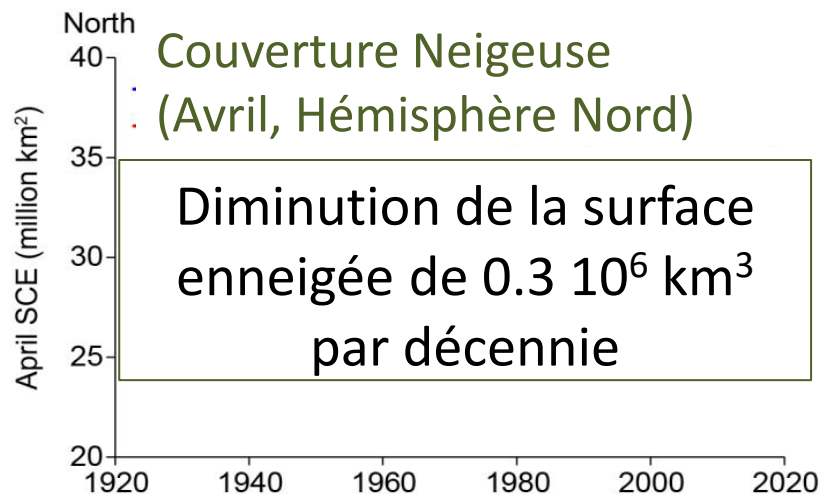
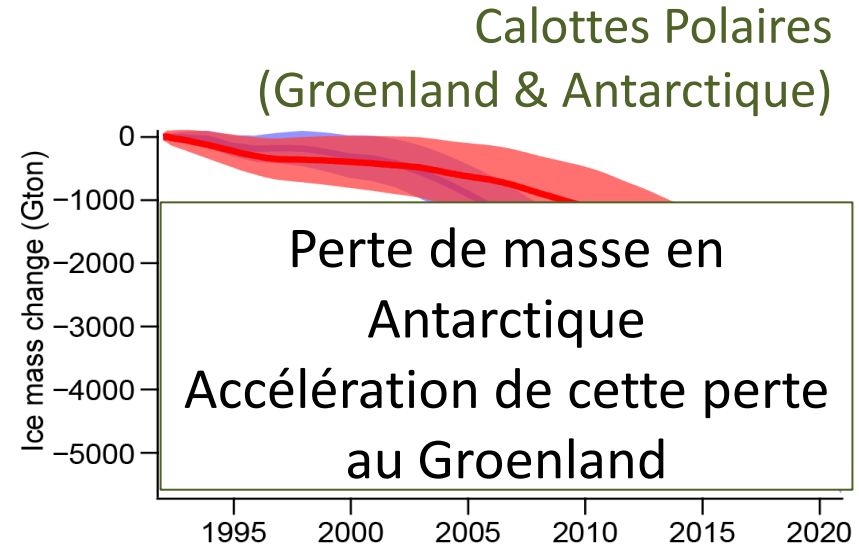
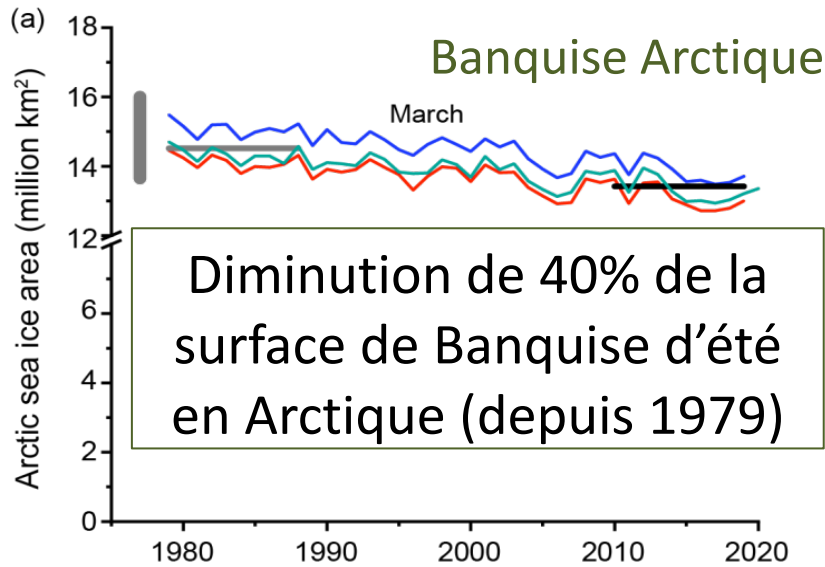
Calottes Polaires (Groenland & Antarctique)



Changement Climatique et Fonte des Glaces

(GIEC, 2021)

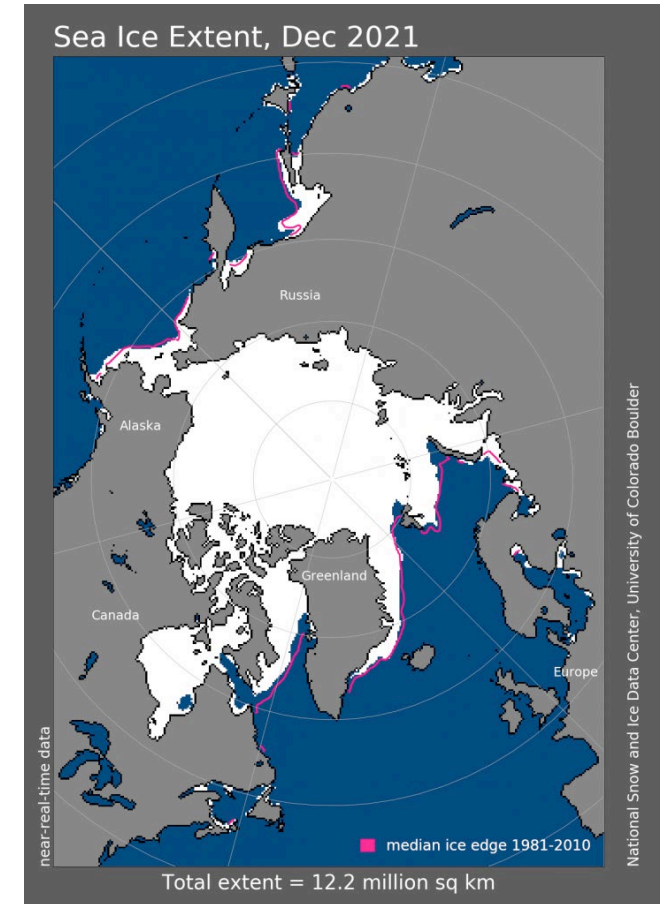
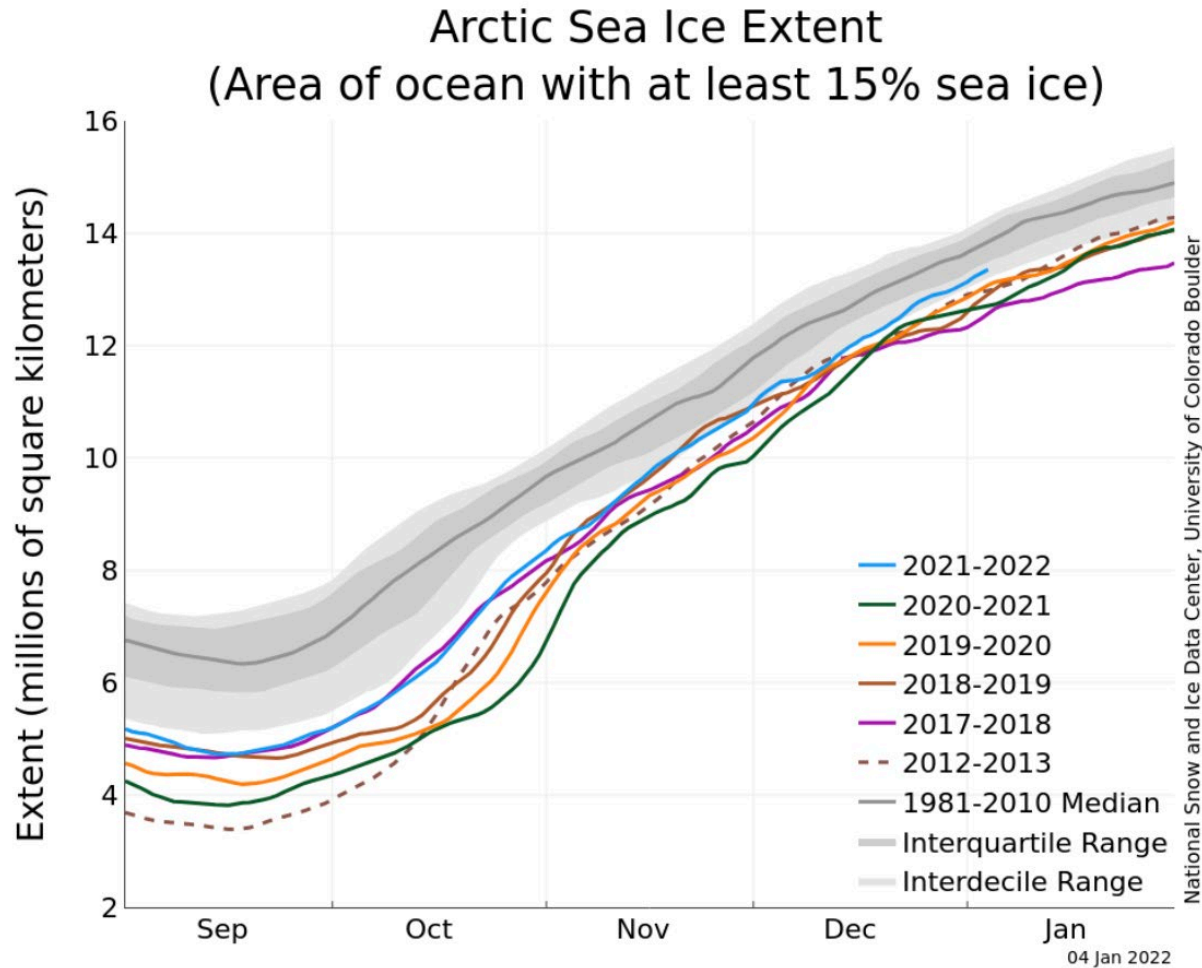
Que nous disent les observations ?



Changement Climatique et Fonte des Glaces

Que nous disent les observations ?
Focus : Banquise Arctique

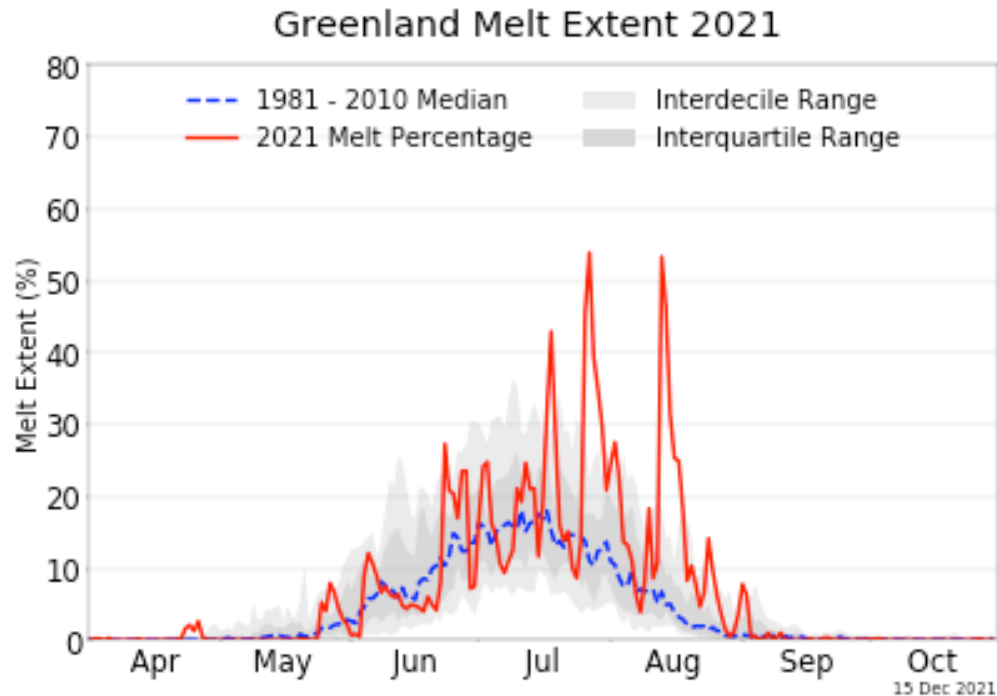
Diminution de 40% de la surface de Banquise d'été en Arctique (depuis 1979)



Changement Climatique et Fonte des Glaces

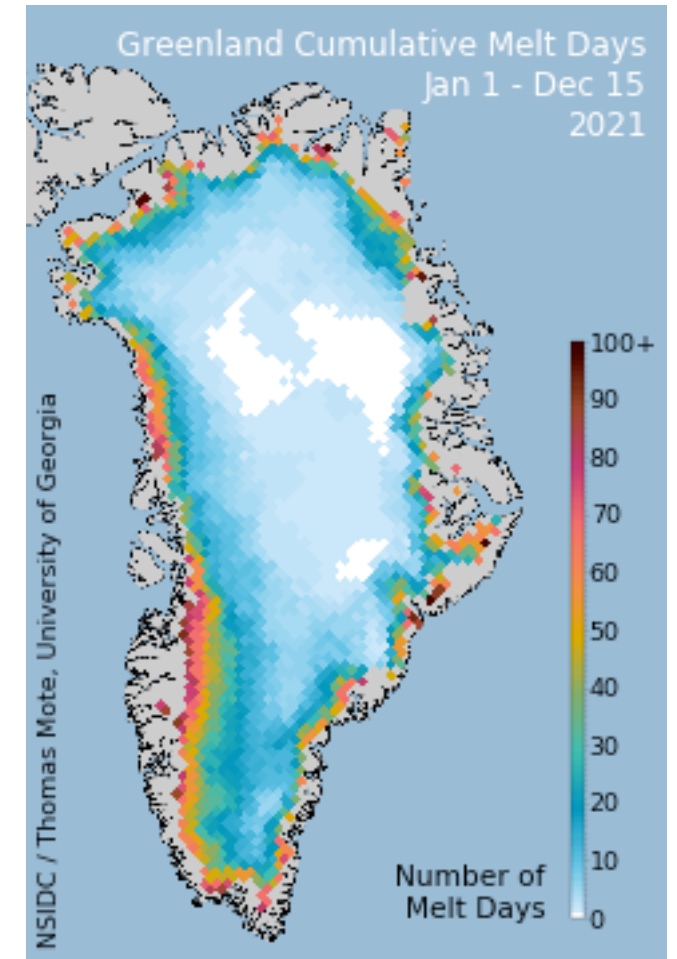
Que nous disent les observations ?
Focus : Groenland

Episodes de fonte importants
au cours de l'année 2021



NSIDC / Thomas Mote, University of Georgia

Accélération de fonte du
Groenland



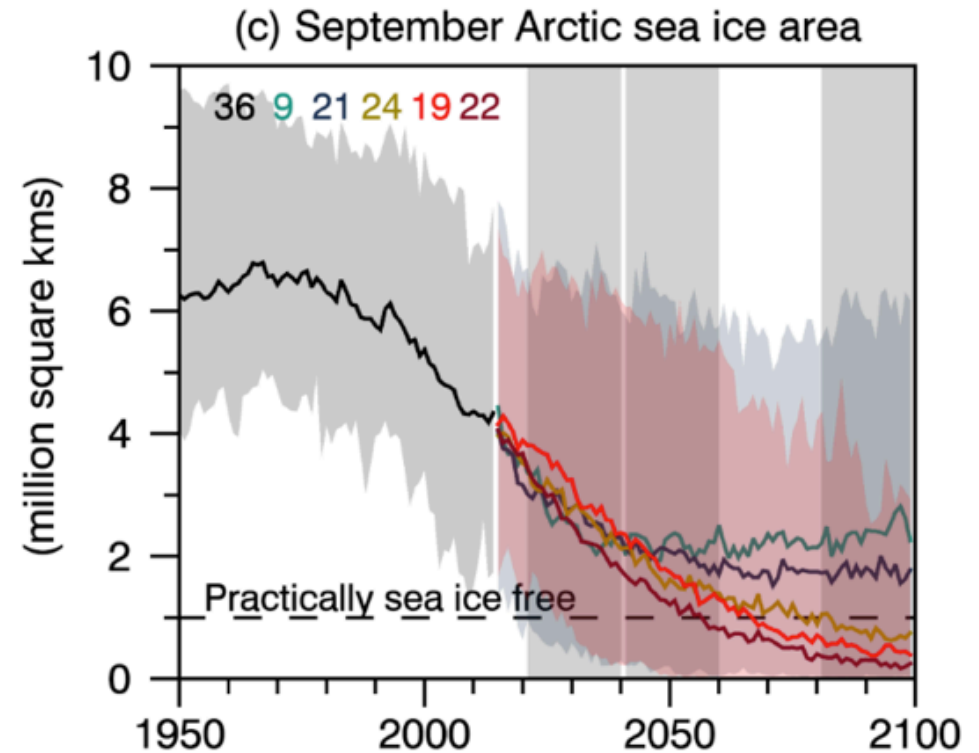
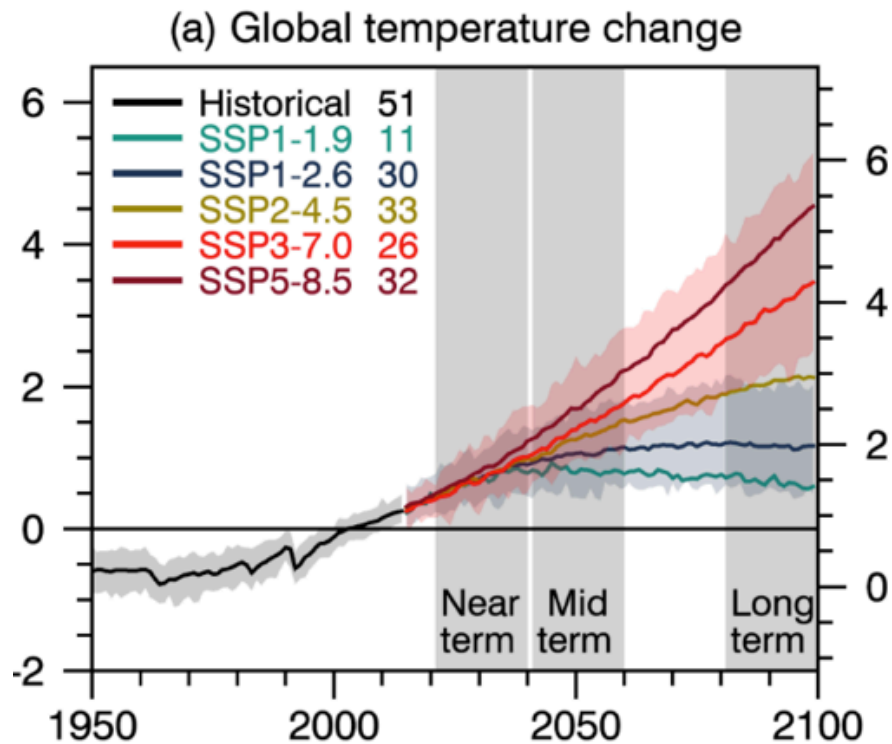
Changement Climatique et Fonte des Glaces

(GIEC, 2021)

- Que nous disent les observations ?
- Que nous disent les projections ?

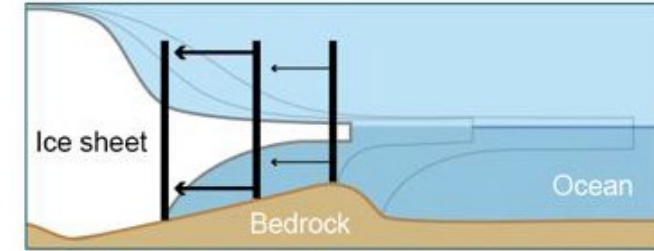
Focus : Banquise Arctique

Pour les scénarios à fortes émissions, l'océan Arctique deviendra pratiquement libre de glace en septembre à partir de 2050-2080.

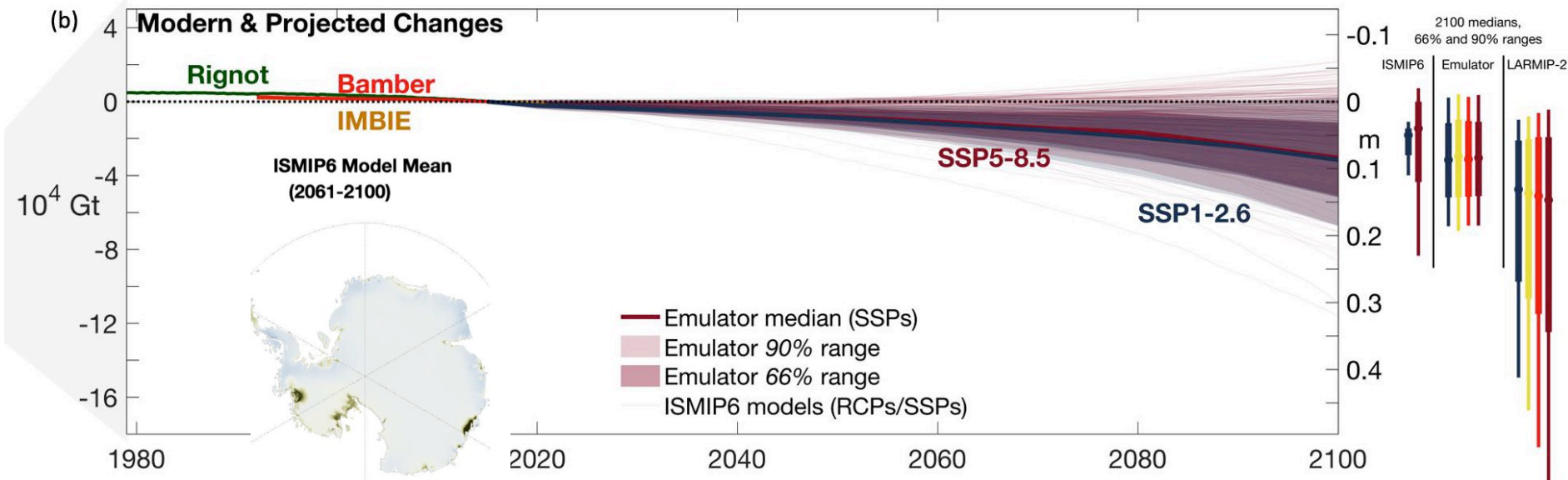


Changement Climatique et Fonte des Glaces

Que nous disent les projections ? Focus : Calotte Antarctique



- La fonte de l'antarctique va se poursuivre au 21^{ème} siècle – avec une contribution au niveau des mers jusqu'à **+0,4 m**
- Cette fonte semble assez peu sensible au scénario d'émissions pour le 21^{ème} siècle
- De très grandes incertitudes subsistent sur des processus non pris en compte = **Marine Ice Sheet Instabilities**



Changement Climatique et Fonte des Glaces

Que nous disent les projections ?

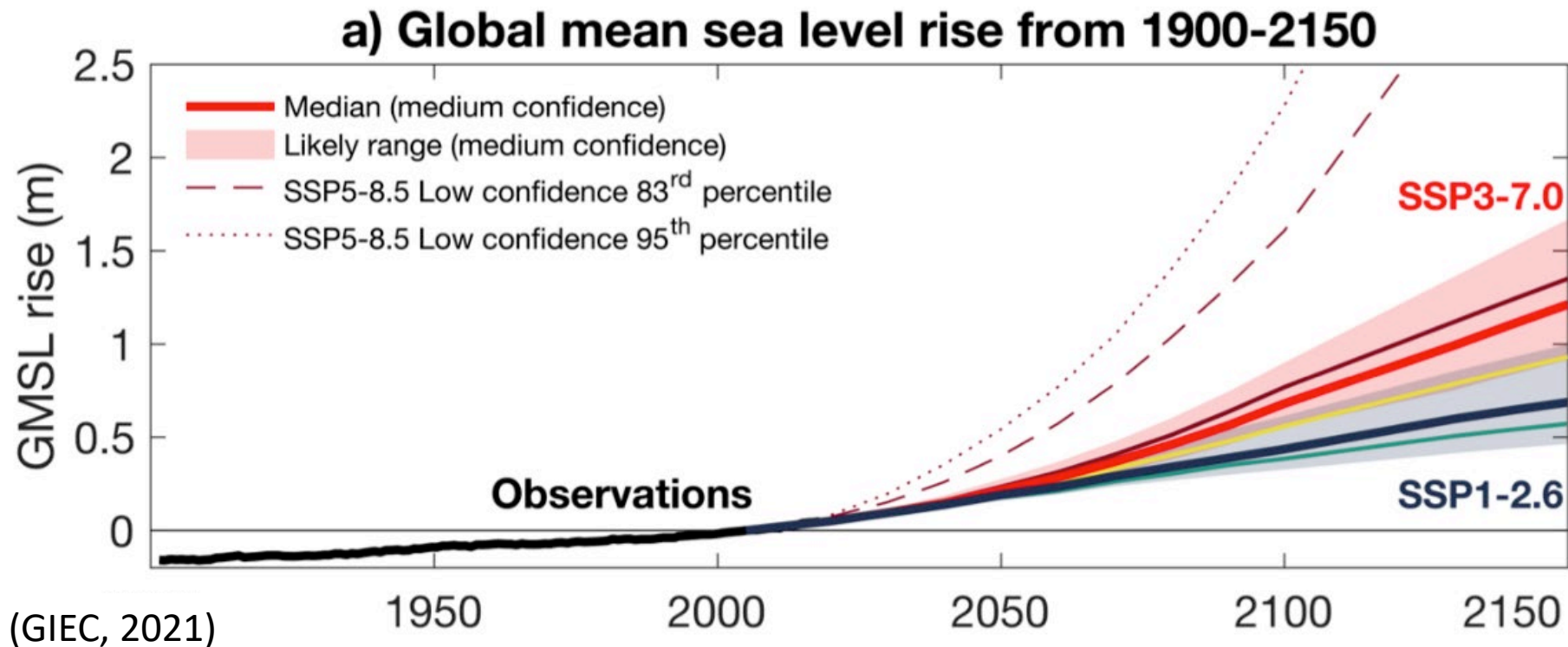
Impact sur les projections d'élévation du niveau des mers

→ Élévation en partie **irréversible** pour les prochaines décennies / siècles

→ Possibilité de scénario peu probable mais à fort risque

jusqu'à +5.4 m in 2150...

(GIEC, 2021)



Changement Climatique et Fonte des Glaces

Que nous disent les projections ?

Impact sur les projections d'élévation du niveau des mers

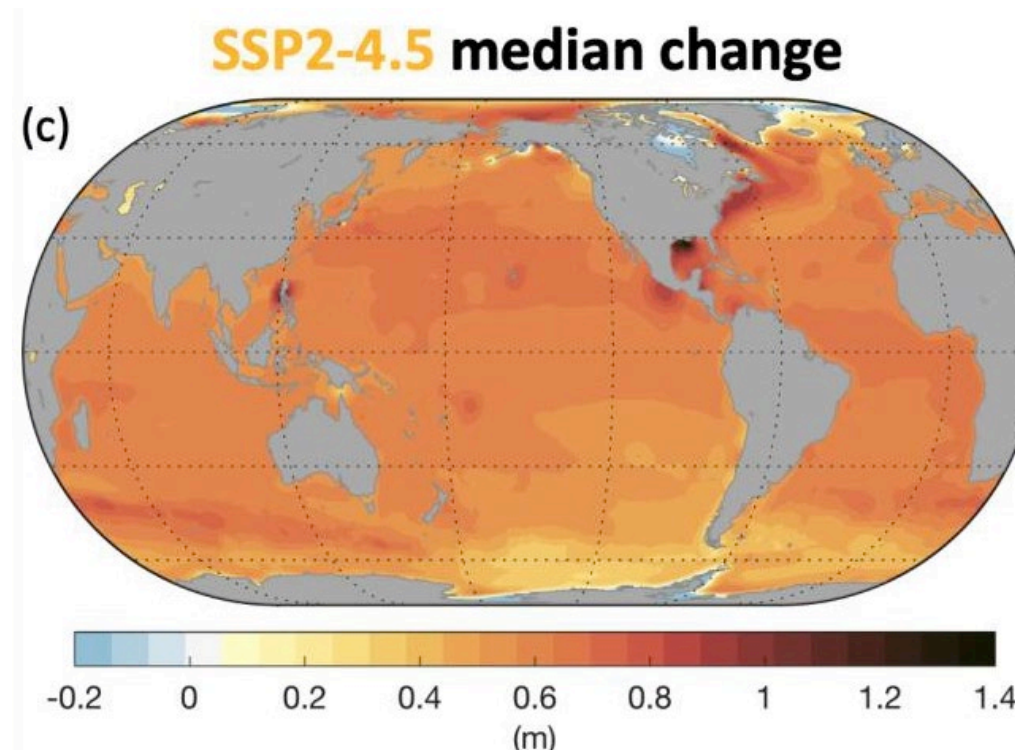
→ Élévation en partie **irréversible** pour les prochaines décennies / siècles

→ Possibilité de scénario peu probable mais à fort risque

jusqu'à +5.4 m in 2150...




→ Élévation très contrastée à l'échelle régionale

Augmentation du
niveau des mers
en 2100 par rapport
à 1985-2014



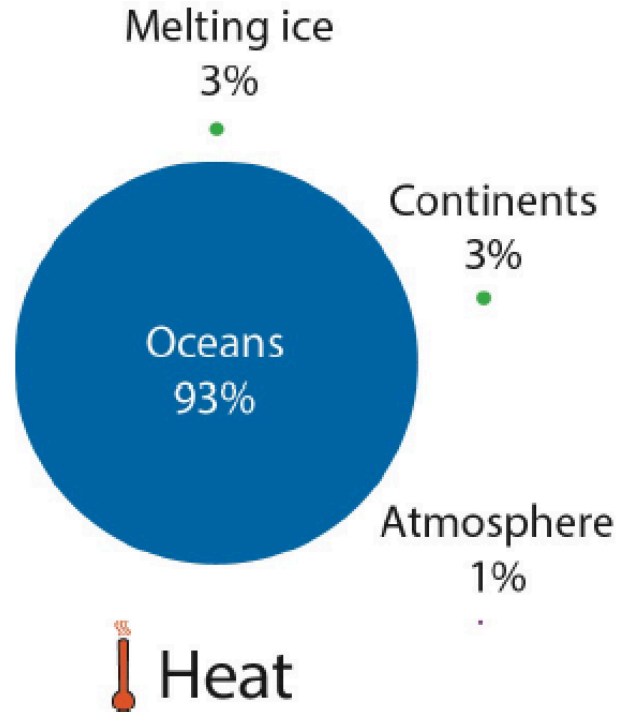


Cycle de l'eau et Changement Climatique

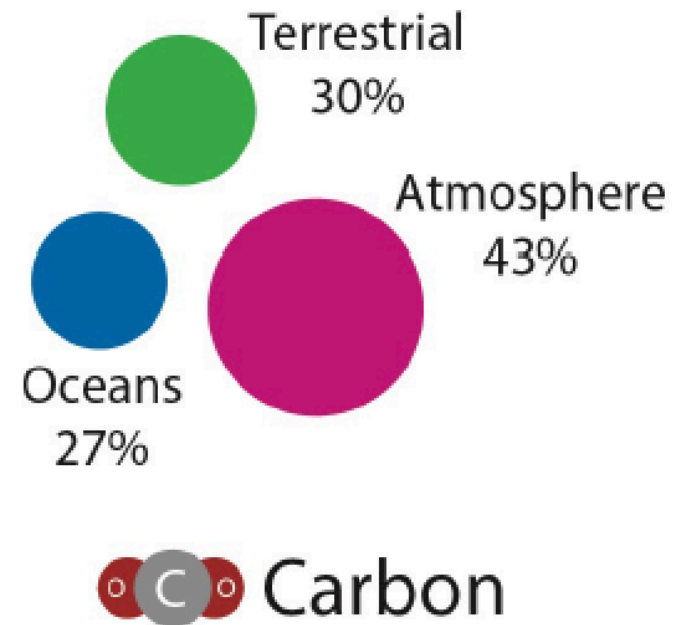
-  Changement climatique et modifications des précipitations
-  Changement climatique et fontes des glaces
-  Changement climatique et rôle de l'océan

Changement climatique et rôle de l'océan

L'océan absorbe de la chaleur



... et du carbone anthropique

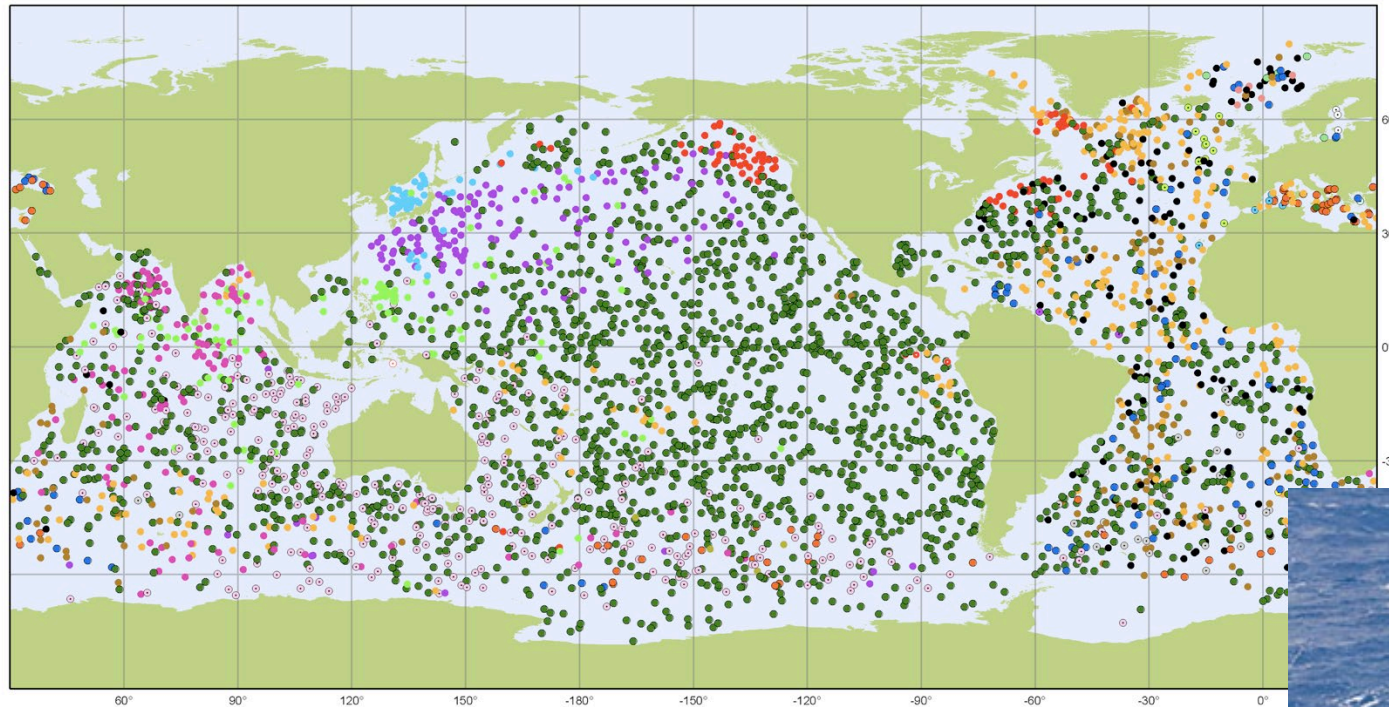


Il limite de fait l'amplitude du dérèglement climatique

Changement climatique et rôle de l'océan

Que nous disent les observations ?

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



Argo

National contributions - 3881 Operational Floats

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

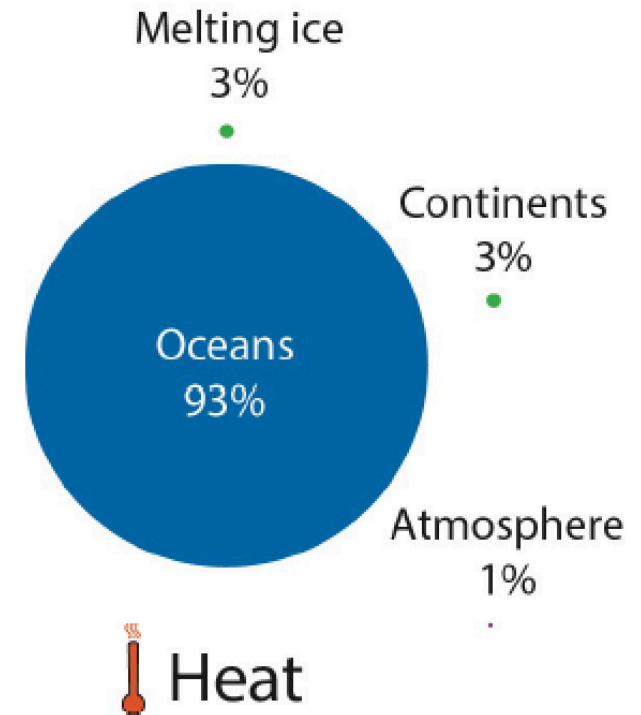
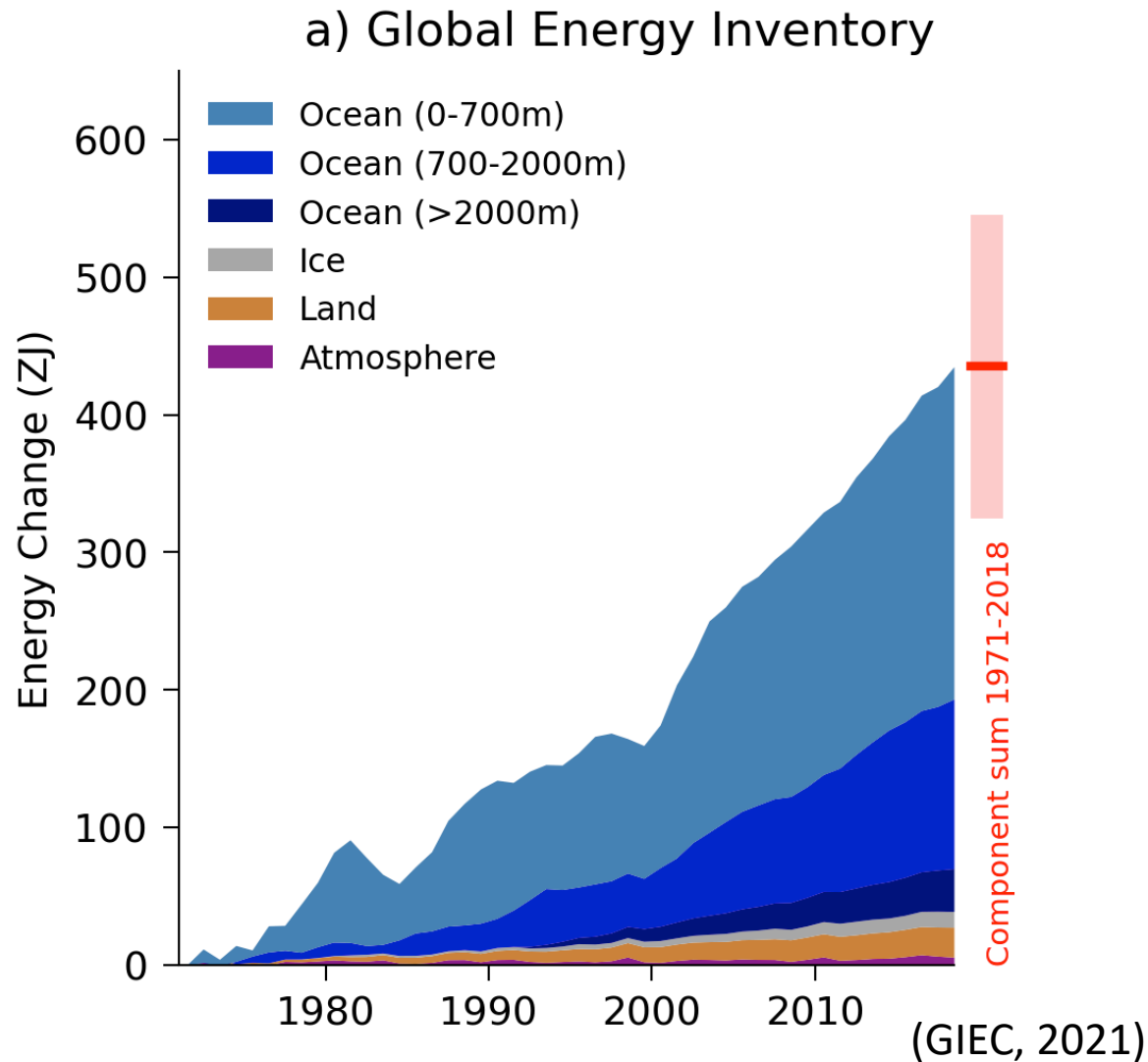


- | | | | | | |
|-------------------|-----------------|-----------------|--------------------|---------------------------|--------------|
| ● ARGENTINA (1) | ● EUROPE (94) | ● INDIA (124) | ● KENYA (1) | ● PERU (3) | ● USA (2179) |
| ● AUSTRALIA (361) | ● FINLAND (3) | ● INDONESIA (1) | ● MEXICO (2) | ● 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) | |



Changement climatique et rôle de l'océan

Que nous disent les observations ?

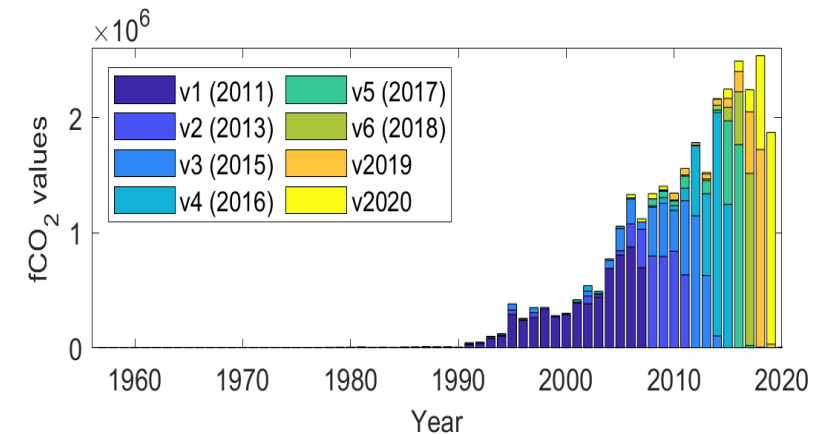
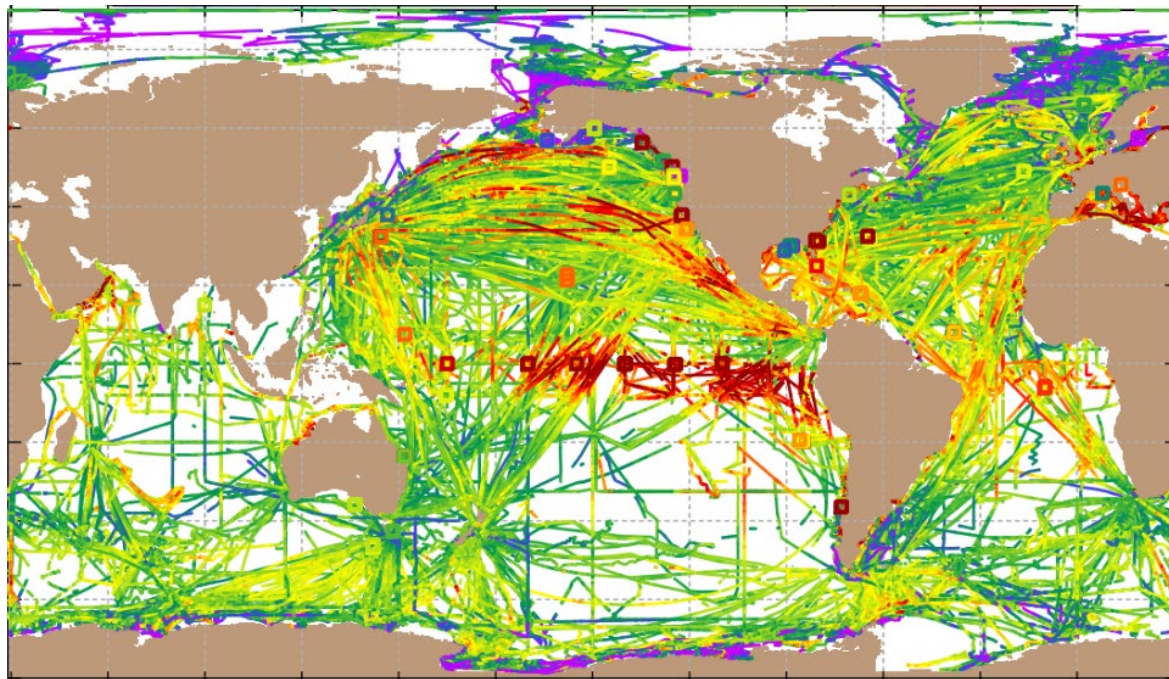


Changement climatique et rôle de l'océan

Que nous disent les observations ?

Mesure du CO₂ dans l'océan (SOCAT)

260 300 340 380 420 460 (μatm)

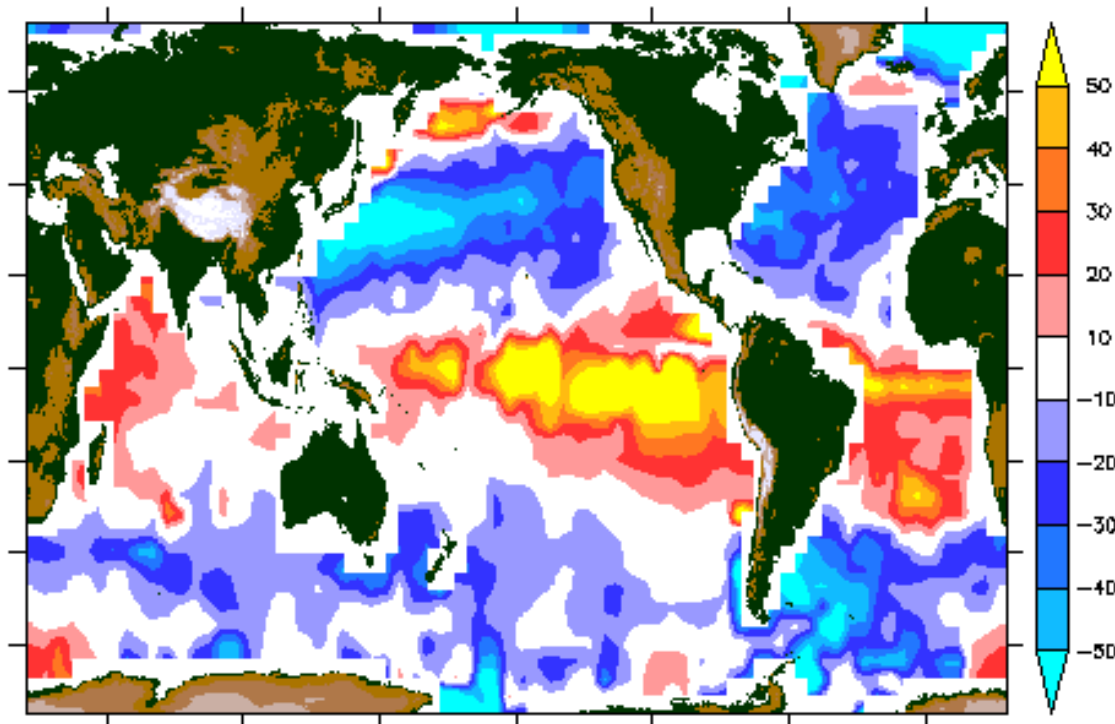


Changement climatique et rôle de l'océan

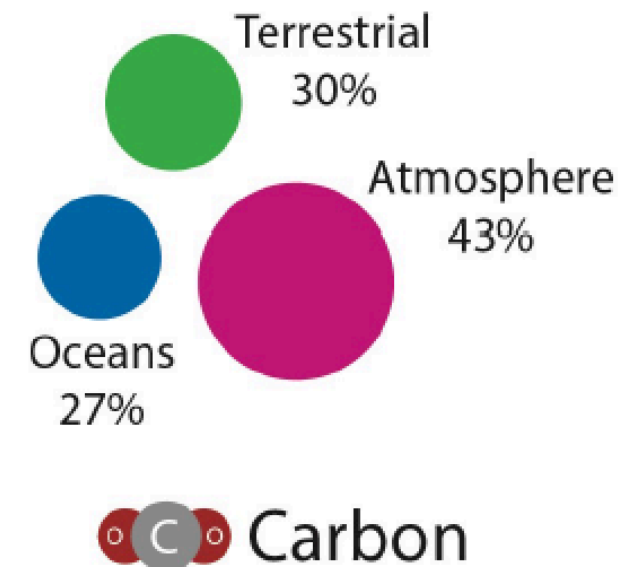
Que nous disent les observations ?

Puits de C

Source de C



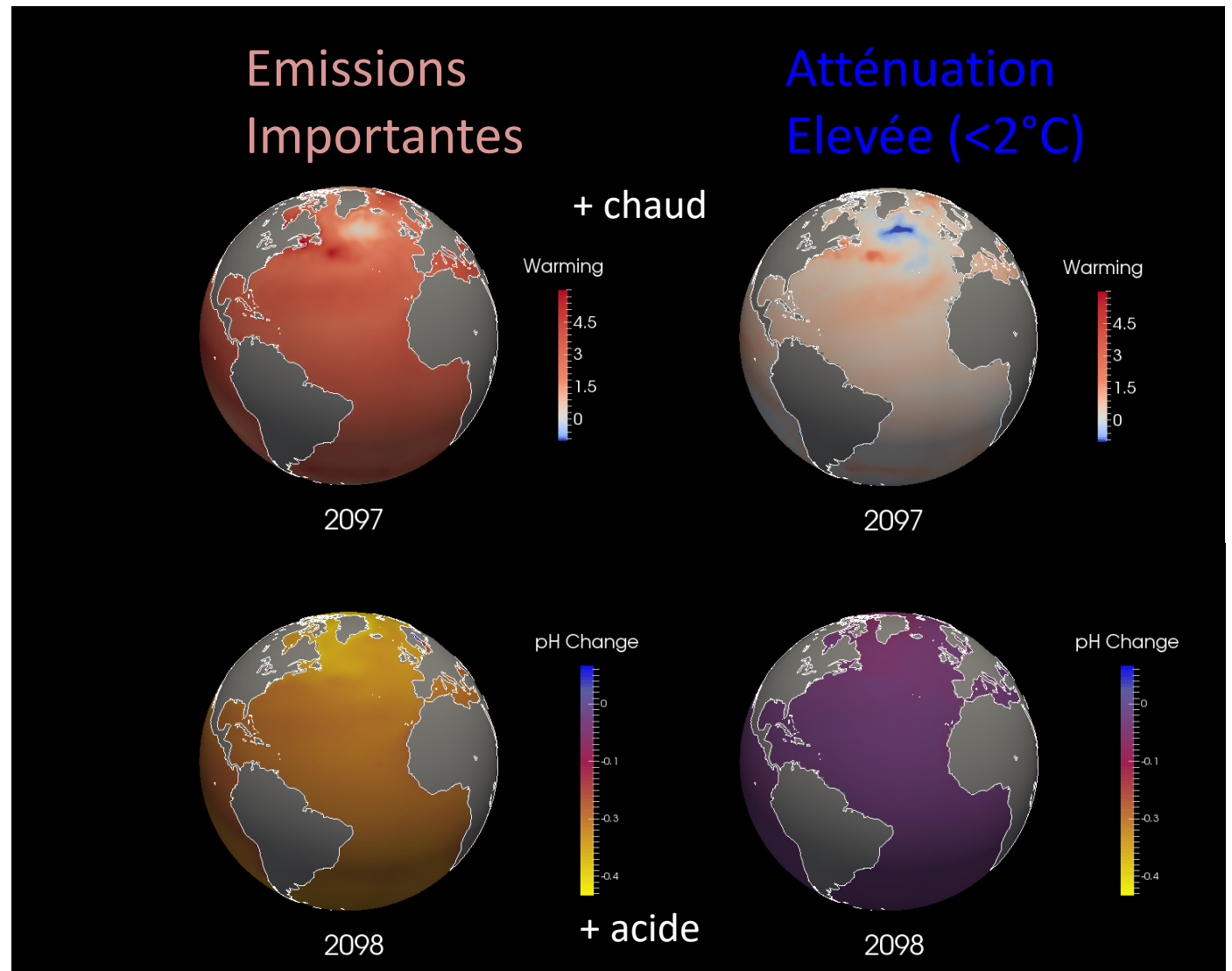
Janvier



Changement climatique et rôle de l'océan

Que nous disent les projections ?

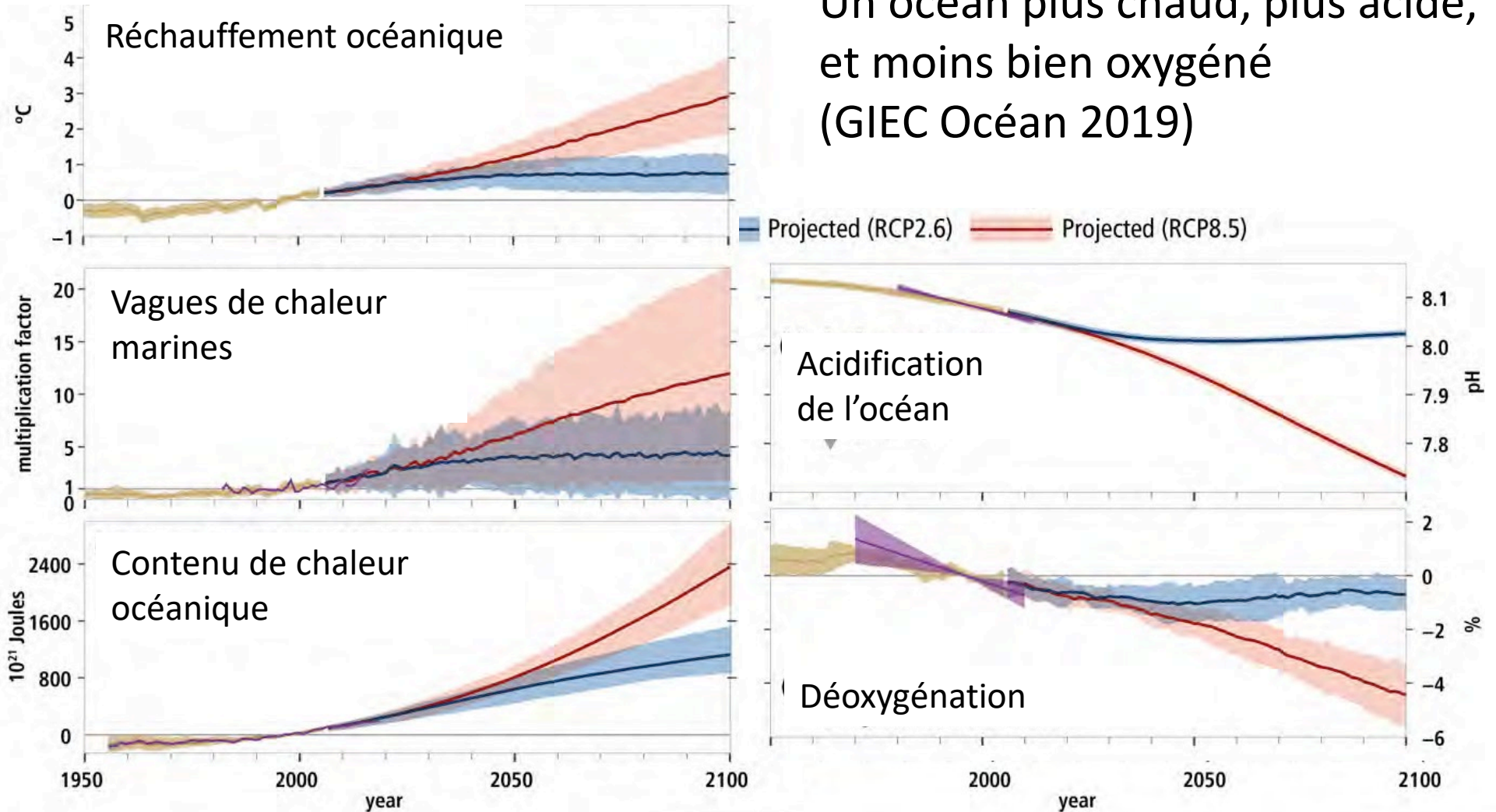
En fonction des scénarios, la température de surface des océans augmente de 0.7 à 2.7°C et le pH diminue de -0.07 à -0.33 en 2100 par rapport à 2000 (GIEC 2021)



Changement climatique et rôle de l'océan

Que nous disent les projections ?

Un océan plus chaud, plus acide, et moins bien oxygéné
(GIEC Océan 2019)



Quelques mots de conclusions

- **Méthode** scientifique (observations, théorie, modélisation) et importance du **consensus** scientifique
- **Cycle de l'eau au centre** du système climatique (importance des boucles de rétroaction)
- L'ensemble du cycle est **fortement impacté** par le changement climatique – l'intensité des impacts dépend largement du scénario d'émissions de GES
- Les impacts à l'échelle locale sont **difficile à projeter**
Et dépendent aussi d'autres facteurs anthropiques
Inondations et sécheresse – végétation, bâti, infrastructures, gestion
Submersions côtières – protections littorales, végétation côtière, ...
Impacts sur les écosystèmes marins – pêches, pollutions, ...
→ Des approches pour l'adaptation de nos territoires

Pour aller plus loin

Les rapports du GIEC

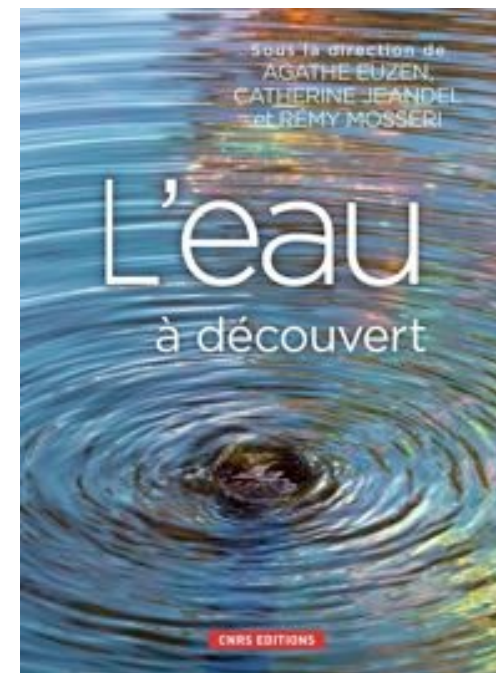
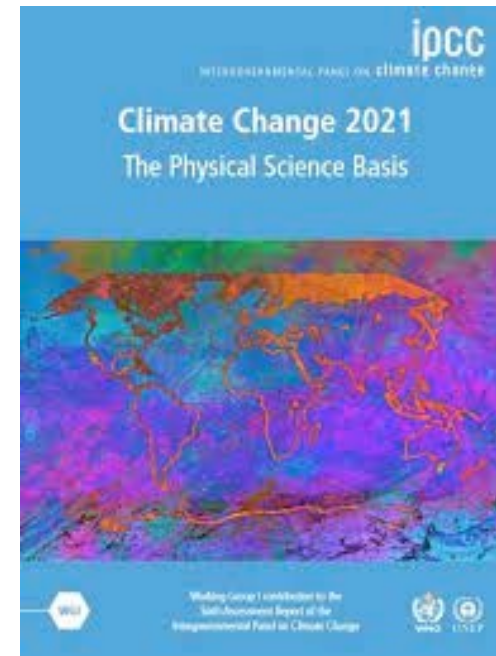
<https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>

Livre collectif – L'eau à découvert

Editeurs : Euzen, Jeandel, Mosseri

CNRS Edition, 2015

365 pages



Changement climatique - Impacts et adaptation

Quelles conséquences sur le cycle de l'eau et les océans

Les Rendez-vous Climat d'Antea Group



Merci de votre attention



Laurent BOPP

Océanographe et climatologue

Directeur de Recherche CNRS, Institut Pierre Simon Laplace

Directeur du Département de Géosciences de l'École Normale Supérieure (ENS-PSL)