

# Climat et Energie : une question complexe mais essentielle

**Didier Swingedouw**

## Prix de l'énergie, climat : l'heure des choix

► La flambée du coût de l'énergie alimente les colères et inquiète l'exécutif, à six mois de la présidentielle

► Contre la hausse des prix des carburants, le gouvernement semble privilégier une baisse des taxes plutôt qu'un système de chèque

► Le président de la Commission de régulation de l'énergie prône une réflexion sur la fiscalité du gaz et de l'électricité

► L'association négaWatt présente son scénario pour une production électrique 100% issue des énergies renouvelables

PAGES 11 ET 17

Ekhi, 22 ans, mécanicien, dans une station Total au nord de Dijon, le 19 octobre : « Je roule 400 km par semaine, alors, la hausse des prix, je la sens passer ! »

RAPHÉL HELLE/SIGNATURES POUR « LE MONDE »



Réchauffement  
Comment Total  
et Elf ont choisi  
le déni pendant  
des décennies

UNE ÉTUDE, publiée par deux historiens et un sociologue dans une revue scientifique, révèle que les deux compagnies pétrolières françaises Elf et Total étaient parfaitement conscientes, dès 1971, bien avant que le grand public en ait connaissance, de l'impact « potentiellement catastrophique » de leur activité sur le changement climatique. Les deux groupes ont alors entrepris, durant de longues années, de semer le doute sur la réalité du réchauffement, d'attaquer le consensus scientifique et de retarder la lutte contre les dérèglements du climat.

PAGES 8-9

**M** ÉDITORIAL  
UNE TRANSITION  
À REPENSER

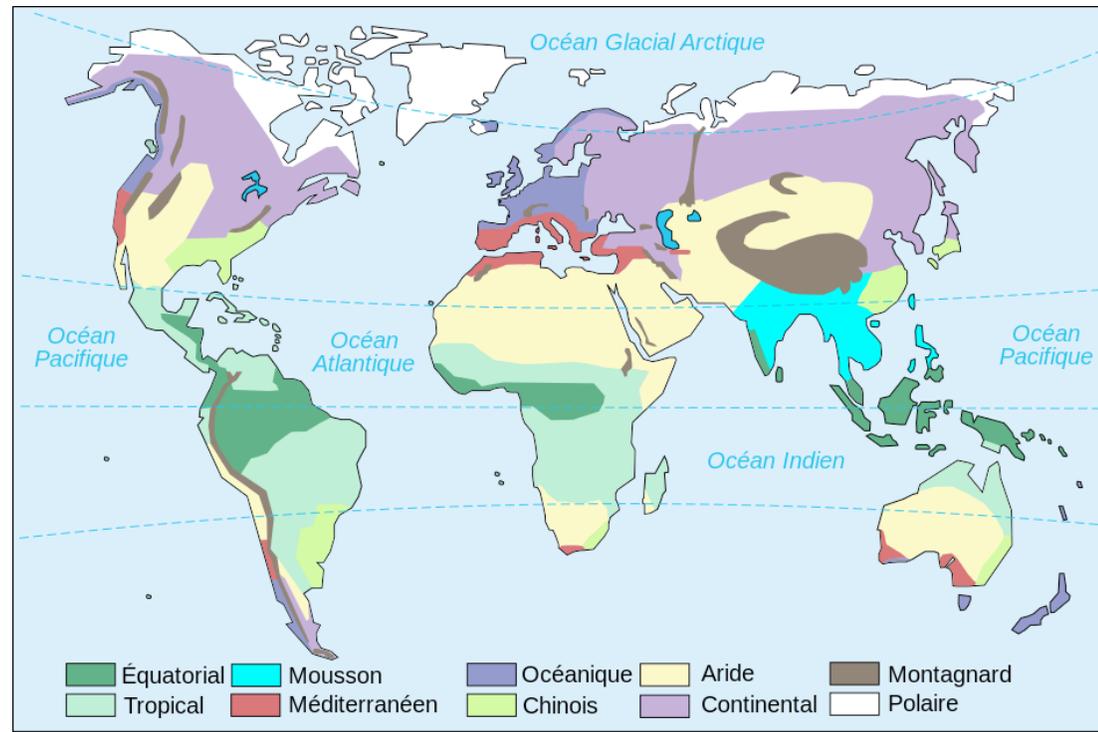
PAGE 37



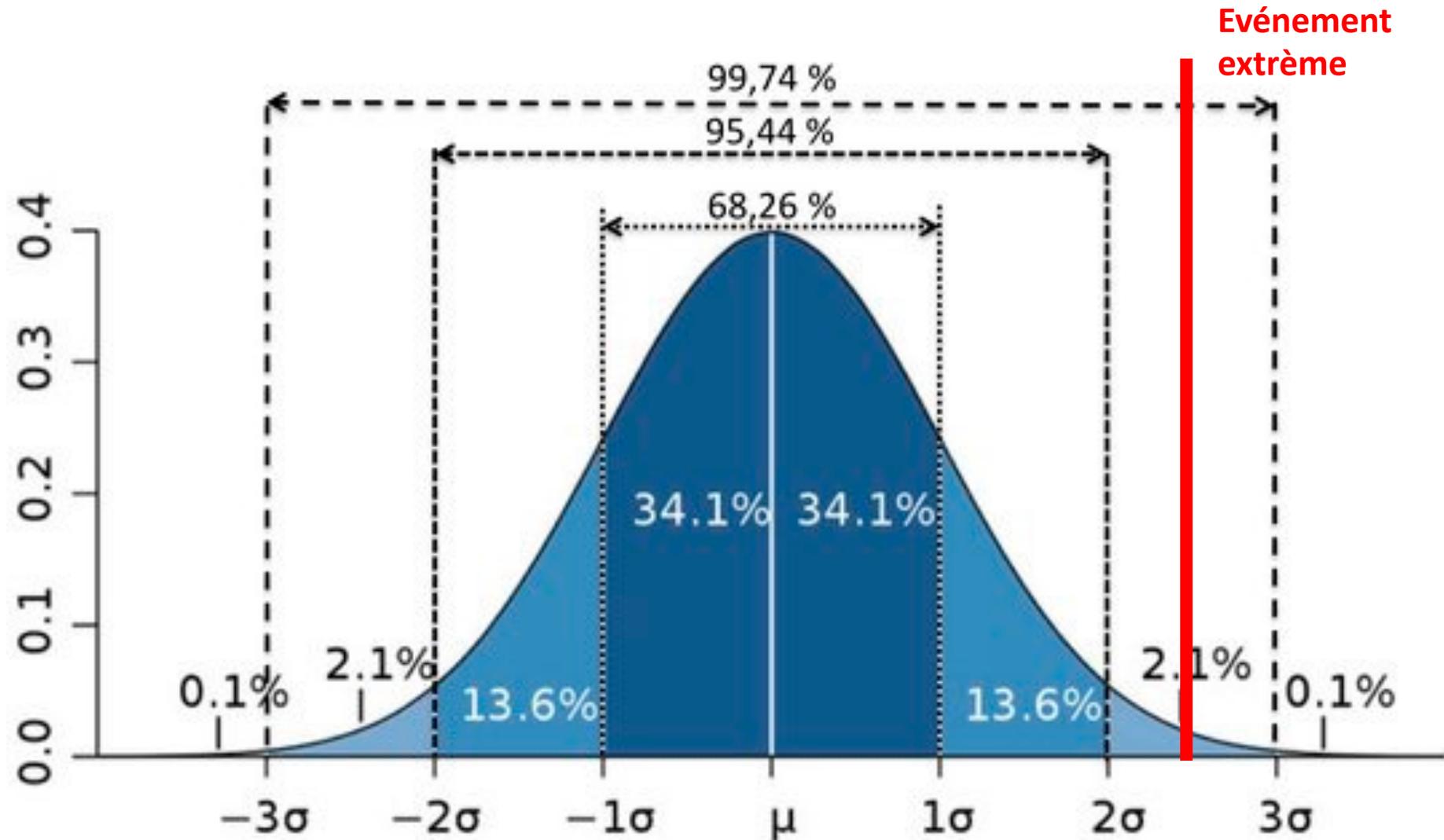


# Définition du climat

- ❖ Ethymologie : Vient du grec “Klima” qui fait référence à l’inclinaison des rayons du soleil par rapport à l’horizon
- ⇒ Nature géographique du climat
- ⇒ Jusque récemment, la climatologie était une branche de la géographie

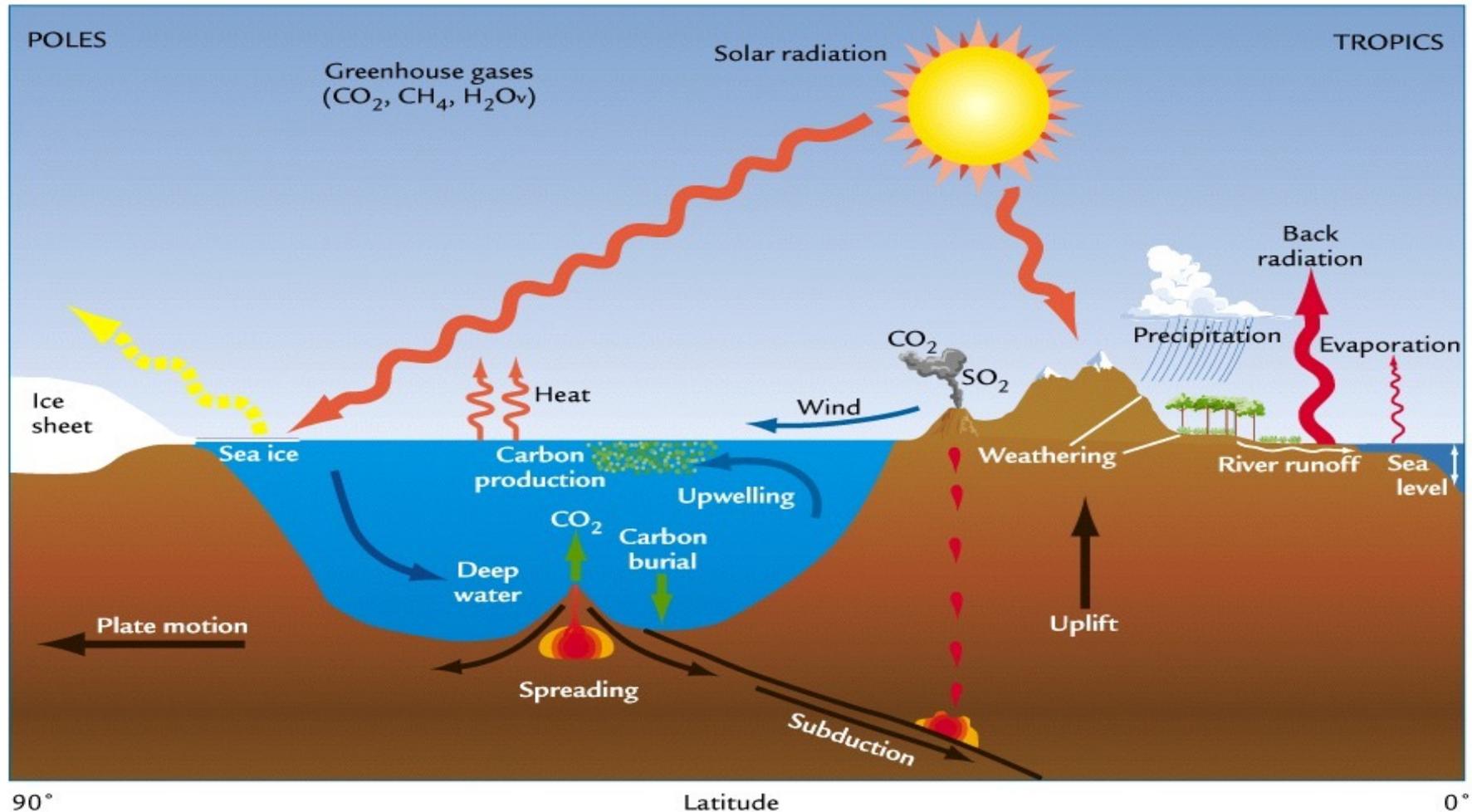


# Le climat est statistique



# Notion de système climatique

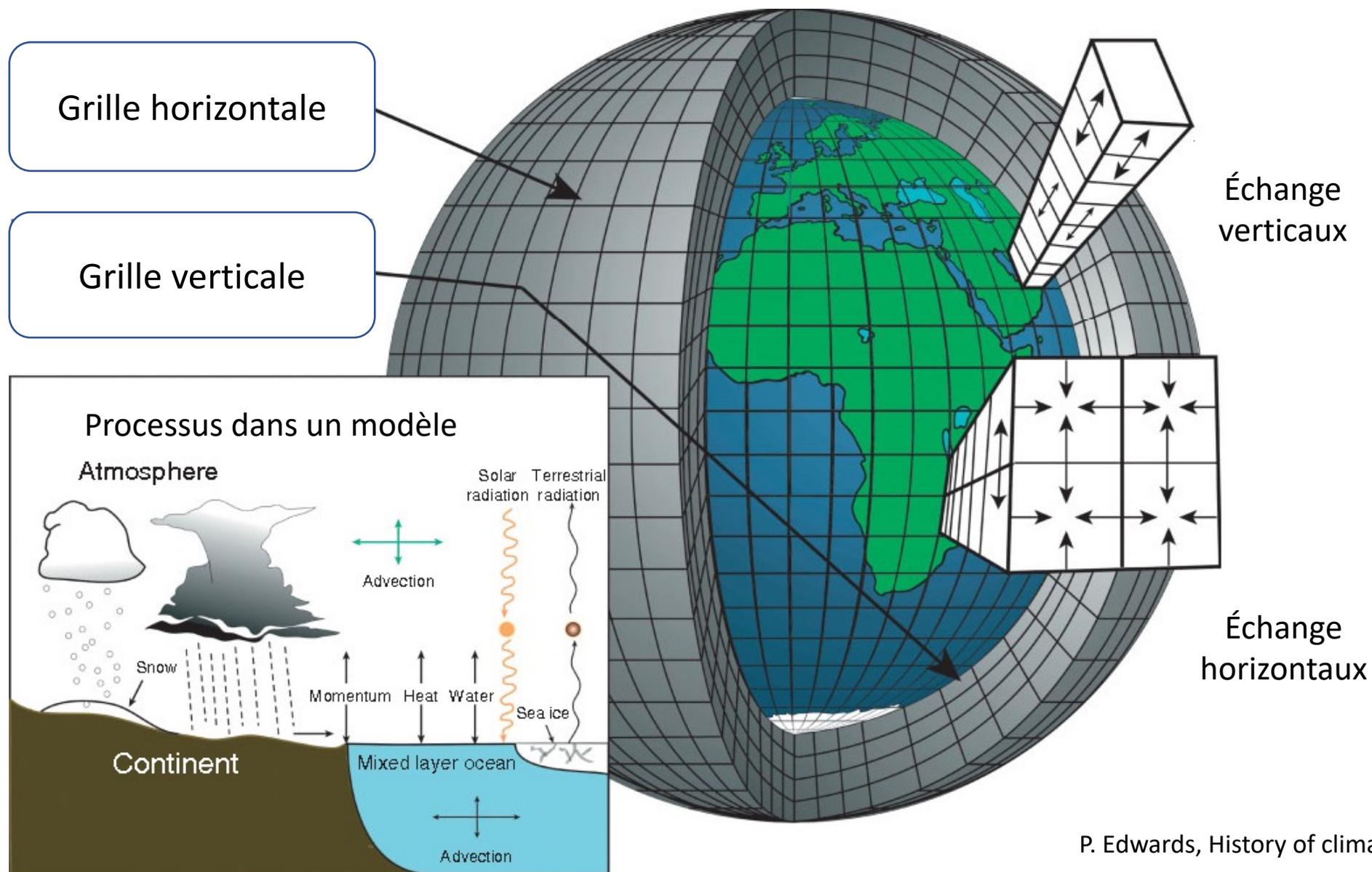
Besoin de connaissance pluri-disciplinaire !



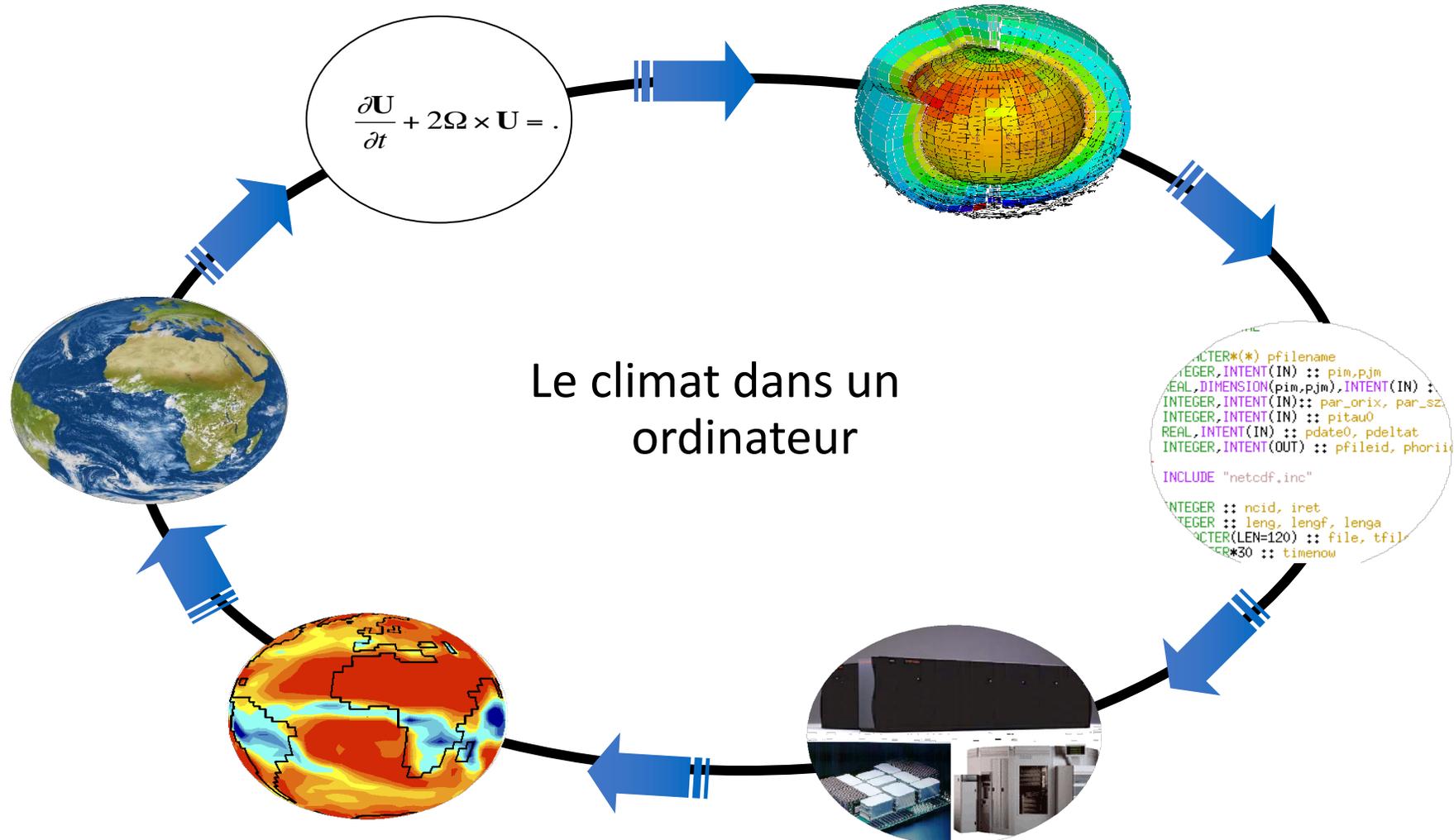
# Notion de système climatique

- ❖ Par analogie à un **système physique**, on définit le **système climatique** comme constitué de plusieurs composantes (atmosphère, l'océan, banquise, surfaces continentales, végétation, calottes glaciaires...) et leurs interactions.
- ❖ Il s'agit d'un **système ouvert**, qui échange en permanence de l'énergie avec l'extérieur, principalement *via* le rayonnement solaire incident, et le rayonnement thermique émis vers l'espace.
- ❖ Il s'agit également d'un **système dynamique** car, les lois régissant son comportement étant supposées connues, il est possible de décrire l'évolution dans le temps (la trajectoire) du système, de façon déterministe.
- ❖ Pour pouvoir effectuer un tel calcul, il faut en outre disposer d'une condition initiale, décrivant l'état initial du système, et des conditions aux limites, ou **forçages externes**, qui influencent son comportement.

# Modèle de climat



# Principe de la modélisation du climat

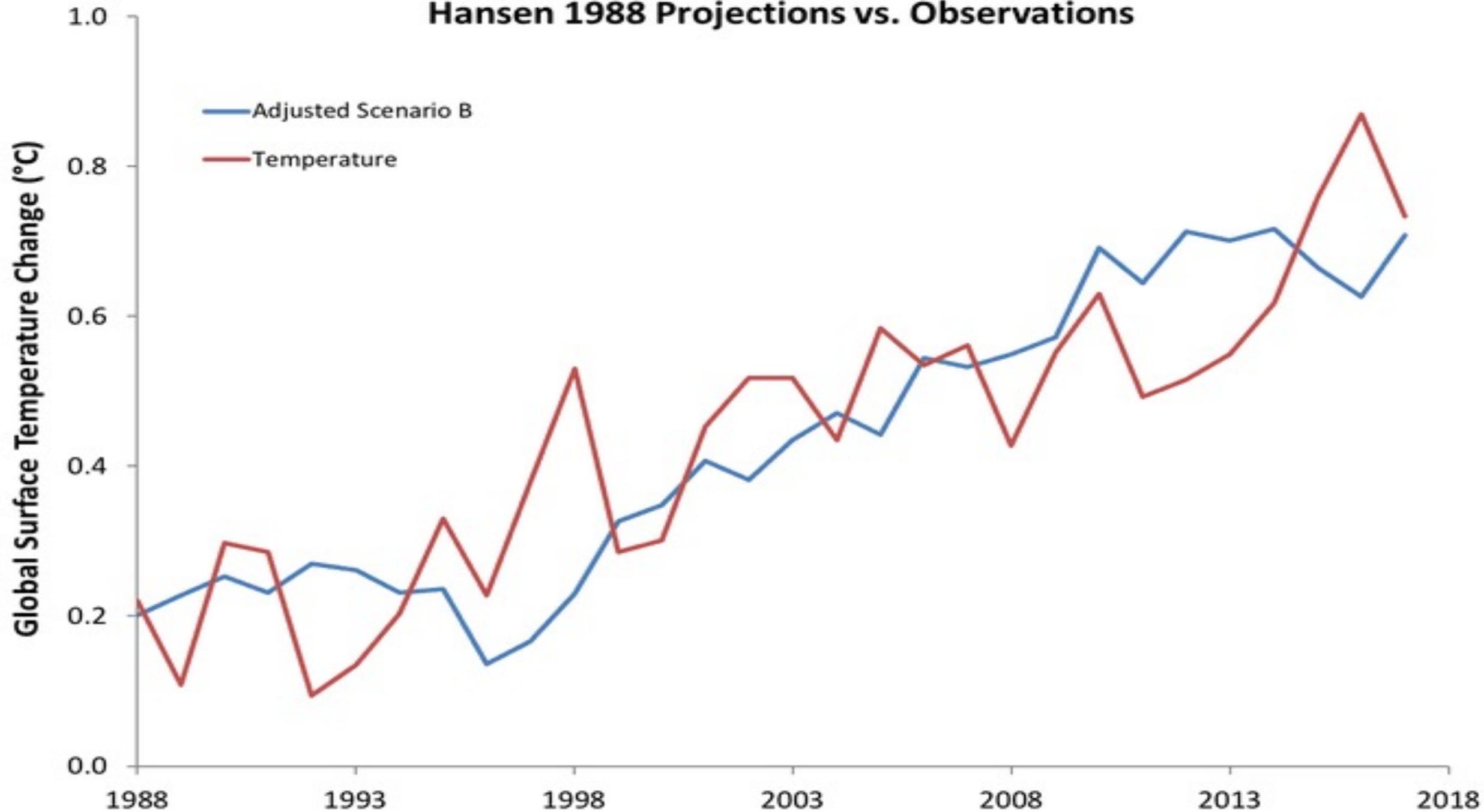




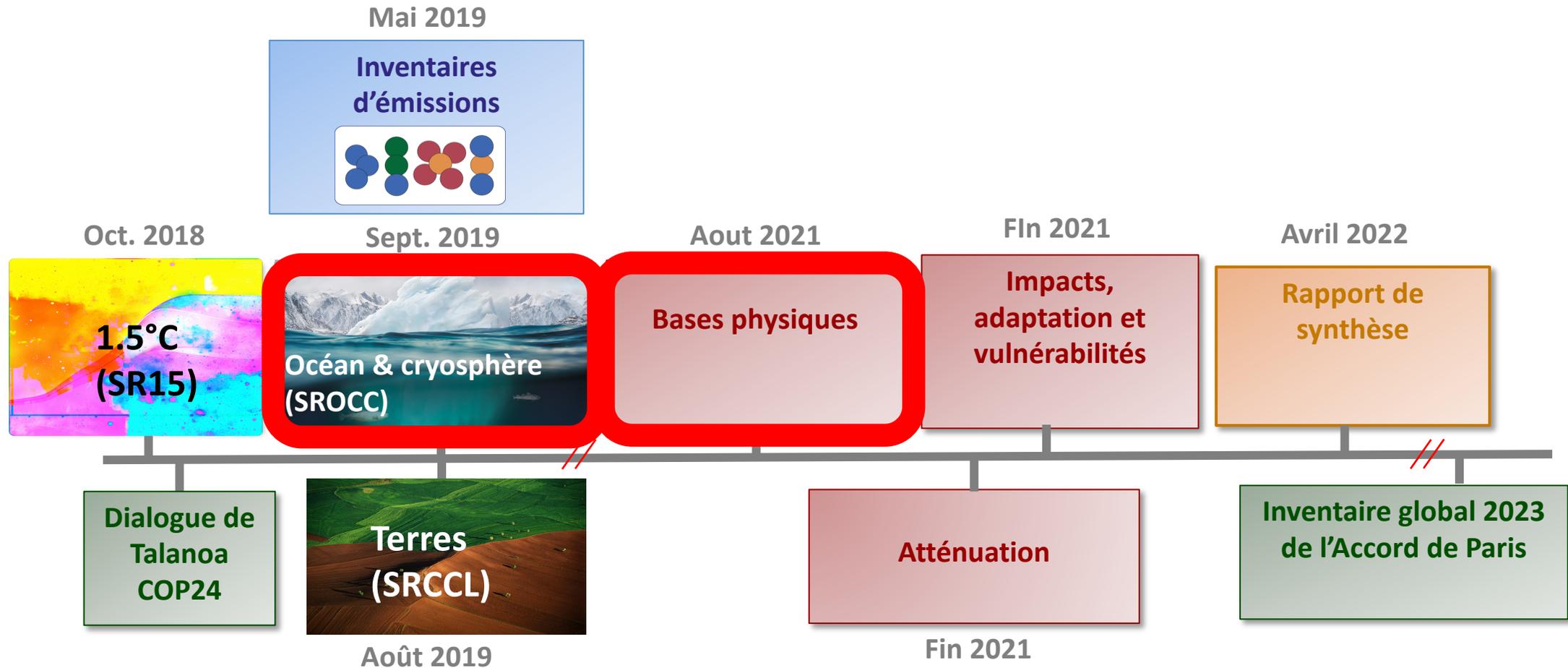
# Qu'est ce que le GIEC ?

- ❖ Le GIEC est une organisation qui a été mise en place en **1988**, à la demande du G7 par :
  - L'organisation météorologique mondiale
  - Le Programme pour l'Environnement des Nations Unies
- ❖ C'est donc une **organisation onusienne** qui émet des rapports d'expertises sur le changement climatique
- ❖ Ce n'est donc pas un laboratoire, il ne fait pas de recherches mais photographie l'état des connaissances à un instant donné

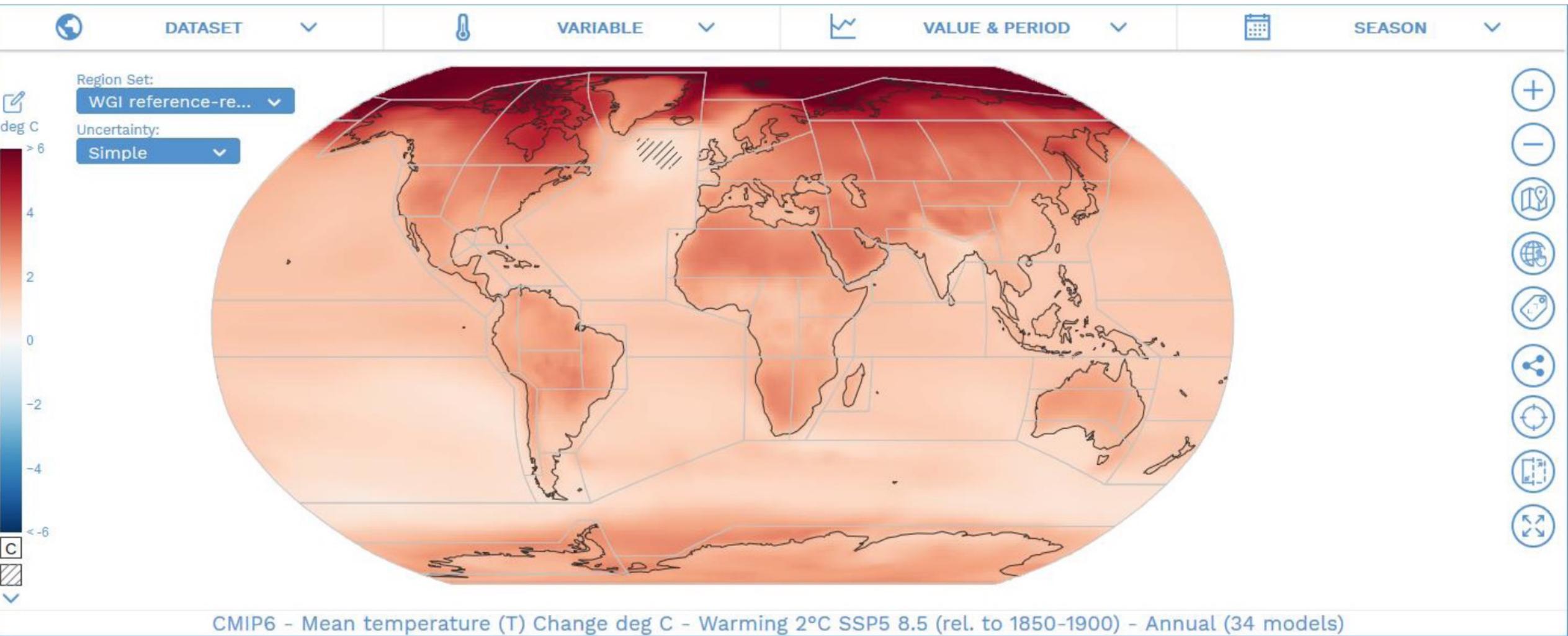
# Hansen 1988 Projections vs. Observations



# Le 6ème cycle d'évaluation du GIEC

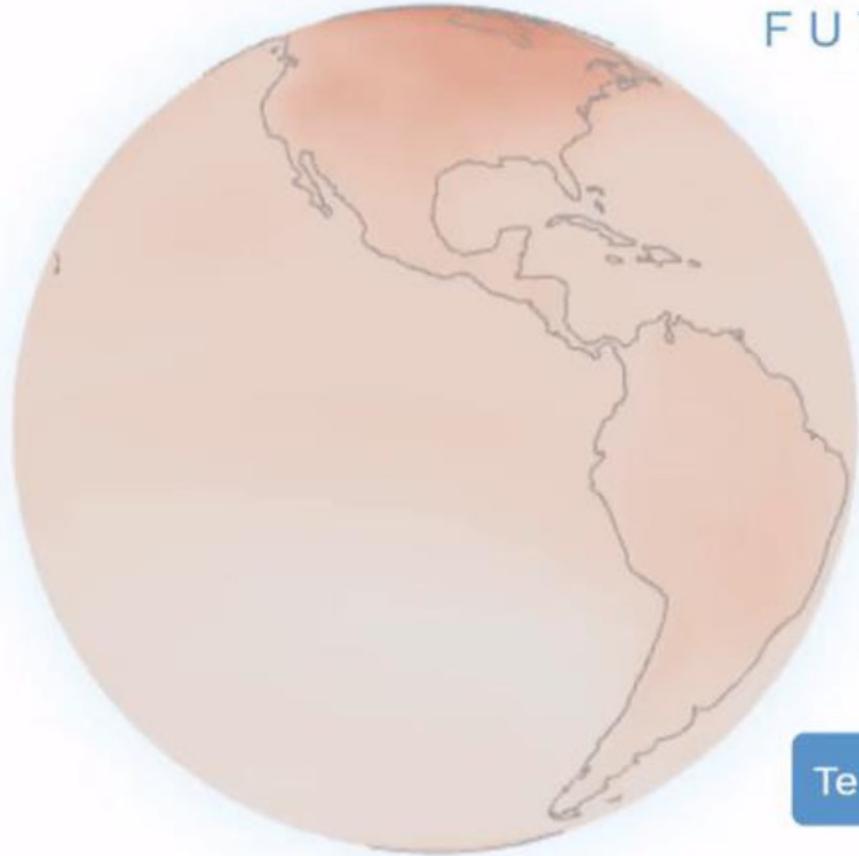


# Atlas interactif en ligne !



# Atlas interactif en ligne !

OUR POSSIBLE  
CLIMATE  
FUTURES



+1.5°C

+2°C

+3°C

+4°C

Temperature

Precipitation

<https://interactive-atlas.ipcc.ch/>

#IPCCData

#IPCCAtlas



# A. Etat actuel du climat

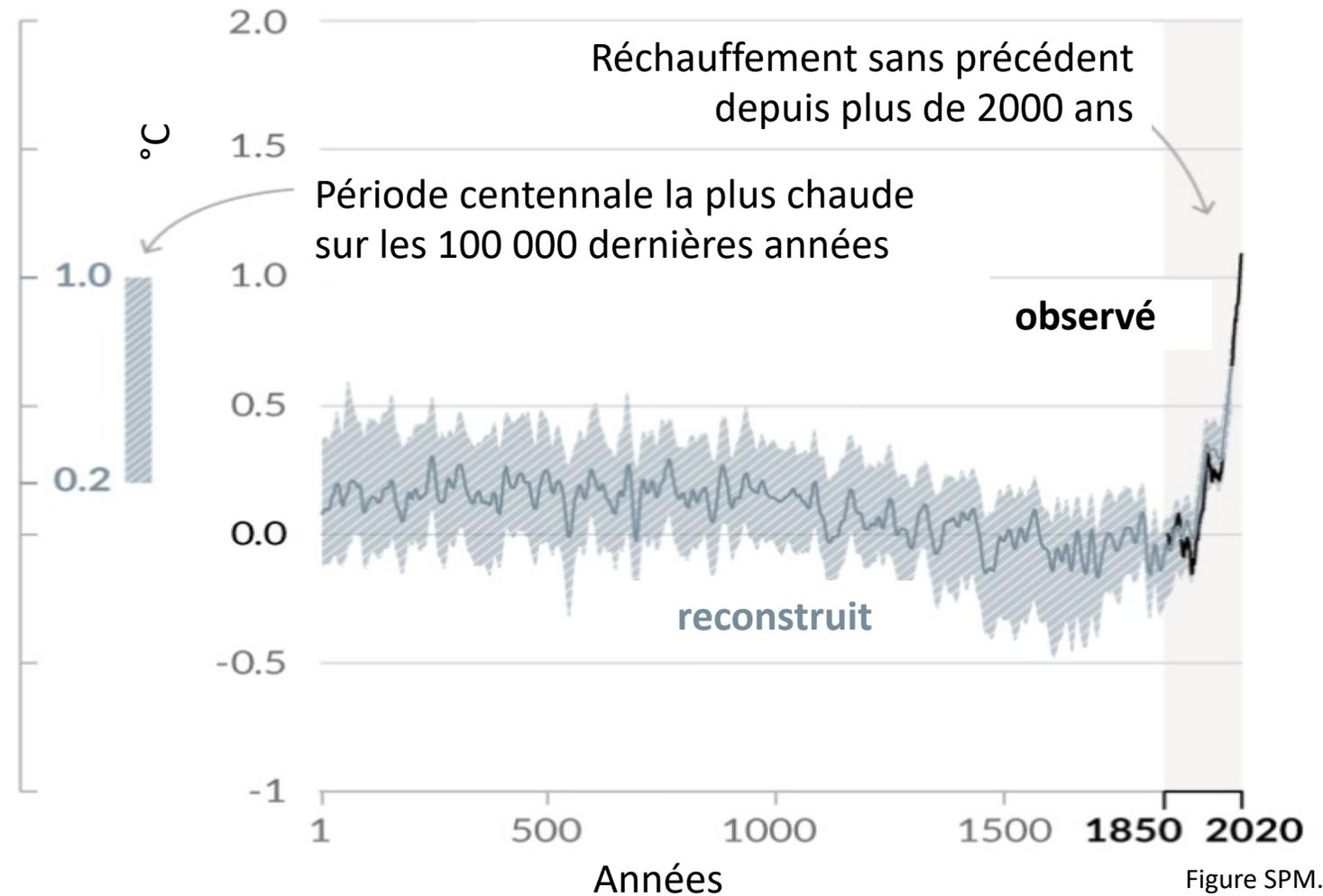
# Un réchauffement sans précédent...



Changement de température globale  
reconstruit (1-2000) et **observé** (1850-2020)

❖ Les changements récents dans le climat sont globaux, rapides et ils s'intensifient

❖ Ils sont sans précédents depuis plusieurs millénaires





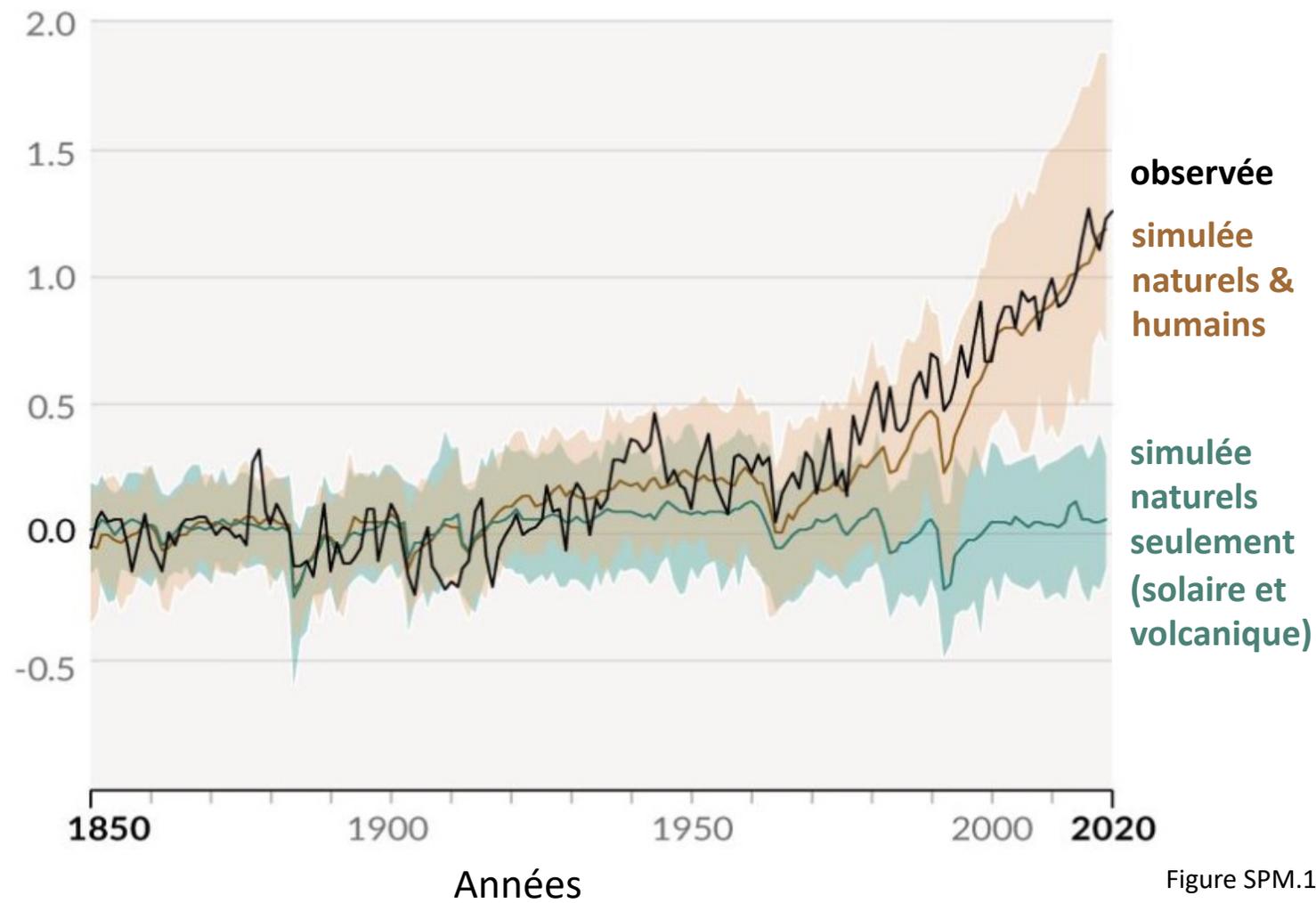
# Un réchauffement indiscutablement anthropique



❖ Il est à présent sans équivoque que le changement climatique est dû aux activités anthropiques

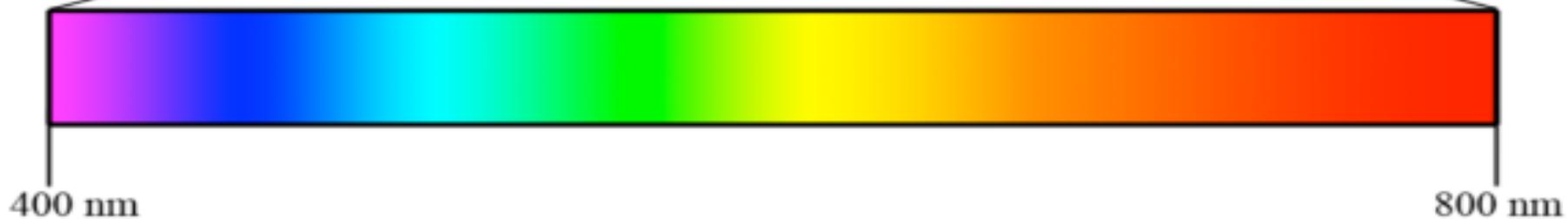
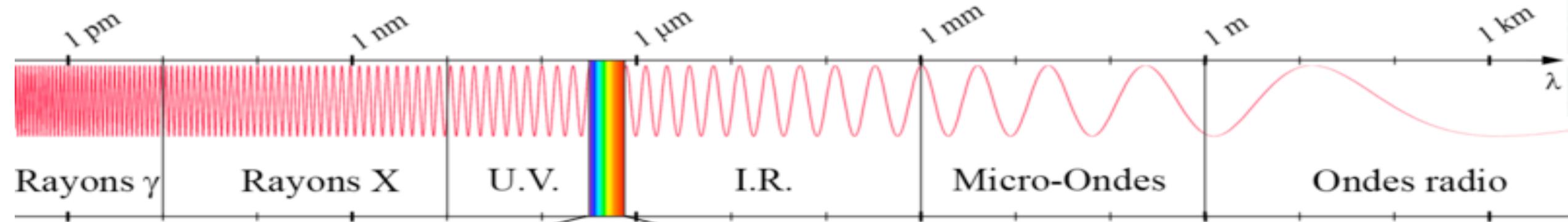
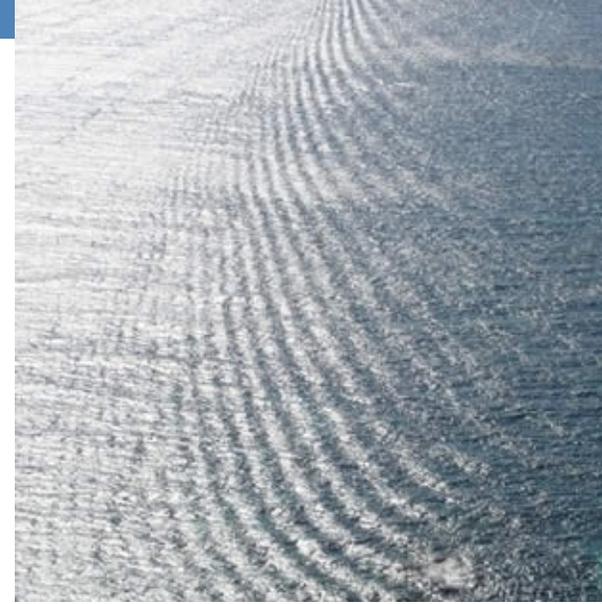
❖ Cet impact rend les événements climatiques extrêmes comme les vagues de chaleur, les précipitations extrêmes, les sécheresses plus fréquentes et plus intenses

Changement de température globale observée et simulée avec les forçages **naturels & humains** ou **seulement naturels**



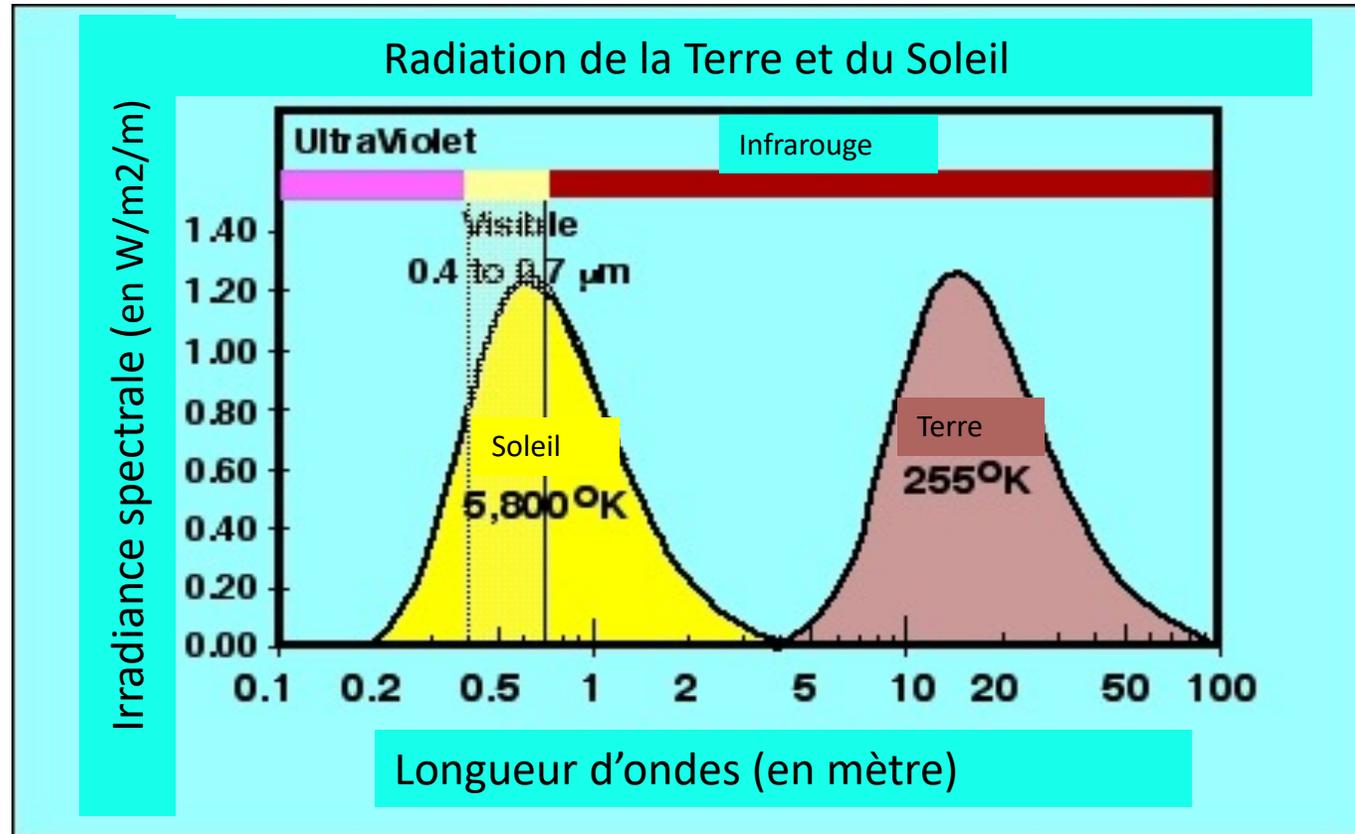
# Qu'est-ce que l'effet de serre ?

Le rayonnement électromagnétique désigne une forme de transfert d'énergie linéaire par une particule ionisante via une onde électromagnétique



# Equilibre radiatif de la Terre

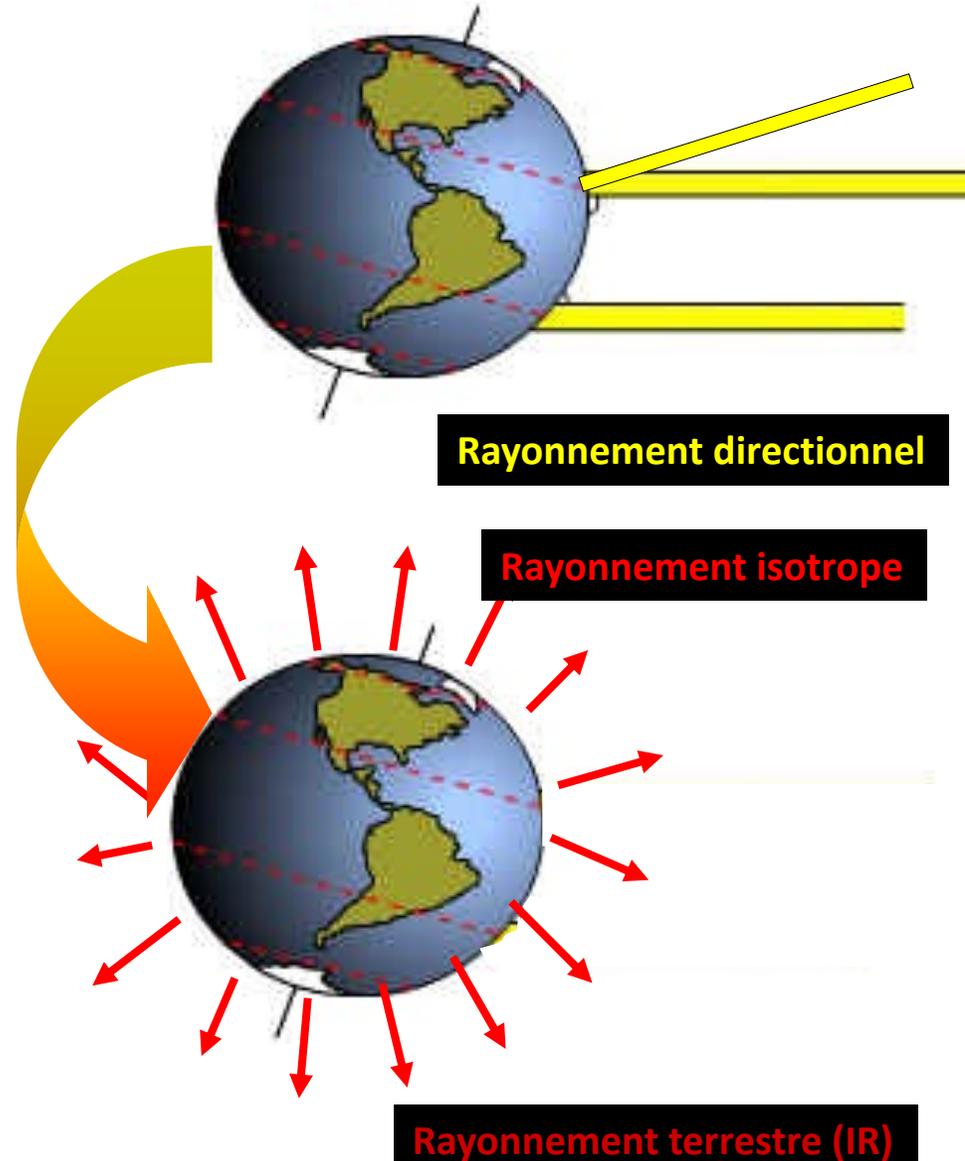
Loi de **Planck** stipule que la distribution de luminance énergétique spectrale du rayonnement thermique du corps noir est fonction de sa température



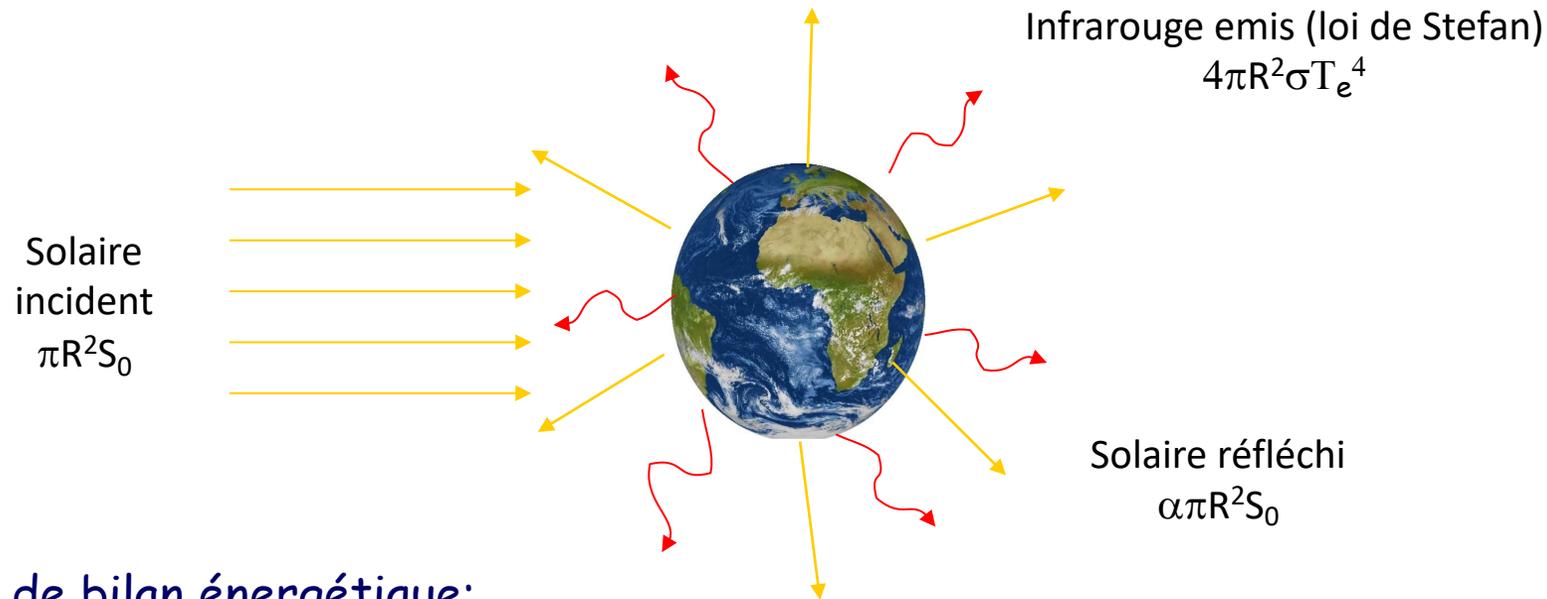
Loi de **Stefan-Boltzmann** stipule le flux d'énergie émit par un corps noir est lié à sa température à la puissance 4.

$$F = \sigma T^4$$

# Equilibre radiatif de la Terre



# Un modèle simple de Terre



Modèle de bilan énergétique:

$$S_0 (1 - \alpha) \pi R^2 = 4\pi R^2 \sigma T_e^4$$

$$S_0 (1 - \alpha) / 4 = \sigma T_e^4$$

Avec  $S_0 = 1370 \text{ W/m}^2$

$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$

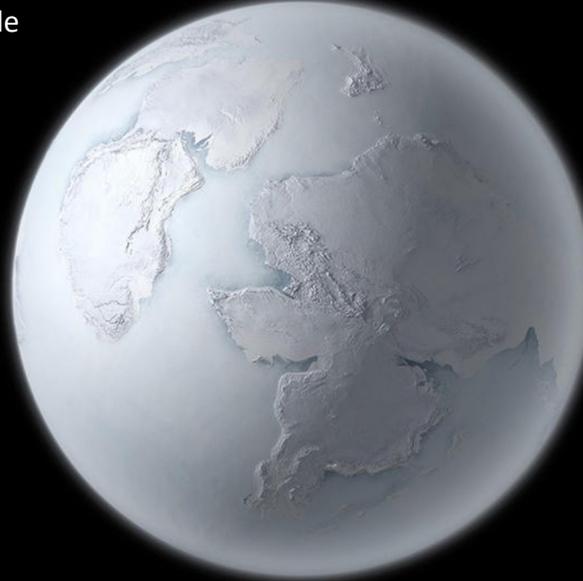
→  $T_e = 255\text{K}$

Effet de serre:

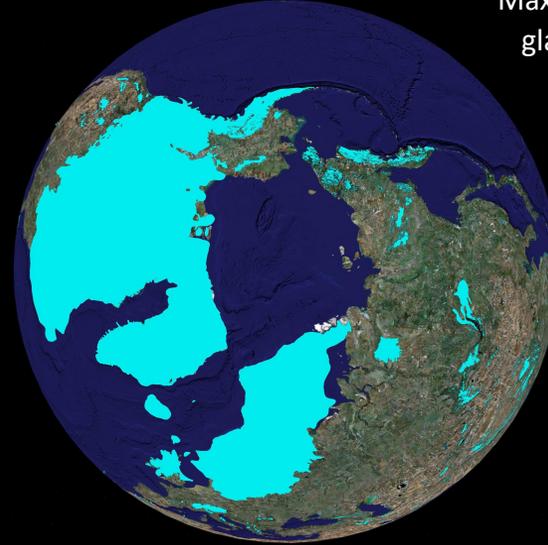
$T_s = 288\text{K}$

# Plusieurs états stables du climat planétaire

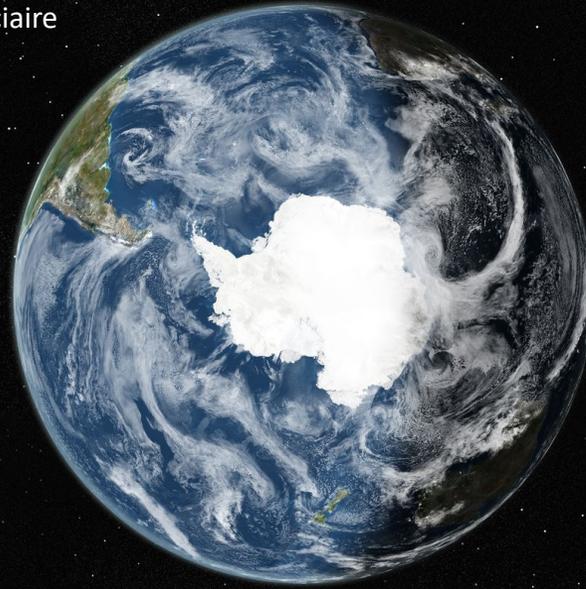
Boule de neige



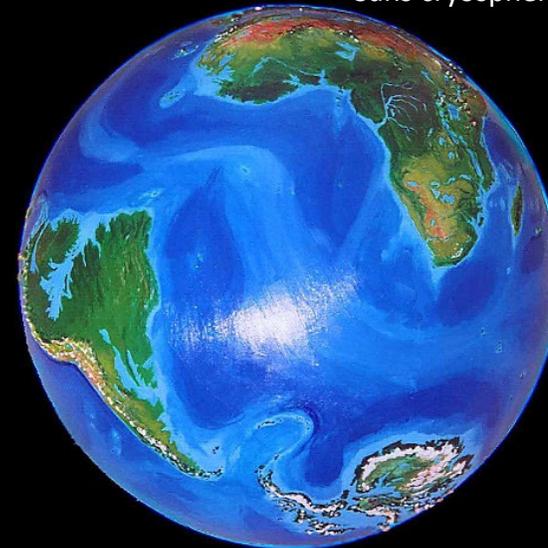
Maximum glaciaire



Interglaciaire



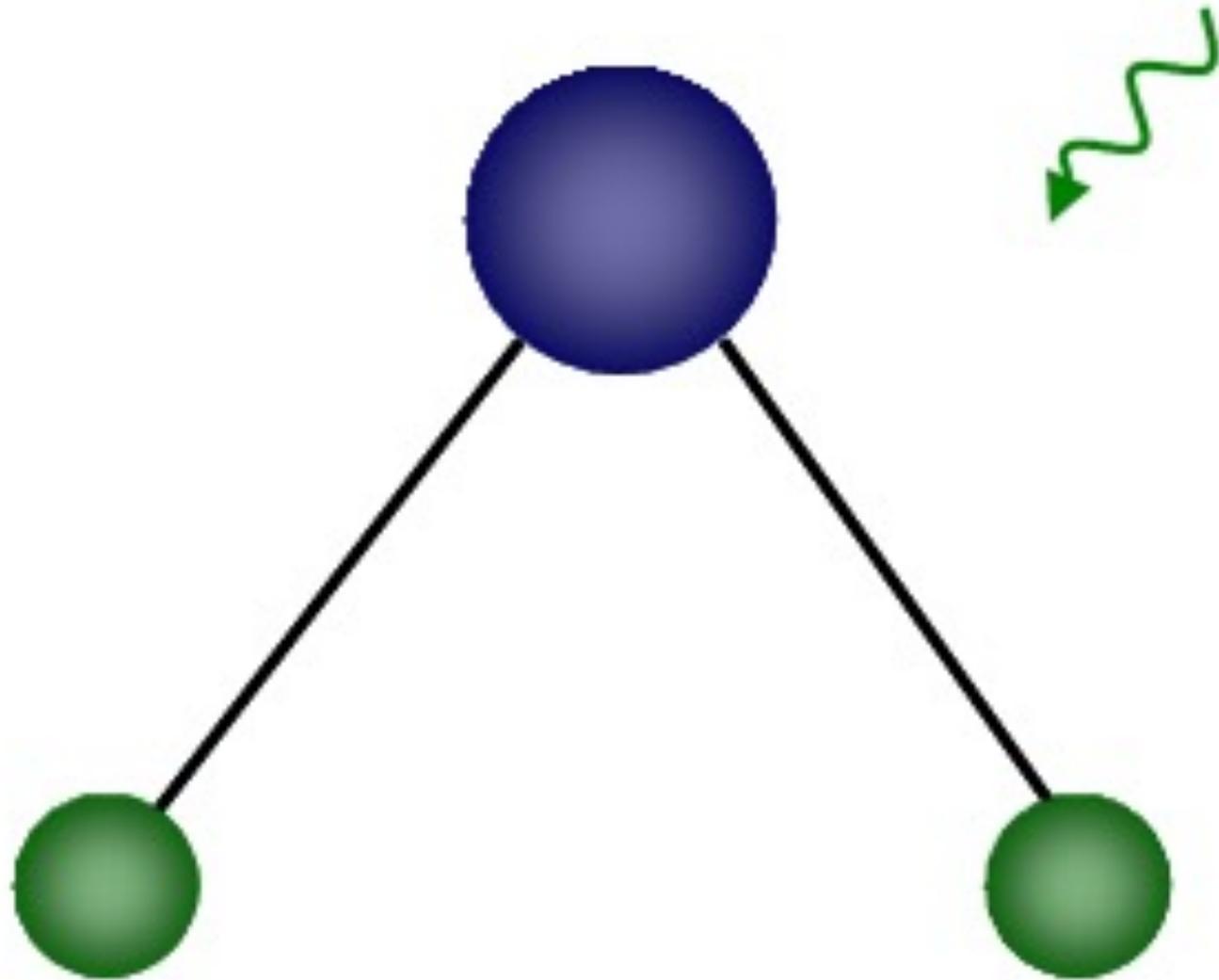
Sans cryosphère



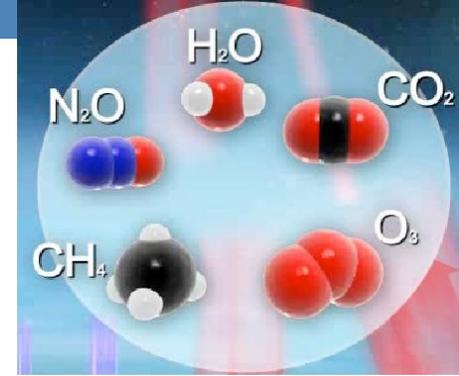
# Histoire de l'effet de serre

- **1780** : **Horace-Bénédict de Saussure** mesure les effets thermiques du rayonnement solaire
- **1824** : **Joseph Fourier** note que « la température du sol est augmentée par l'interposition de l'atmosphère, parce que la chaleur solaire trouve moins d'obstacles pour pénétrer l'air, étant à l'état de lumière, qu'elle n'en trouve pour repasser dans l'air lorsqu'elle est convertie en chaleur obscure »
- **1861** : **John Tyndall** identifie les principaux responsables de ce mécanisme : la vapeur d'eau et le dioxyde de carbone.
- **1896** : **Svante August Arrhenius** propose la première estimation de l'impact du niveau de dioxyde de carbone sur les températures terrestres. Il estime qu'un doublement de la quantité de dioxyde de carbone devrait augmenter de 4° la température moyenne

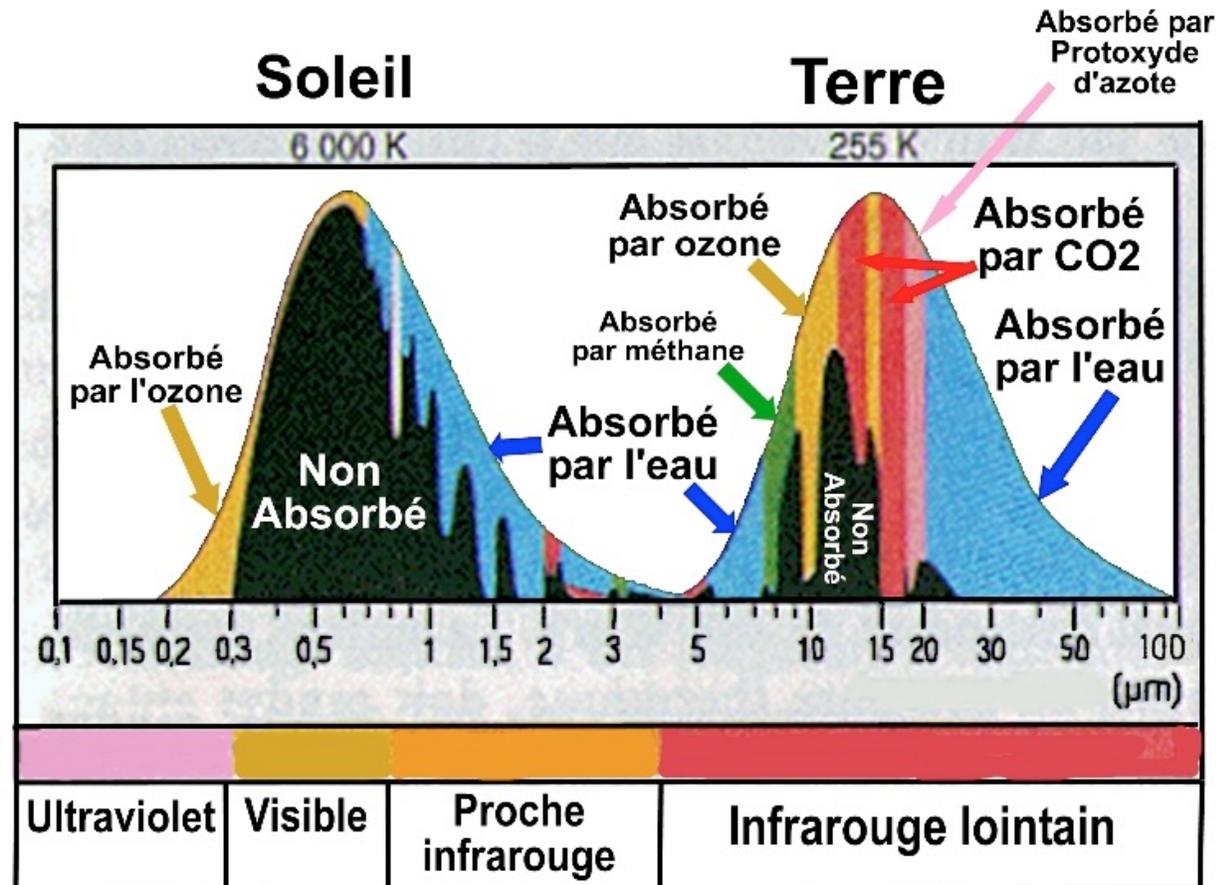
# Principe de l'effet de serre



# Gaz à effet de serre



## Spectre d'absorption du rayonnement thermique

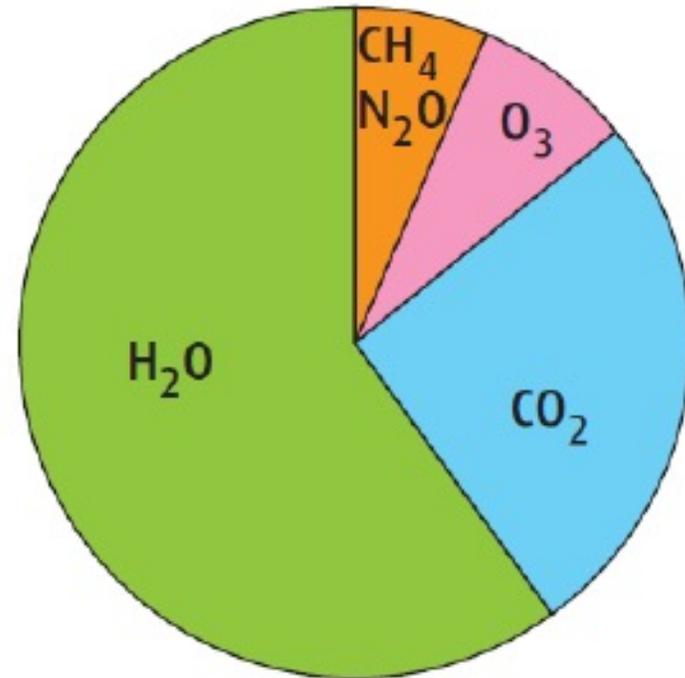


Sources : Sadourny, Jancovici

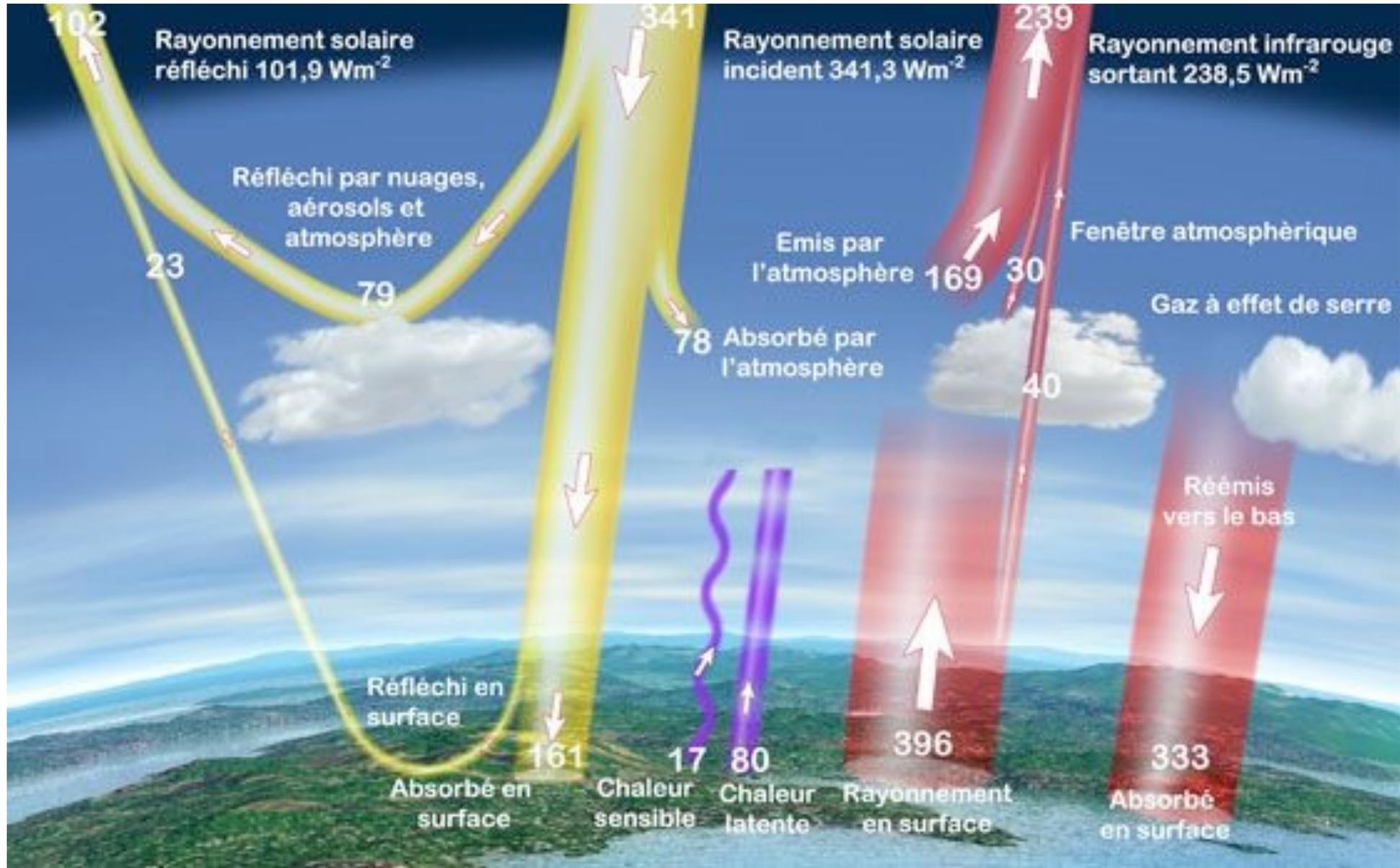
# Principaux gaz à effet de serre

## Effet de serre ciel clair

	(W.m <sup>-2</sup> )	(%)
Vapeur d'eau	75	60 %
CO <sub>2</sub>	32	26 %
Ozone	10	8 %
N <sub>2</sub> O + CH <sub>4</sub>	8	6 %
Total ciel clair	125	100 %



# Bilan radiatif "réel"



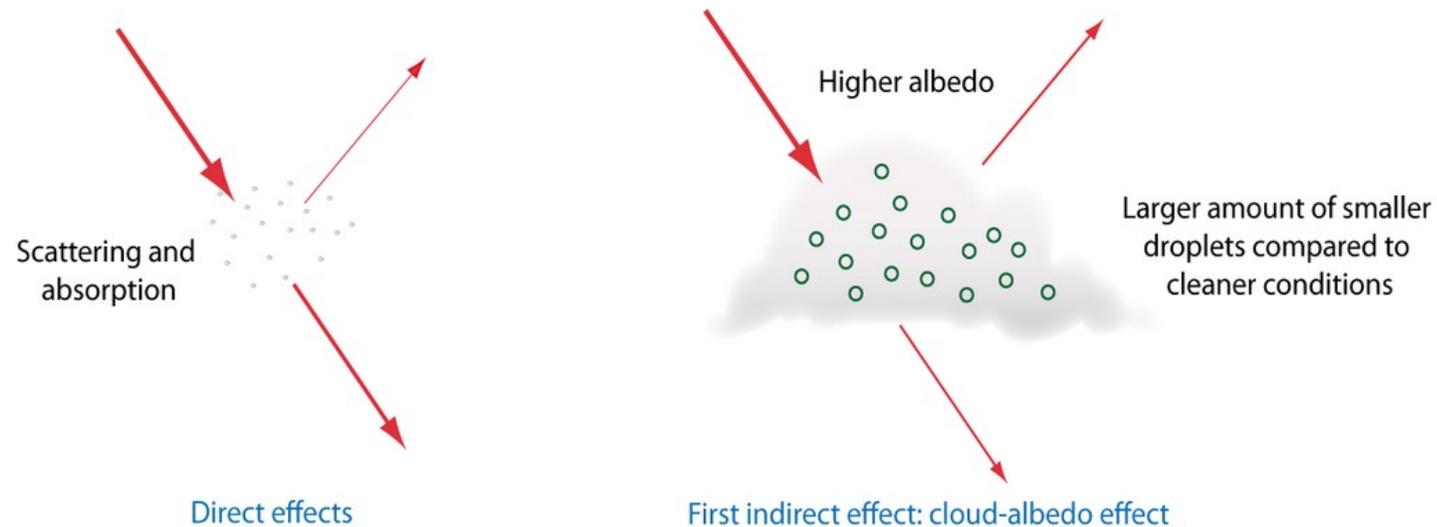
# Différents forçages climatiques

Volcans,  
aerosols,



# L'effet particulier des aérosols

- ▶ Effet *direct* : diffusion (−) & absorption (+) du rayonnement solaire. Signe dépend du type d'aérosol, mais dans l'ensemble, forçage (−).
- ▶ 1<sup>er</sup> effet *indirect* : noyaux de condensation pour nuages (−).

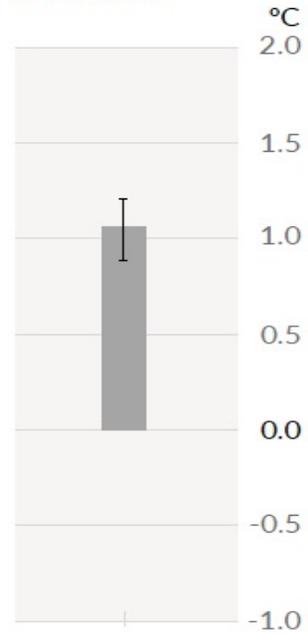


Source : Goosse et al. [online](#) textbook.

# Observed warming is driven by emissions from human activities, with greenhouse gas warming partly masked by aerosol cooling

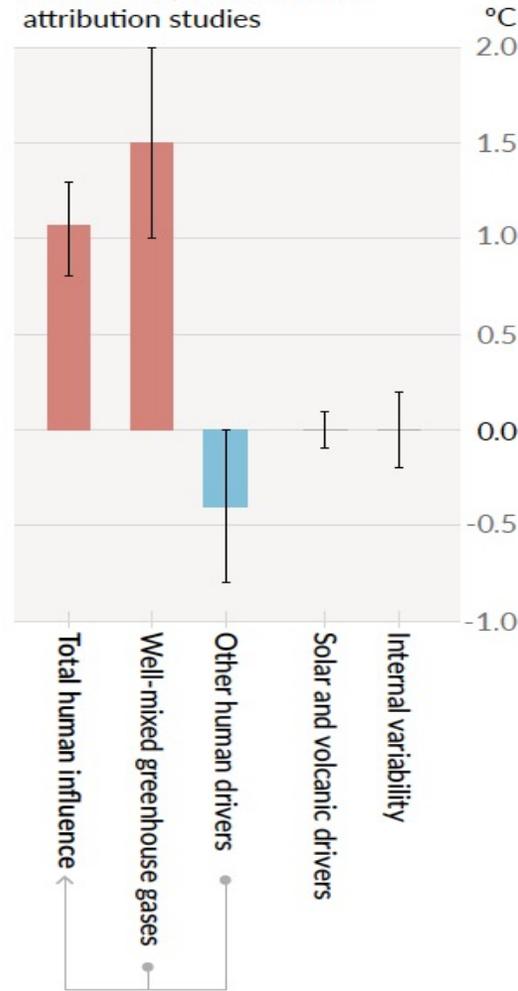
## Observed warming

a) Observed warming 2010-2019 relative to 1850-1900

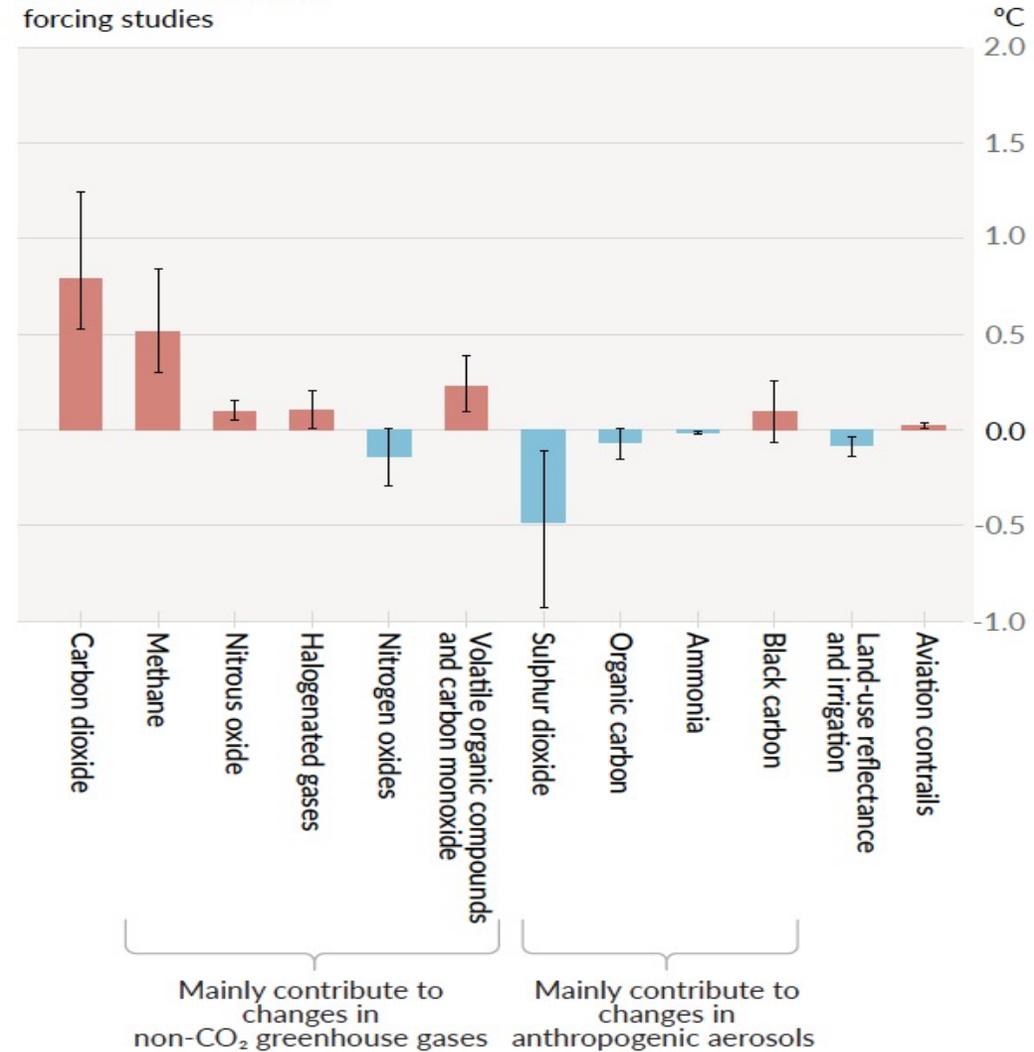


## Contributions to warming based on two complementary approaches

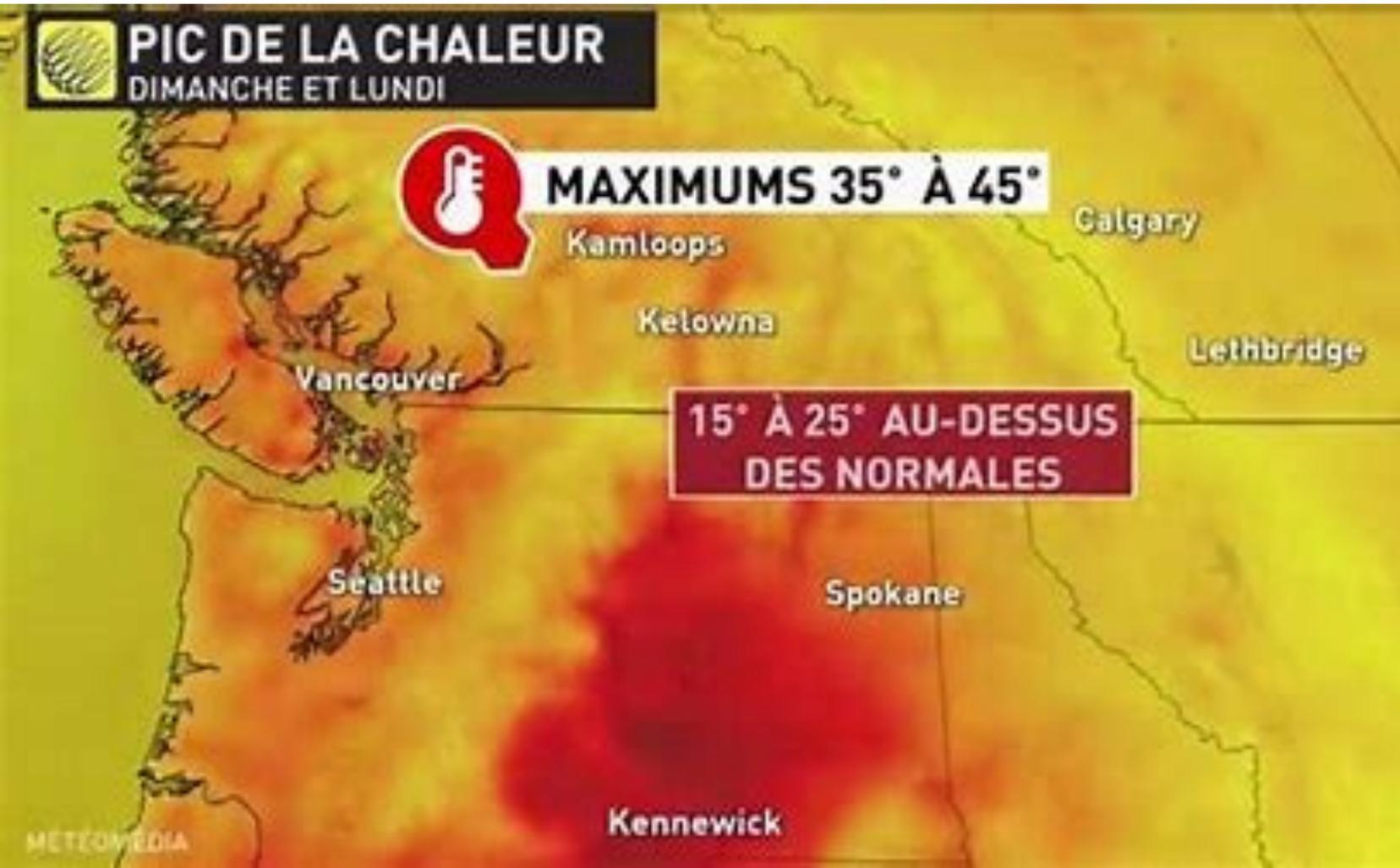
b) Aggregated contributions to 2010-2019 warming relative to 1850-1900, assessed from attribution studies



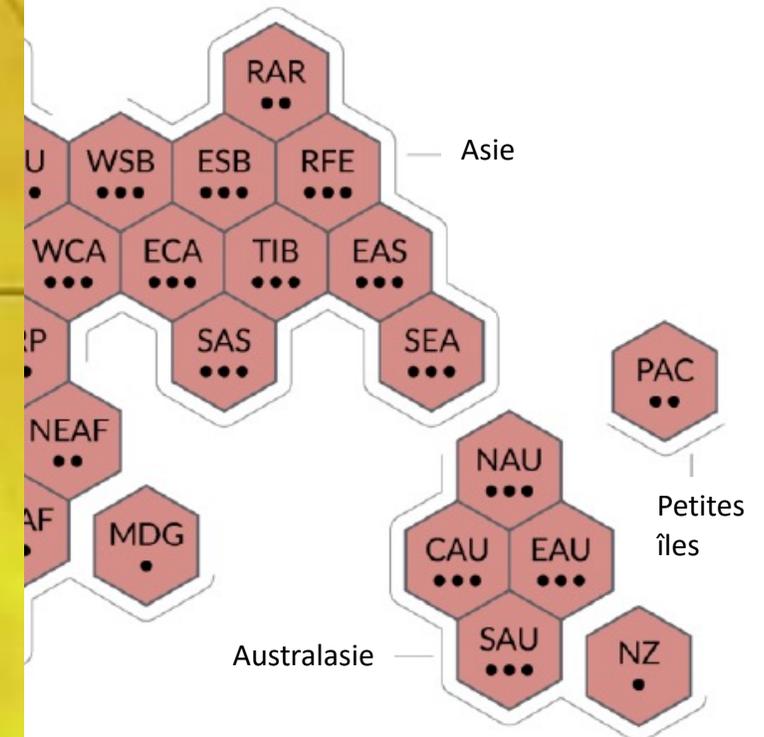
c) Contributions to 2010-2019 warming relative to 1850-1900, assessed from radiative forcing studies



- Le changement climatique affecte déjà chaque région habitée du globe
- L'influence anthropique contribue à de nombreux changements de météo et d'extrêmes



s extrêmes chauds et niveau de  
angements observés



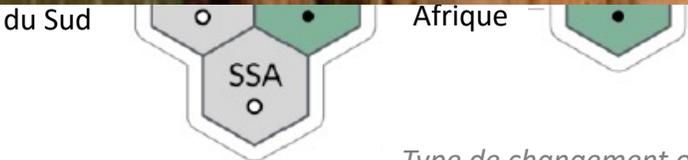
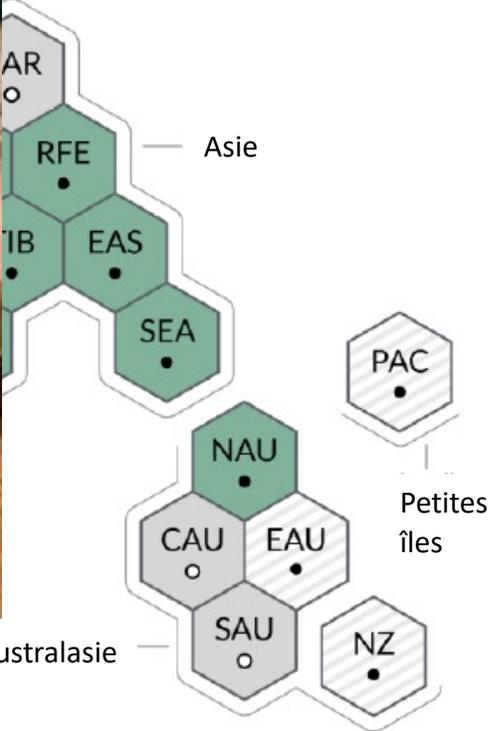
observé depuis 1950

Figure SPM.3

- Le changement climatique affecte déjà chaque région habitée du globe
- L'influence anthropique contribue à de nombreux changements de météo et



Synthèse des changements observés dans les précipitations extrêmes et changements observés



limités  
nités

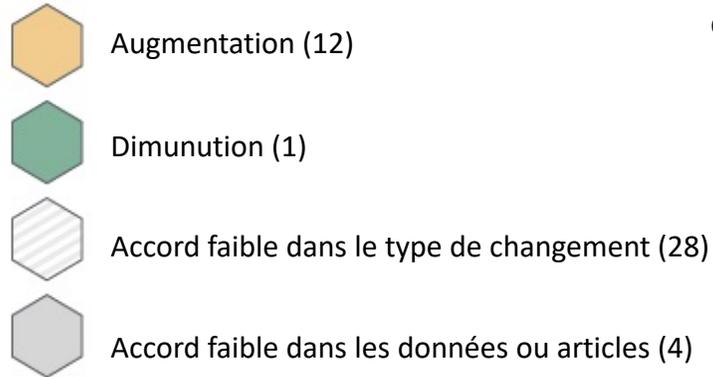
Type de changement observé depuis 1950

Figure SPM.3

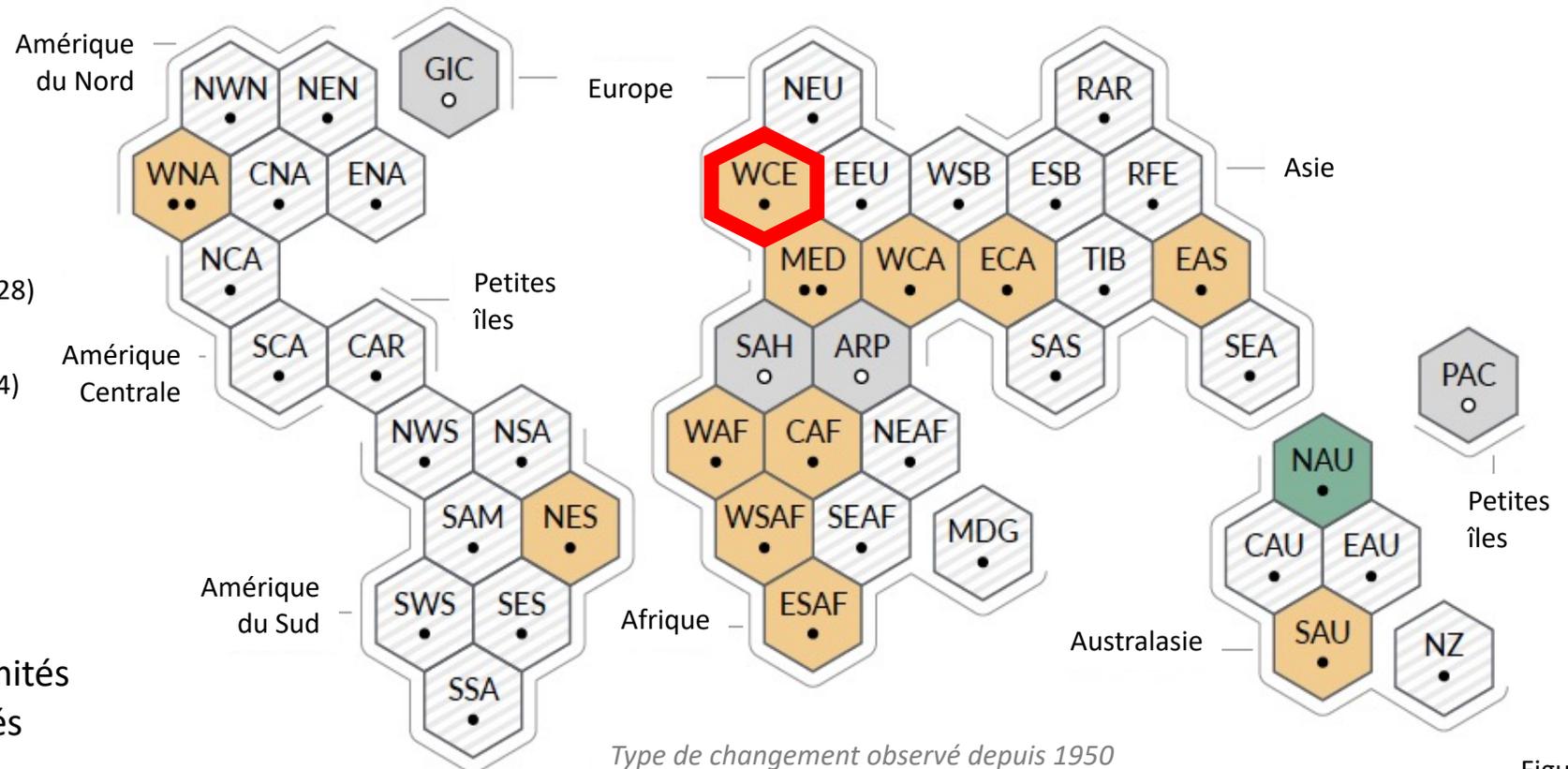
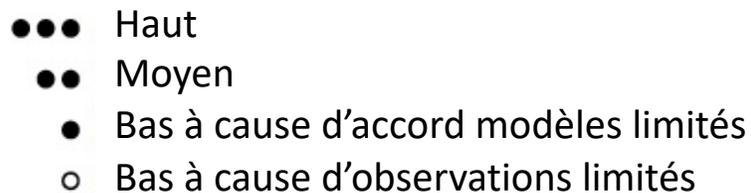
- Le changement climatique affecte déjà chaque région habitée du globe
- L'influence anthropique contribue à de nombreux changements de météo et d'extrêmes

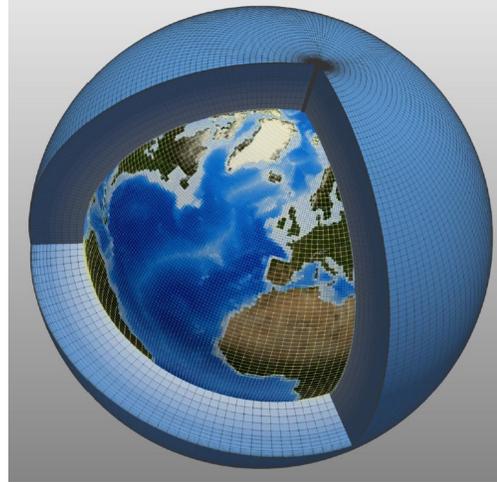
Synthèse des changements observés pour les sécheresses et niveau de confiance de la contribution humaine aux changements observés

Type des changements observés dans les **sécheresses**

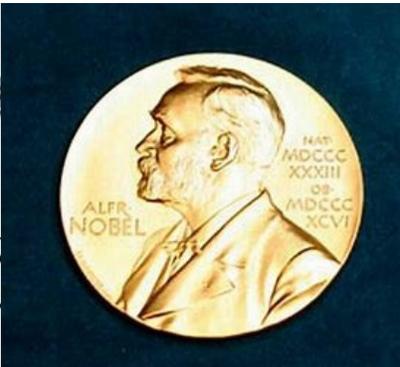
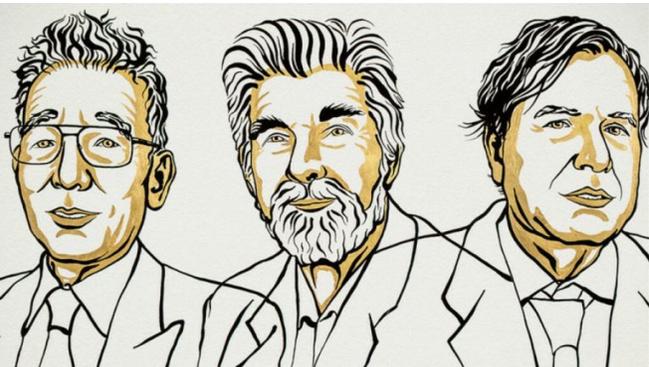


Confiance dans la contribution anthropique aux changements observés



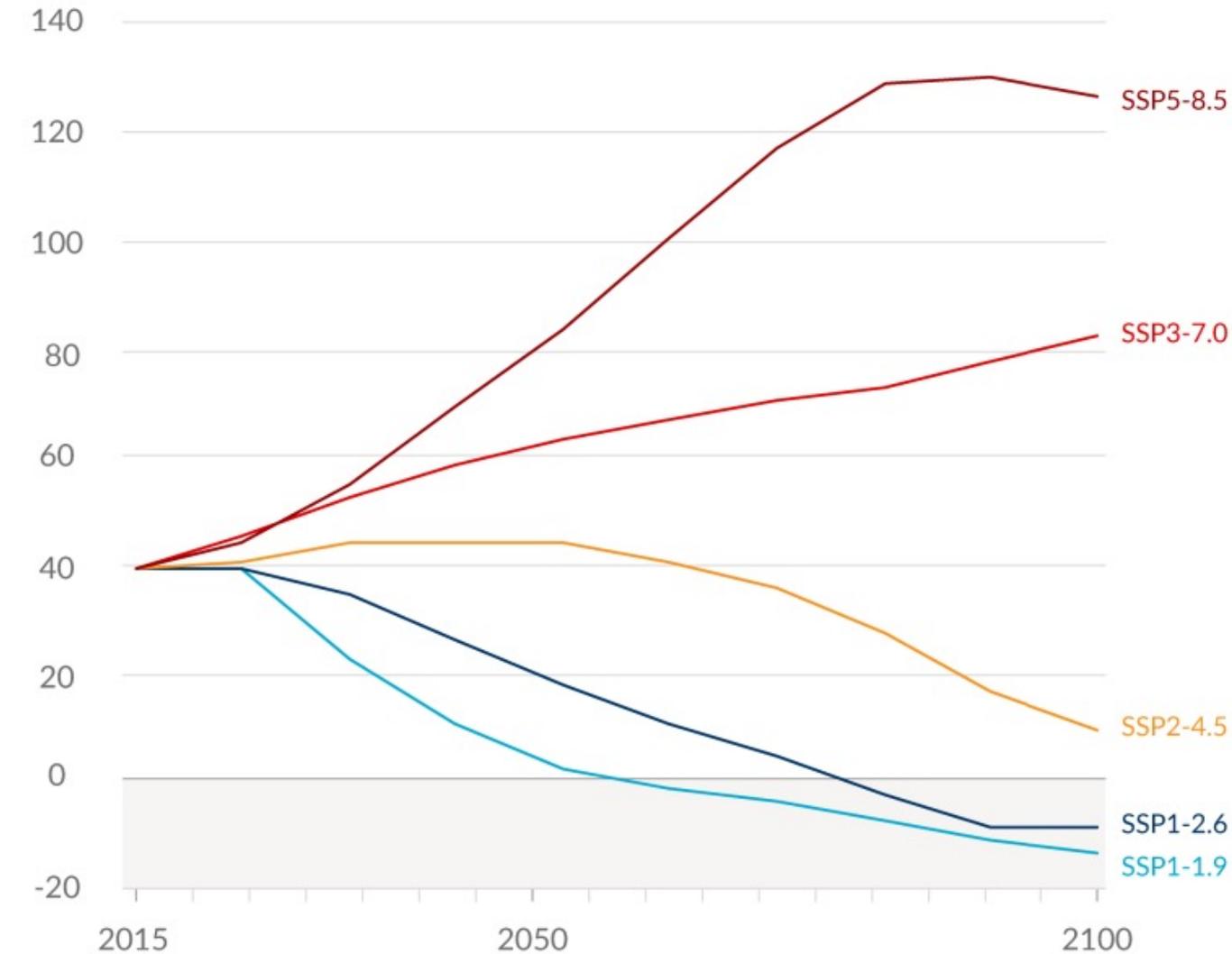


# B. Futurs possibles

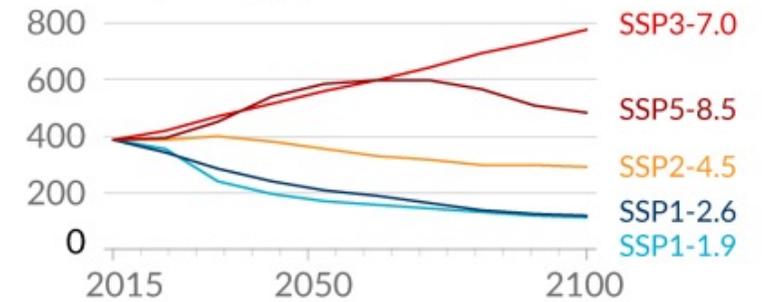


# Cinq scénarios futurs d'émission de CO<sub>2</sub> et autres gaz clefs

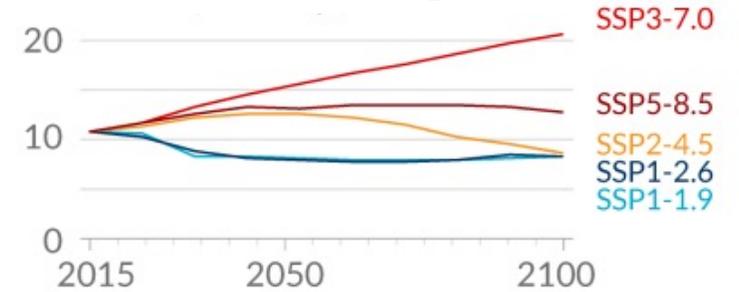
Dioxyde de carbone (GtCO<sub>2</sub>/an)



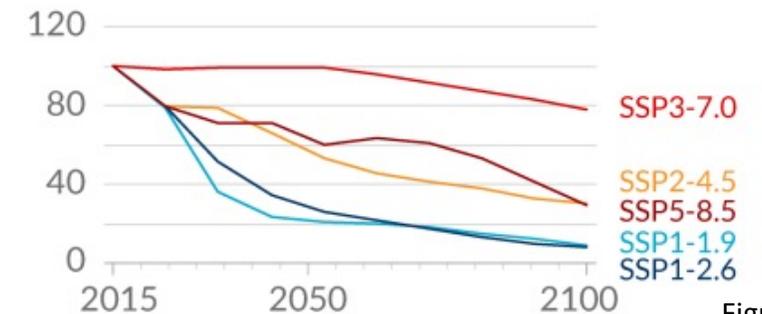
Méthane (GtCH<sub>4</sub>/an)



Protoxyde d'azote (GtN<sub>2</sub>O/an)

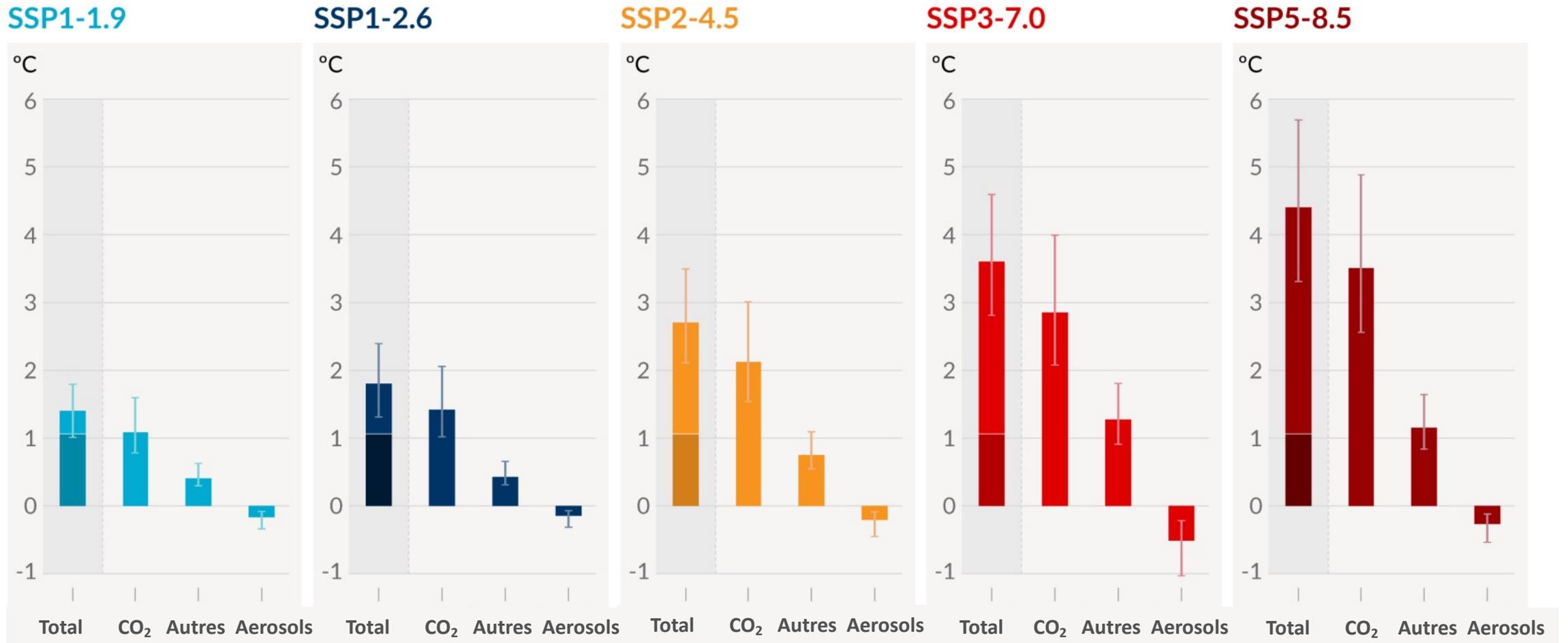


Pollution liée aux aérosols (MtSO<sub>2</sub>/an)



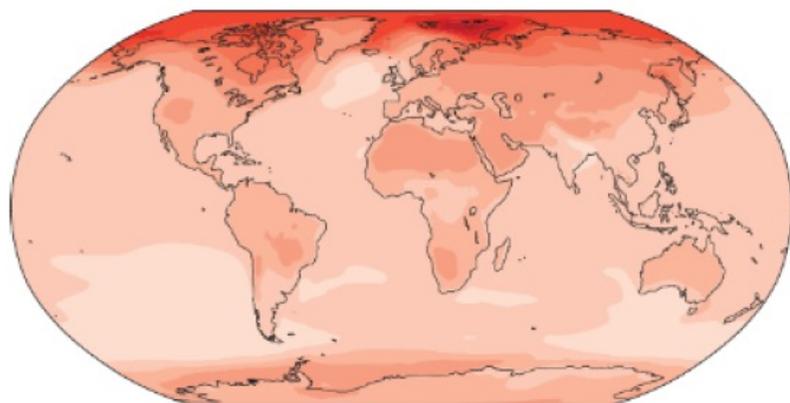
# Les impacts des émissions futures sont dominés par le CO<sub>2</sub>

Changement de température globale en 2081-2100 par rapport à 1850-1900 (en °C)

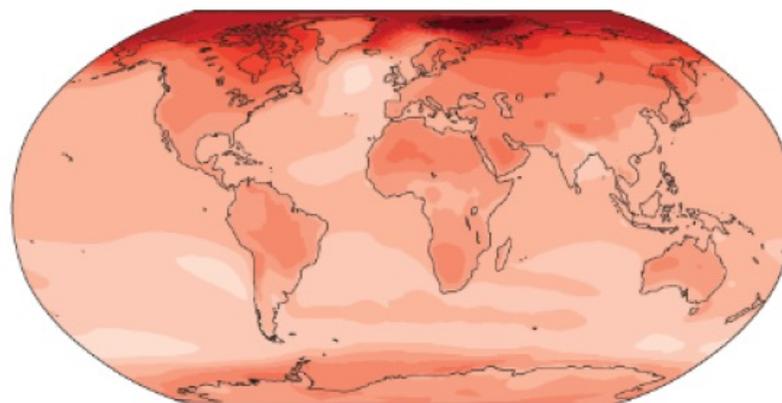


# Chaque $\frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$ de plus en température globale amène plus d'extrêmes de température, précipitations et sécheresses

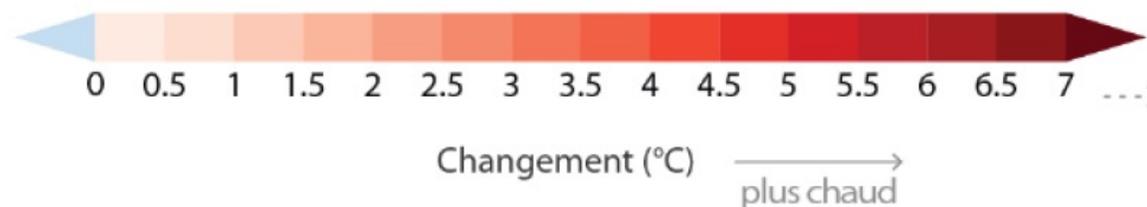
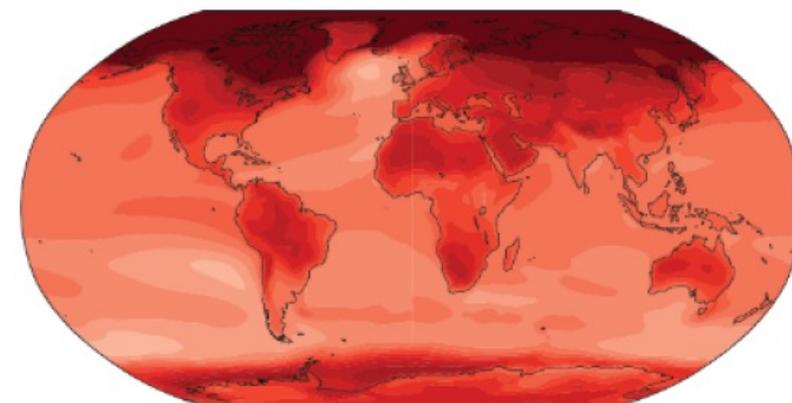
Changement simulé pour un réchauffement mondial de  $1.5^{\circ}\text{C}$



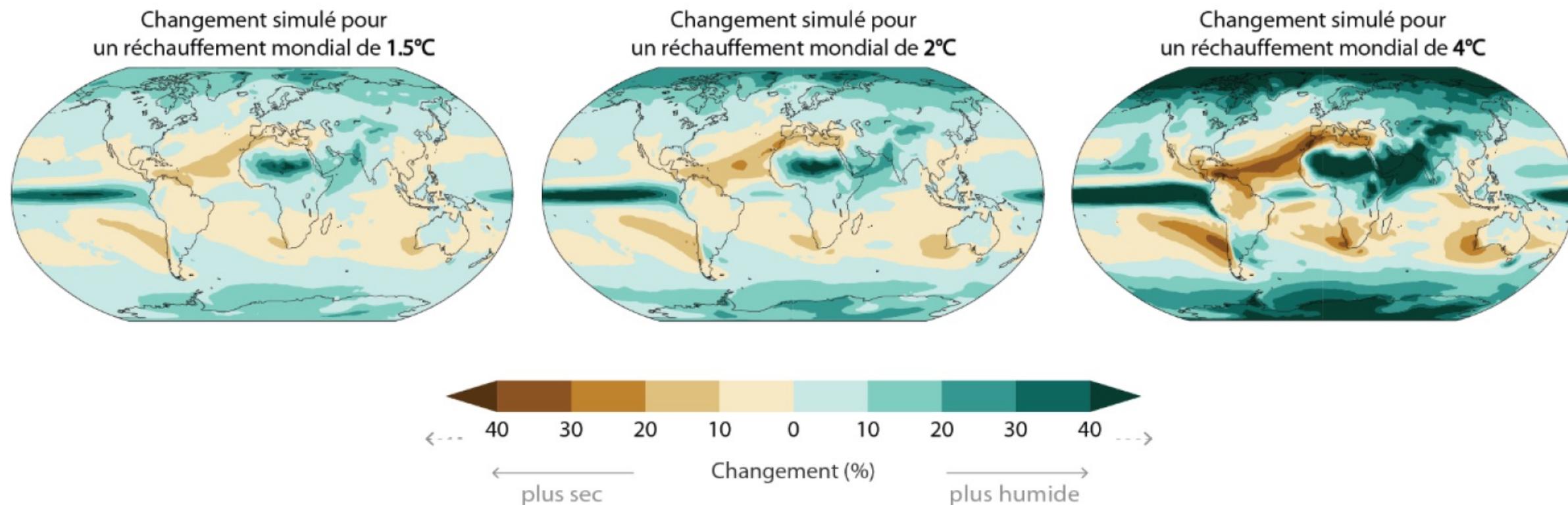
Changement simulé pour un réchauffement mondial de  $2^{\circ}\text{C}$



Changement simulé pour un réchauffement mondial de  $4^{\circ}\text{C}$



# Chaque ½°C de plus en température globale amène plus d'extrêmes de température, précipitations et sécheresses

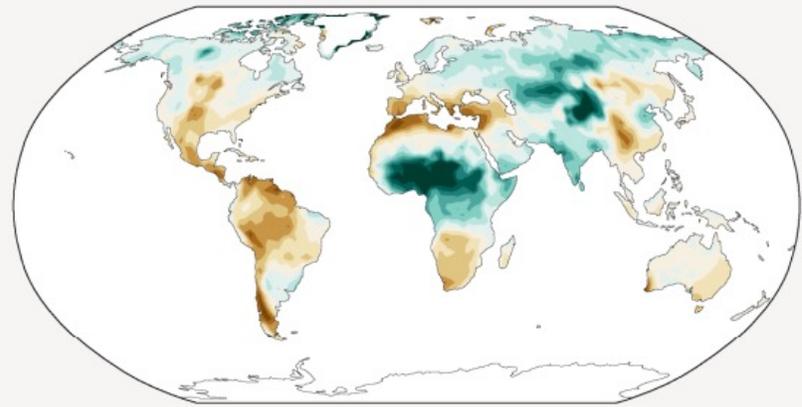


# Chaque ½°C d'incrément au changement global amène plus d'extrêmes de températures, précipitations et humidité des sols

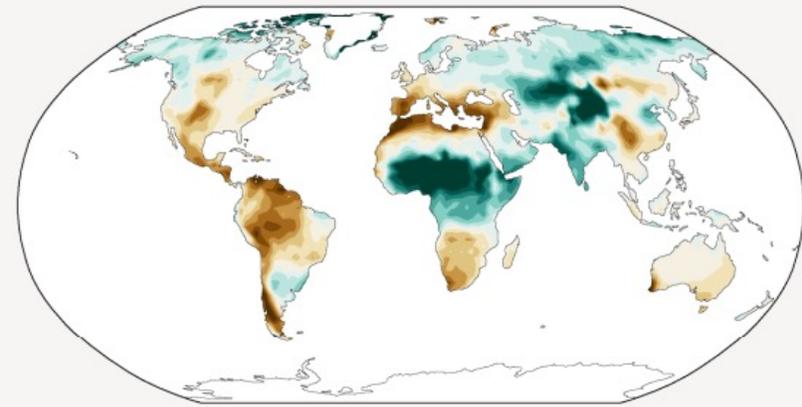
d) Annual mean total column soil moisture change (standard deviation)

Across warming levels, changes in soil moisture largely follow changes in precipitation but also show some differences due to the influence of evapotranspiration.

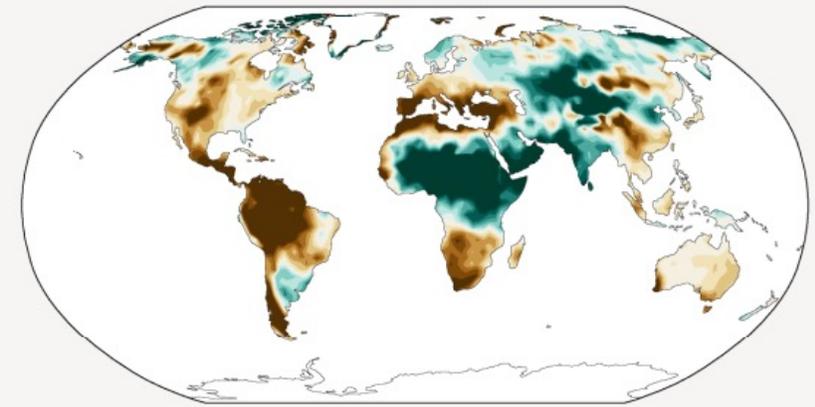
Simulated change at 1.5 °C global warming



Simulated change at 2 °C global warming



Simulated change at 4 °C global warming

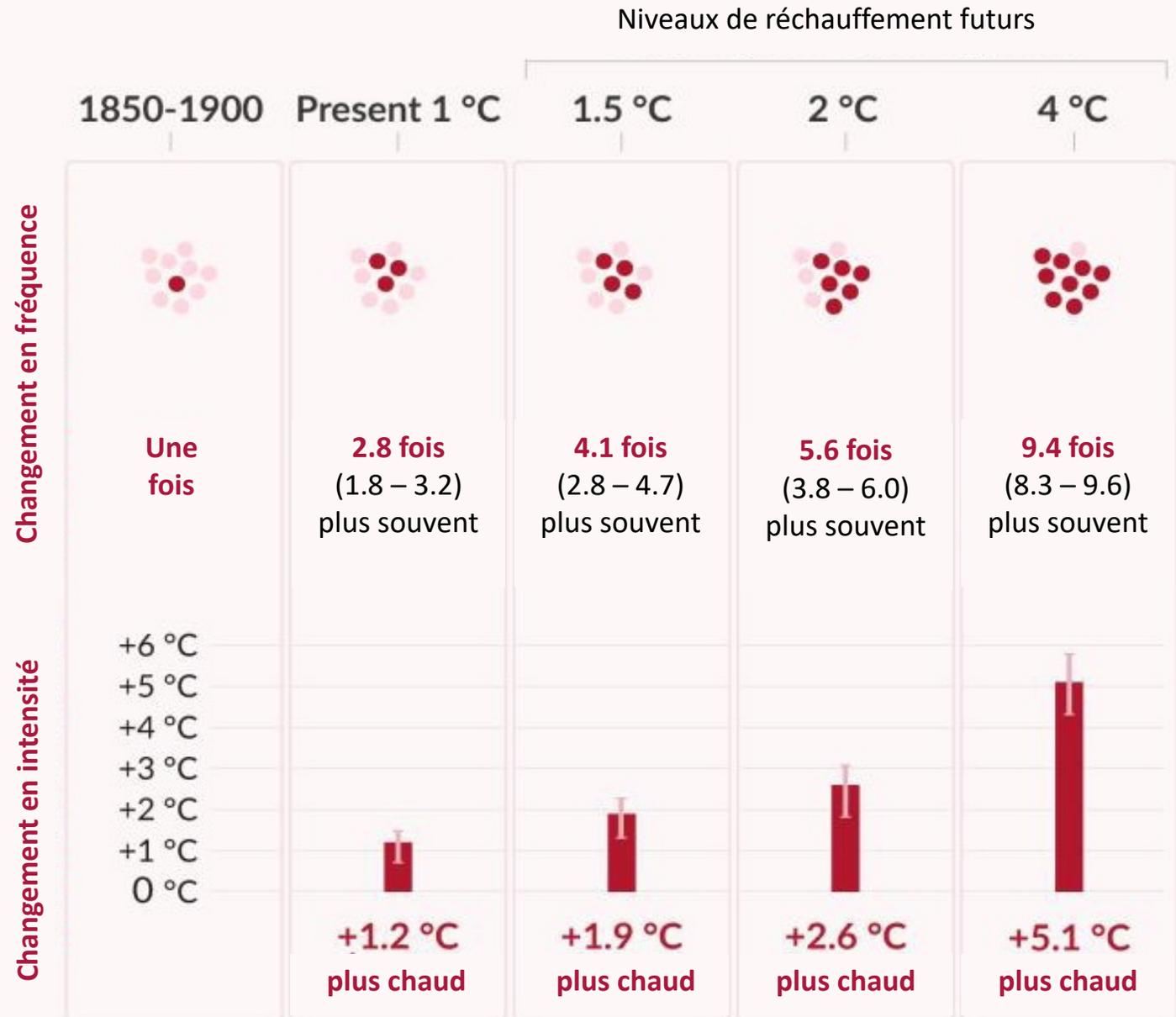


Relatively small absolute changes may appear large when expressed in units of standard deviation in dry regions with little interannual variability in baseline conditions



# Changement d'extrêmes

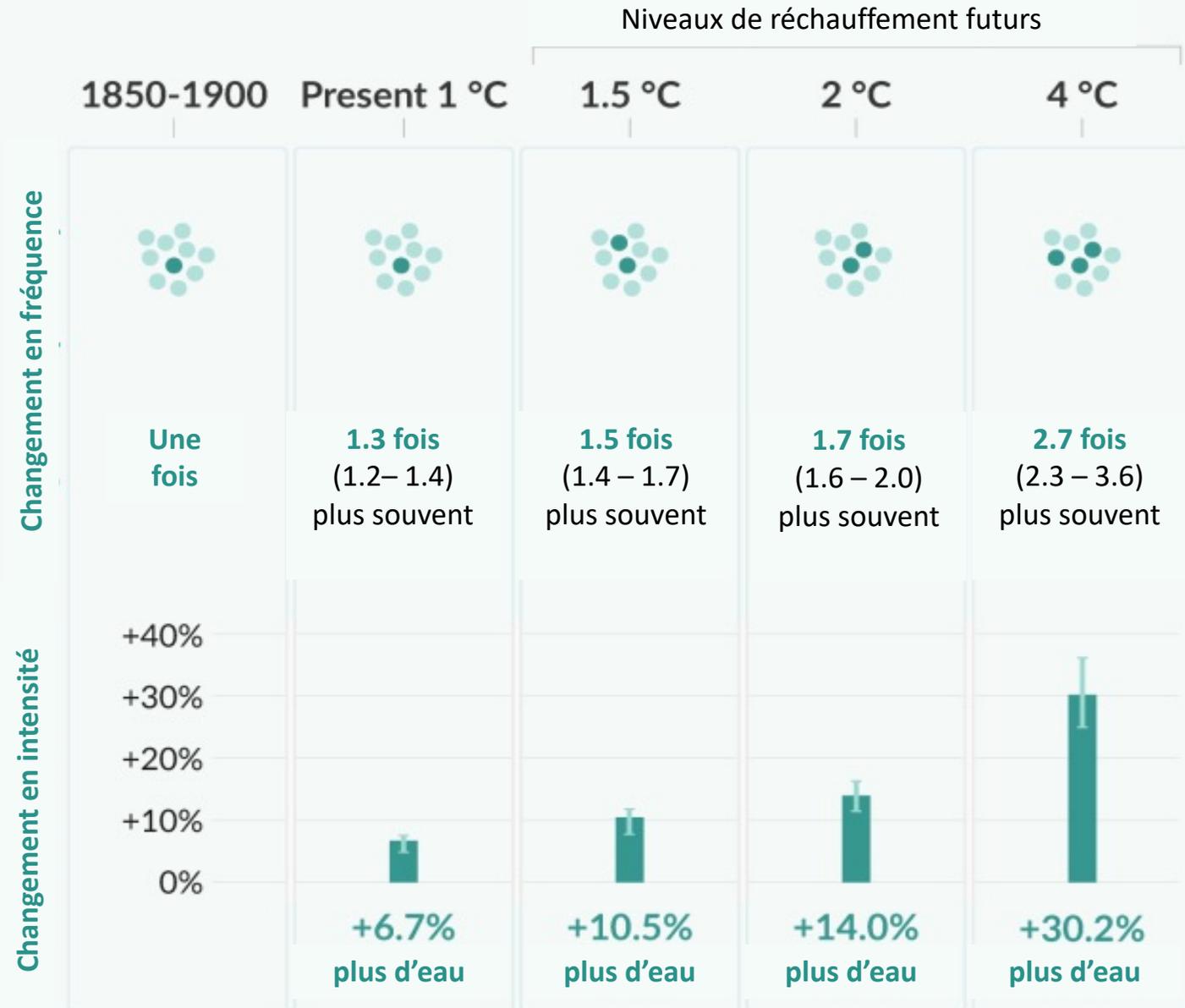
Changement **d'extrêmes de température** ayant lieux tous les 10 ans dans un climat pré-industriel



# Changement d'extrêmes



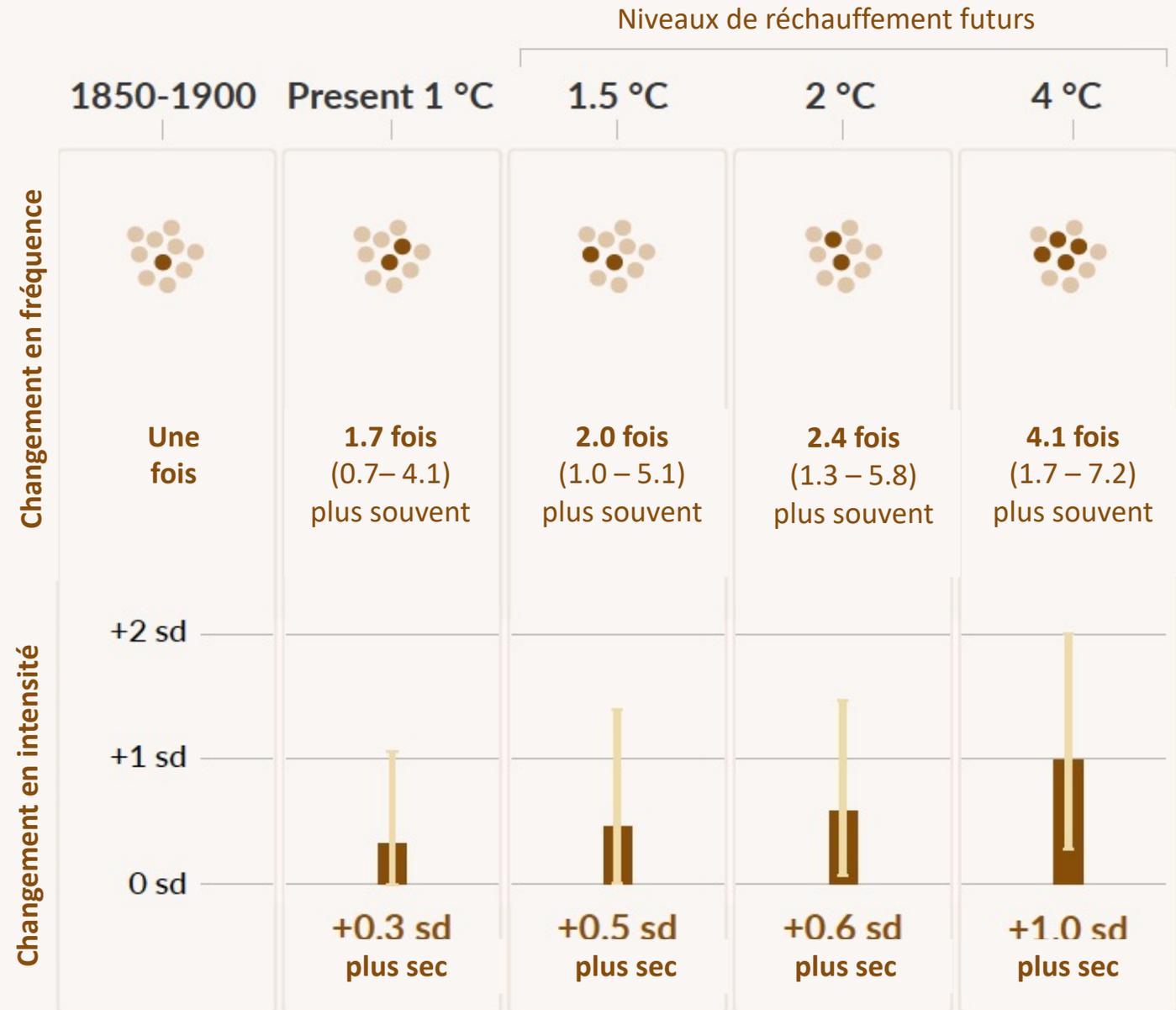
Changement d'extrêmes de précipitation ayant lieu tous les 10 ans dans un climat pré-industriel



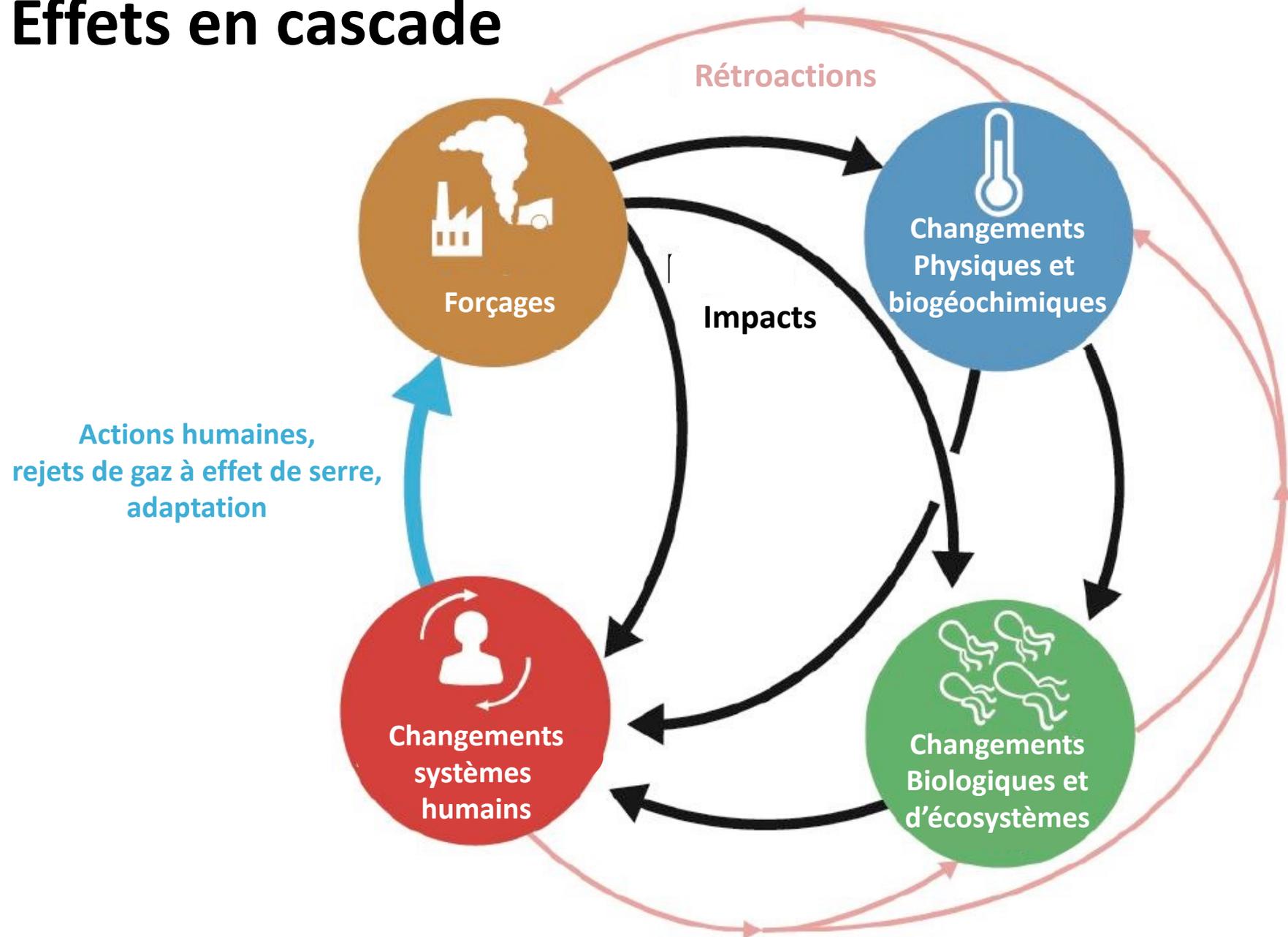
# Changement d'extrêmes



Changement d'extrêmes de sécheresses ayant lieu tous les 10 ans dans un climat pré-industriel

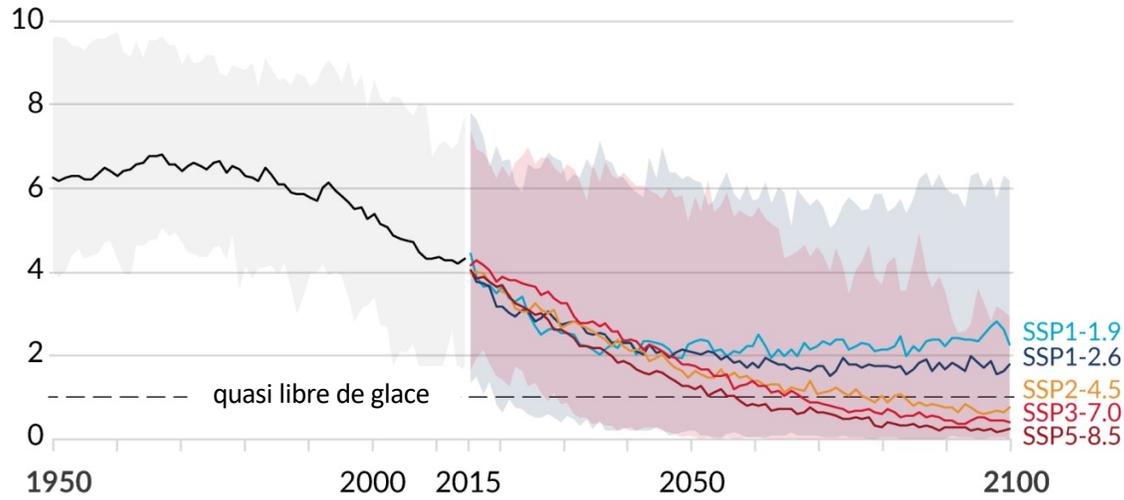


# Effets en cascade

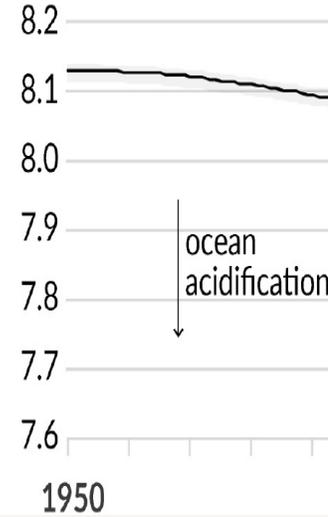


# Changements en cascades

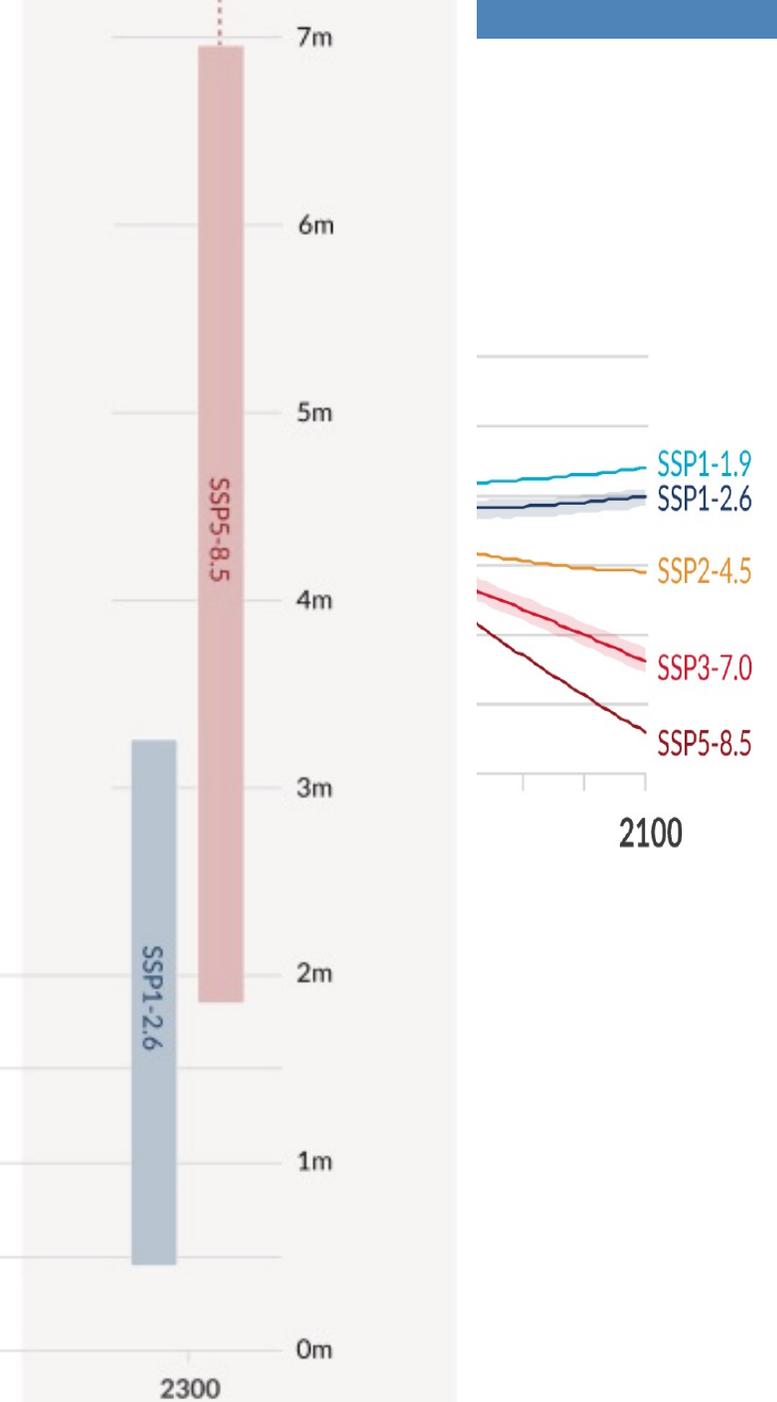
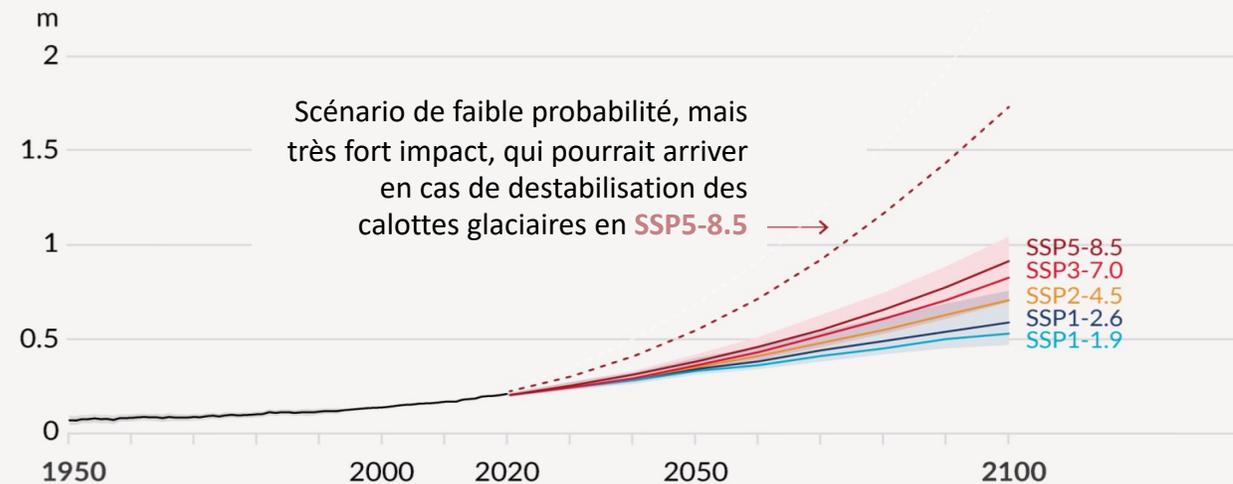
Couverture de banquise arctique en Septembre  
(en millions de m<sup>3</sup>)



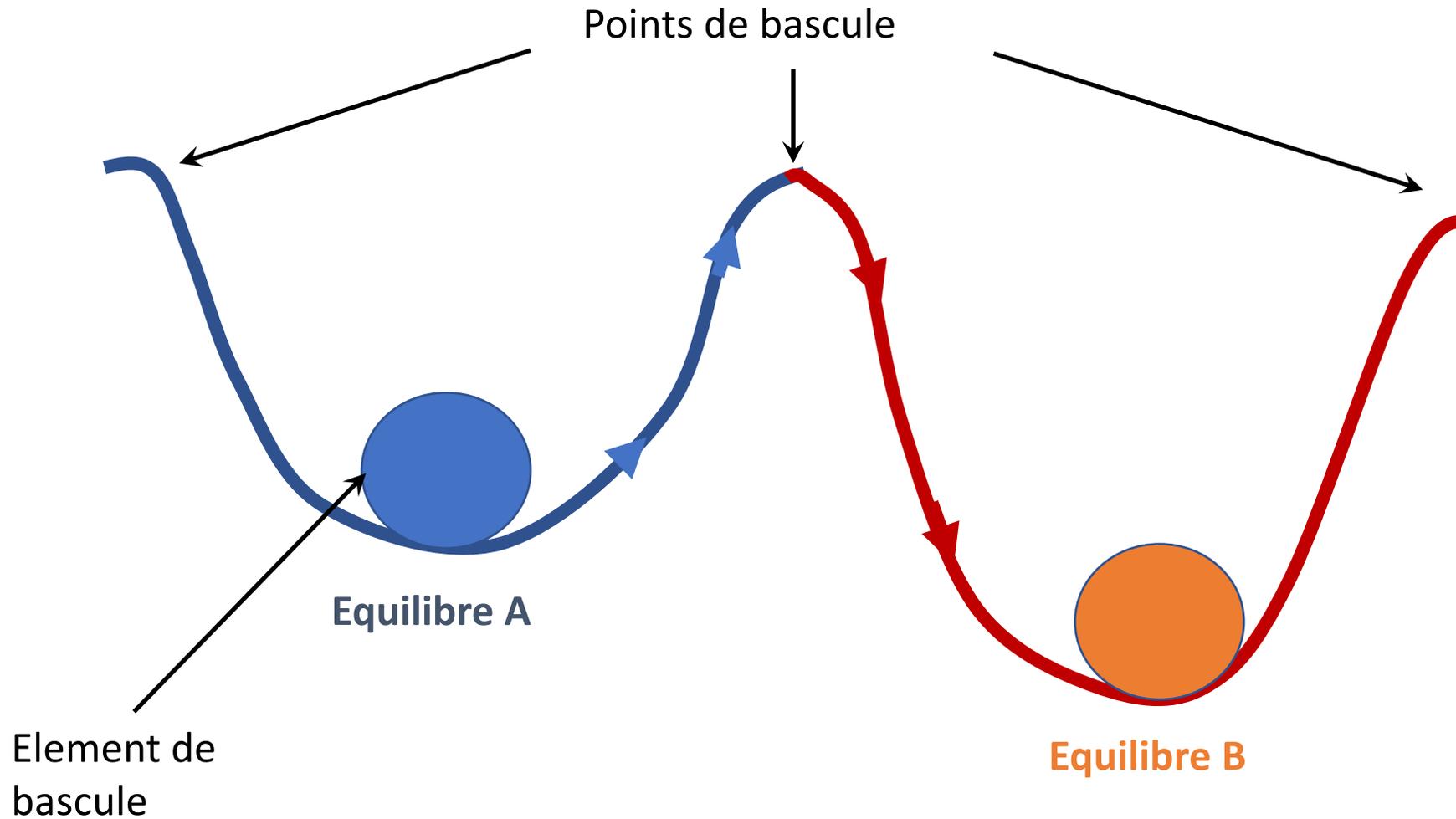
pH océanique glc



Changement global de niveau marin par rapport à 1900



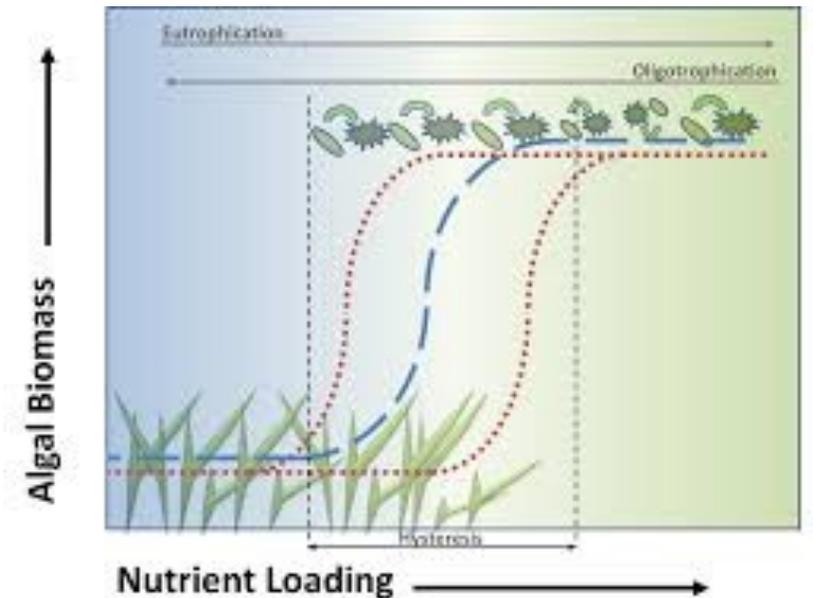
# Qu'est ce qu'un point de bascule ?



Lenton et al. (2008) : Le terme “**point de bascule**” se réfère à un seuil critique au delà duquel une petite perturbation peut modifier qualitativement l'état d'un système.

# Exemples de systèmes dynamiques

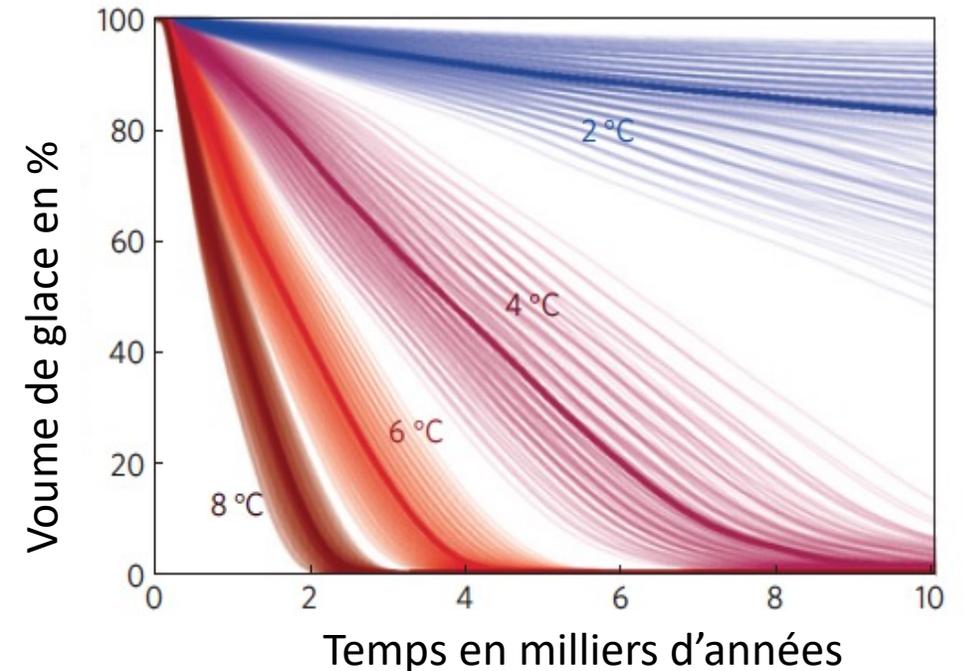
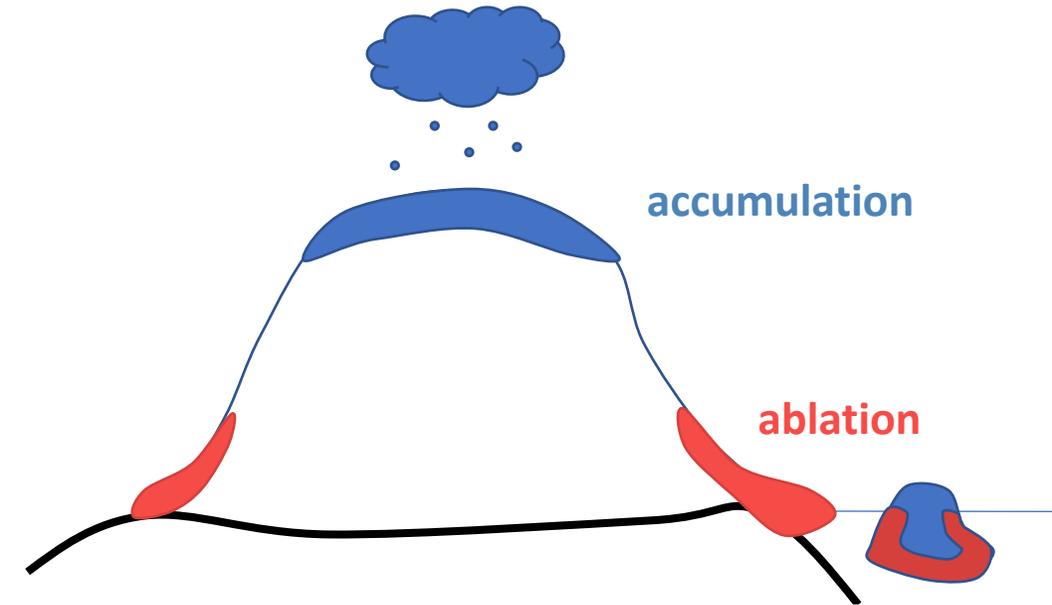
- ❖ Certains lacs aux conditions de forçage très proches peuvent être ou non eutrophisés
- ❖ **Marten Scheffer** a pu expliquer cela grâce à la notion de point de bascule appliqué à cet écosystème particulier
- ❖ Il existe d'autres exemples dans des modèles mathématiques très simples
- ❖ Ces instabilités viennent de l'exemple de **non-linéarité et de rétroactions positives**
- ❖ Ils amènent de **irréversibilités**





# Groenland

- ❖ Accumulation de la neige en altitude
- ❖ Fonte sur les marges en été
- ❖ Vélage iceberg lié à l'écoulement
- ❖ Rétroactions positives en réponse à une augmentation de température estivale :
  - Élévation (moins on est haut, plus il faut chaud)
  - Albedo
- ❖ Risque de fonte totale **dès 2°C de réchauffement global**
- ❖ Temps de fonte difficile à estimer, mais a priori centaine à milliers d'années.



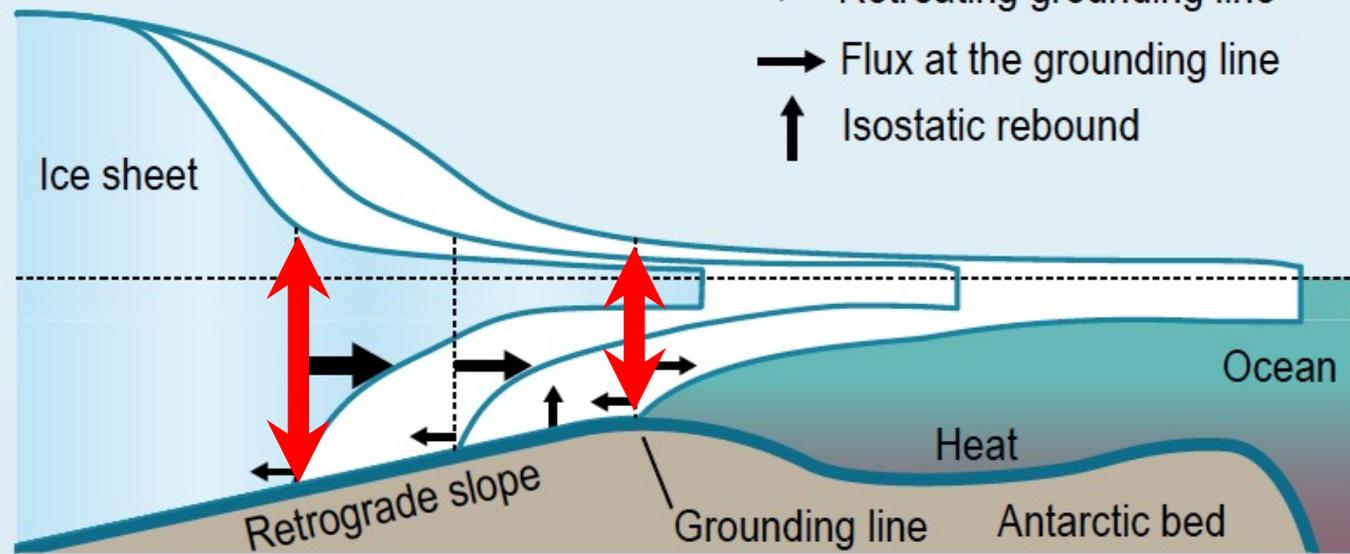


# Antarctique

- ❖ Accumulation quasiment partout
- ❖ Perte masse principalement par vélage iceberg lié à l'écoulement
- ❖ Fonte basale importante
- ❖ Rétroactions positives :
  - Instabilité des calottes marimes (posé sous le niveau marin)
  - Instabilité liée aux falaises de glace

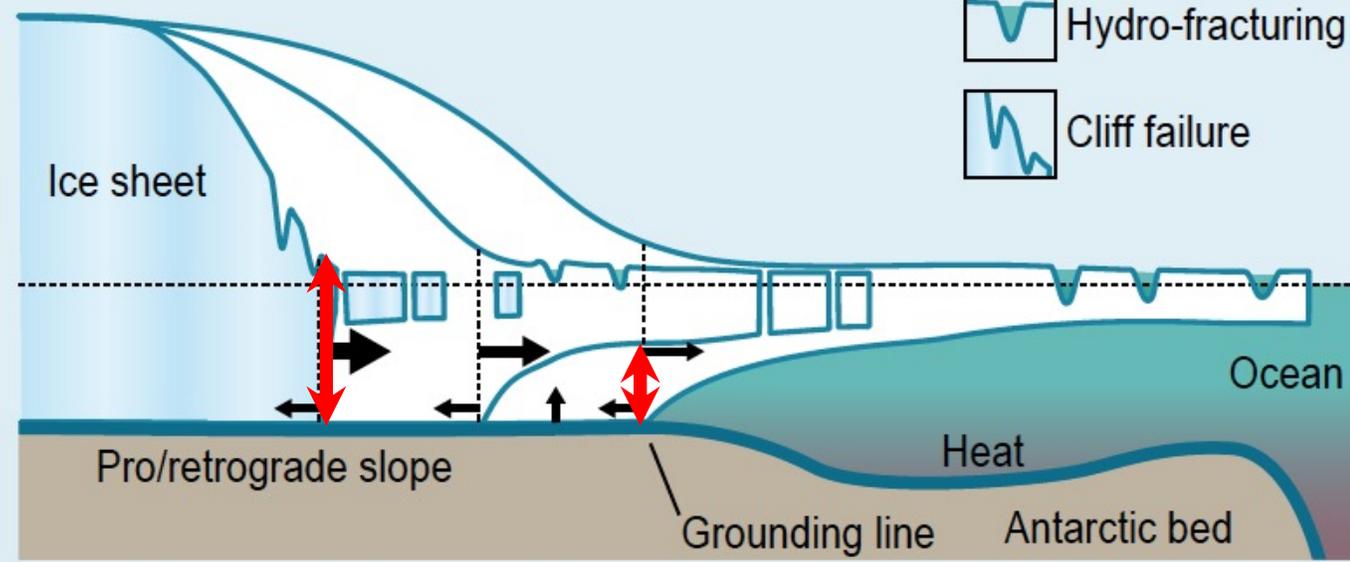
(a) Marine Ice Sheet Instability (MISI)

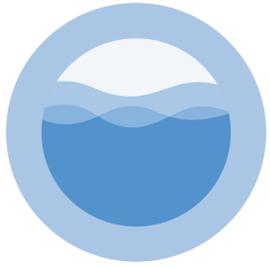
Retrograde slope



(b) Marine Ice Cliff Instability (MICI)

Pro/retrograde slopes





# Le cas particulier des coraux

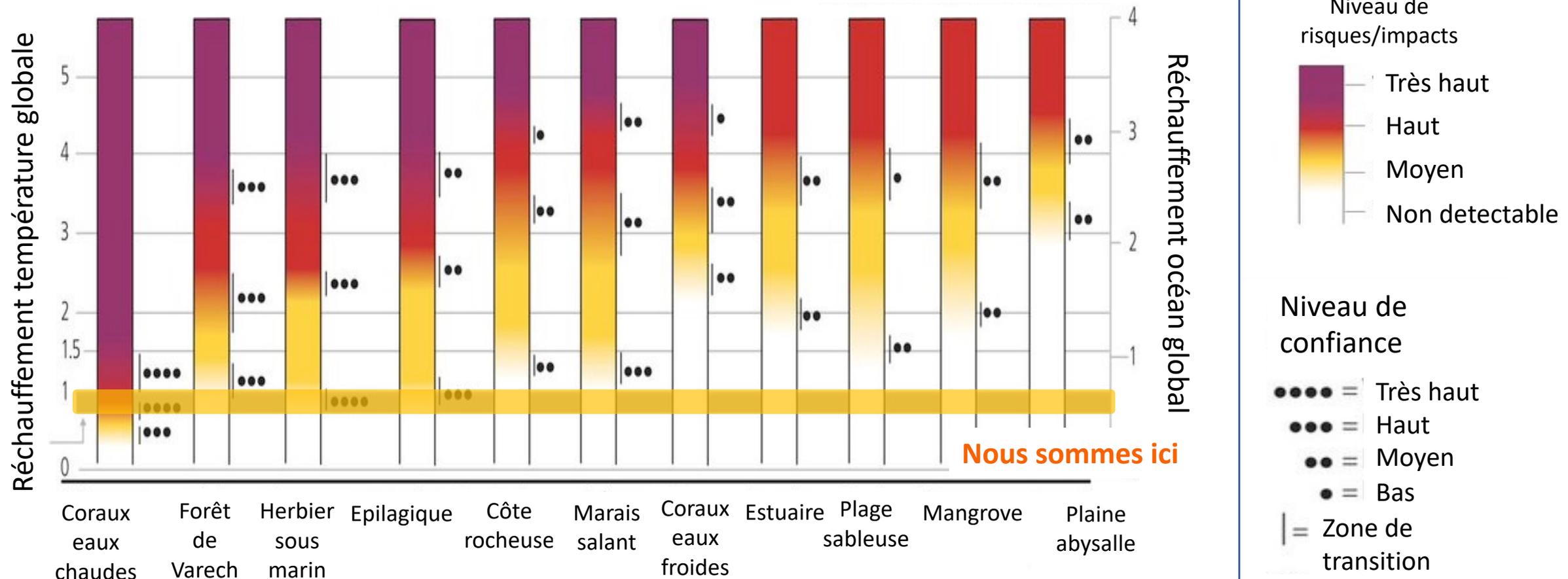
- ❖ Les coraux occupent 1% de la des océans, mais abritent **30% de la biodiversité**
- ❖ Les coraux sont des animaux qui ne peuvent se déplacer
- ❖ Ils sont donc particulièrement vulnérables au réchauffement de l'eau
- ❖ **Fort risque de disparition** dans de nombreuses régions



# Sensibilité au niveau de réchauffement

Source : SROCC 2019

Impacts et risque pour les écosystèmes océaniques selon le niveau de réchauffement

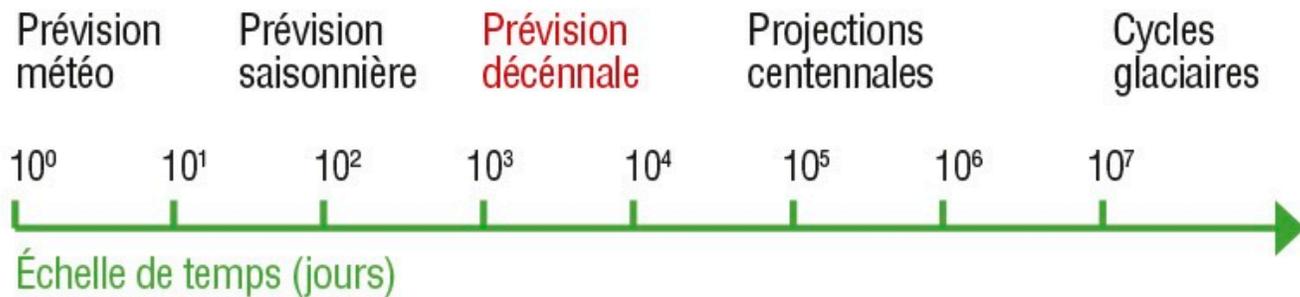


# Vers des temps chaotiques ?

**Importance  
conditions initiales**



**Importance  
conditions aux limites**

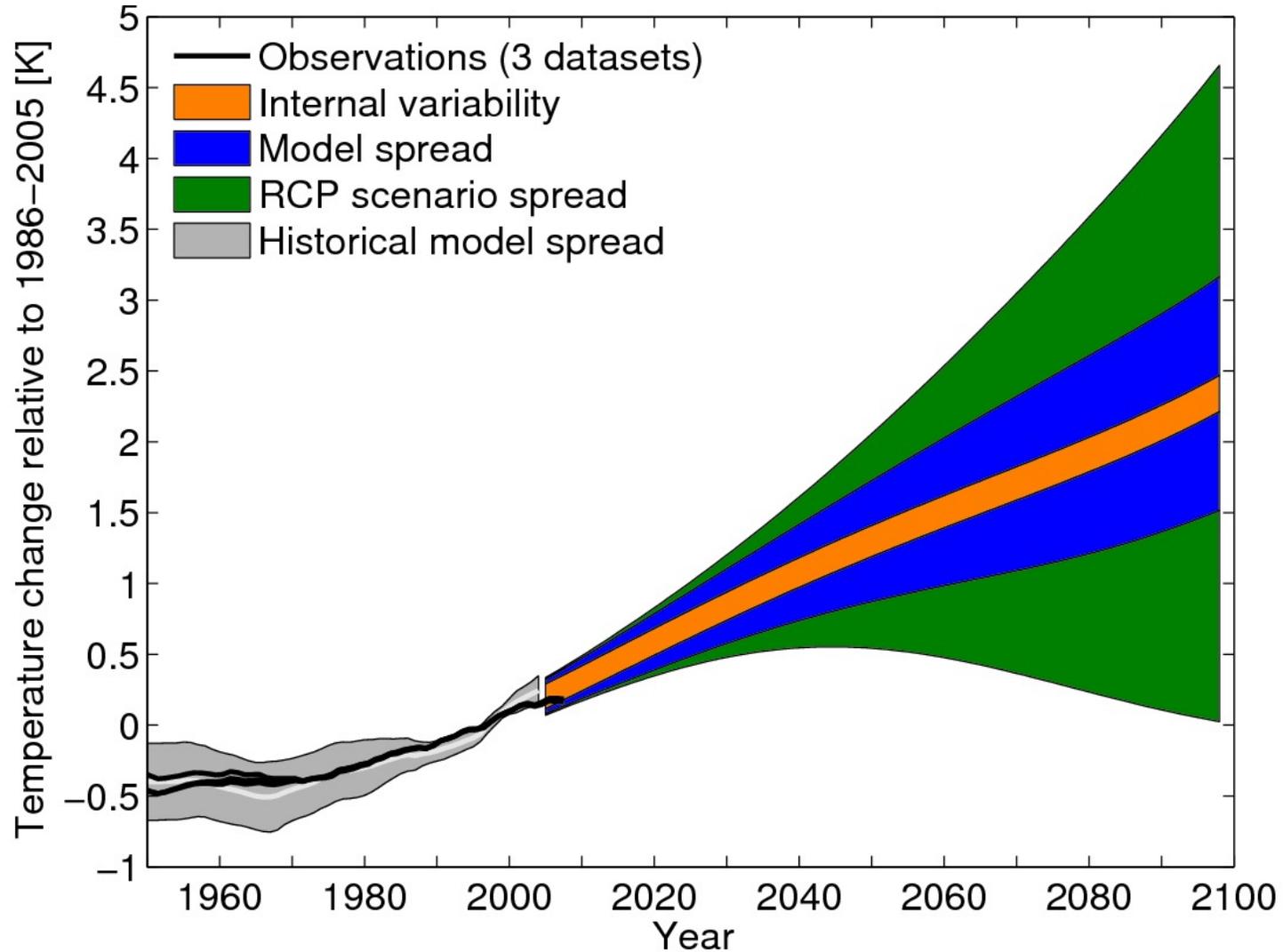


► Schéma montrant l'importance relative des conditions initiales et aux limites pour le climat selon les échelles de temps.

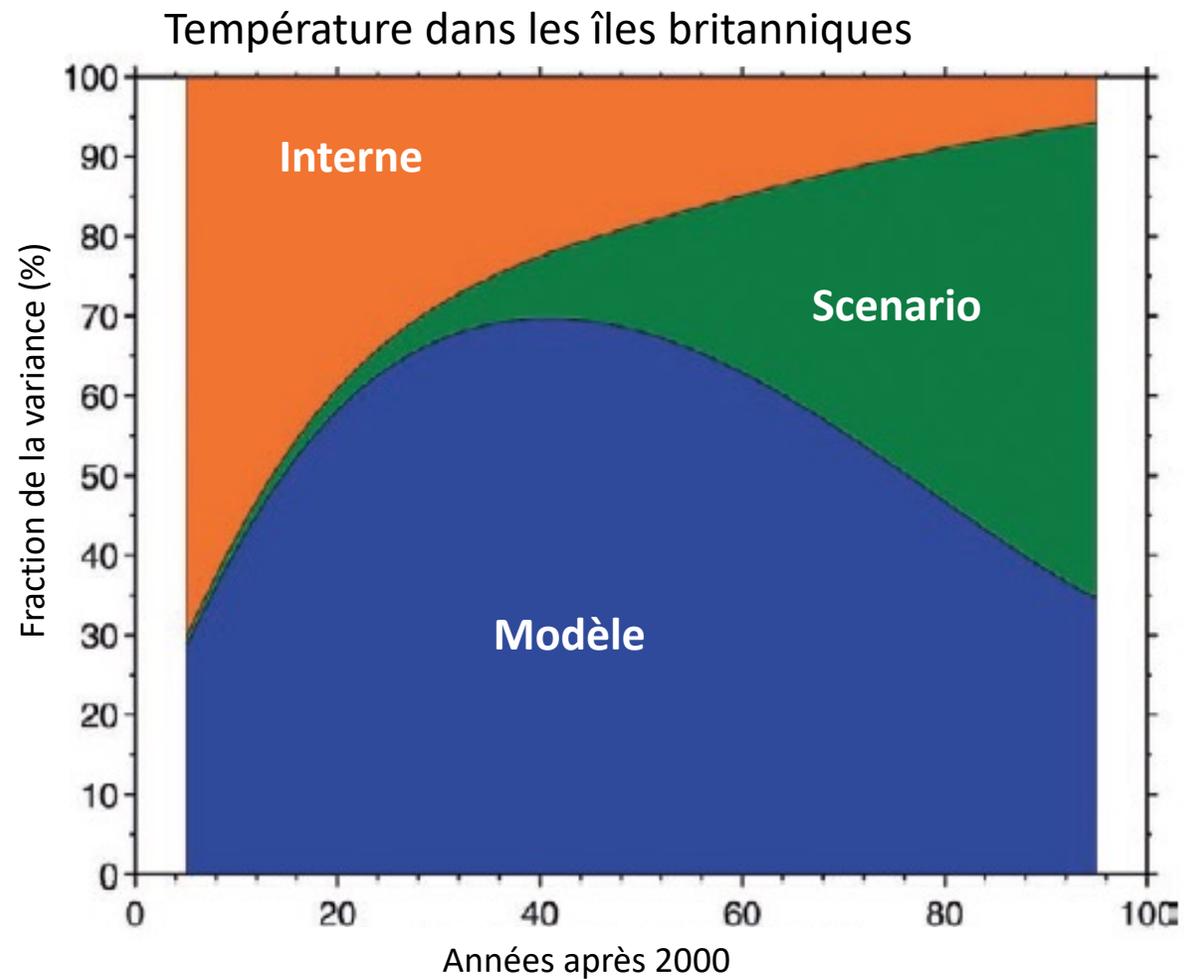
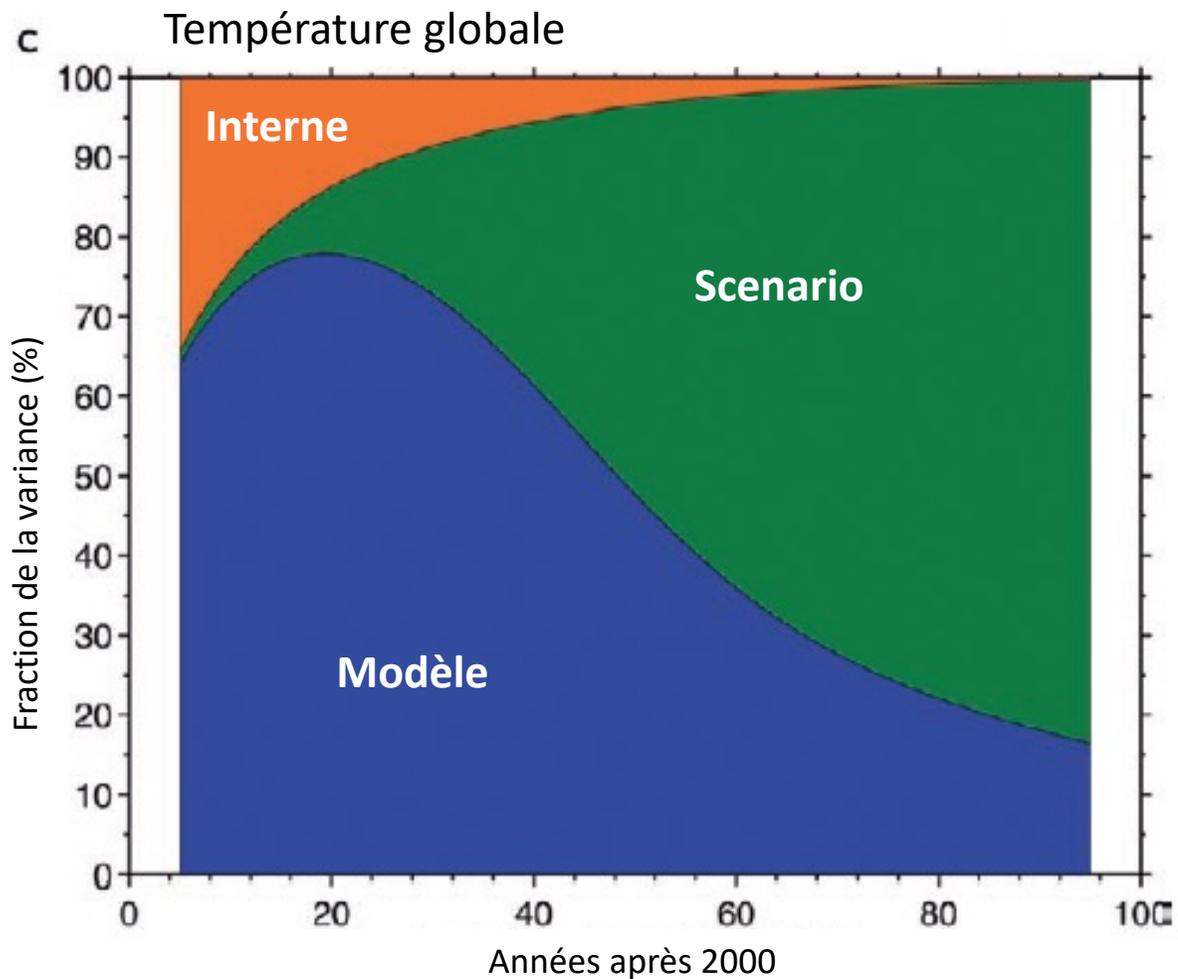


# Notion d'incertitude

Sources d'incertitudes pour les changements de température globale



# Incertitudes dans les projections

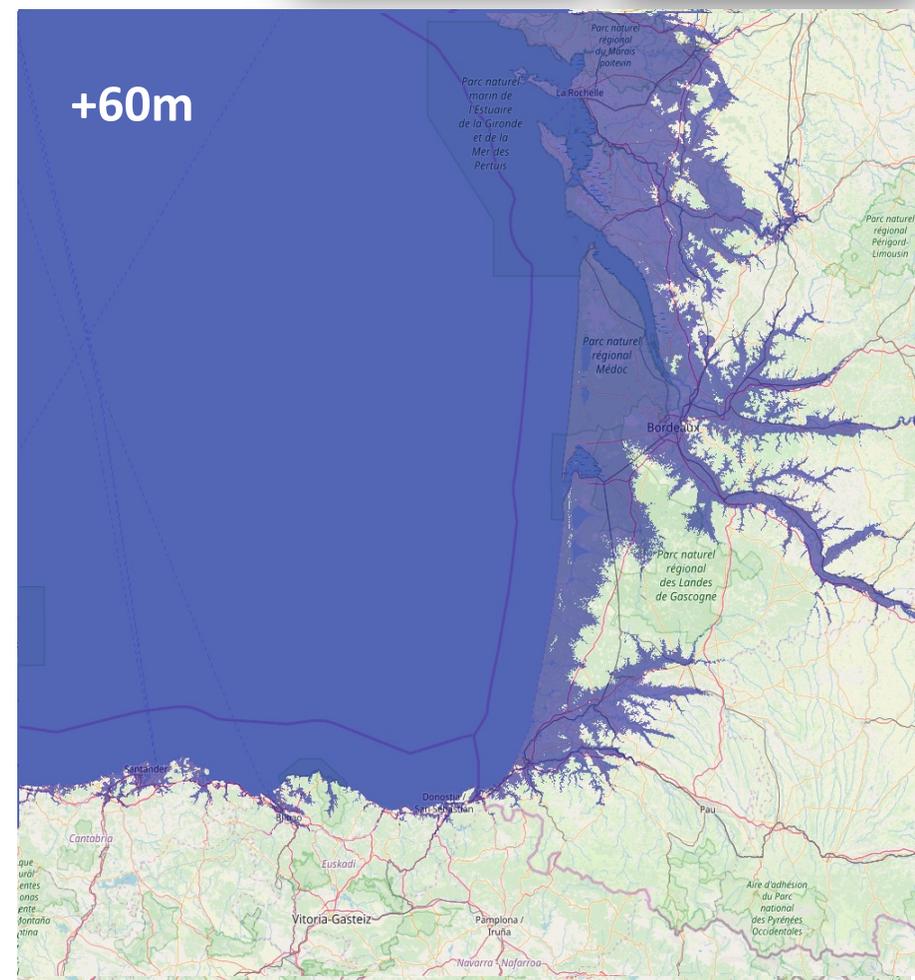


# C. Informations climatiques pour l'évaluation des risques et l'adaptation régionale

# Impacts en Aquitaine



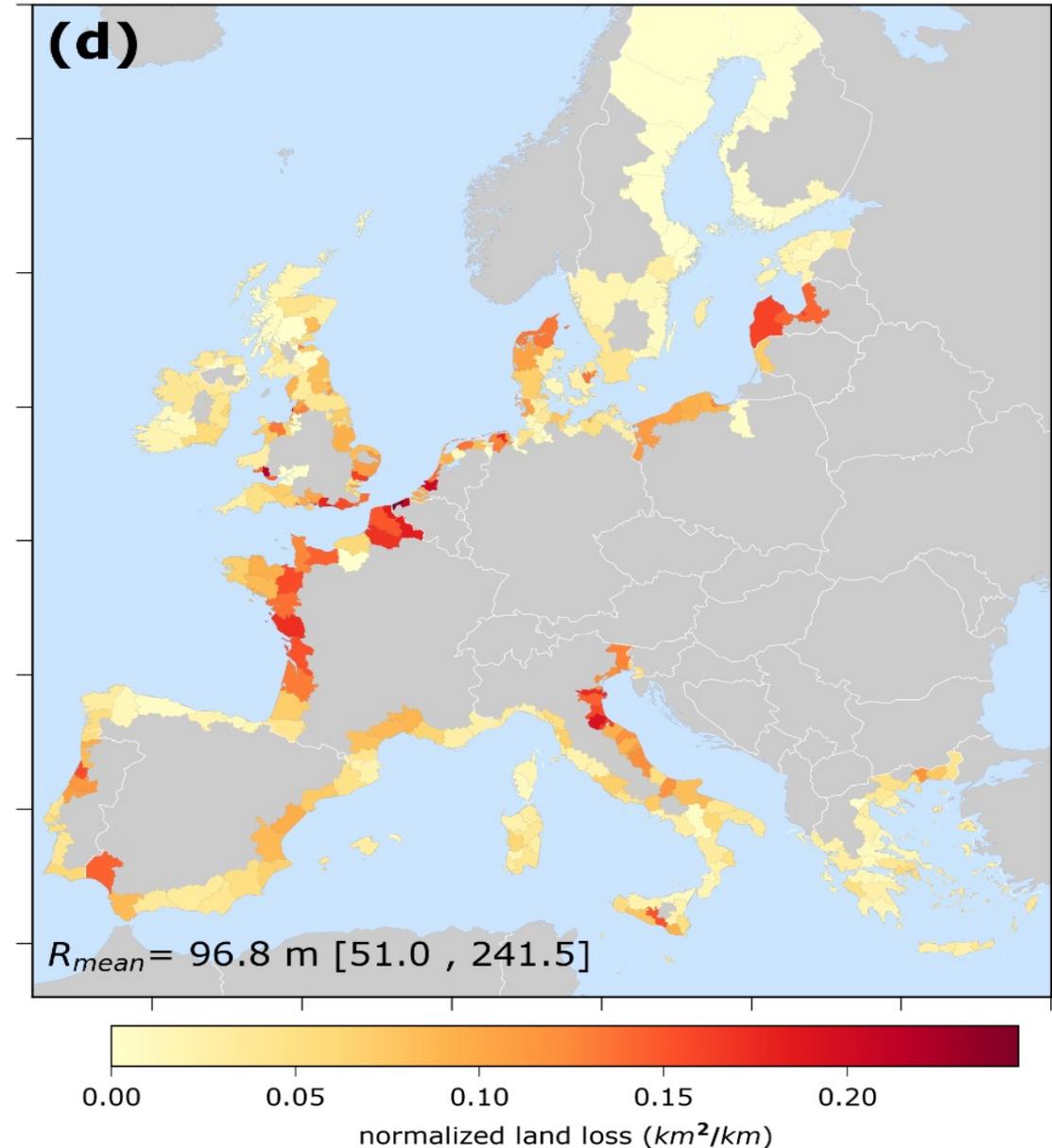
- ❖ Rapports Acclimaterra disponibles gratuitement en ligne
- ❖ Agriculture, viticulture
- ❖ Forêt
- ❖ Conchiliculture (acidification, vagues de chaleur marine), pêche...
- ❖ Niveau marin, érosion...



# Erosion

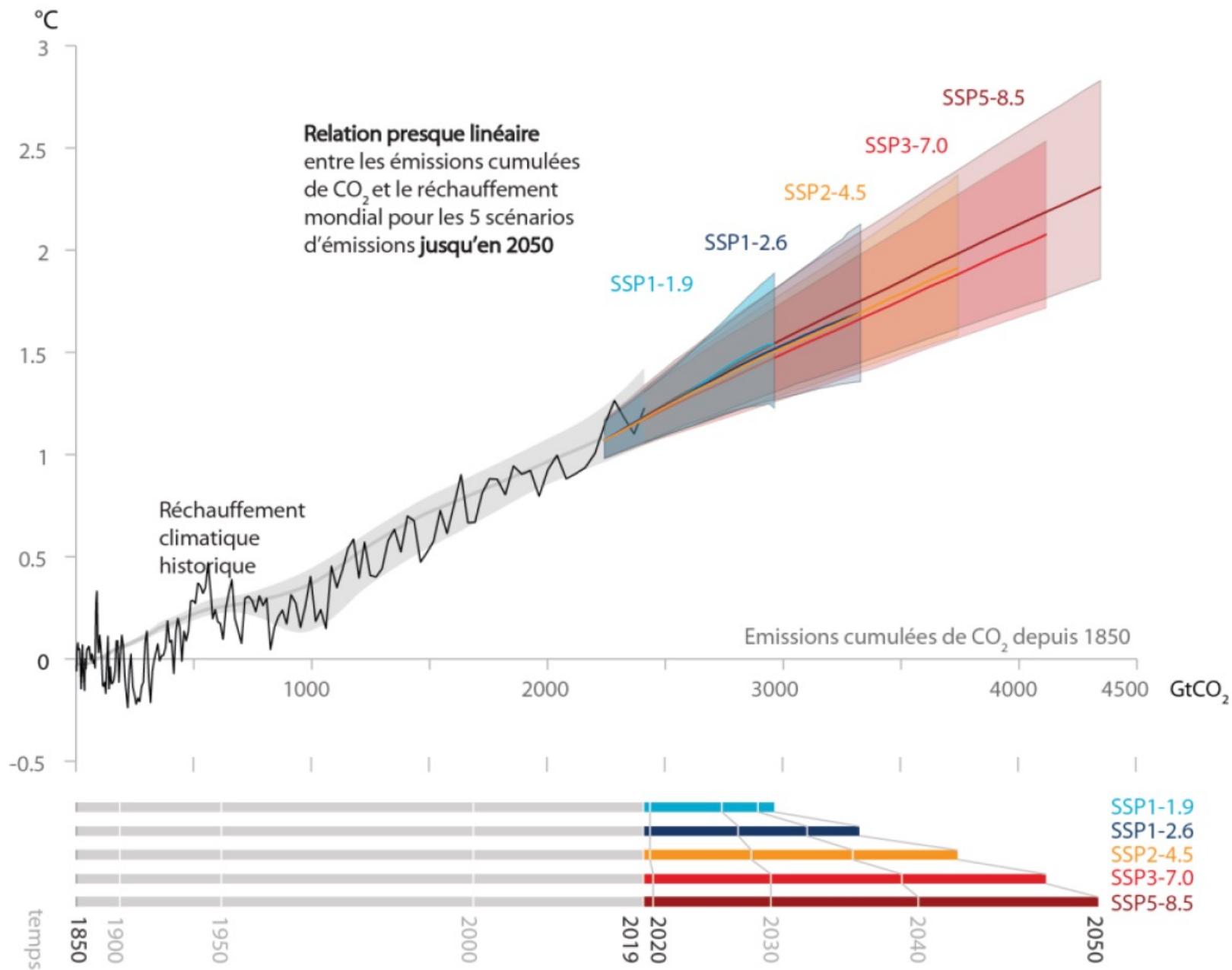


- ❖ Côte française potentiellement parmi les plus touchées en Europe
- ❖ Recul du trait de cote de plus de 200 m en 2100 sur la plupart des côtes atlantique



# D. Limiter le changement climatique futur





HISTORIQUE  
Emissions cumulées de CO<sub>2</sub> entre 1850 et 2019

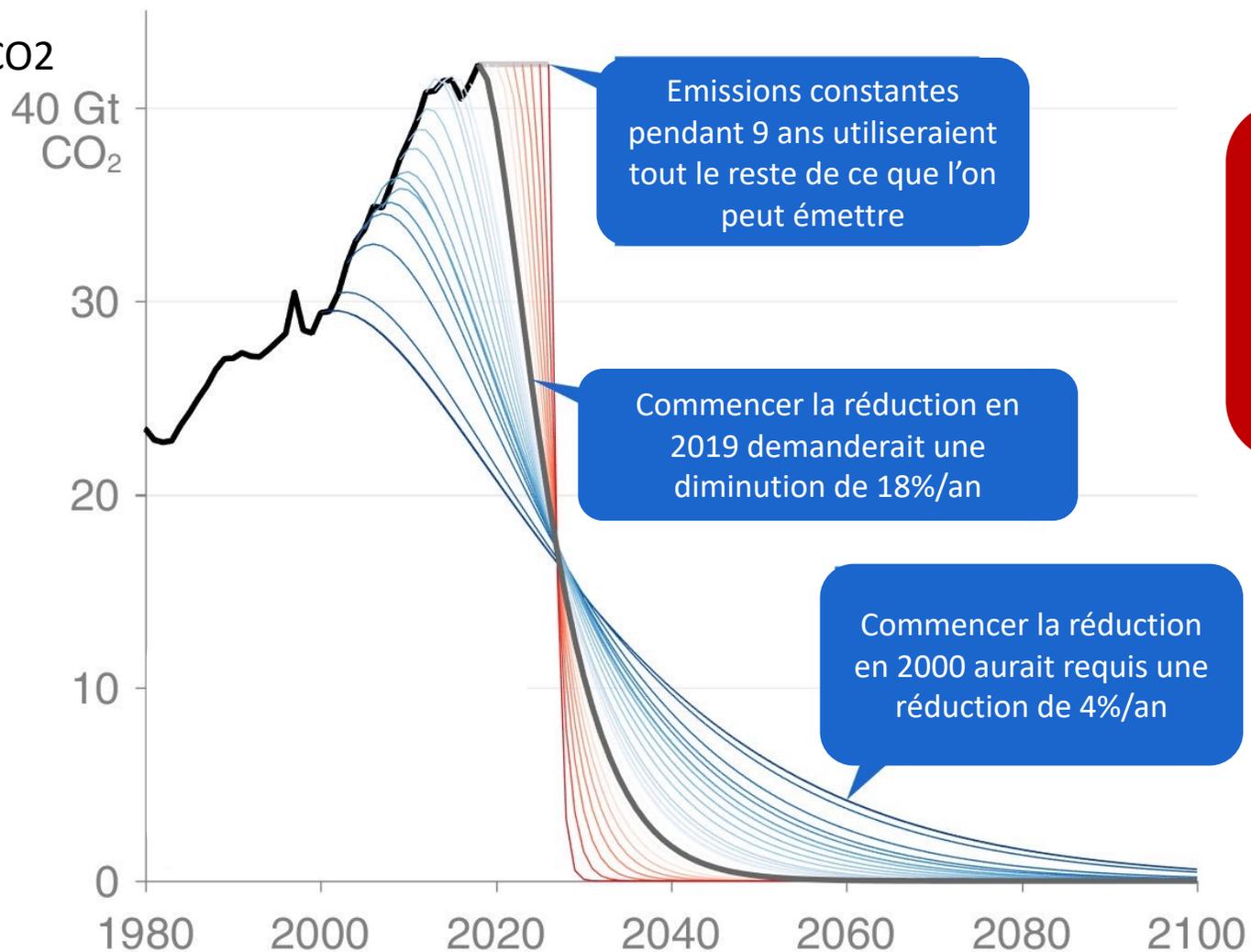
PROJECTIONS  
Emissions cumulées de CO<sub>2</sub> entre 2020 et 2050

Les émissions futures diffèrent selon les scénarios, et déterminent le réchauffement que nous allons connaître

SSP1-1.9  
SSP1-2.6  
SSP2-4.5  
SSP3-7.0  
SSP5-8.5

# Comment atteindre les objectifs de l'accord de Paris sur 1.5°C ?

Emission en équivalent CO<sub>2</sub>



**Le changement c'est maintenant !**

# Comment en est on arrivé là ?

- ❖ Malgré la mise en place du GIEC dès 1988, les projections (qui se sont avérées correctes) de James Hansen, l'évaluation des risques variées du changement climatique, y compris économique, il n'y a pas eu d'actions
- ❖ Pourtant dès 1988, les discours politiques se sont multipliés sur le sujet.
- ❖ Les causes de l'inaction :
  - 1) le lobby pétrolier et la fabrique du doute
  - 2) un problème complexe : analogie avec le trou de la couche d'ozone
  - 3) l'importance de l'énergie dans notre vie

## 2) Le lobby de l'industrie pétrolière

❖ Les archives des grands groupes pétroliers américains et même français (Total !) ont révélé des pratiques de lobbying consistant à créer de toute pièce **”la fabrique du doute”** dans l'opinion public en subventionnant des scientifiques pour qu'ils instillent le doute en mettant en exergue les limites de nos connaissances sur le système climatique

❖ Méthode similaire à l'industrie du tabac

❖ Voir le documentaire sur Arte : “Le lobby climatosceptique”, absolument accablant, basé sur des faits et des archives d'Exxon, etc.

ARTICLE IN PRESS

Global Environmental Change xxx (xxxx) xxx

Contents lists available at [ScienceDirect](#)

 **ELSEVIER**

Global Environmental Change

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/gloenvcha](http://www.elsevier.com/locate/gloenvcha)



Early warnings and emerging accountability: Total's responses to global warming, 1971–2021

Christophe Bonneuil <sup>a,1,\*</sup>, Pierre-Louis Choquet <sup>b,1</sup>, Benjamin Franta <sup>c,1</sup>

<sup>a</sup> Centre de Recherches Historiques, CNRS & EHESS, Paris Sciences et Lettres, Paris, France

<sup>b</sup> Centre de Sociologie des Organisations, SciencesPo, Paris, France

<sup>c</sup> Department of History, Stanford University, Stanford, CA, United States

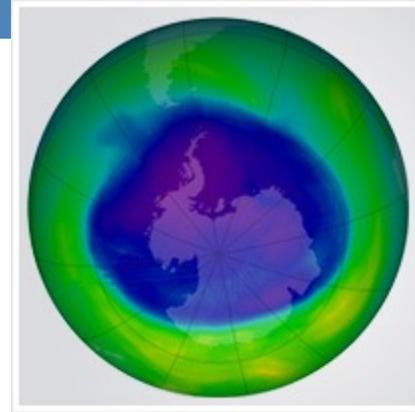
### ARTICLE INFO

**Keywords:**  
Oil industry  
Climate change  
Global warming  
Agnotology  
Denial  
Public relations

### ABSTRACT

Building upon recent work on other major fossil fuel companies, we report new archival research and primary source interviews describing how Total responded to evolving climate science and policy in the last 50 years. We show that Total personnel received warnings of the potential for catastrophic global warming from its products by 1971, became more fully informed of the issue in the 1980s, began promoting doubt regarding the scientific basis for global warming by the late 1980s, and ultimately settled on a position in the late 1990s of publicly accepting climate science while promoting policy delay or policies peripheral to fossil fuel control. Additionally, we find that Exxon, through the International Petroleum Industry Environmental Conservation Association (IPIECA), coordinated an international campaign to dispute climate science and weaken international climate policy, beginning in the 1980s. This represents one of the first longitudinal studies of a major fossil fuel company's responses to global warming to the present, describing historical stages of awareness, preparation, denial, and delay.

# 1) un problème complexe : Analogie avec le trou de la couche d'ozone



- ❖ Dans les années 1970, les scientifiques se sont aperçus que les composés chlorés rejetés par les hommes détruisaient l'ozone notamment stratosphérique qui absorbe certain rayonnement UV dangereux pour beaucoup d'êtres vivants.
- ❖ Ces chlorofluorocarbures (CFC) sont des molécules de synthèse qui étaient utilisées notamment dans les bombes aérosols, les extincteurs ou encore les dispositifs de réfrigération et de climatisation, donc les CFC étaient présents partout.
- ❖ La communauté internationale se mobilisa, dans les années 1980, très fortement pour réduire les émissions de CFC si bien qu'aujourd'hui le « trou » est en cours de « guérison ». Le taux normal d'ozone devrait revenir autour des années 2030.
- ❖ Pourquoi on ne peut pas faire de même avec les gaz à effet de serre ?

### 3) Effet de serre, énergie et confort matériel

- ❖ La révolution industrielle, à l'origine des rejets massifs de gaz à effet de serre a totalement bouleversé la vie des humains, souvent pour le meilleur (a priori, ce n'était pas mieux avant...)
- ❖ Cette révolution industrielle a démultiplié l'énergie disponible pour les être humains, et se retrouvent dans quasi TOUTES NOS ACTIVITES
- ❖ C'est donc un problème techniquement beaucoup plus complexe que les CFC des bombes aerosols, qui a pu être résolu par des améliorations techniques
- ❖ Pour ce qui concerne l'effet de serre, la technique risque de ne pas suffir

**100% énergie renouvelable, c'est possible !**



# Il fut un temps où nous étions renouvelables et durables...



# Il fut un temps où nous étions renouvelables et durables...



# Il fut un temps où nous étions renouvelables et durables...



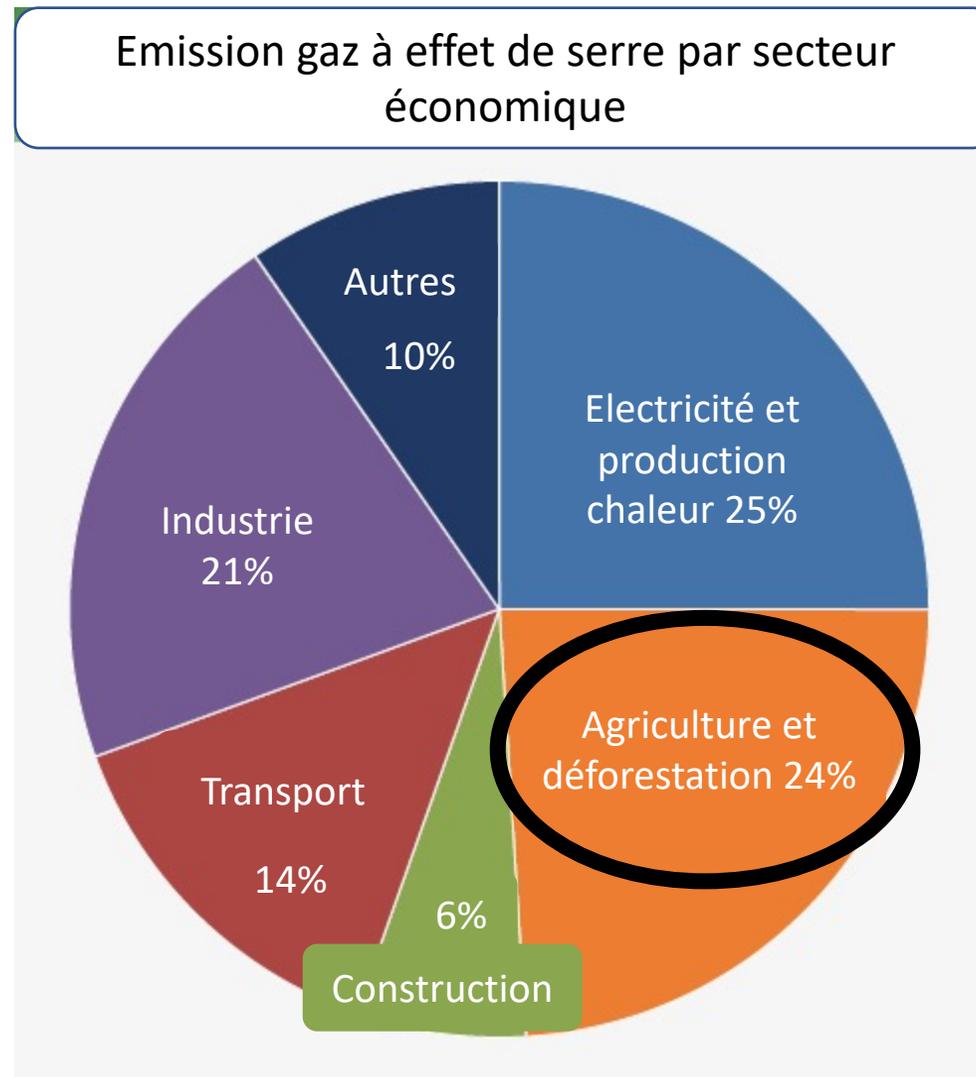
# Il fut un temps où nous étions renouvelables et durables...



# Il fut un temps où nous étions renouvelables et durables...



# Source de gaz à effet de serre à l'échelle globale



Manger moins ou pas de viande pourrait faire décroître de moitié ces 24% d'émission...

Source:  
IPCC 2014

# A l'échelle individuel ?

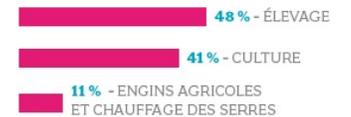
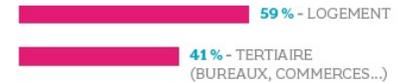
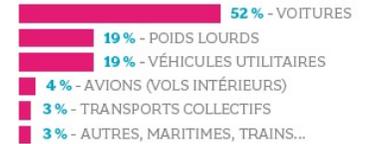
- Les principales sources d'émissions françaises => voir rapport Haut conseil pour le climat
- Evolution récente des émissions à la baisse en France, mais en deçà de l'objectif des accords de Paris
- Un exemple d'incohérence : le développement des SUV...

## 4 D'OÙ VIENNENT LES ÉMISSIONS FRANÇAISES AUJOURD'HUI ?

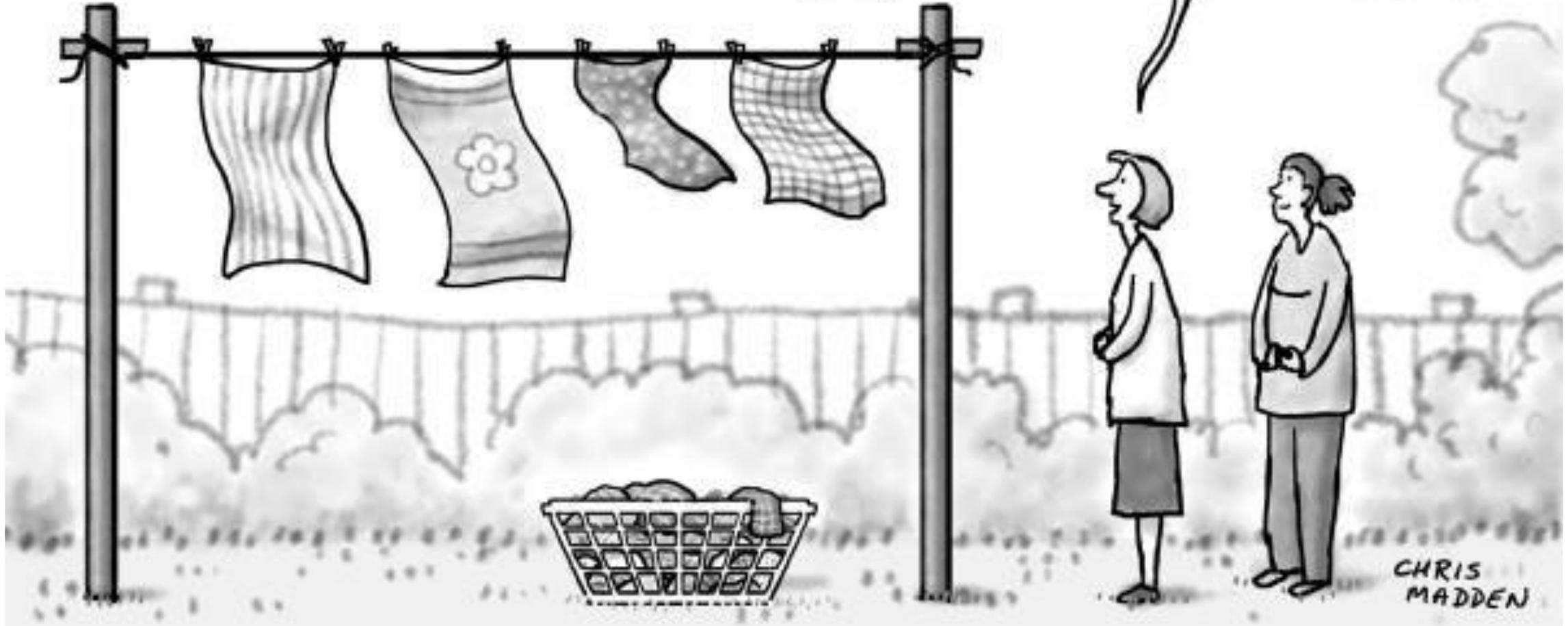
Quel poids de chaque secteur dans nos émissions ?



De quelles activités proviennent ces émissions ?



Ca sèche le linge en utilisant les dernières technologies – une combinaison de solaire et d'éolien



# Energie-climat, une question cruciale

- L'énergie est vitale pour notre vie quotidienne (cf. gilets jaunes)
- Elle est cependant en quantité limitée sur la Terre
- Les chocs pétroliers de 1974 et 1979 ont montré notre extrême vulnérabilité aux sources d'approvisionnement comme le pétrole
- Energie et croissance sont intimement liées
- Pas de solutions triviales, mais besoin d'un mixte énergétique optimale (et résolu), d'économie d'énergie, et de modération pour respecter les accords de Paris

# Merci !

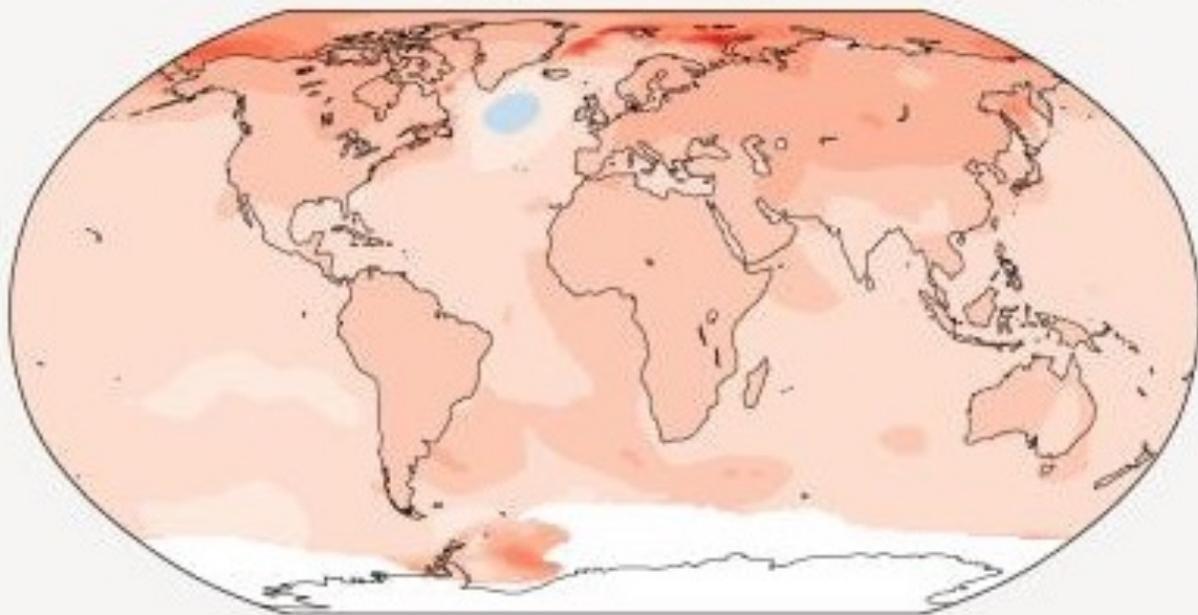




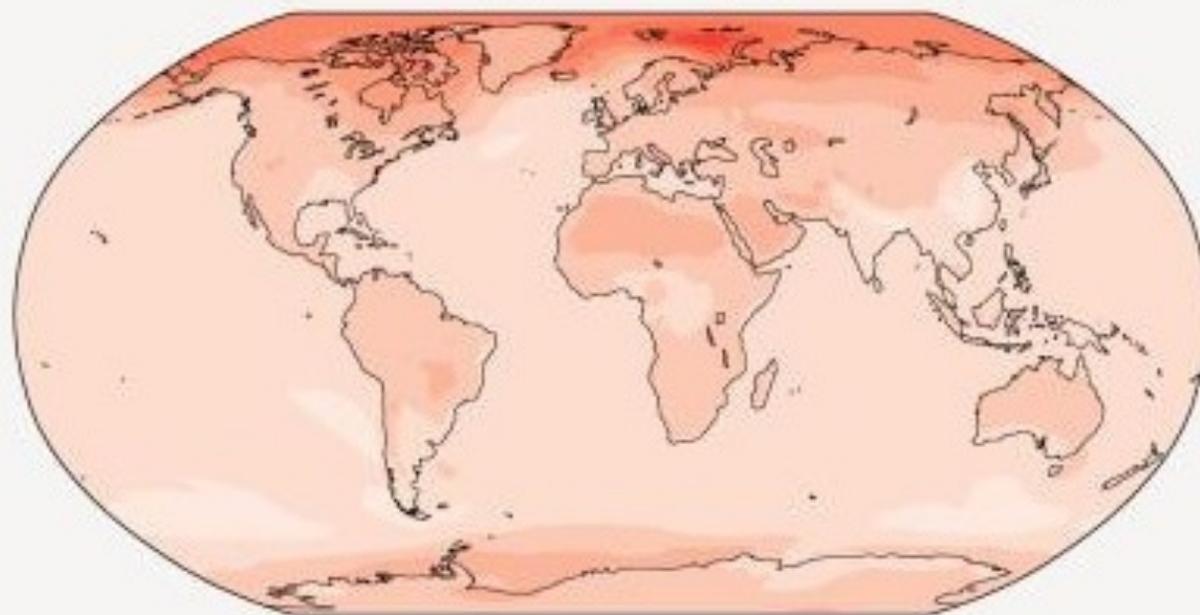
# Un climat qui se réchauffe partout ?

Tendance (1901-2012) de temperature de surface (HadCRUT4)

Observed change per 1 °C global warming



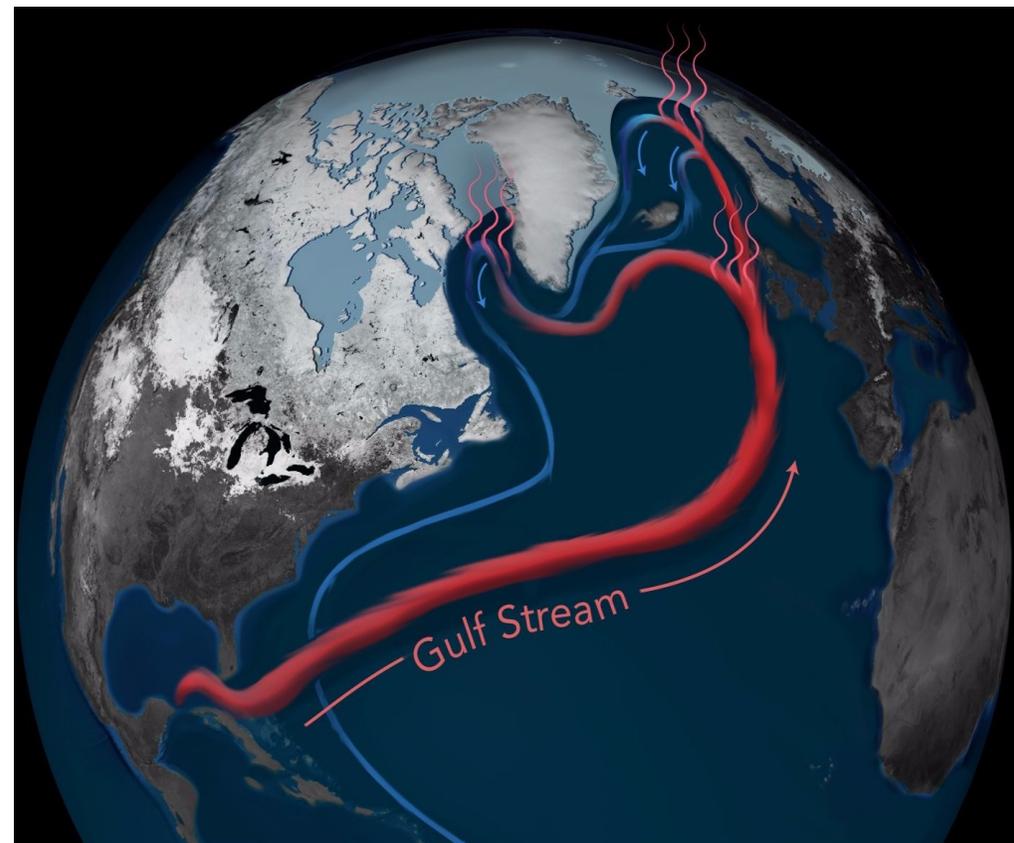
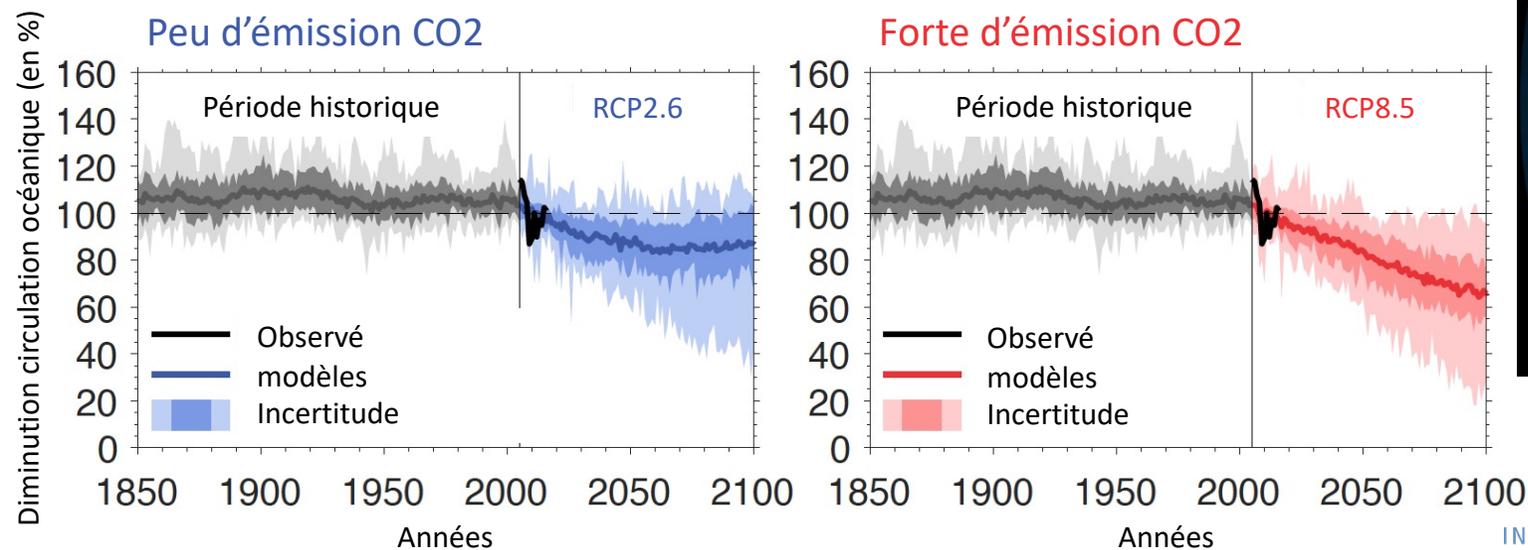
Simulated change at 1 °C global warming



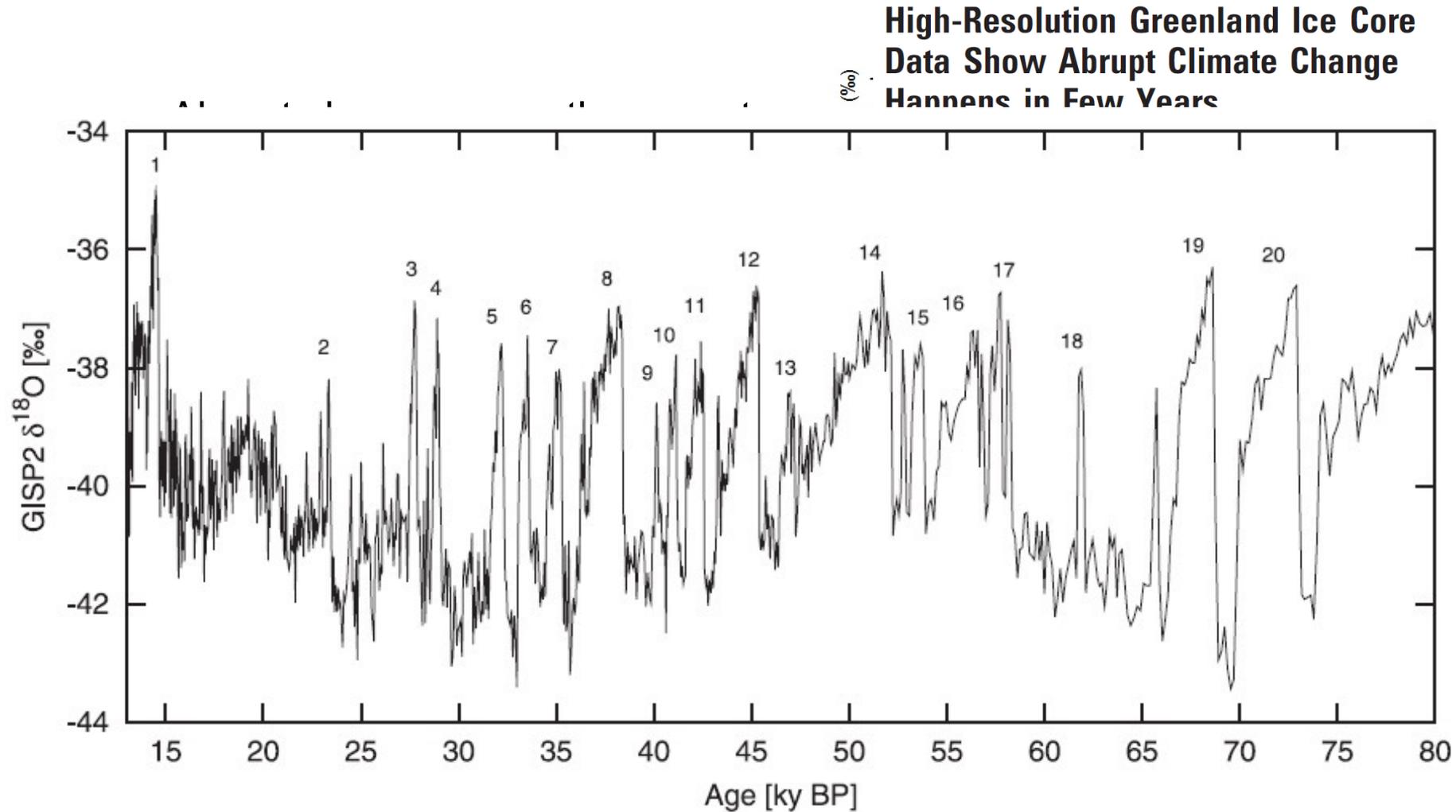


# Changement de circulation en Atlantique Nord

- Cette diminution va se poursuivre quelque soit le scénario d'émission de gaz à effet de serre
- Le risque d'arrêt total croît avec les émissions

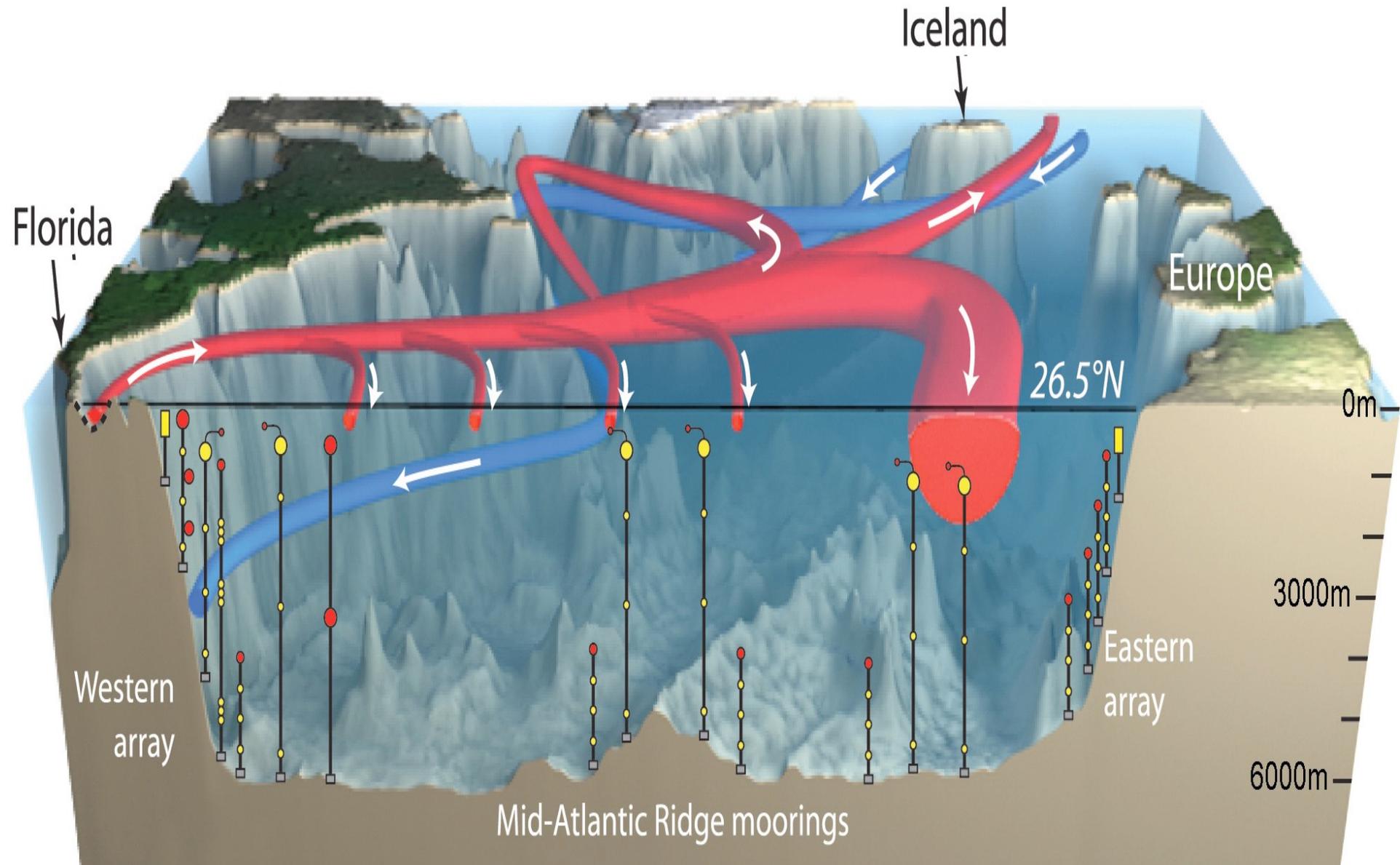


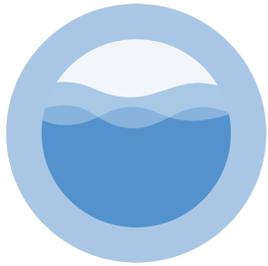
# Instabilités climatiques



**Figure 1.** Oxygen isotope ( $\delta^{18}\text{O}$ ) record from Greenland (GISP2 ice core [Grootes and Stuiver, 1997]). Numerals above  $\delta^{18}\text{O}$  maxima denote the “classical” Dansgaard-Oeschger interstadial events [Johnsen et al., 1992; Dansgaard et al., 1993].

# Observation de l'AMOC





# Impacts associés à un fort changement de circulation océanique en Atlantique Nord



## Système physique

- Sécheresse
- Hausse température
- Niveau marin
- Fréquence cyclone
- Banquise et neige
- Précipitation et inondations
- Tempêtes

## Système biologique

- Végétation
- Écosystèmes marins
- Zones humides
- Oxygénation
- Acidification et stockage carbone

## Système humains

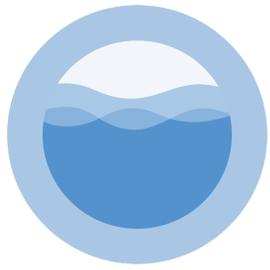
- Agriculture
- Pression migratoire

## Direction des changements

- Augmentation
- Diminution

## Niveau de confiance

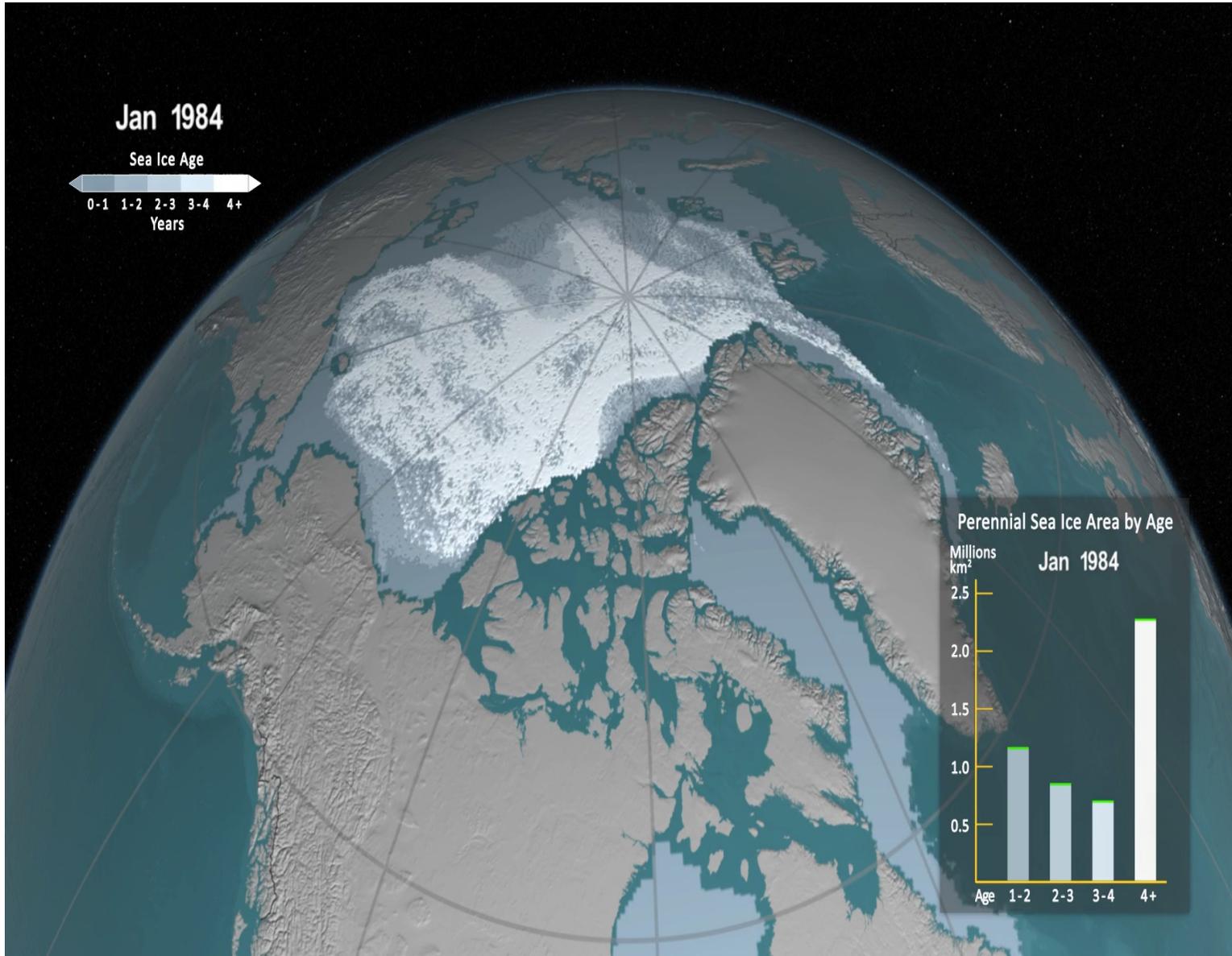
- Haut
- Moyen
- Bas



- La fréquence des vagues de chaleur marine a **doublé depuis 1982** et leur intensité augmente. Ils devraient encore augmenter en fréquence, en durée, en étendue et en intensité.
- Par rapport à 1850-1900,
  - leur fréquence sera **20 fois plus élevée** pour un monde 2°C plus chaud.
  - Ils se produiraient **50 fois plus souvent** si les émissions continuent d'augmenter fortement.
- Ces vagues de chaleur marines sont particulièrement dommageables pour les coraux d'eau chaude, les forêts de laminaires et pour la répartition de la vie marine.



# Changements dans les régions polaires



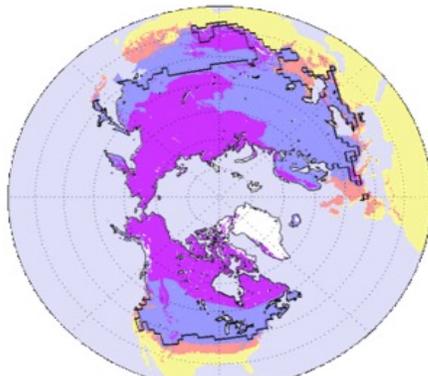


# Changements dans les régions polaires

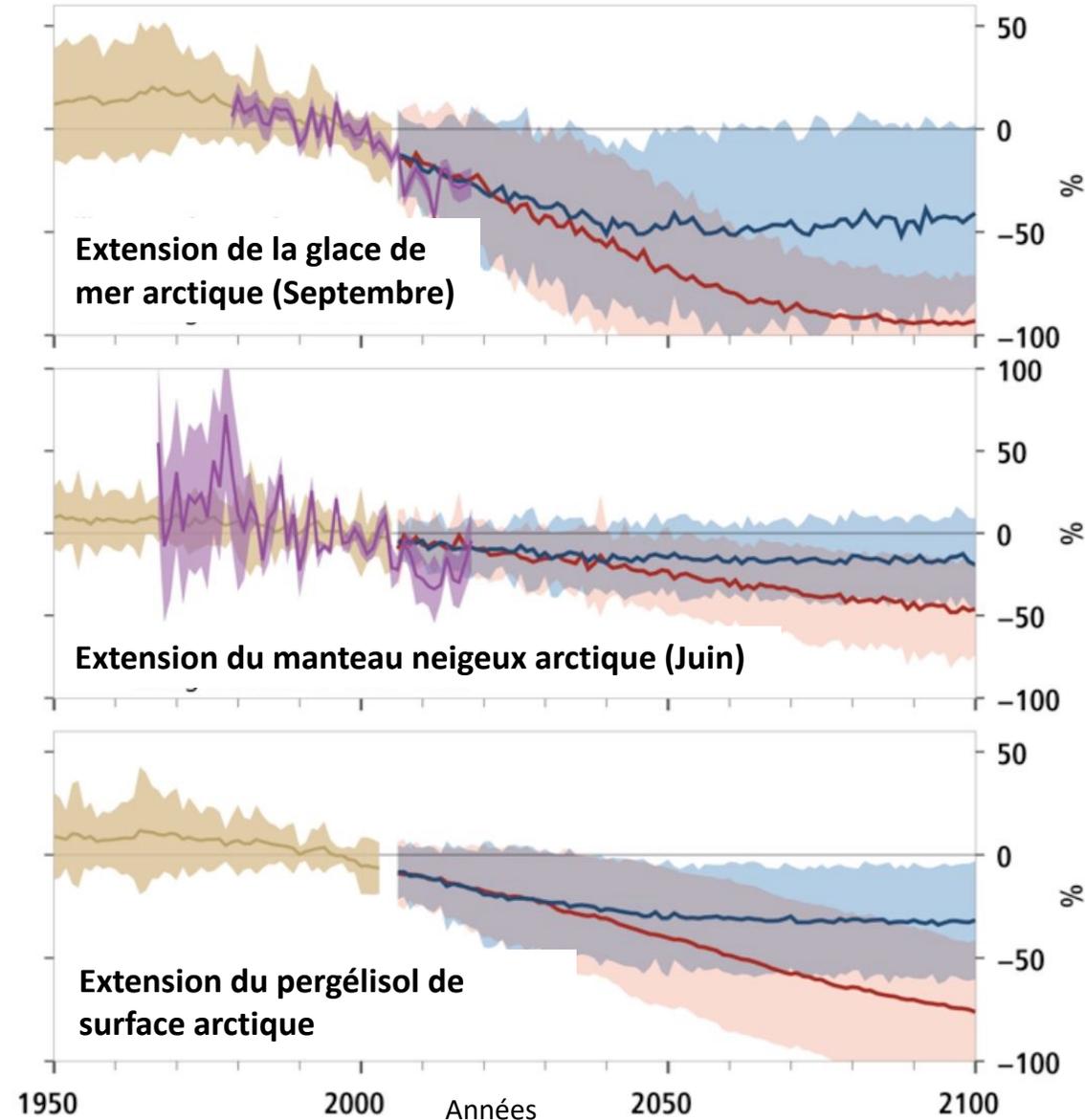
- La **banquise arctique** pourrait disparaître en été dès 2050
- Le **pergélisol** fond et se dégrade, avec le potentiel d'ajouter des gaz à effet de serre dans l'atmosphère
- Dans le cas d'un réchauffement de 2°C, ¼ du pergélisol de surface fondra d'ici 2100. Si les émissions continuent à croître, environ 70% pourrait être perdu



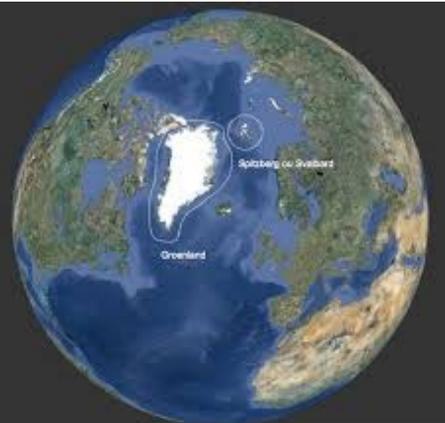
pergélisol



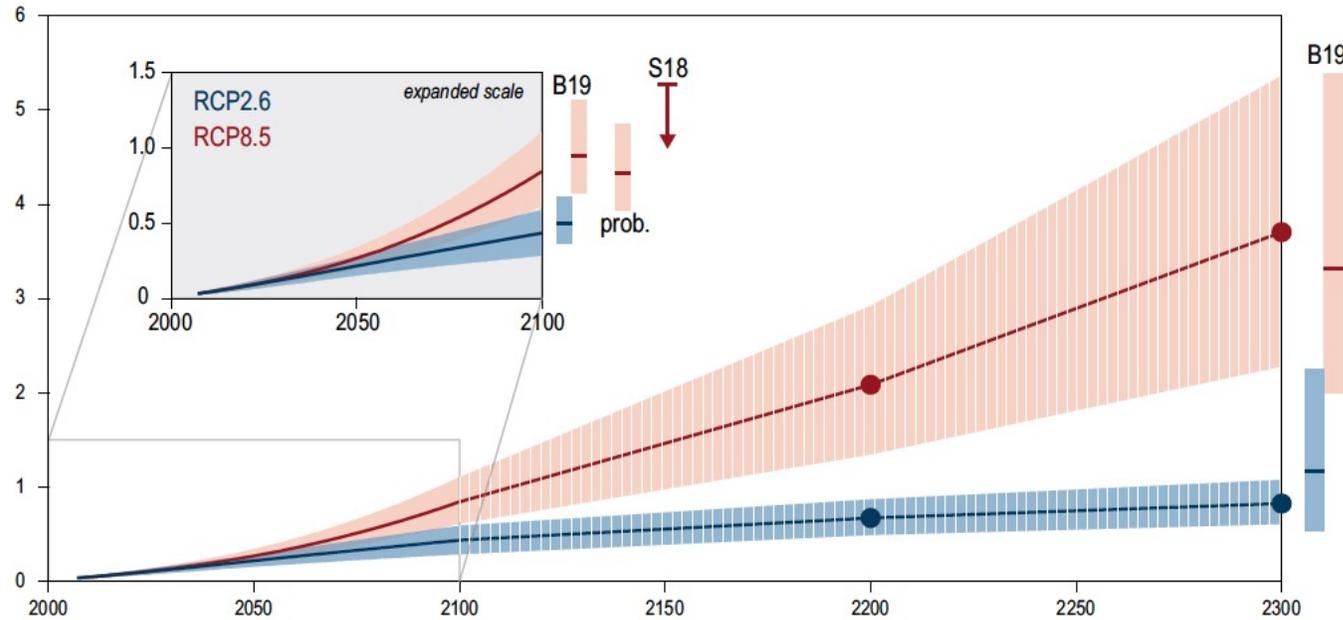
Extension pergélisol



# Changement des calottes : impact sur le niveau marin



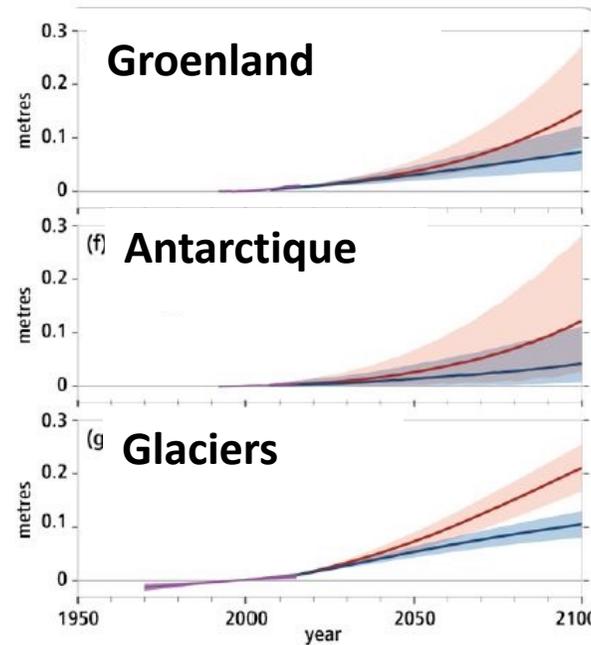
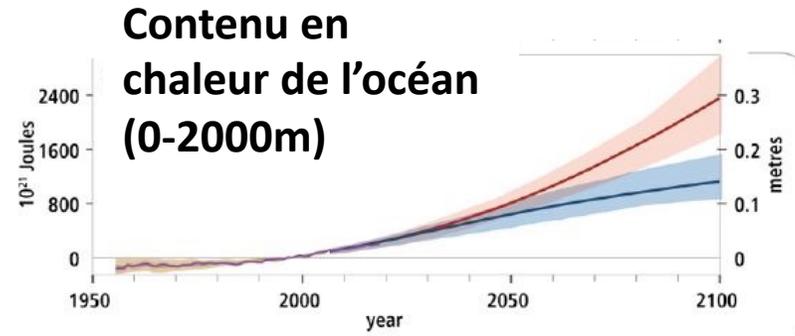
Changement niveau marin en mètres



- Plus de 600 millions d'habitants vivent sur des littoraux peu élevés
- De nombreuses villes très vulnérables (New York, Alexandrie, Miami...)

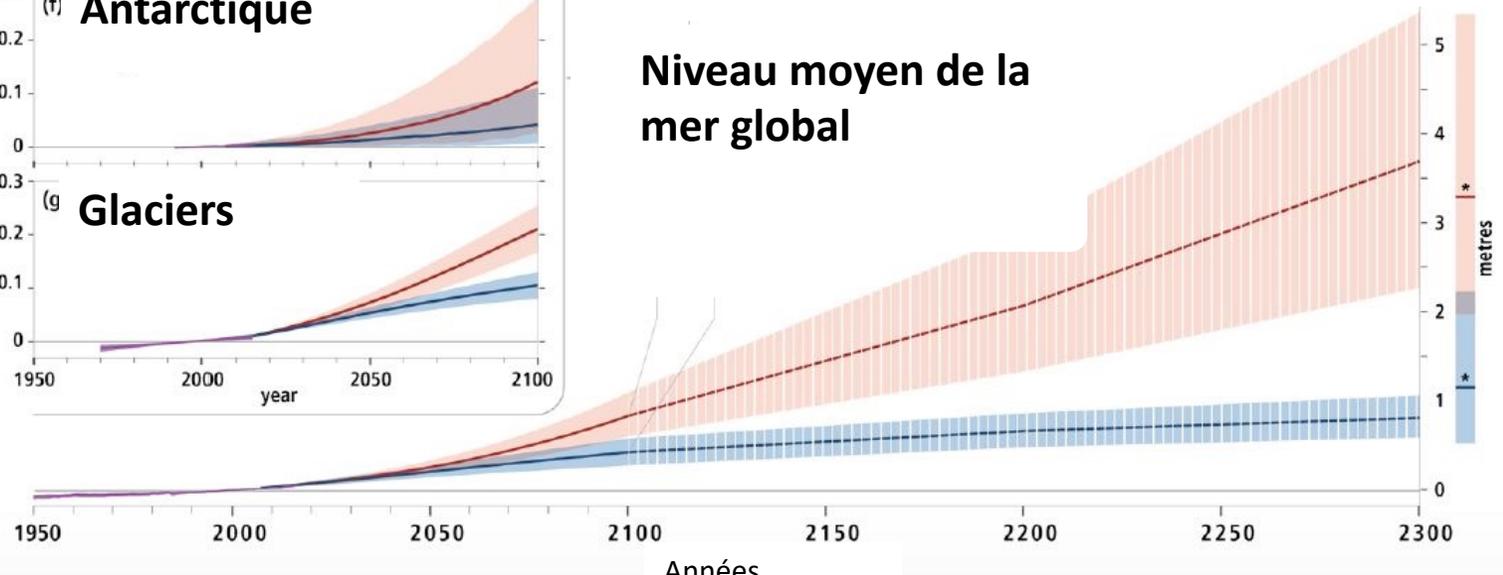
# Sources de la hausse du niveau marin

- Au cours du XXe siècle, le niveau moyen global de la mer a augmenté d'environ 15 cm.
- Le niveau de la mer augmente actuellement plus de deux fois plus rapidement qu'au cours du XXème siècle
- Cela va s'accélérer pour atteindre jusqu'à 1,10 m en 2100 si les émissions ne sont pas fortement réduites.



Changements observés et simulés, dans les projections, selon niveau d'émissions

- Historique
- Historique simulé
- Projections RCP2.6
- Projections RCP8.5

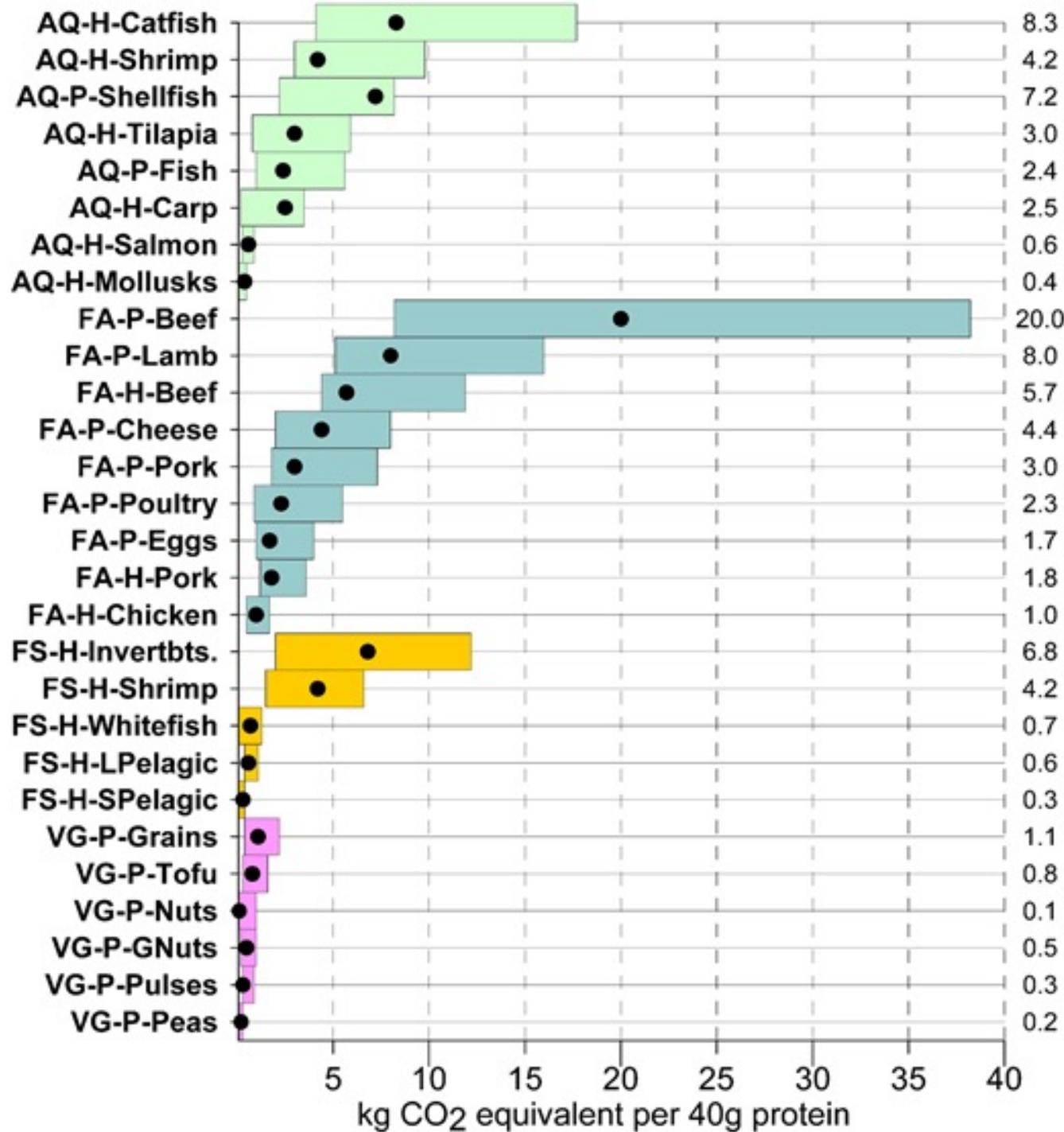




# Hausse du niveau des mers et évènements extrêmes sur les côtes

- Les événements extrêmes du niveau de la mer deviendront plus fréquents.
- Au cours du siècle de nombreux littoraux seront exposés à des risques élevés de submersion marine, d'érosion côtière et de salinisation des sols.



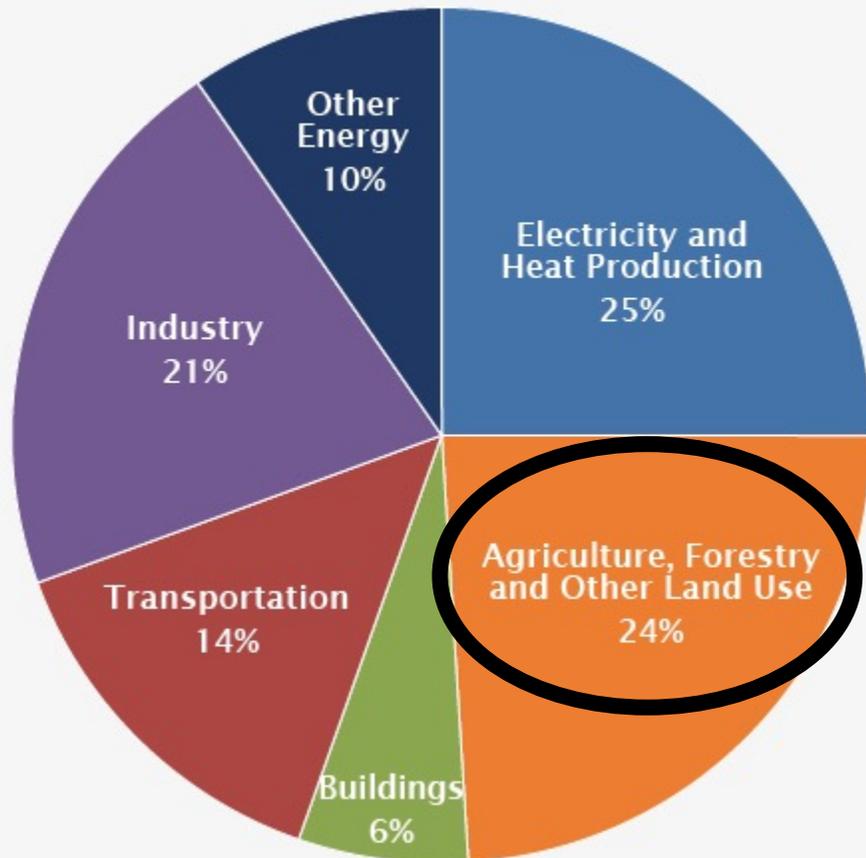


Turrell, Journal of  
 Marine Science  
 2019

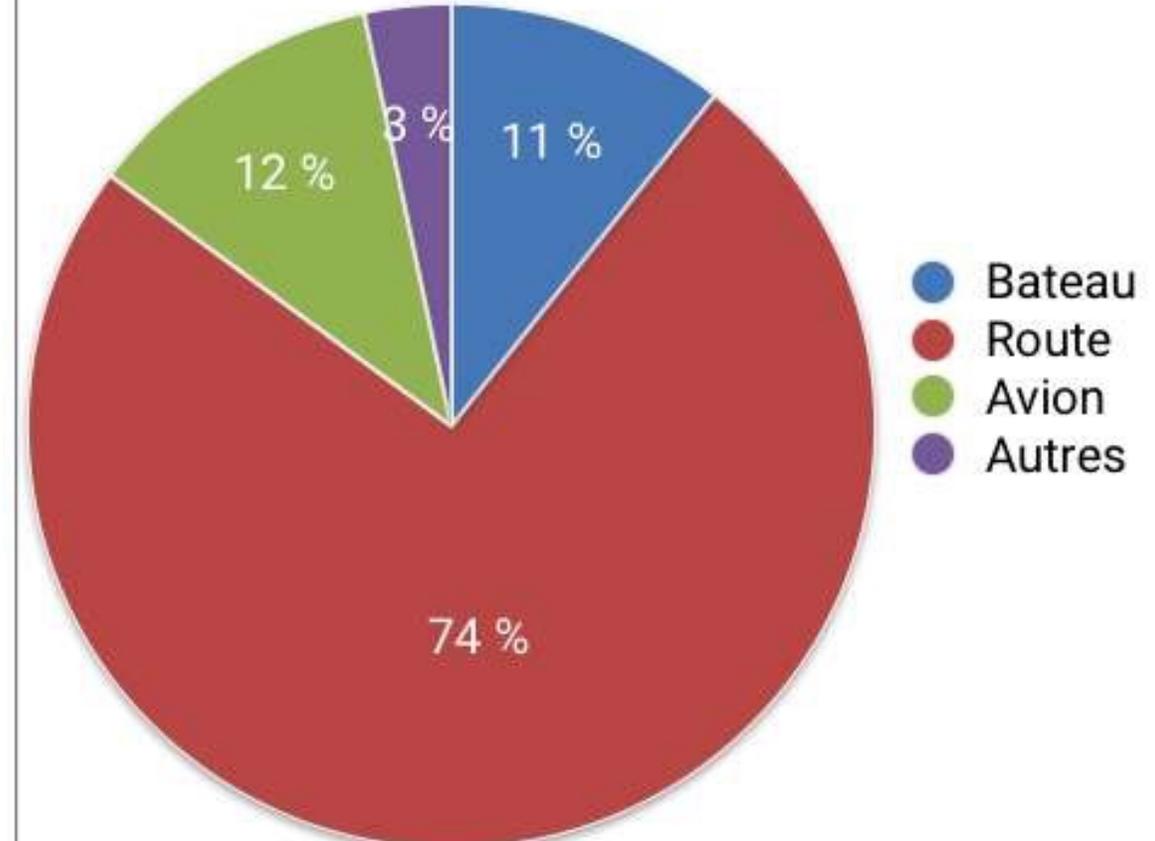


# Source gaz à effet de serre à l'échelle globale

Emission gaz à effet de serre par secteur économique



Part des émissions de CO2 par type de transport



Source:  
IPCC 2014

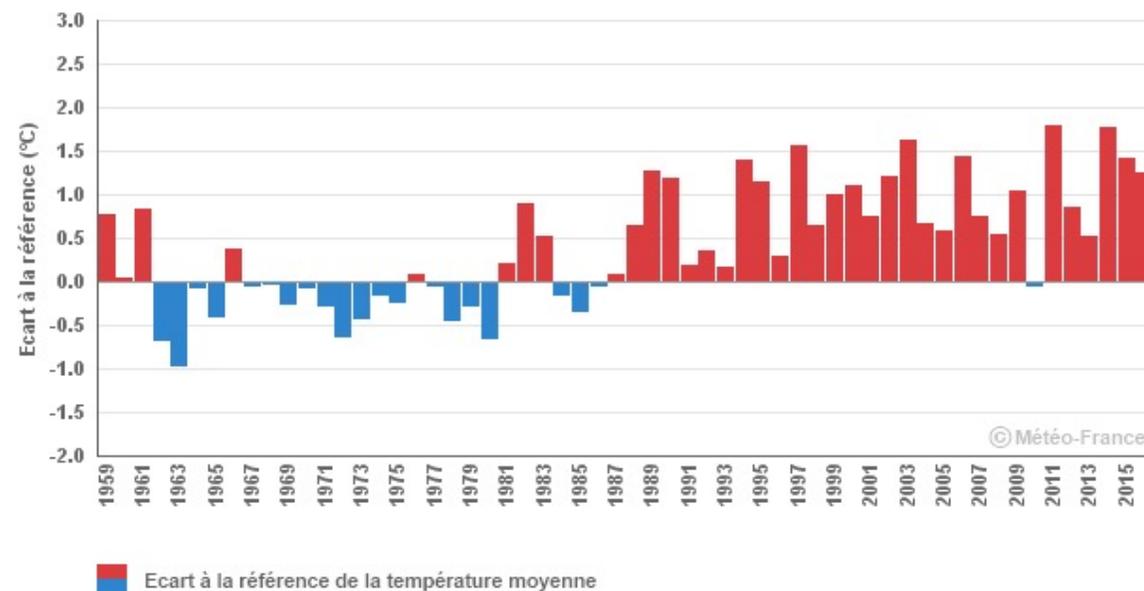
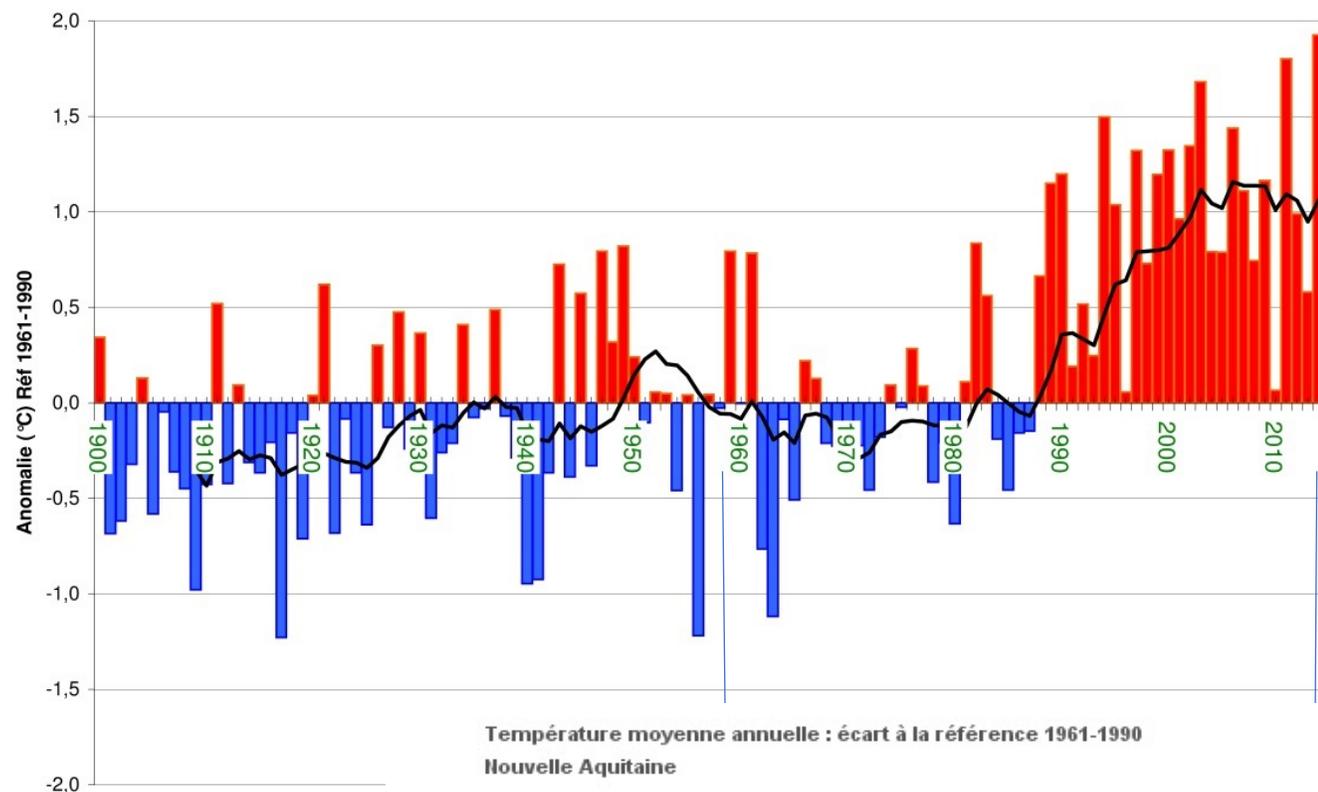
# Anomalie de température annuelle en France

(l'indicateur est constitué de la moyenne des températures de 30 stations météorologiques. Le zéro correspond à la moyenne de l'indicateur sur la période 1961-1990, soit 11,8 °C).

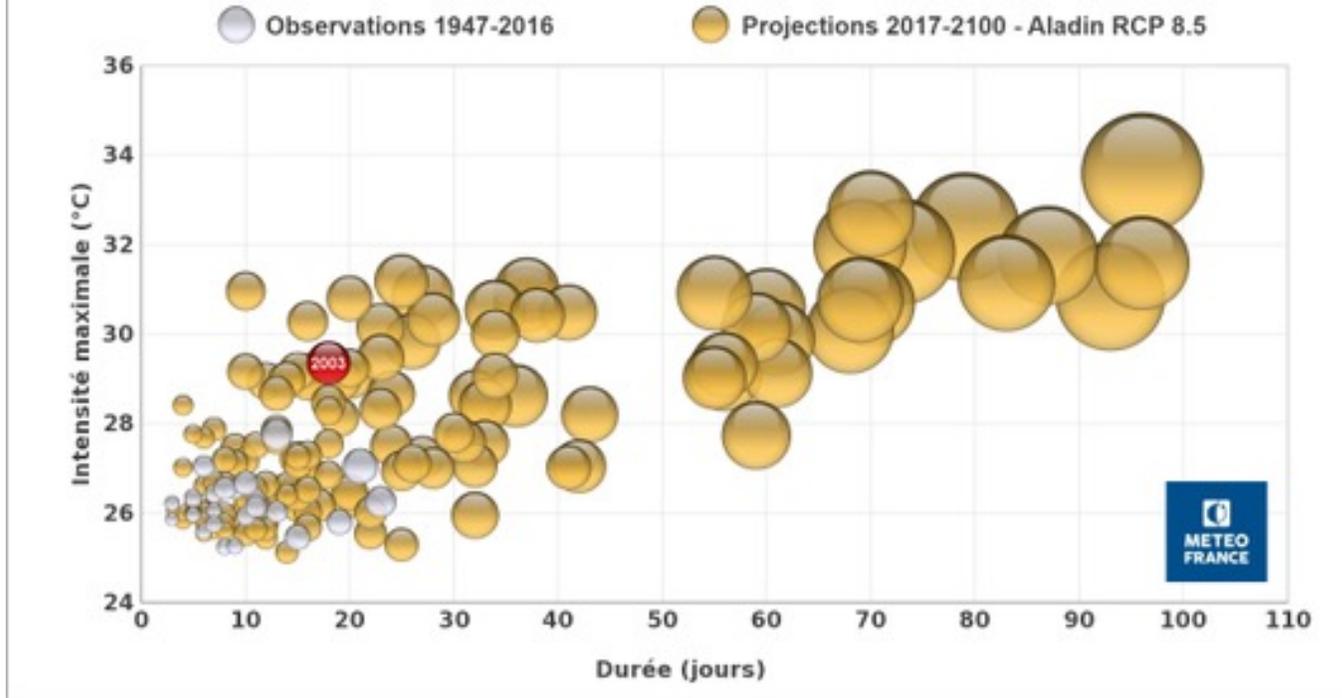
© MEDDE/Meteo France/IPSL/CERFACS

et en Nouvelle Aquitaine !  
(rapport Acclimaterra 2018)

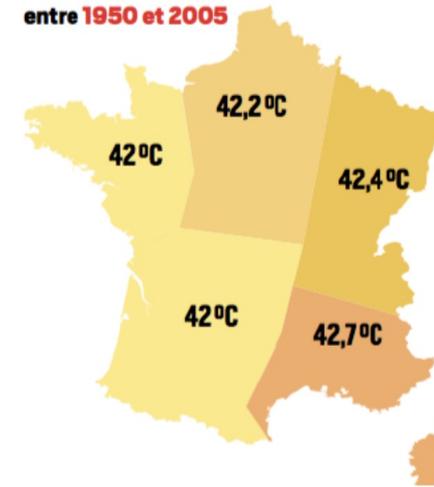
+1,4°C entre 1959 et 2016



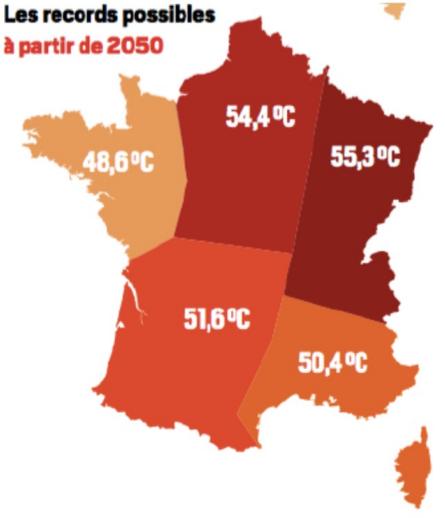
# Evolution possible des vagues de chaleur en France ?



Les records observés  
entre 1950 et 2005



Les records possibles  
à partir de 2050



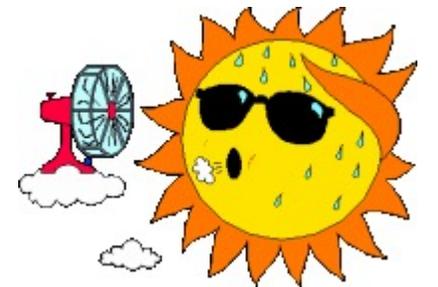
En 2050, des pics à 55 °C dans l'Est et le Nord

Bador et al. (2017), *Environmental Research Letters*

Vagues de chaleur observées en France entre 1947 et 2016 (en gris) et projetées entre 2017 et 2100 (en doré), dans un scénario de poursuite des émissions de gaz à effet de serre à leur rythme actuel

Le Monde 22/7/2017

Issue d'un article à *Environmental Research Letters* publié le 19 juillet 2017



Source MEDDE/Meteo France/IPSL/CERFACS