

Evolution du climat : des causes aux manifestations attendues en France

Agnès Ducharne

DR CNRS à l'UMR METIS, IPSL
Hydroclimatologue
agnes.ducharne@upmc.fr



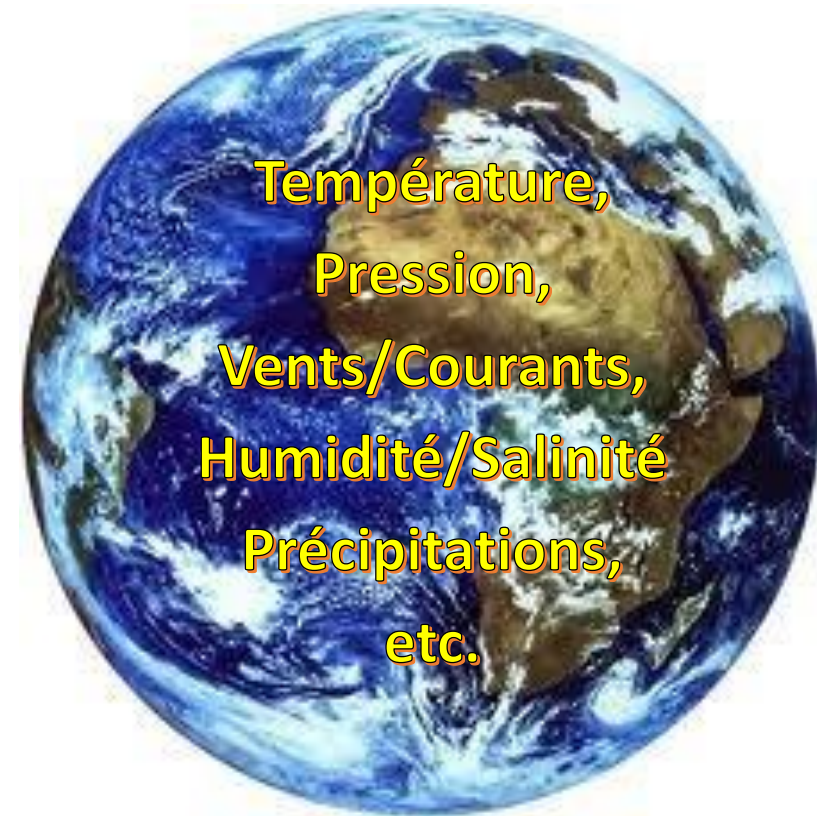
1. Climat, changement climatique naturel et anthropique
2. Principales manifestations depuis 150 ans
3. Que nous réserve le futur ?
4. Quelques éléments de conclusion

Qu'est-ce que le climat ?

Le terme **CLIMAT** désigne les caractéristiques physiques de l'atmosphère et de l'océan **d'un point de vue statistique**

→ **Moyenne et variabilité du « temps météorologique » sur les périodes longues (en général 30 ans)**

Implique des variables, des compartiments et des échelles variés



Atmosphère

Biosphère

Océans

Continents

Cryosphère

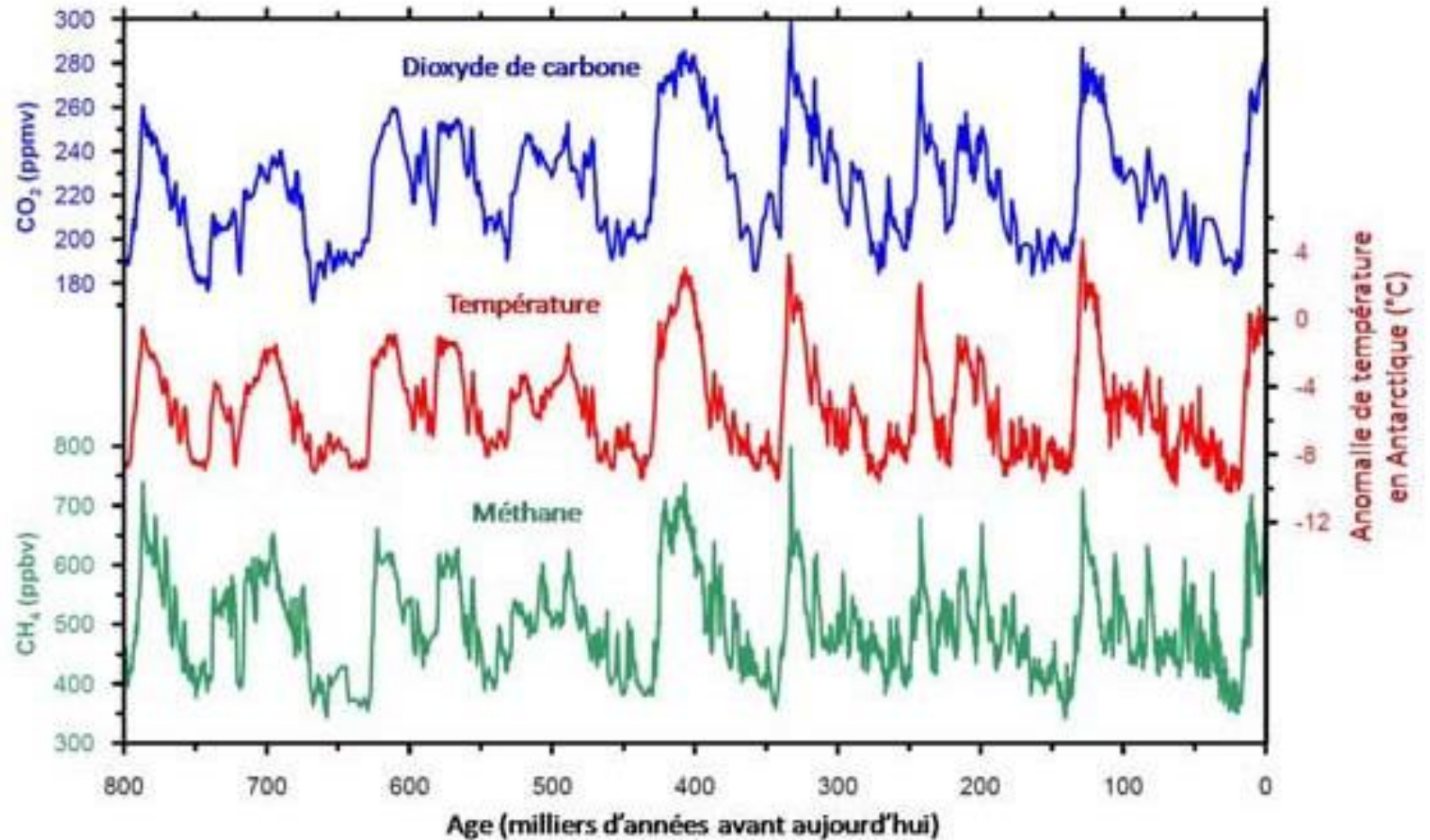
Le climat change naturellement

Périodicité ~ 100 ky

Amplitudes :

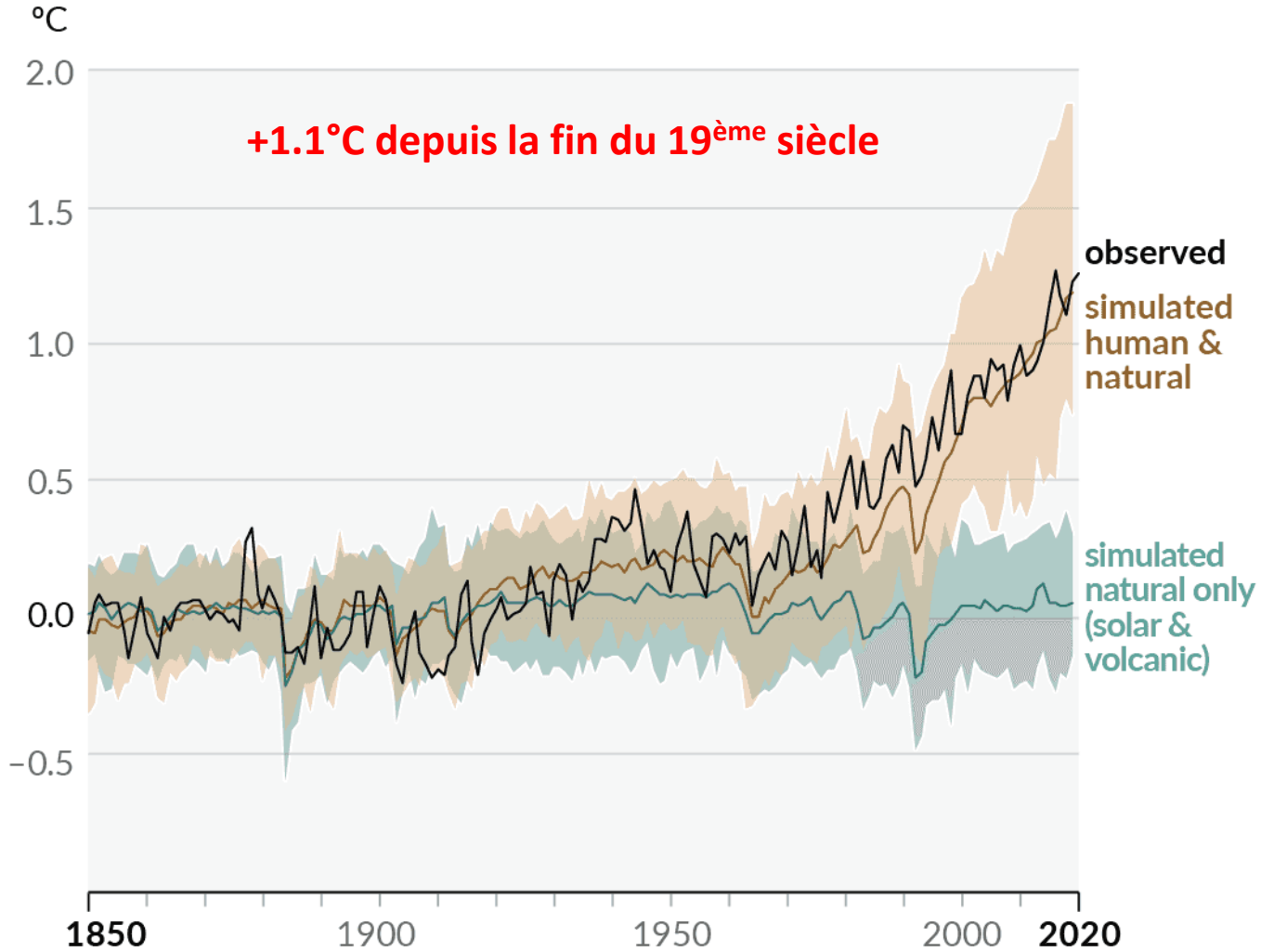
- Température ~ 8°C
- Niveau de la mer ~ 100 m
- CO₂ ~ 100 ppm

Ici, les augmentations de température précèdent celles du CO₂ et CH₄ → le climat influence la biosphère et le taux de CO₂, qui amplifie les variations astronomiques



Mais depuis 150 ans le climat change à cause des activités humaines

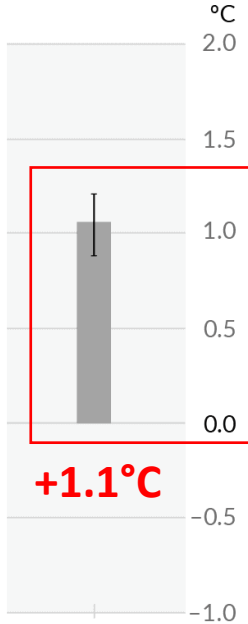
(b) Change in global surface temperature (annual average) as **observed** and simulated using **human & natural** and **only natural** factors (both 1850–2020)



Mais depuis 150 ans le climat change à cause des activités humaines

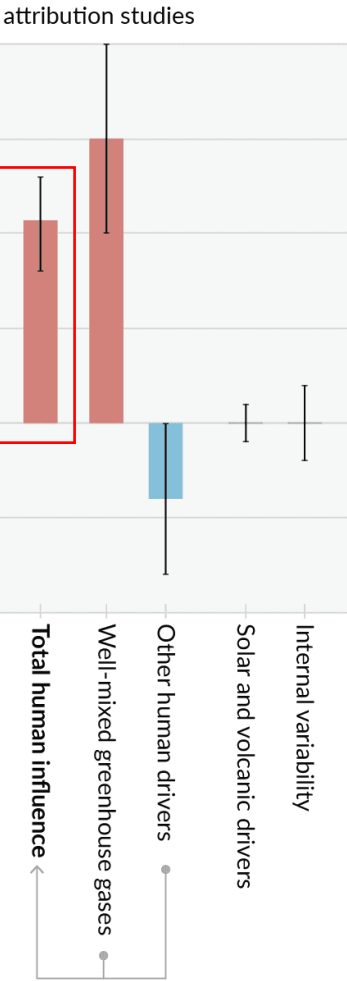
Observed warming

(a) Observed warming 2010–2019 relative to 1850–1900

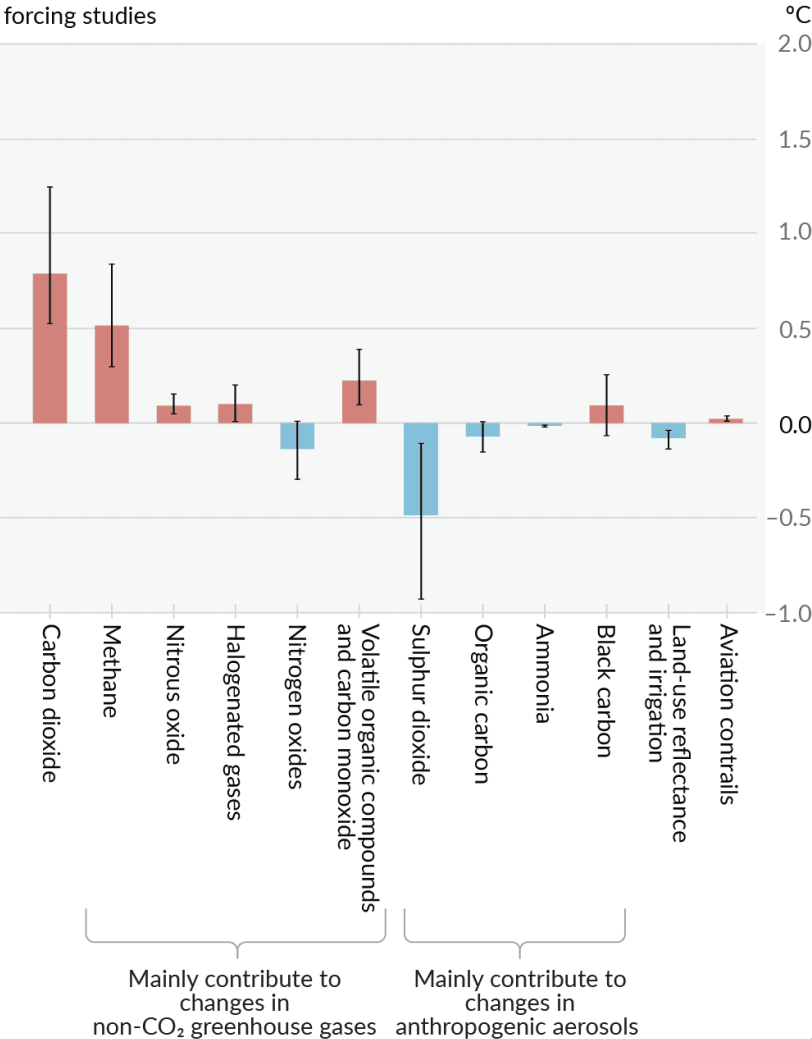


Contributions to warming based on two complementary approaches

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

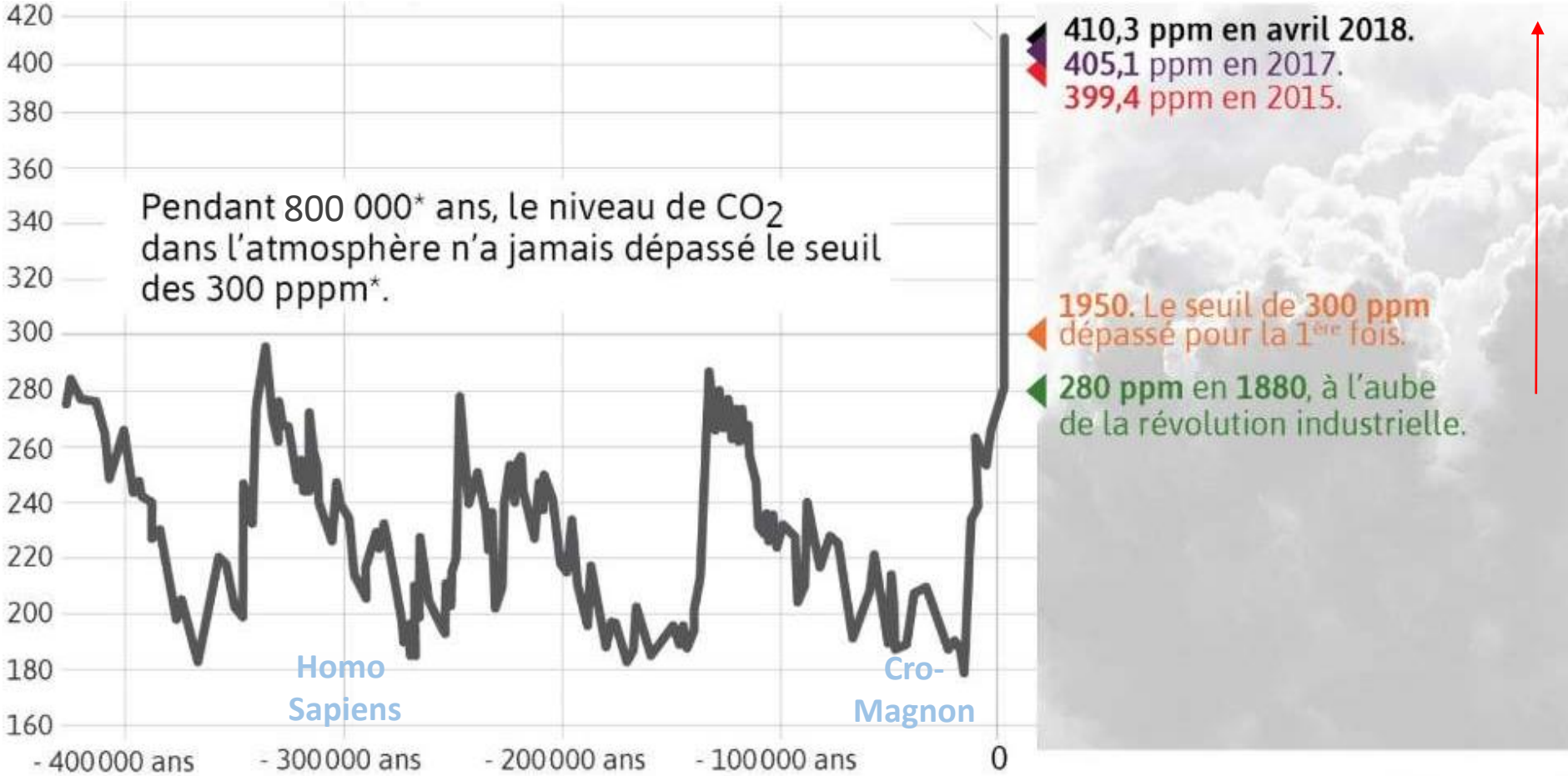


(c) Contributions to 2010–2019 warming relative to 1850–1900, assessed from radiative forcing studies



Réchauffement dû aux émissions en GES
Partiellement masqué par aérosols et changement d'occupation des terres

Mais depuis 150 ans le climat change à cause des activités humaines



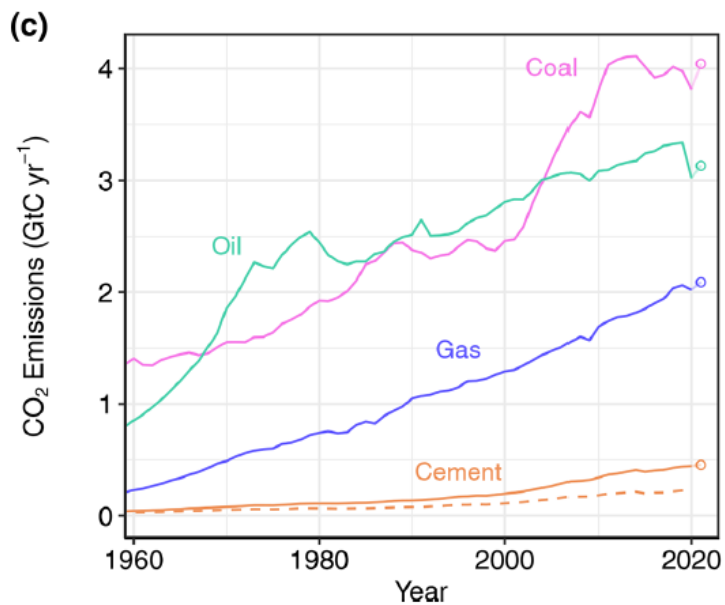
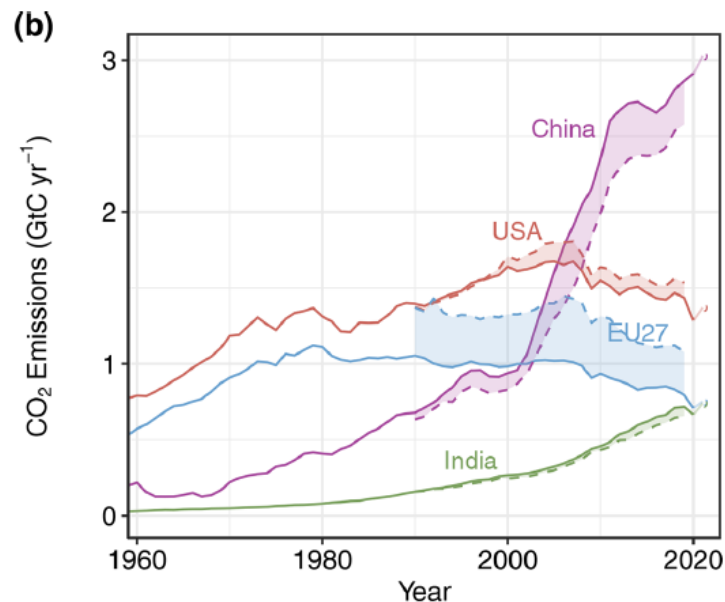
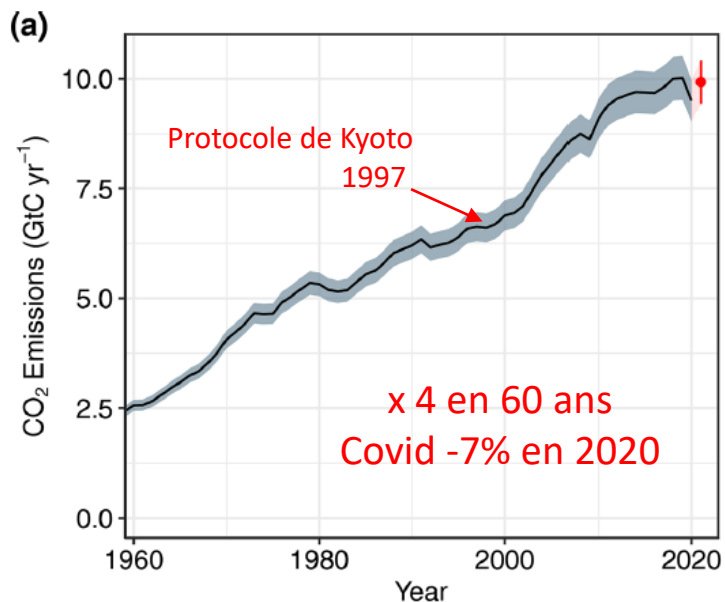
*données recueillies à partir d'analyses de glace issue de forages aux pôles.

Sources : Rapport de l'Organisation météorologique mondiale (OMM), NOAA, NASA et Mauna Loa Observatory (Hawaï).

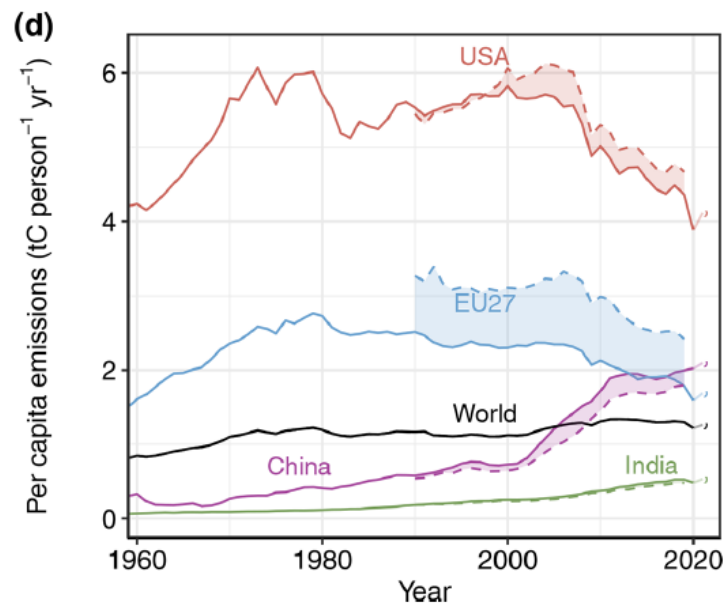


Mais depuis 150 ans le climat change à cause des activités humaines

Global Carbon Project 2021
Friedlingstein et al. (2022)



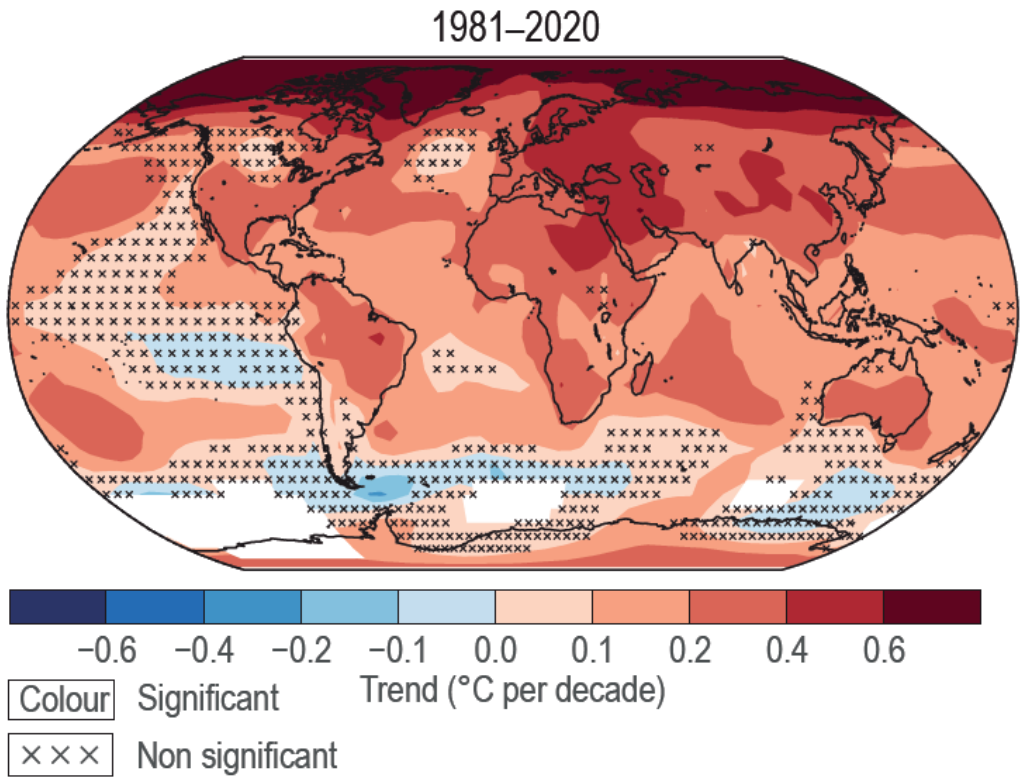
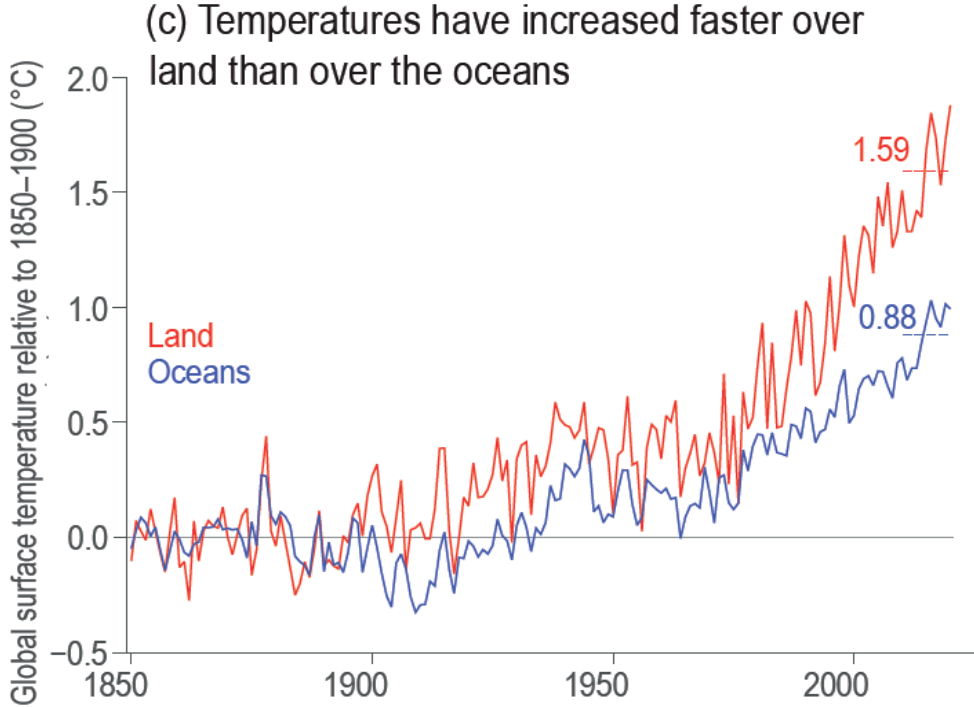
x 3.7
pour convertir les
tC en tCO₂



En tenant compte des importations, un français moyen émet 2 fois plus qu'un citoyen du monde moyen

Principales manifestations du changement climatique depuis 150 ans

Le réchauffement n'est pas uniforme



Principales manifestations du changement climatique depuis 150 ans

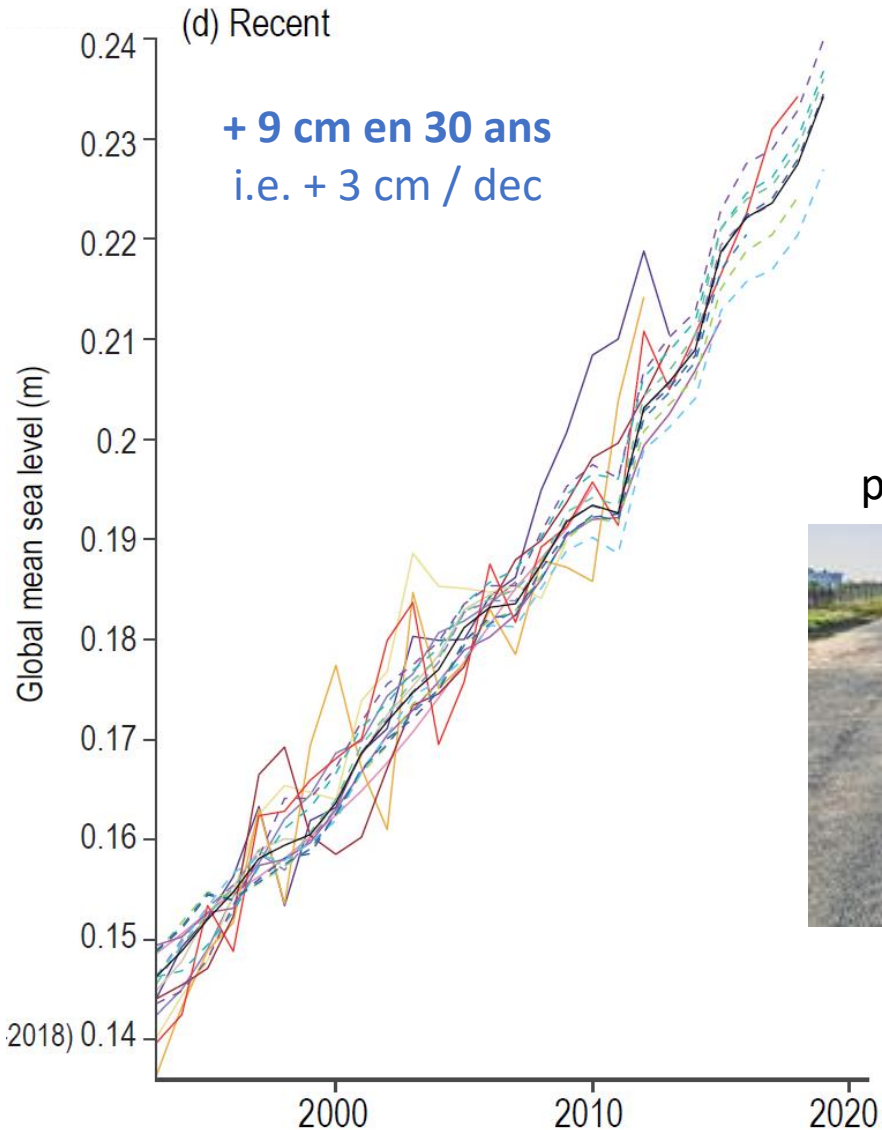
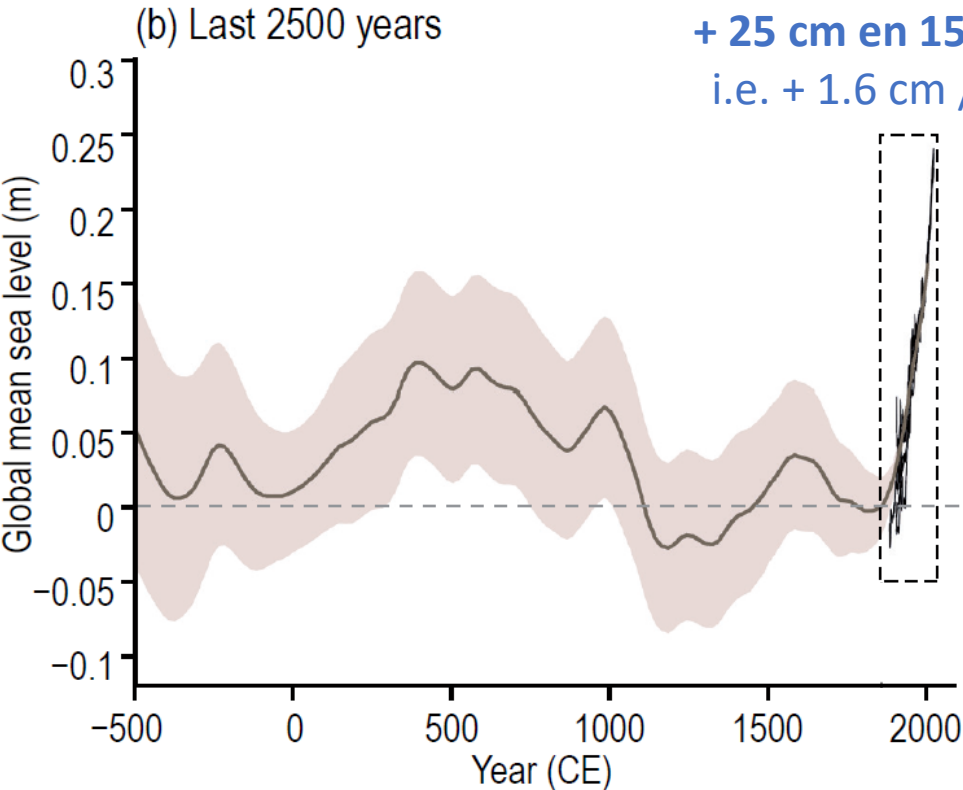


La fonte de la cryosphère
est une des principales sources d'incertitude
sur l'évolution du climat futur



Principales manifestations du changement climatique depuis 150 ans

Le niveau moyen de la mer augmente

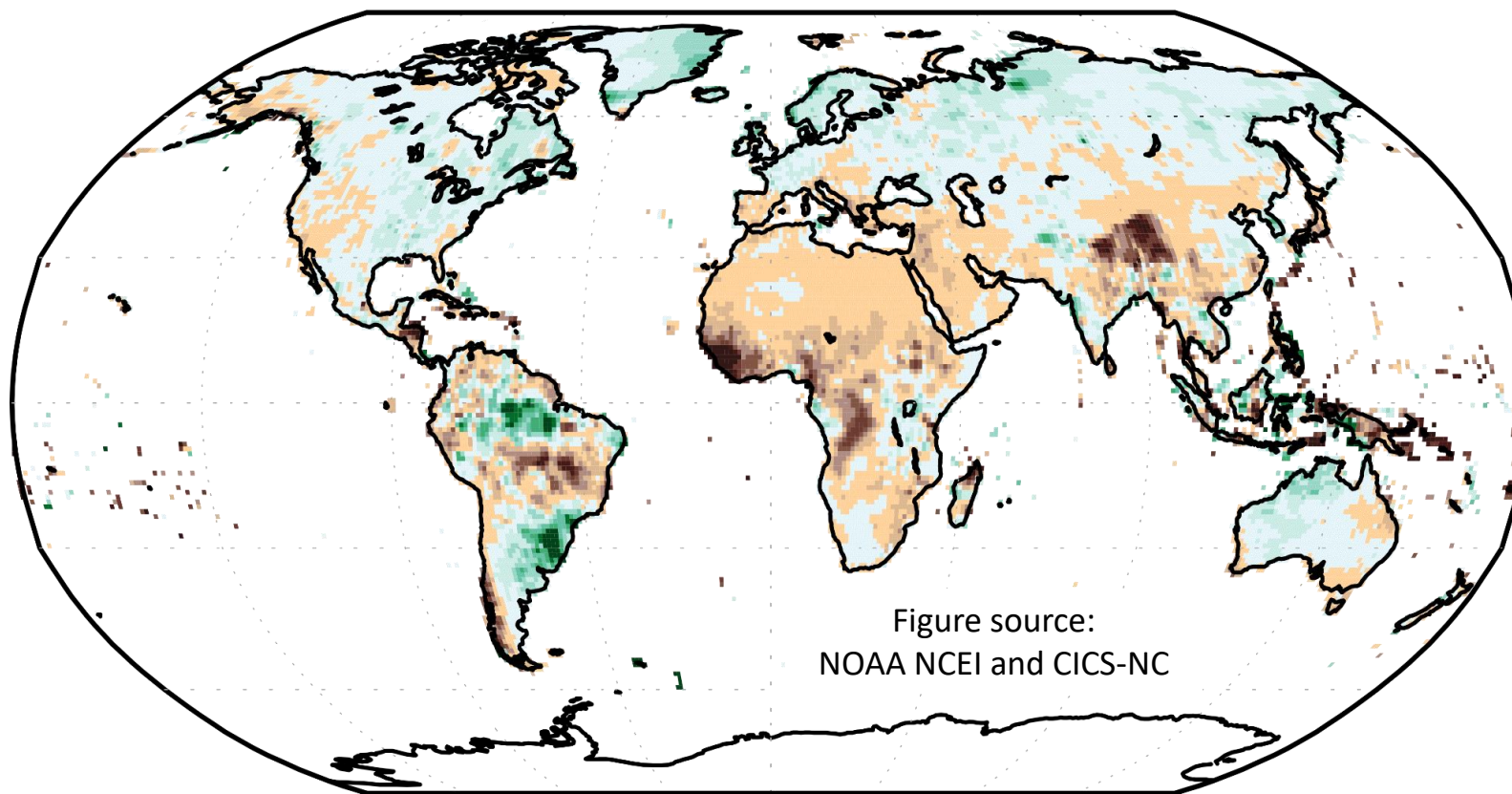


En France :
perte de 30 km² en 50 ans



Faible augmentation des précipitations sur les continents

Augmentation
moyenne
< 1% depuis 1980
AR6, WG1, Chap 2



Mais bcp de
baisse dans les
zones sèches
et/ou
déforestées

La plupart des
changements
locaux ne sont
pas significatifs

Change in Precipitation (inches)

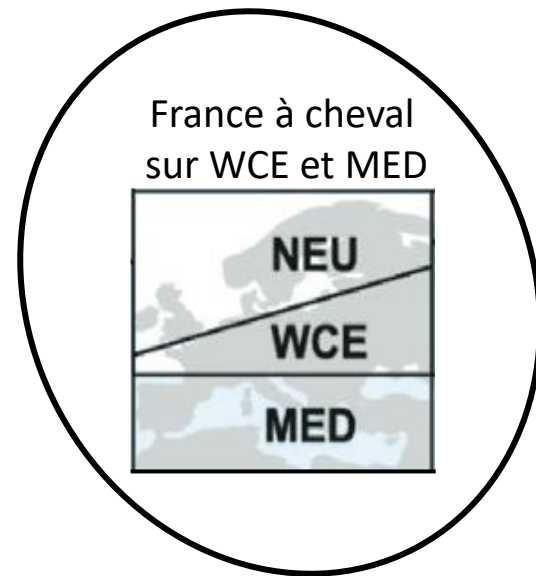
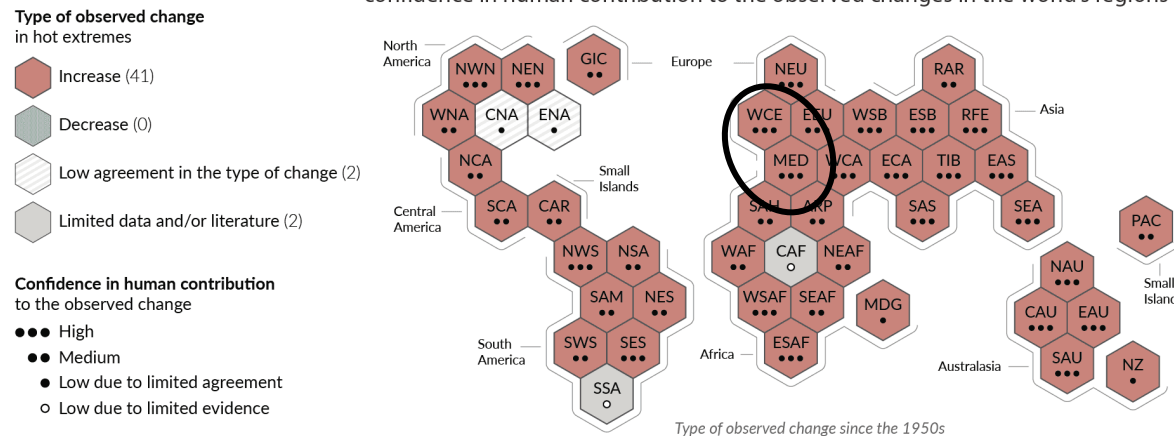


Changements de précipitation moyenne annuelle entre 1986-2015 et 1901-1960
à partir des observations de stations long-terme (donc sur continents)

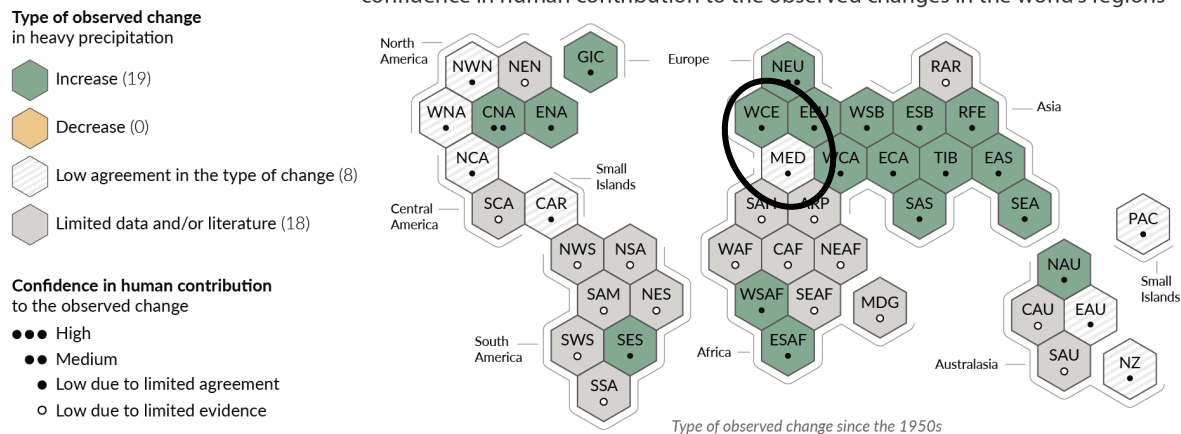
Principales manifestations du changement climatique depuis 150 ans

Augmentation des évènements extrêmes

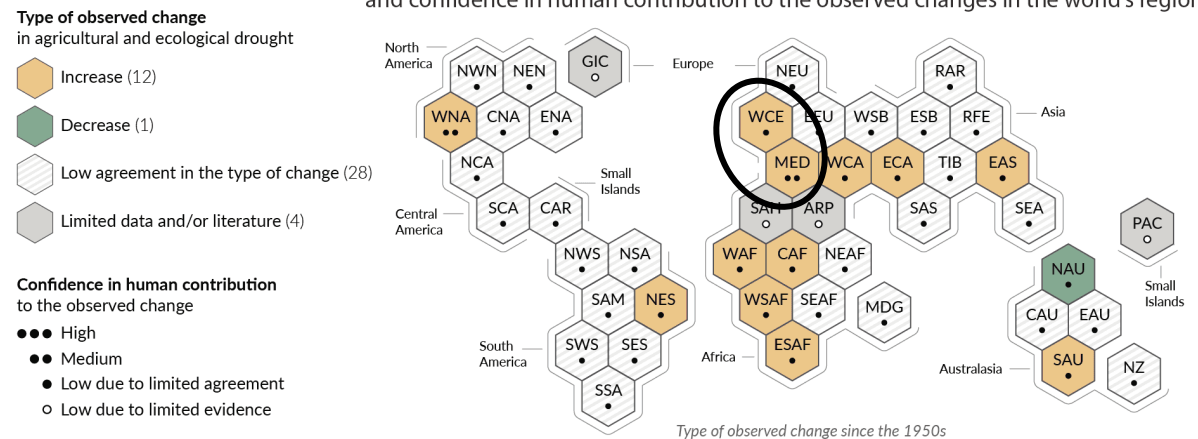
(a) Synthesis of assessment of observed change in **hot extremes** and confidence in human contribution to the observed changes in the world's regions



(b) Synthesis of assessment of observed change in **heavy precipitation** and confidence in human contribution to the observed changes in the world's regions



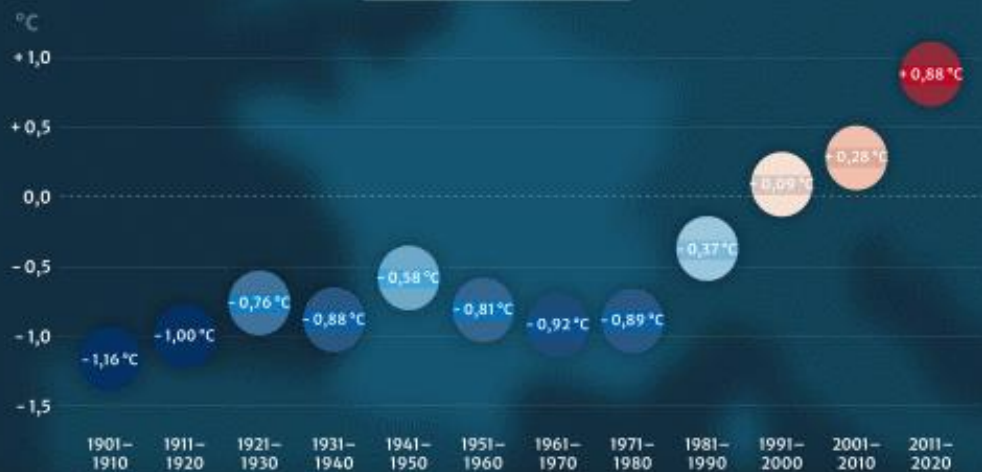
(c) Synthesis of assessment of observed change in **agricultural and ecological drought** and confidence in human contribution to the observed changes in the world's regions



On retrouve les mêmes tendances en France

TEMPÉRATURES DÉCENNALES EN FRANCE

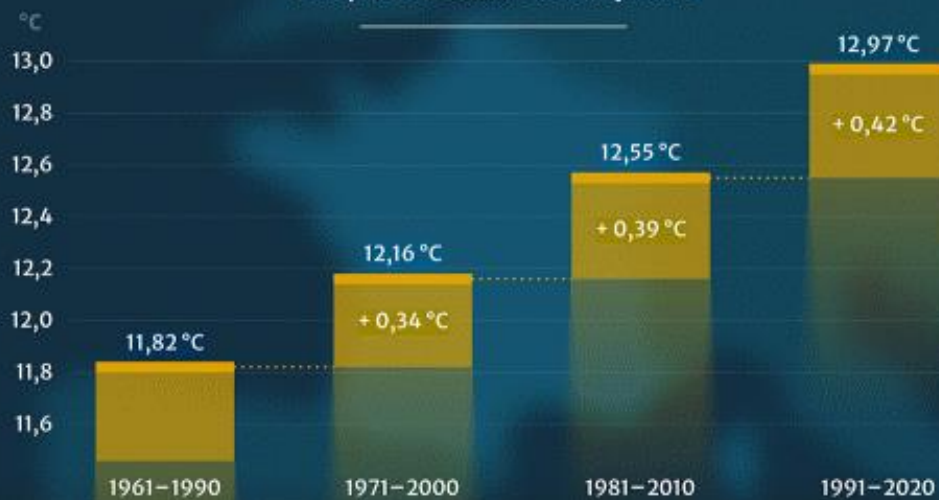
écart à la normale 1981–2010



METEO FRANCE

ÉVOLUTION DES NORMALES EN FRANCE

température annuelle moyenne



METEO FRANCE

Réchauffement > 2°C depuis le début du 20^{ème} siècle
(températures moyennes annuelles)

On retrouve les mêmes tendances en France

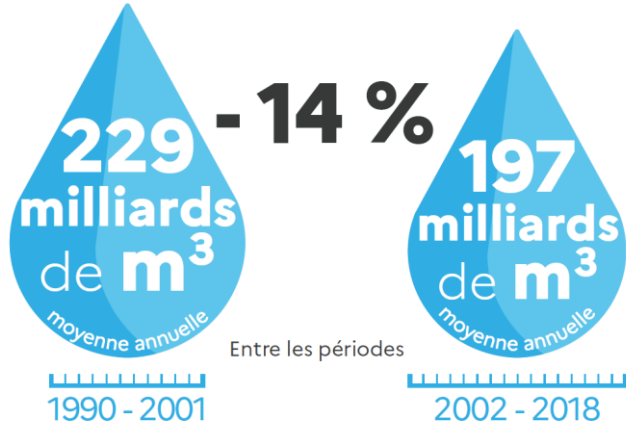
Ressources en eau moyennes en France (1990-2018)

Précipitations = 930 mm/an

Evaporation = 550 mm/an (60 % de P)

Ressources renouvelables = 380 mm/an (40% de P)

La **ressource en eau renouvelable a diminué.**

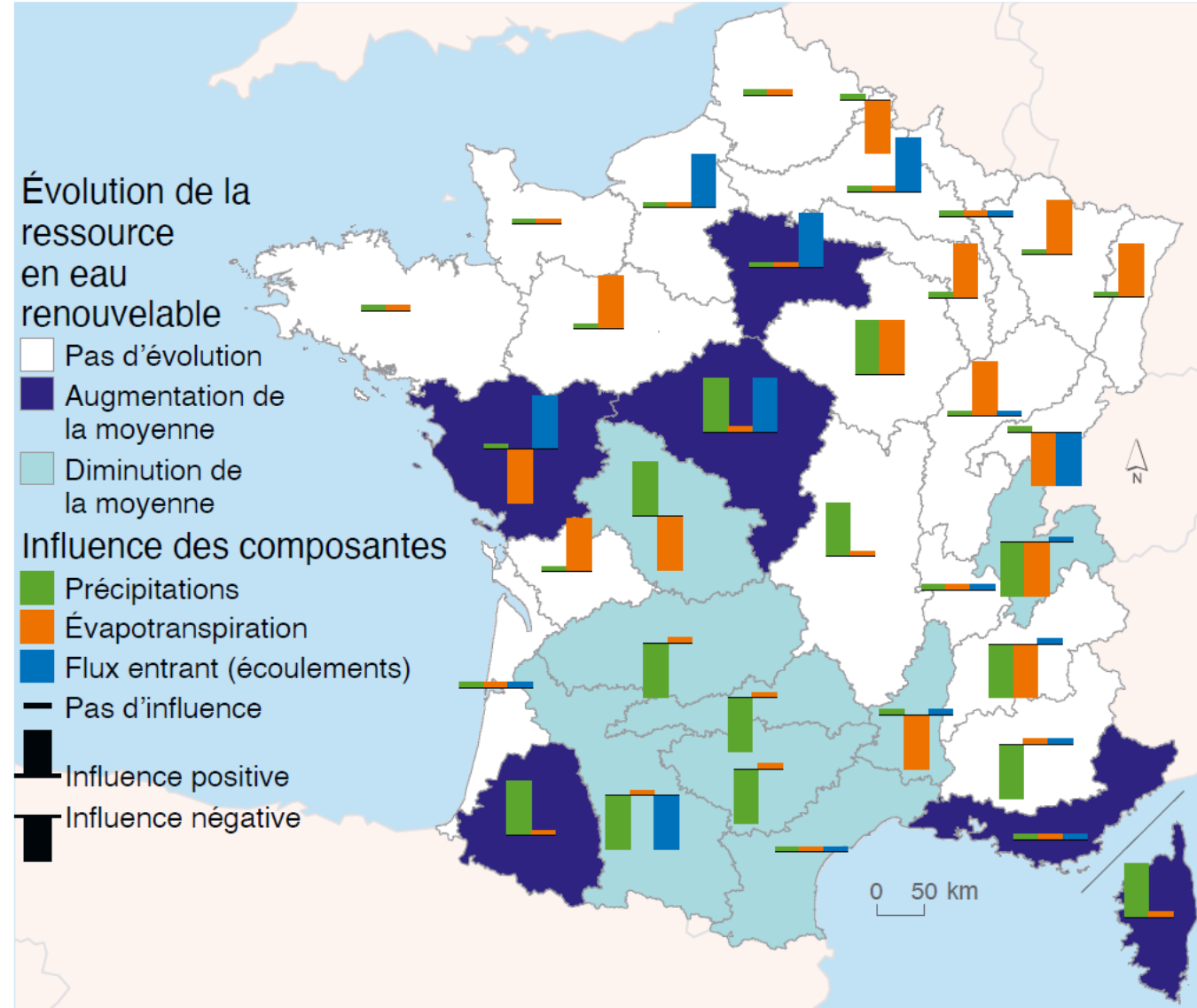


Évolutions de la ressource en eau renouvelable en France métropolitaine de 1990 à 2018


JUIN 2022

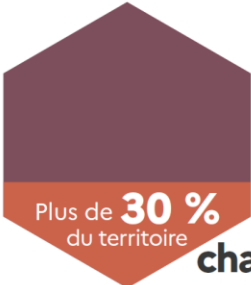



Carte 4 : évolution de la ressource en eau renouvelable annuelle et influence de chaque composante, par sous-bassin DCE* administratif, de 1990 à 2018



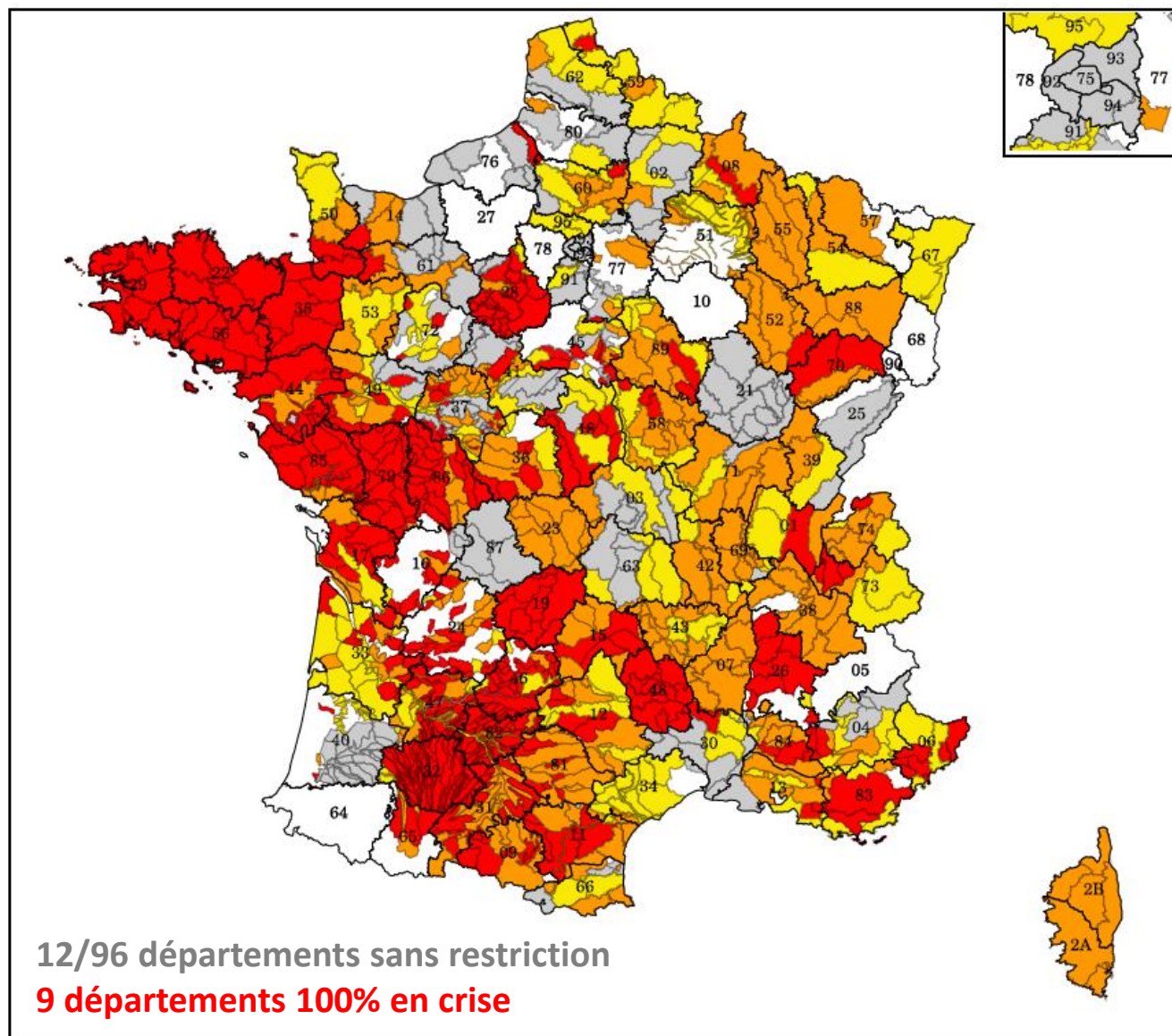
Carte des arrêtés de restriction au 09/10/22

 **Restrictions d'eau**


 Plus de **30 %** du territoire est touché


 **ARRÊTÉ PRÉFECTORAL**


chaque année par des restrictions d'usages de l'eau entre **2017** et **2020**.



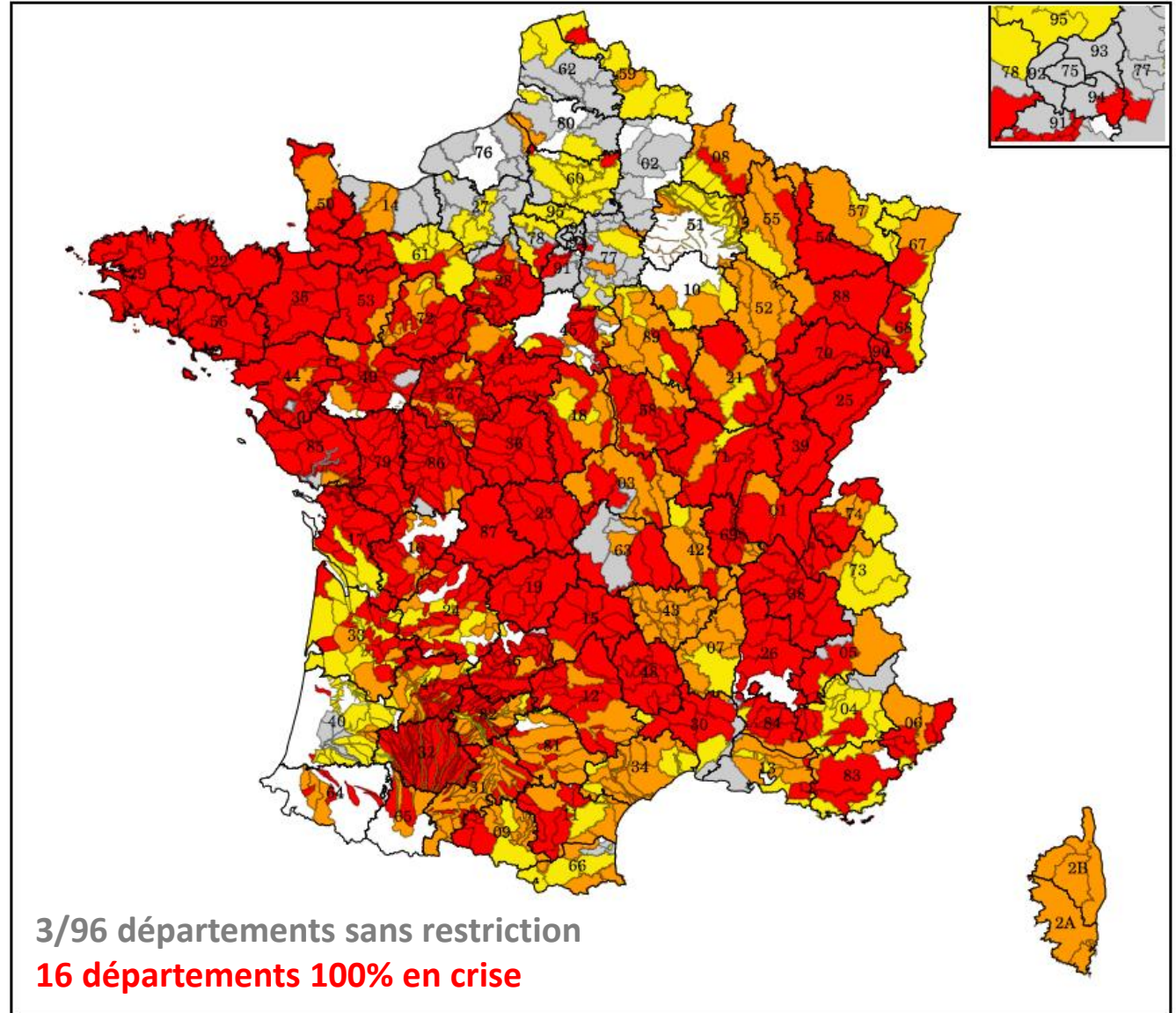
Carte des arrêtés de restriction du 25/08 au 15/09 2022

 **Restrictions d'eau**

 Plus de **30 %** du territoire est touché

 **ARRÊTÉ PRÉFECTORAL**

chaque année par des restrictions d'usages de l'eau entre **2017** et **2020**.



On retrouve les mêmes tendances en France



Xynthia, La Faute sur mer, 2010



Canicule 2003



Vignes dans l'Hérault, juin 2019

Edition France



1,20 € Mercredi 20 juillet 2022

Service clients : votrecompte.ouest-france.fr
 Tél. 02 99 32 66 66
 Fondateur du Comité éditorial : François Régis Hutin
 N°2395/www.ouest-france.fr

Justice et Liberté

Finistère : les flammes ravagent les monts d'Arrée

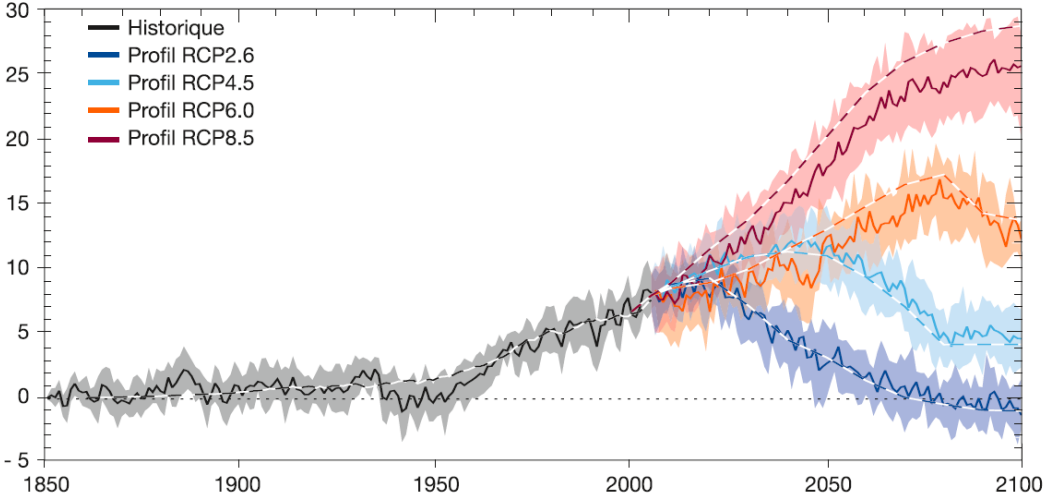
2022



La où s'étalait un magnifique parterre de verdure il y a quarante-huit heures, il ne reste presque plus rien. Près de 1 700 ha de végétation ont brûlé. L'incendie s'est déclaré, lundi, au mont Saint-Michel de Brasparts (Finistère). Les pompiers, nombreux, étaient toujours à pied d'œuvre hier. Page 3

Que nous réserve le futur ?

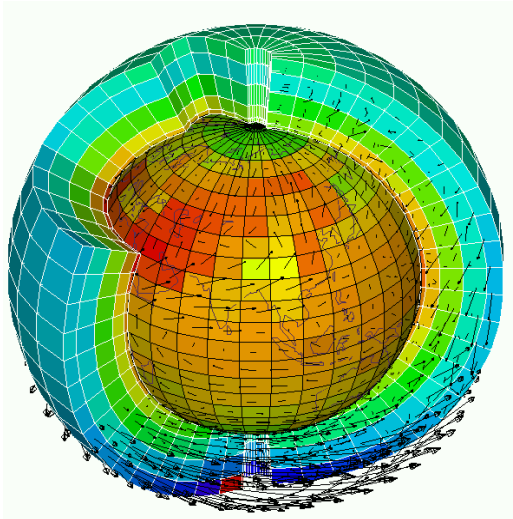
Scénarios d'émissions futures (en GtC/an)



Avec aussi des scénarios d'aérosols et occupation des terres

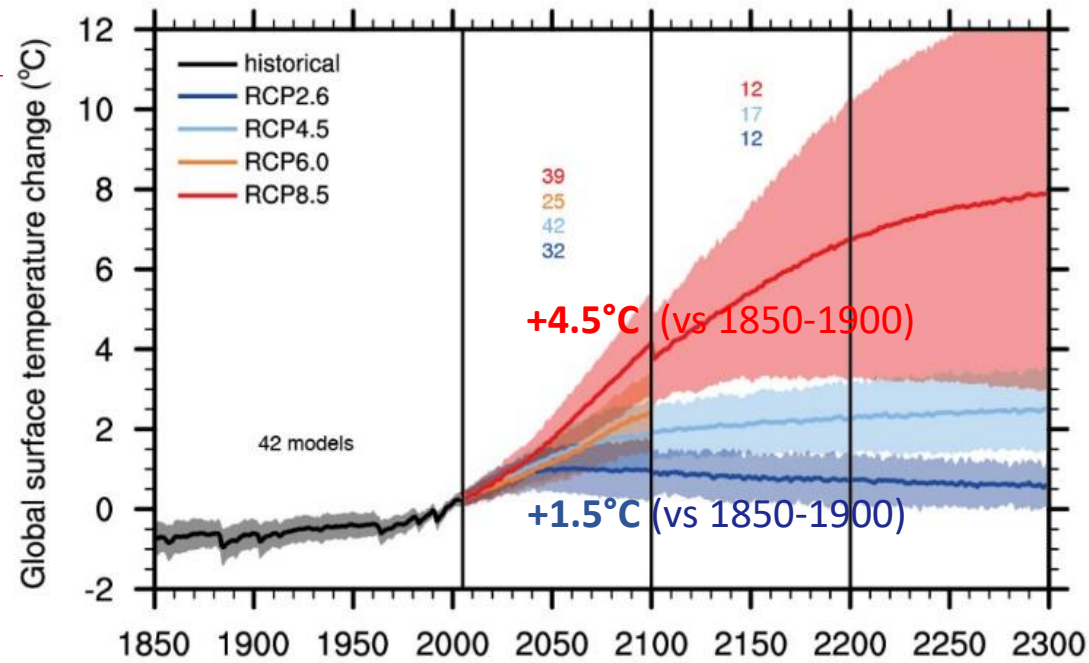
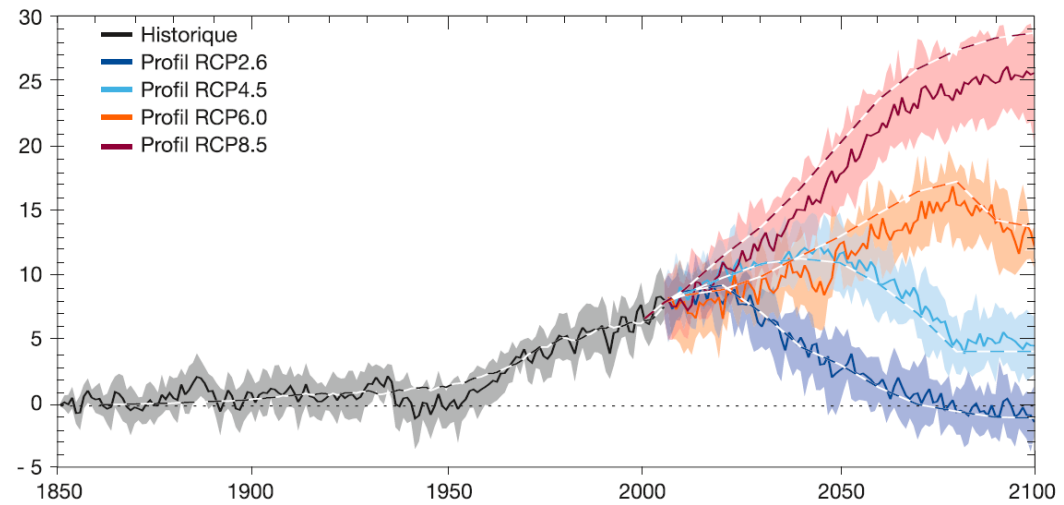


Modèles climatique



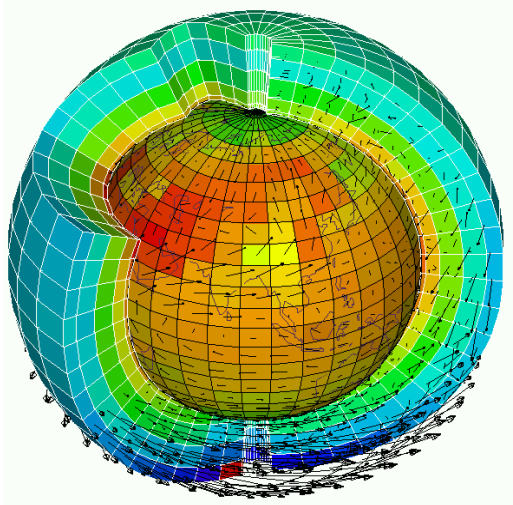
Que nous réserve le futur ?

Scénarios d'émissions futures (en GtC/an)

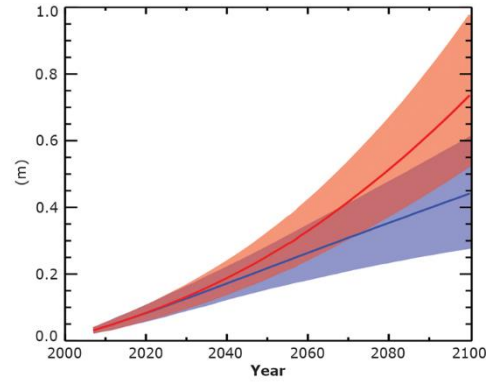


Avec aussi des scénarios d'aérosols et occupation des terres

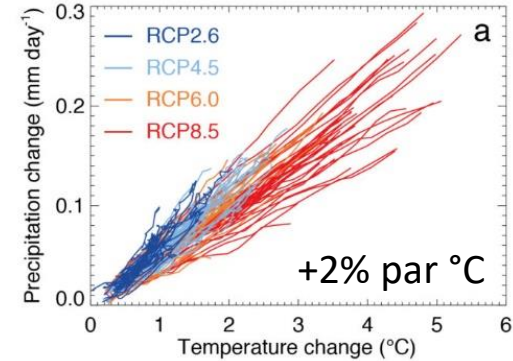
Modèles climatique



Niveau de la mer



Précipitations



Que nous réserve le futur ?

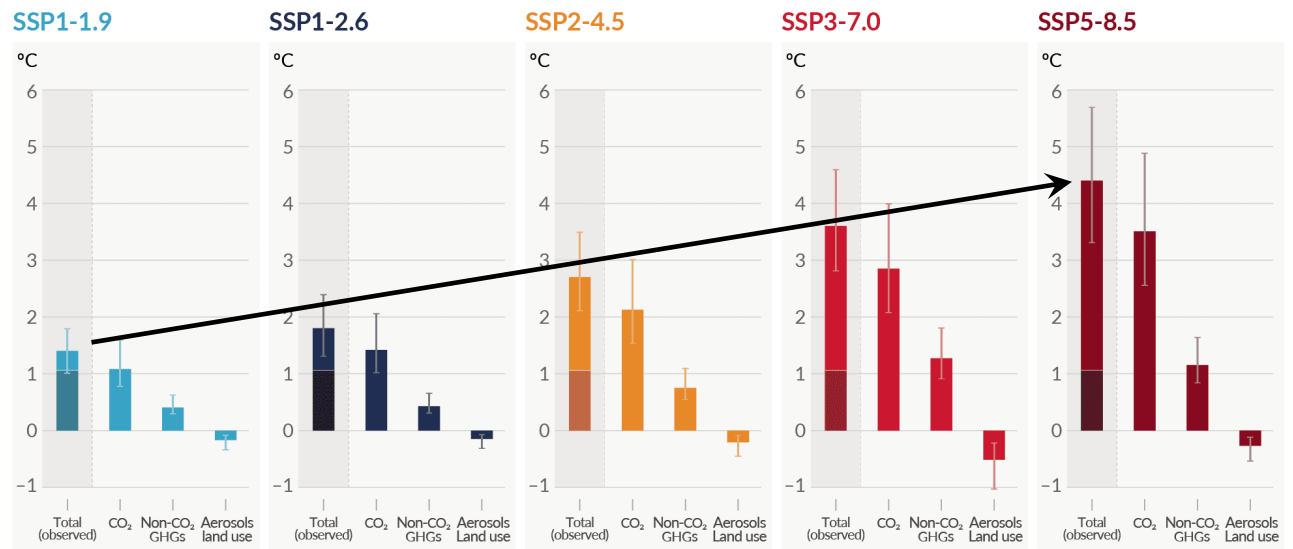
Les nouveautés du dernier rapport du GIEC (AR6)

Nouveaux scénarios SSP
(Shared Socioeconomic Pathways)

Analyses par degrés de réchauffement moyen

(b) Contribution to global surface temperature increase from different emissions, with a dominant role of CO₂ emissions

Change in global surface temperature in 2081–2100 relative to 1850–1900 (°C)

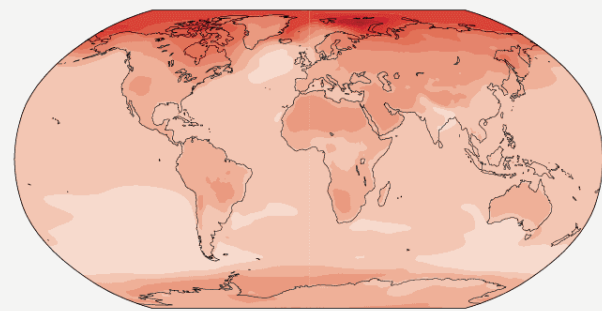


Total warming (observed warming to date in darker shade), warming from CO₂, warming from non-CO₂ GHGs and cooling from changes in aerosols and land use

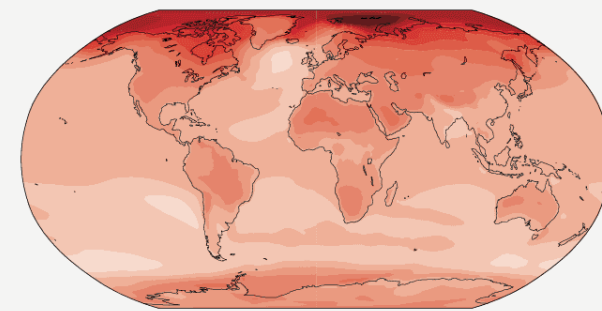
(b) Annual mean temperature change (°C) relative to 1850–1900

Across warming levels, land areas warm more than ocean areas, and the Arctic and Antarctica warm more than the tropics.

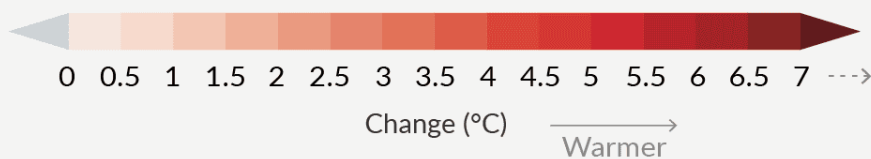
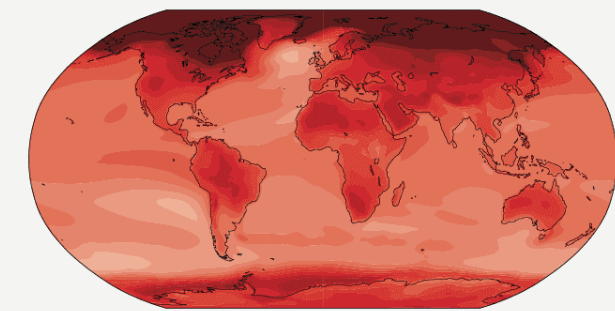
Simulated change at 1.5°C global warming



Simulated change at 2°C global warming



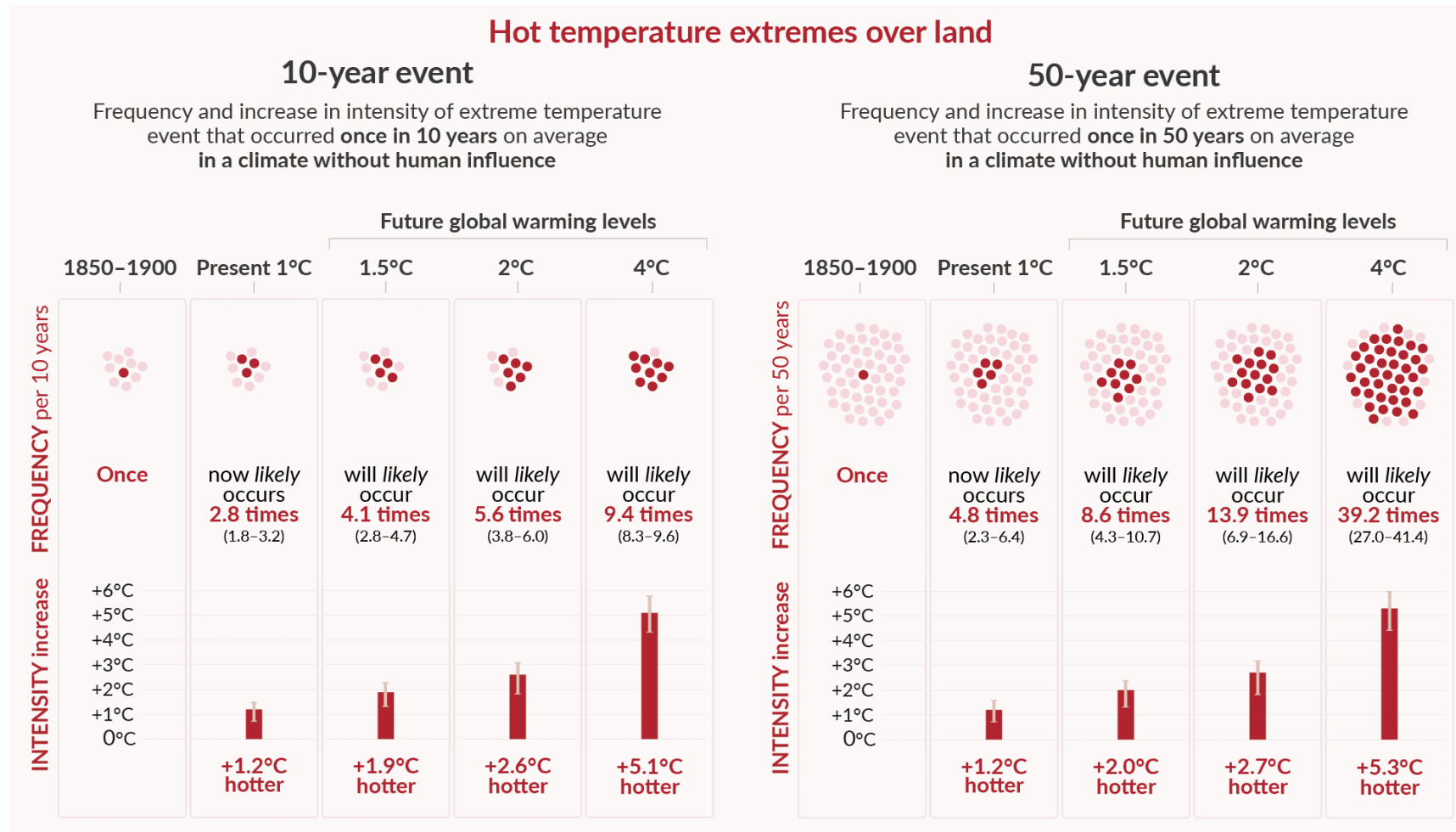
Simulated change at 4°C global warming



Que nous réserve le futur ?

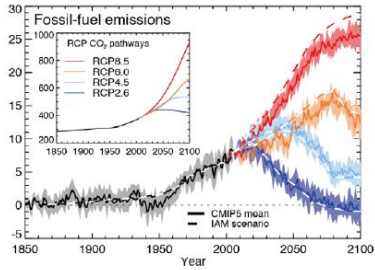
Intensification des évènements extrêmes

Et ce d'autant plus que le réchauffement moyen est prononcé



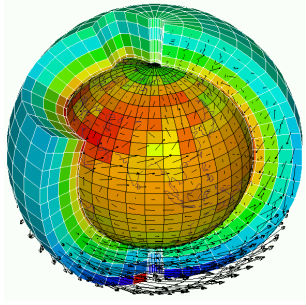
Et en France ?

Scénarios d'émissions

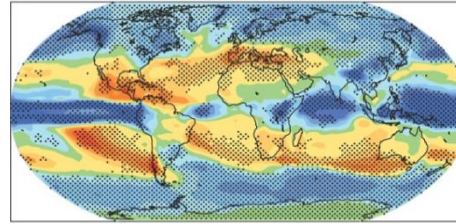


+ scénarios d'OS

Modèles climatique globaux



Projections climatiques de grande échelle

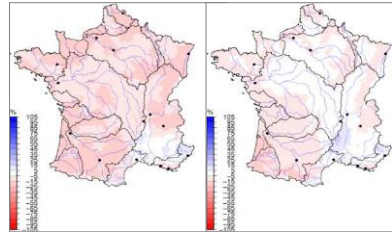


CMIP6 & GIEC
avec atlas interactif

Descente d'échelle
+ correction de biais

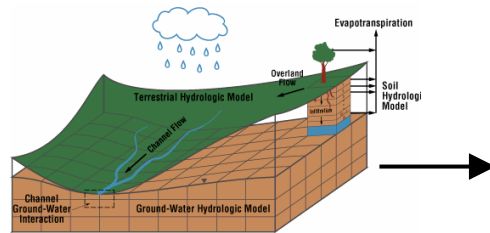


Projections climatiques régionalisées

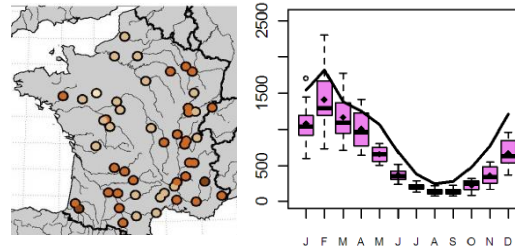


Exemple :
site DRIAS

Projections hydrologiques ou... régionalisées



Modèles d'impact



Besoin d'indicateurs spécialisés pour les impacts

Mais attention

- aux incertitudes (partout)
- aux indicateurs à seuil (surtout si projections biaisées)

<http://www.drias-climat.fr/decouverte>

DRIAS les futurs du climat

ACCUEIL

ACCOMPAGNEMENT

DÉCOUVERTE

DONNÉES ET PRODUITS

Espace Découverte

Vous pouvez depuis cet espace explorer de façon interactive l'information mise à disposition dans Drias^{les futurs du climat}, en visualisant, sous forme de cartes, les différentes évolutions climatiques simulées pour le siècle en cours sur la France. Plusieurs axes d'exploration sont proposés en combinant les modèles climatiques, les scénarios d'émissions de gaz à effet de serre (GES) et indicateurs climatiques.

Dans les étapes suivantes, toutes les rubriques ont été initialisées par défaut et vous pouvez vous contenter de 'valider' les pré-sélections pour afficher des premiers produits.

Thème de la modélisation

Atmosphère

--- Atmosphère ---

Atmosphère

--- Impact ---

Agriculture

Tourisme hivernal en montagne – Enneigement

Risques naturels – Feux de forêt

Ressource en eau - Sécheresse

--- Ancien jeu ---

Atmosphère (2014)

Domaine géographique

Métropole

et massifs, outre-mer

Famille de paramètres

Température

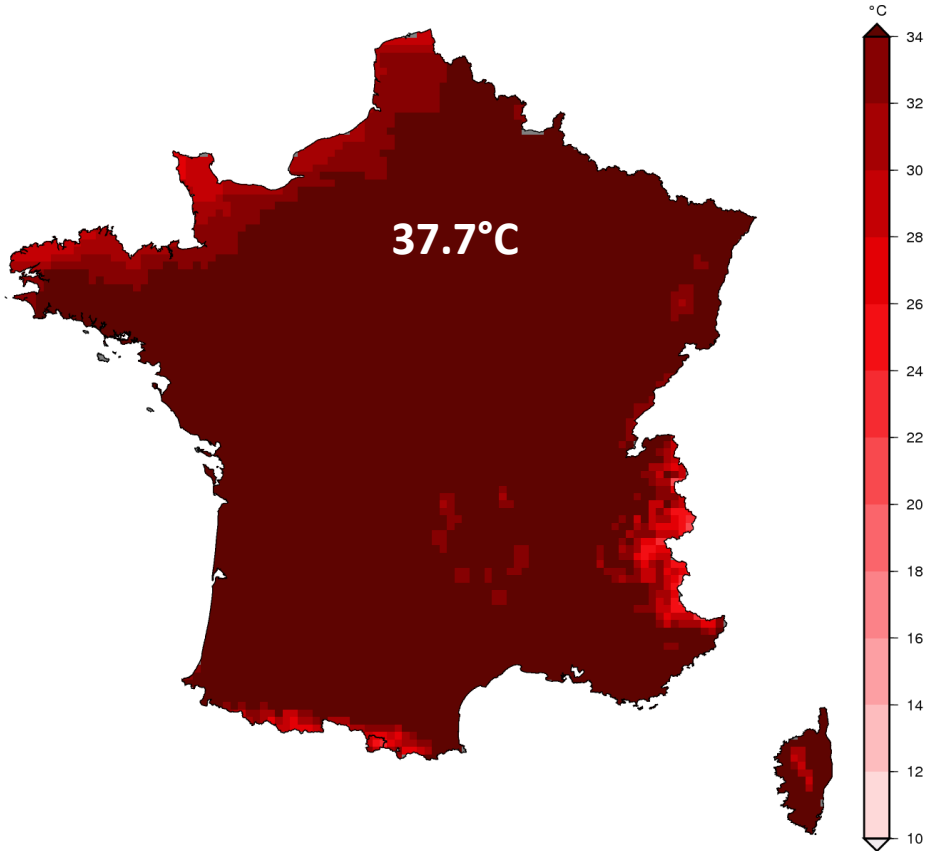
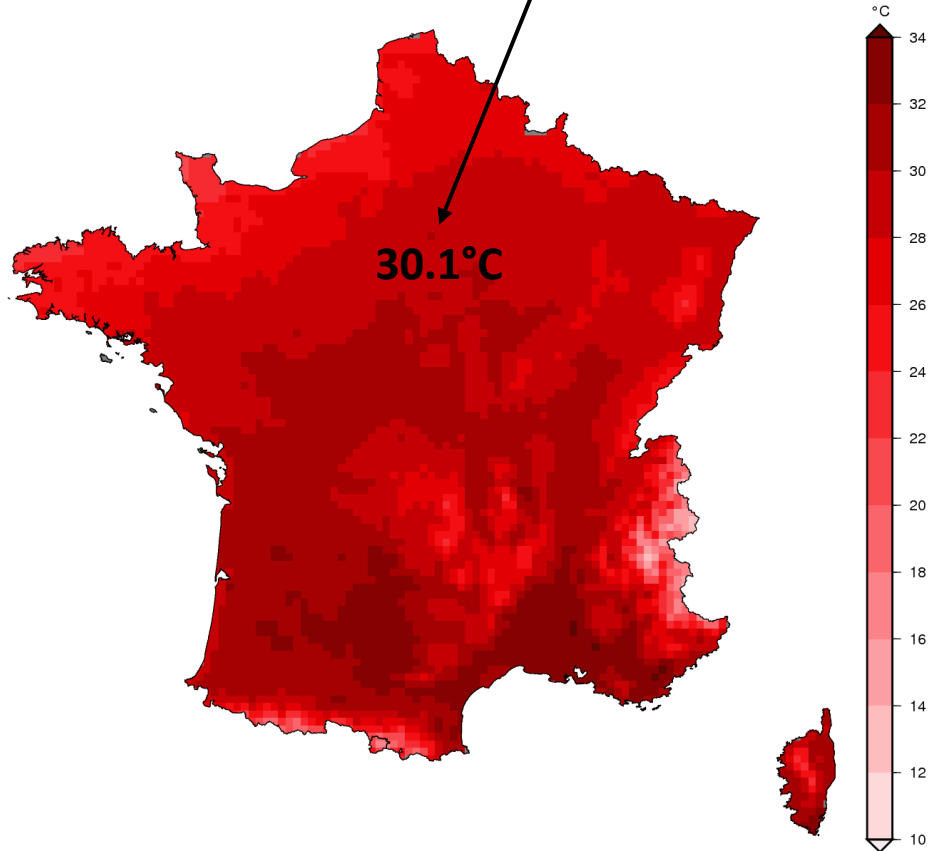
et P, vent, humidité

Valider

A partir de 30 projections climatiques régionalisées RCP4.5 et RCP8.5

Canicules sous scénario pessimiste (RCP8.5)

REF 1976-2005
A Paris, 5% des Tmax
simulées en Aout sont
> 30.1°C

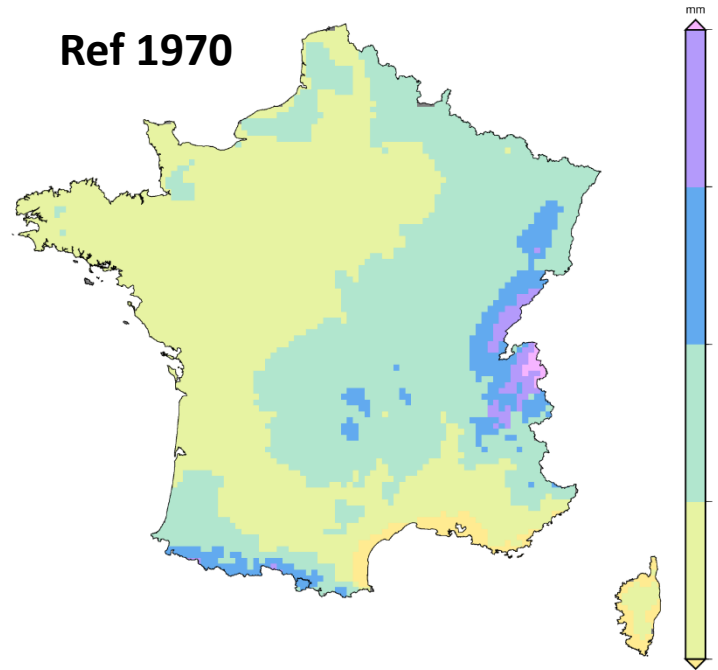


Période 2070-2100,
si on ne réduit pas les
émissions en GES (RCP8.5)
A Paris, 5% des Tmax
simulées en Aout sont
> 37.7°C

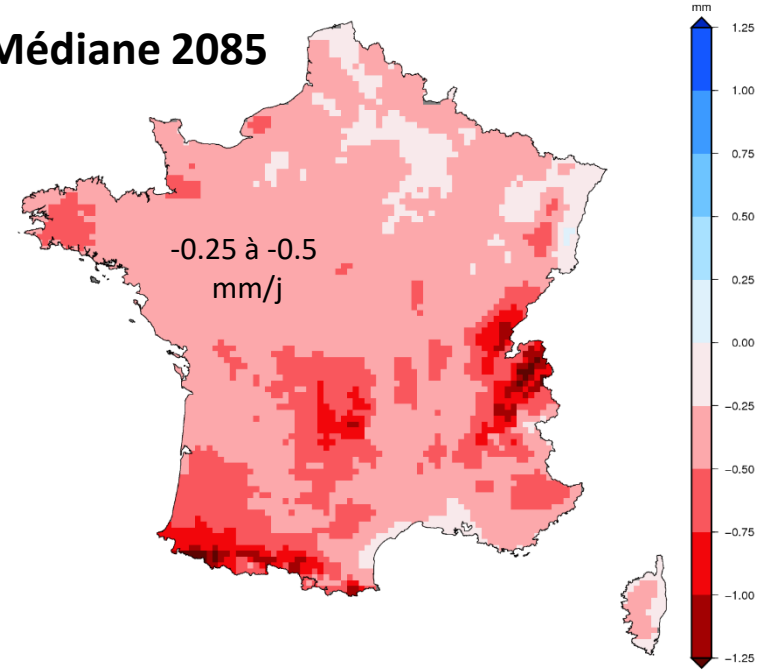
Et en France ?

Précipitations estivales RCP8.5

Ref 1970

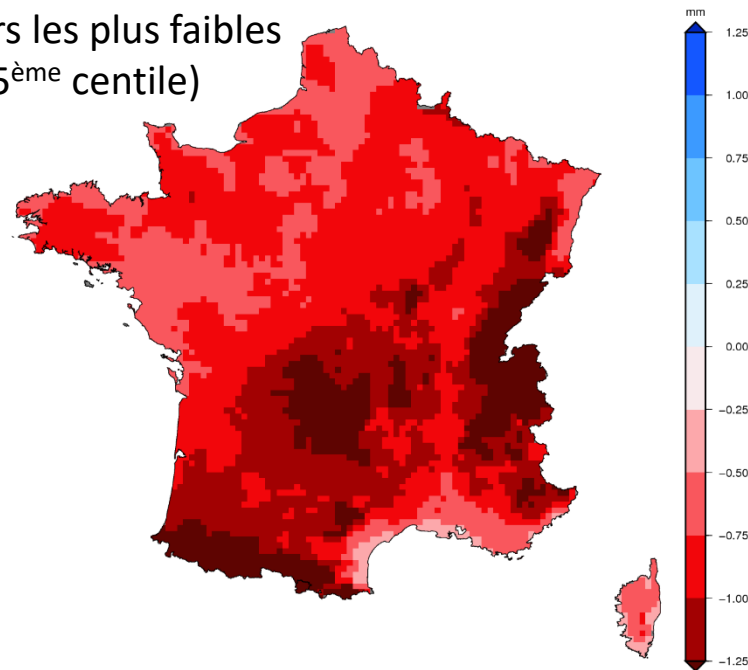


Médiane 2085



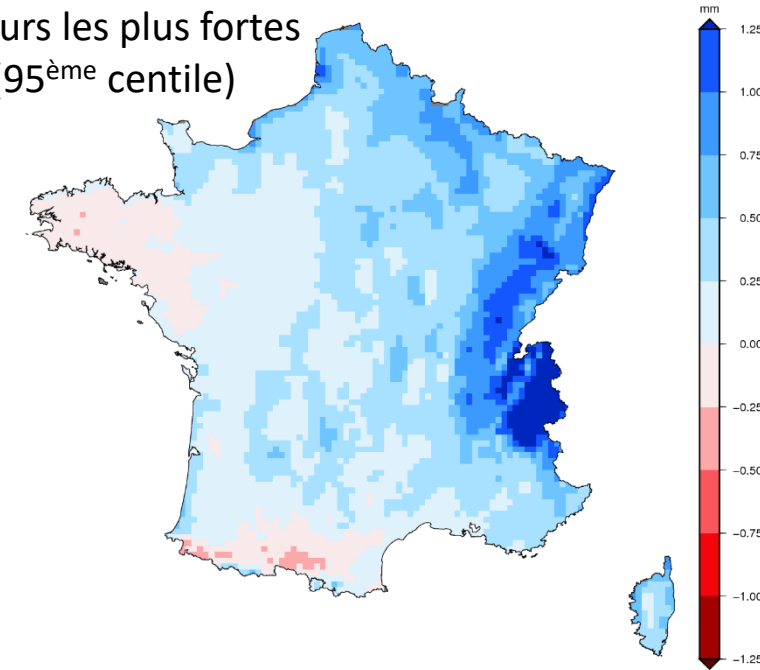
2085

Valeurs les plus faibles
(5^{ème} centile)



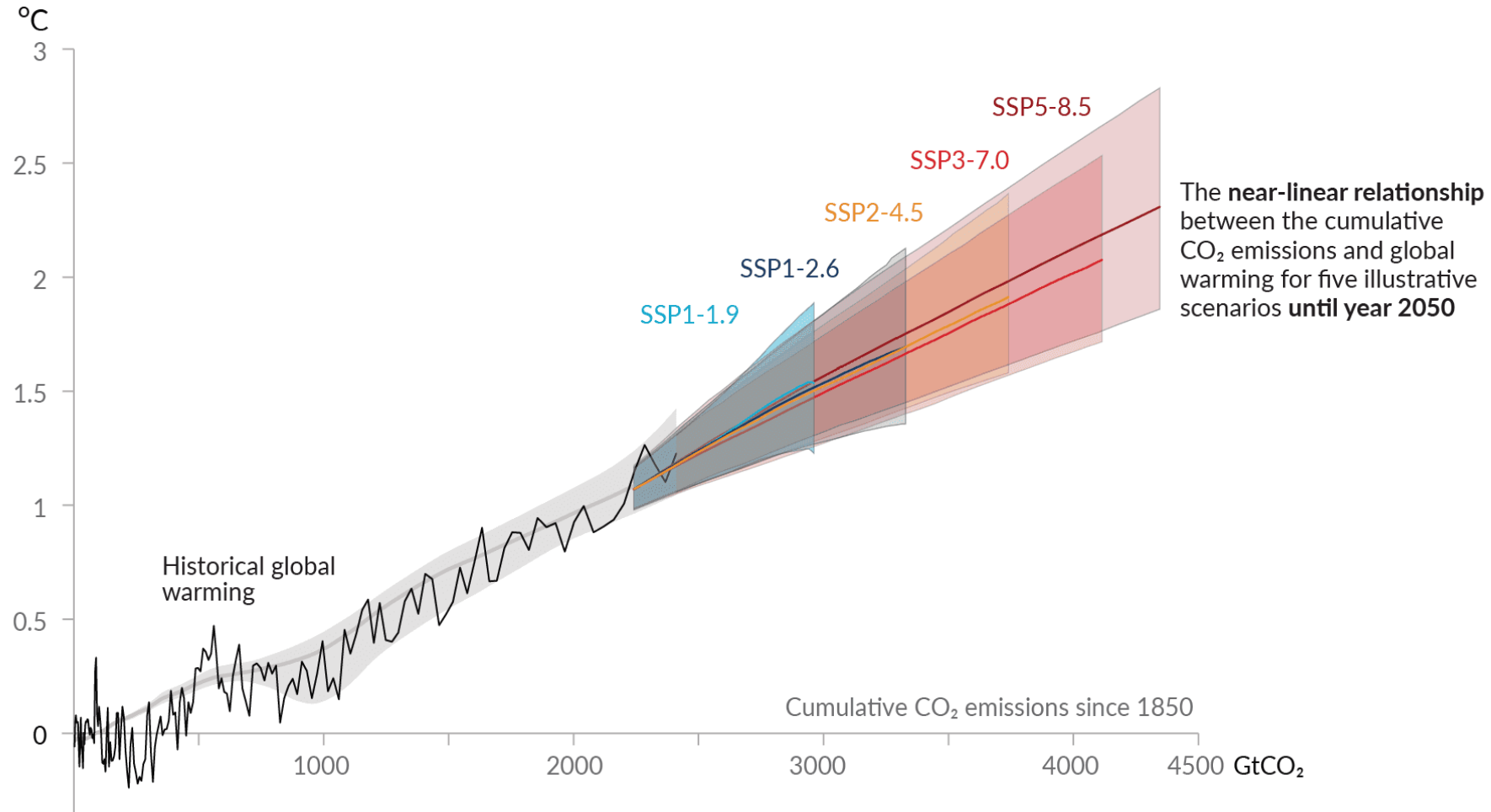
2085

Valeurs les plus fortes
(95^{ème} centile)



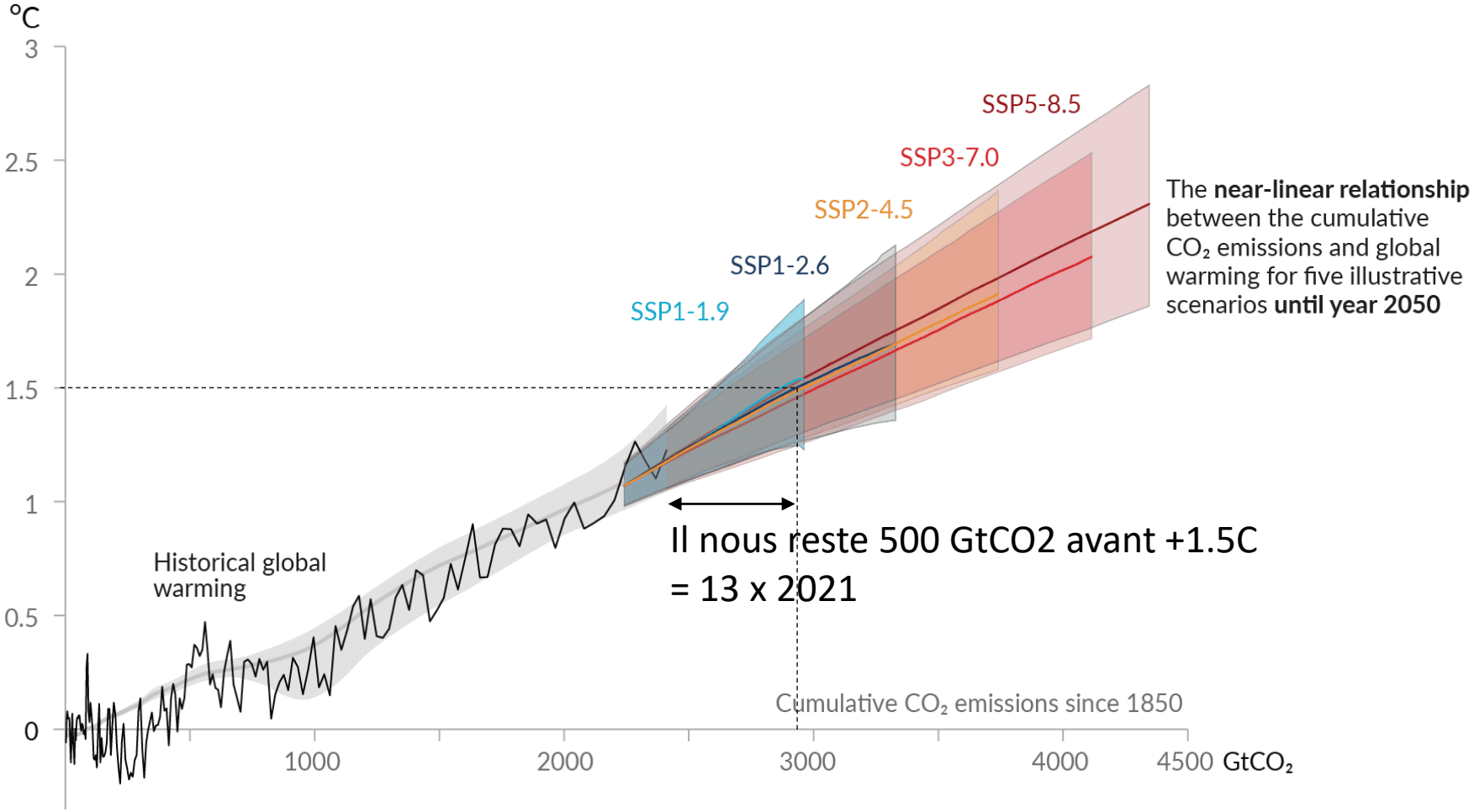
Every tonne of CO₂ emissions adds to global warming

Global surface temperature increase since 1850–1900 (°C) as a function of cumulative CO₂ emissions (GtCO₂)



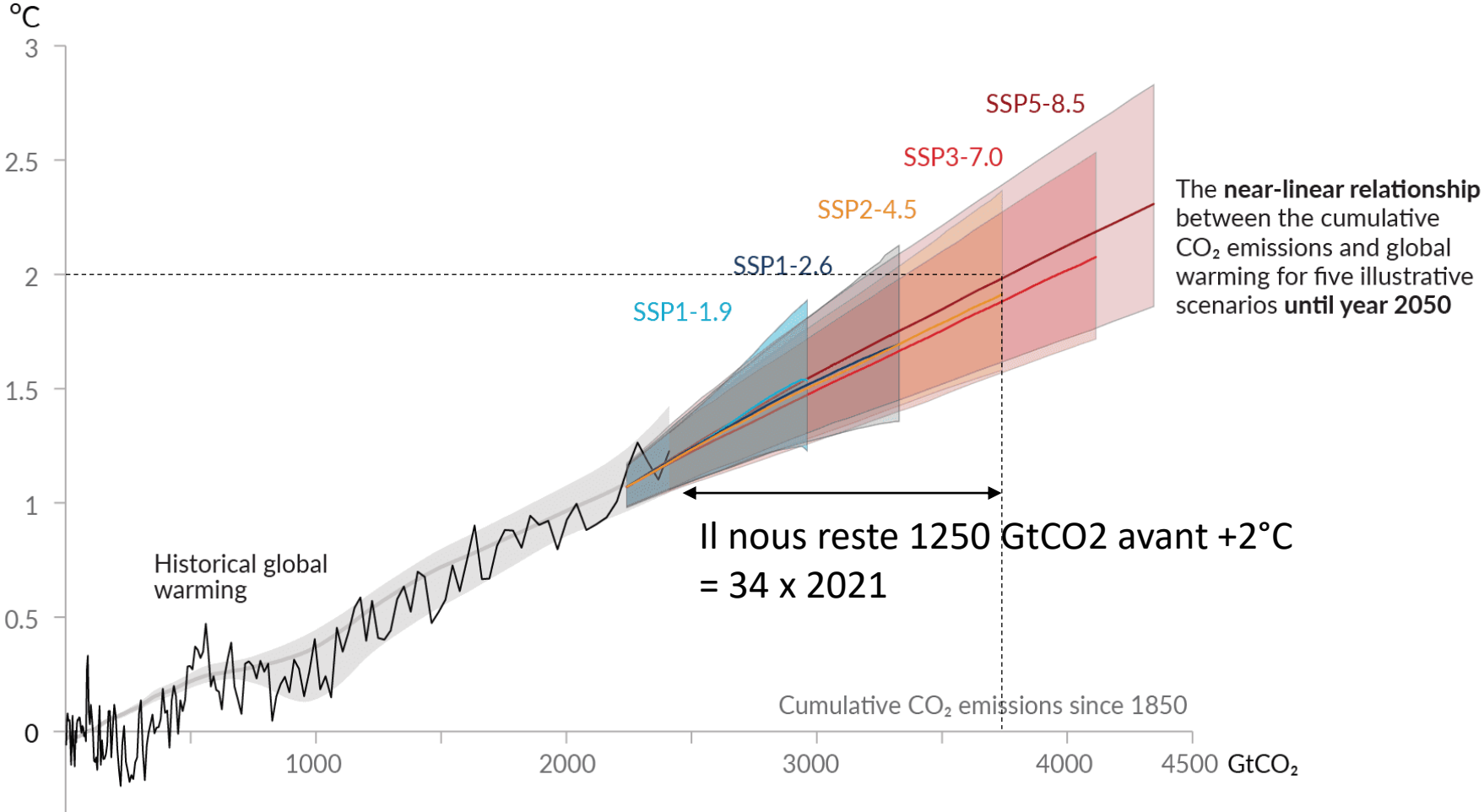
Every tonne of CO₂ emissions adds to global warming

Global surface temperature increase since 1850-1900 (°C) as a function of cumulative CO₂ emissions (GtCO₂)



Every tonne of CO₂ emissions adds to global warming

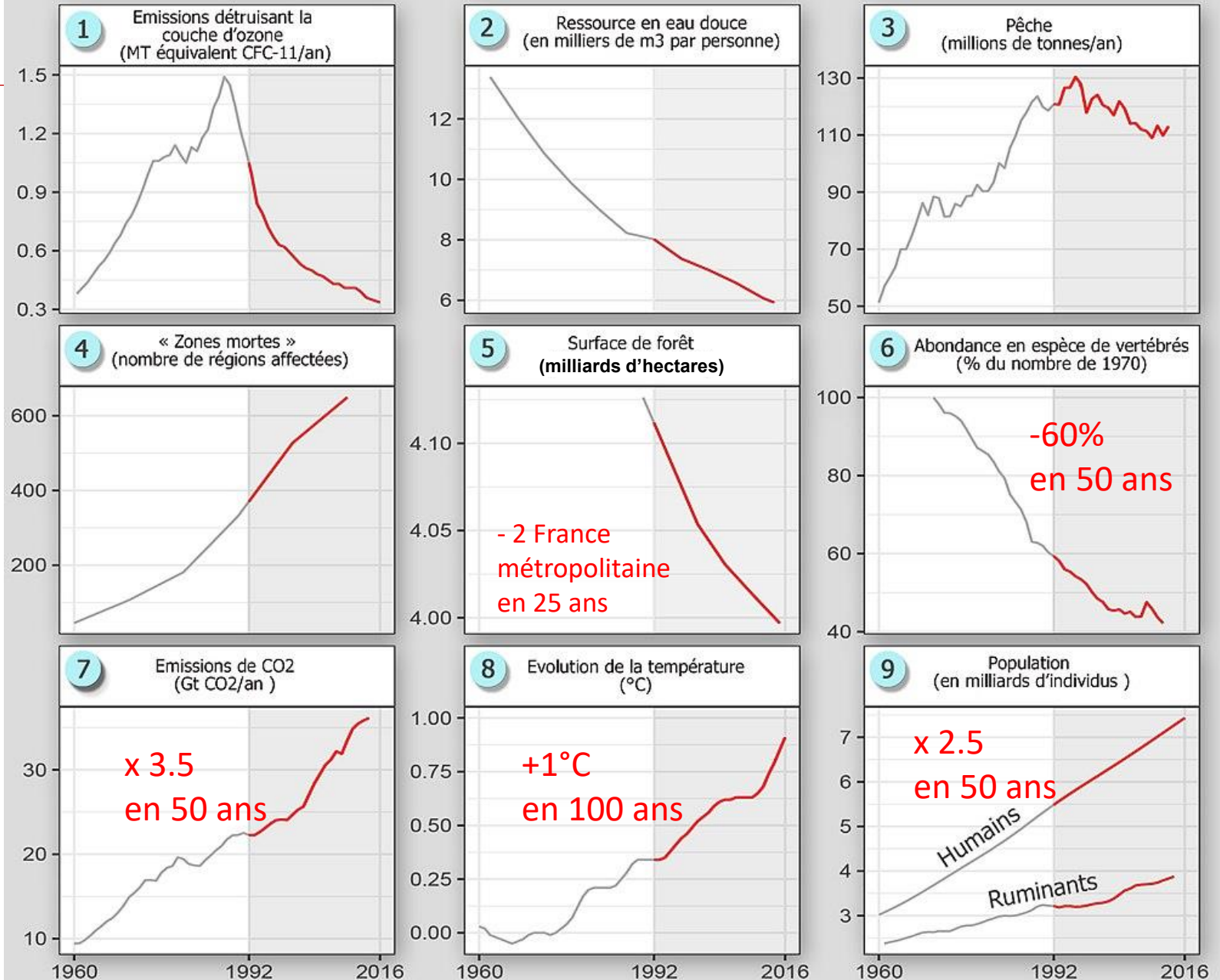
Global surface temperature increase since 1850-1900 (°C) as a function of cumulative CO₂ emissions (GtCO₂)



Éléments de conclusion

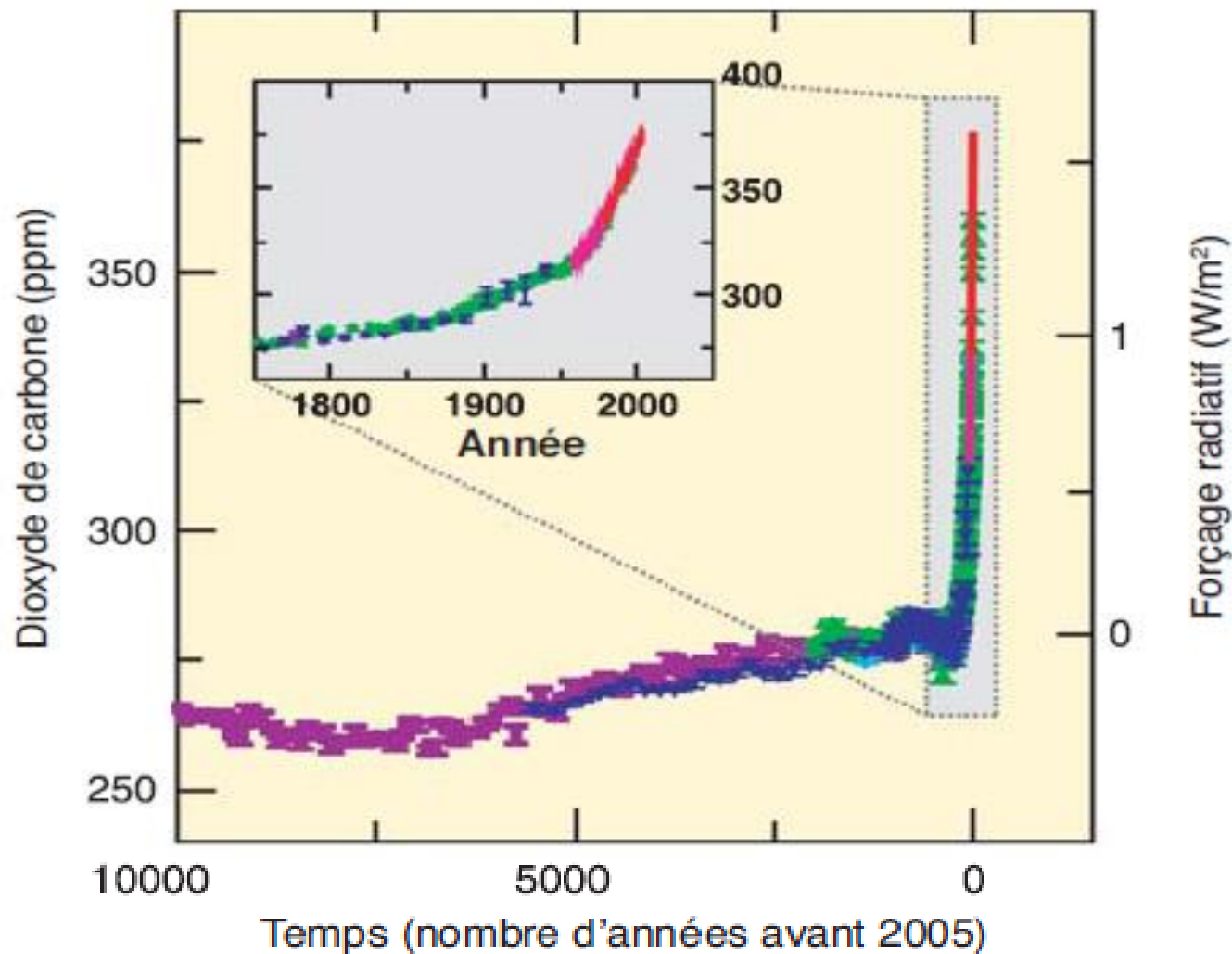
- Il est crucial de réduire nos émissions = **atténuer**
- Il faut aussi **s'adapter** au réchauffement qui est certain pour les prochaines décennies
- Il faut enfin préparer l'adaptation à des modifications moins certaines (cycle de l'eau, écosystèmes, biodiversité, etc.)
- **Et le changement climatique n'est pas le seul de nos problèmes !**

Beaucoup de place pour les biotechnologies végétales



Source : World Scientists' Warning to Humanity: A Second Notice
William J. Ripple & al. (15,364 scientist signatories from 184 countries
BioScience, Volume 67, Issue 12, 1 December 2017, Pages 1026–1028,
<https://doi.org/10.1093/biosci/bix125>

L'Anthropocène ?



GIEC, 2007

Terme proposé pour désigner l'époque où l'Homme devient une « force géologique »

Début en 1784 (machine à vapeur de Watt) selon Crutzen (Nobel 1995)

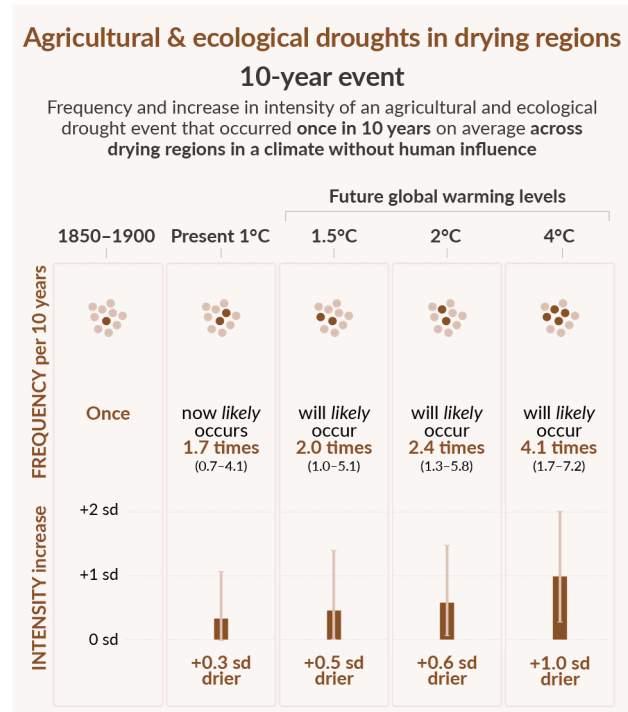
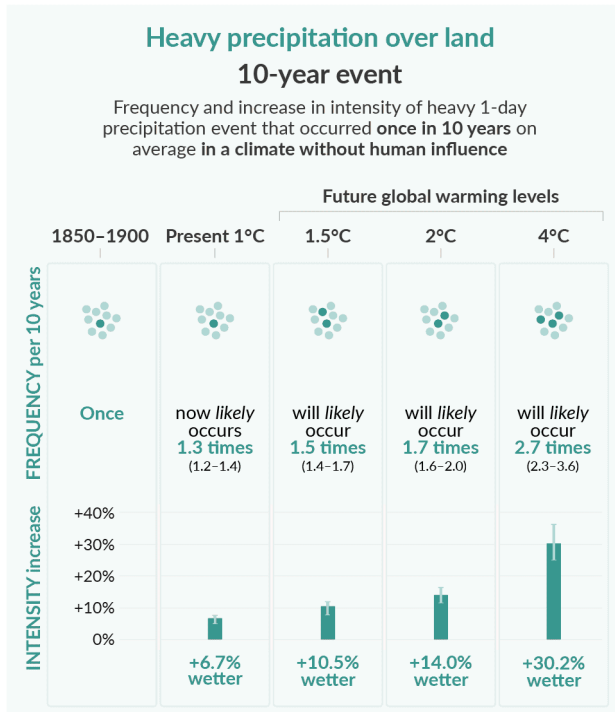
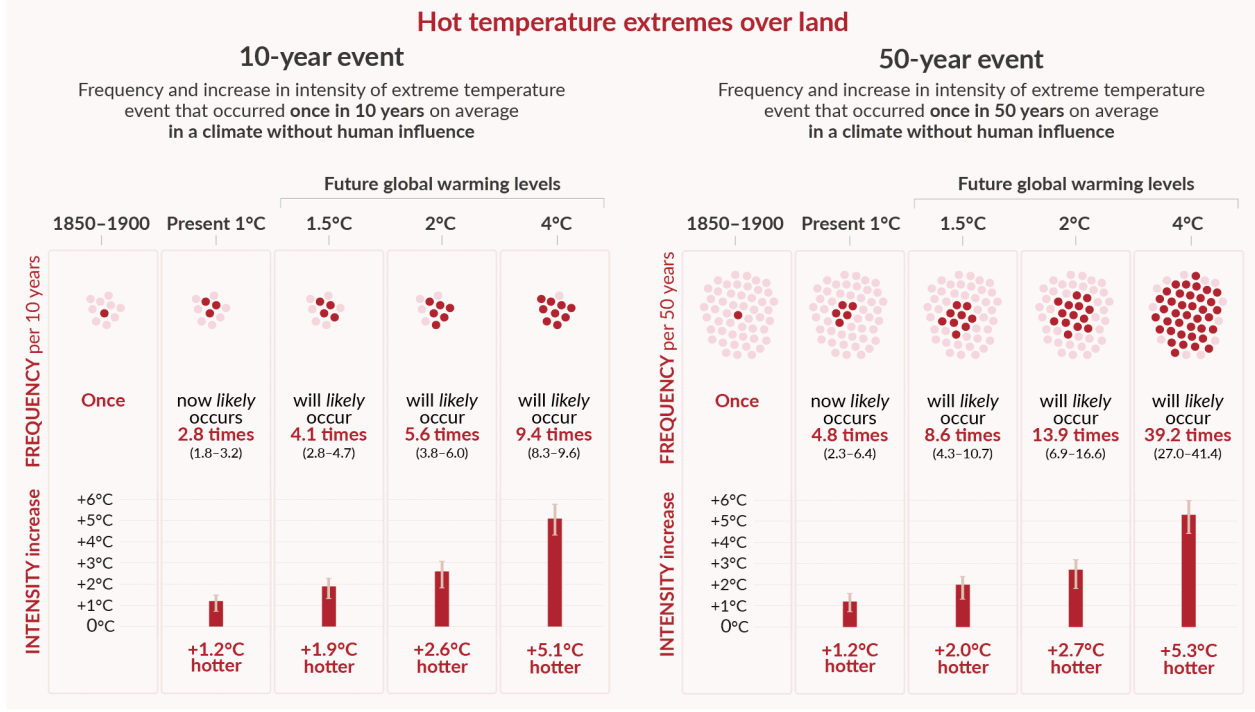
Changements multiples et prononcés :

- Composition atmosphérique
- Climat
- Acidification des océans
- 6^{ème} extinction de masse
- Dépôts de plastique
- Orbite terrestre
- Séismes induits

Que nous réserve le futur ?

Intensification des évènements extrêmes

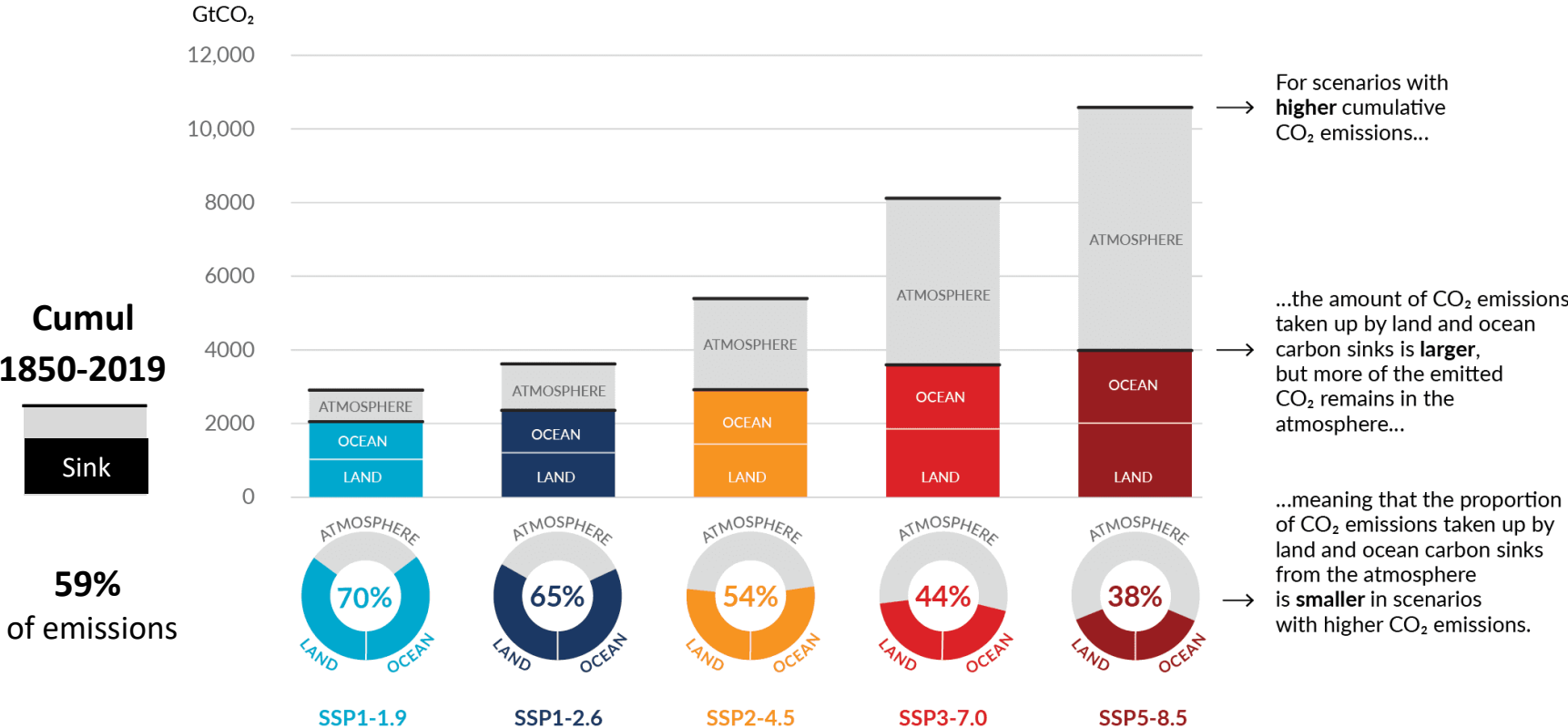
Et ce d'autant plus que le réchauffement moyen est prononcé



Que nous réserve le futur ?

Plus les émissions sont élevées, plus la proportion absorbée par les puits continentaux et océaniques est faible

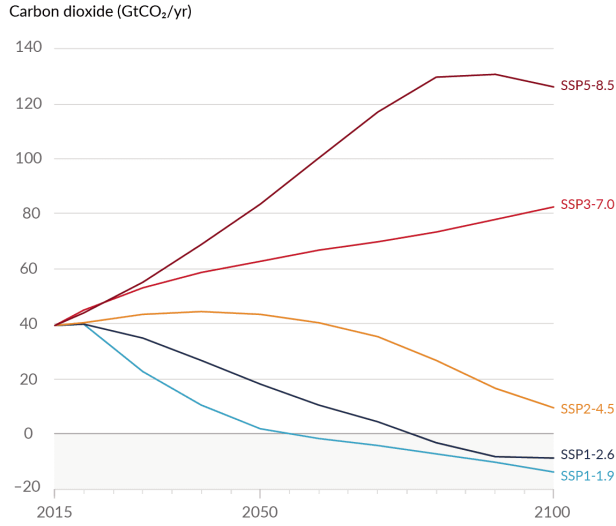
Total cumulative CO₂ emissions **taken up by land and ocean** (colours) and remaining in the atmosphere (grey) under the five illustrative scenarios from 1850 to 2100



For scenarios with **higher** cumulative CO₂ emissions...

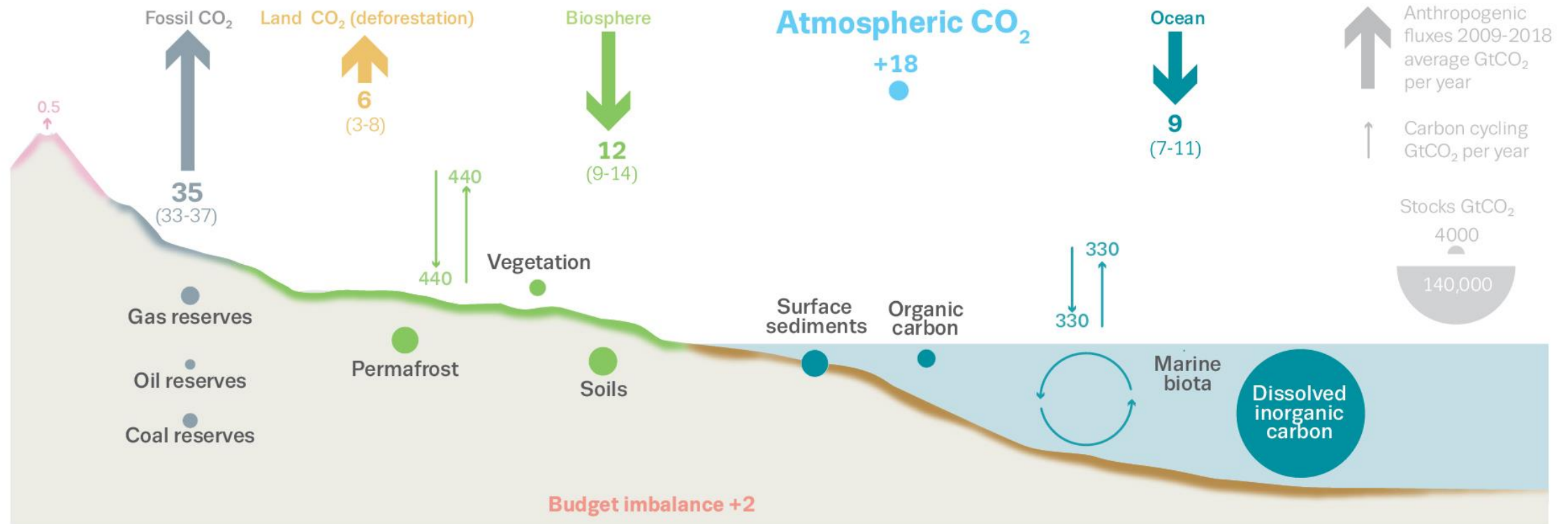
...the amount of CO₂ emissions taken up by land and ocean carbon sinks is **larger**, but more of the emitted CO₂ remains in the atmosphere...

...meaning that the proportion of CO₂ emissions taken up by land and ocean carbon sinks from the atmosphere is **smaller** in scenarios with higher CO₂ emissions.



A l'heure actuelle, la biosphère et l'océan offrent un puits net de 17 Gt CO₂/an soit environ 2 tCO₂/hab/an

The global carbon cycle 2009-2018



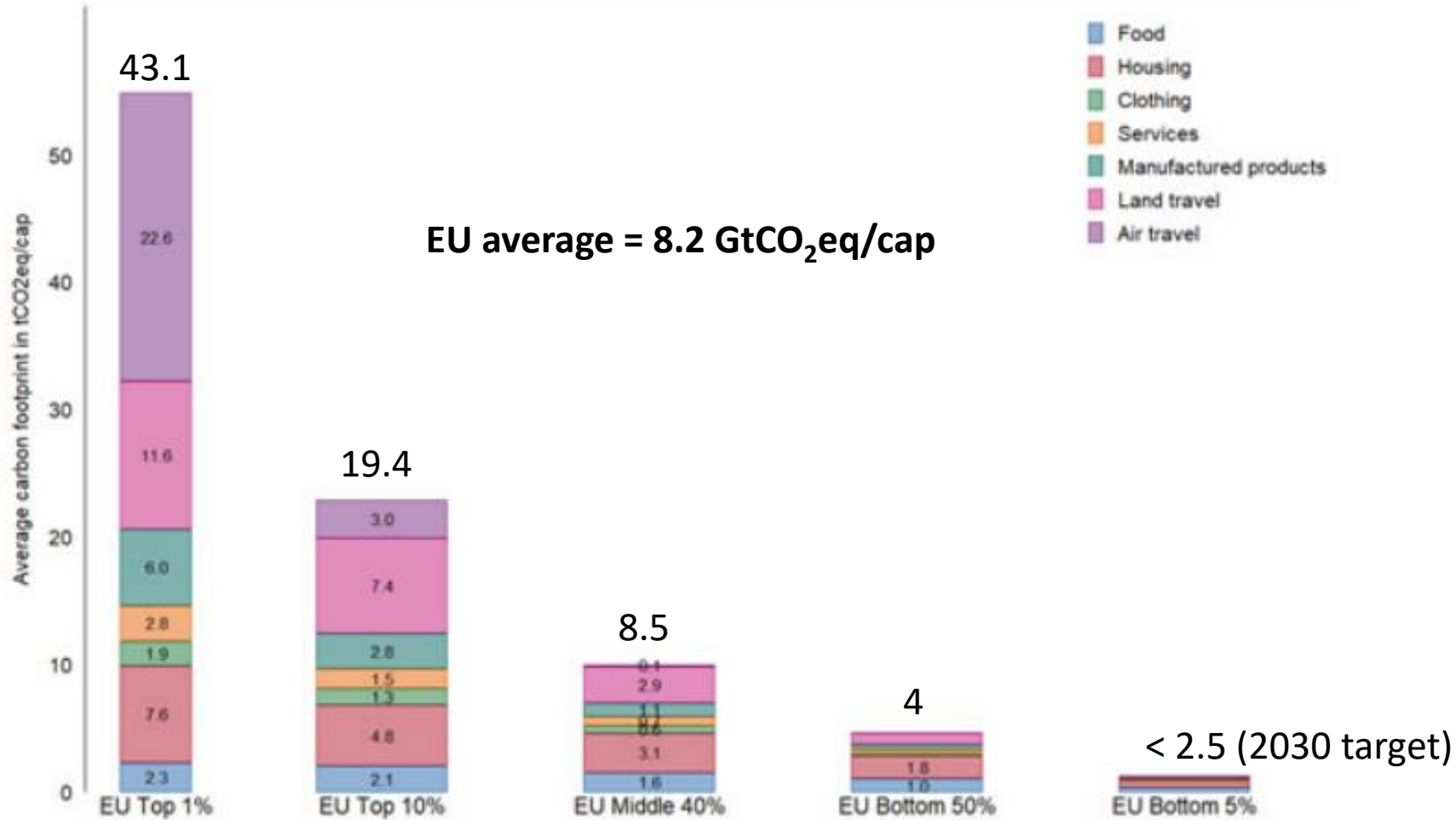
Copyright:



Produced by the Global Carbon Project based on Friedlingstein et al. Earth System Science Data (2019).
 Written and edited by Corinne Le Quéré (UEA) with the Global Carbon Budget team. Graphics by Nigel Hawtin.
 Infographic funded by the European Commission VERIFY (776810) project.



Des responsabilités différenciées



Average carbon footprint (CF) distribution by consumption category in the European Union (EU)

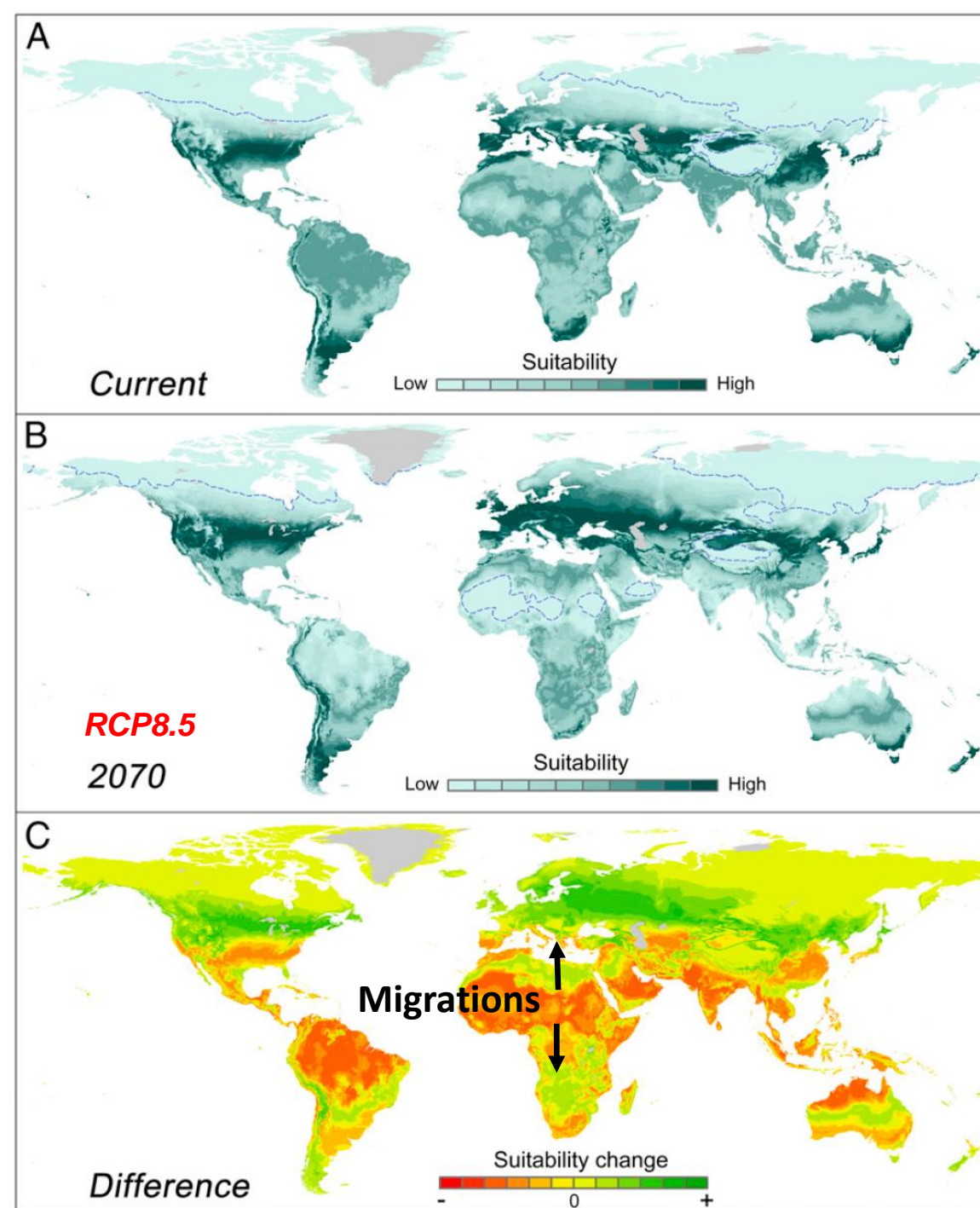
Que nous réserve le futur ?

Future of the human niche

Xu et al., 2020, PNAS

- Depuis 6000 ans, une majorité d'humains vit dans une niche thermique centrée autour de $[11^{\circ}\text{C}, 15^{\circ}\text{C}]$ en moyenne annuelle (second mode autour de 26°C)
- L'augmentation de température ressentie par la « niche humaine actuelle » est $+7.5^{\circ}\text{C}$ (2x le changement moyen sur la planète)
- La niche très défavorable ($>29^{\circ}\text{C}$) couvre actuellement 1% des continents (Sahara) et couvrira 19% en 2070
- Selon les projections démographiques, jusqu'à **3.5 milliards de personnes** se retrouveraient dans un niche très défavorable ($> 29^{\circ}\text{C}$)

Bcp d'approximations, mais ça fait réfléchir...

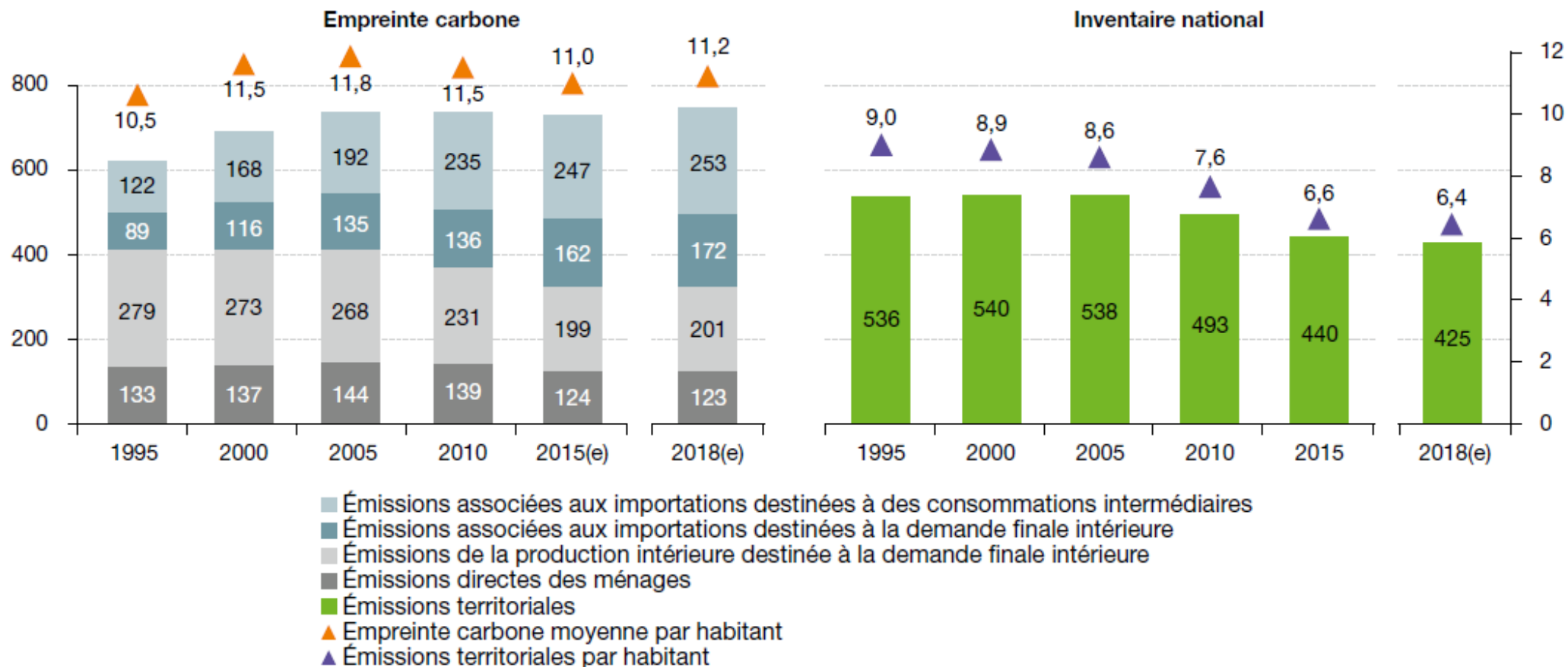


Qu'est-ce qu'on peut faire ?

Graphique 3 : émissions de GES de l'empreinte carbone et de l'inventaire national

En Mt CO₂ éq

En t CO₂ éq par habitant



Notes : GES pris en compte : CO₂, CH₄ et N₂O ; (e) = estimation.

Champ : France métropolitaine + Drom (périmètre Kyoto).

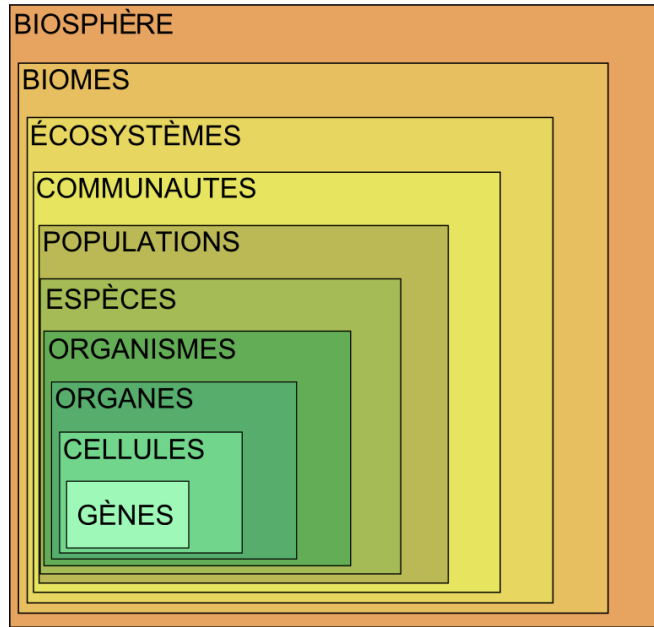
Sources : Citepa ; AIE ; FAO ; Douanes ; Eurostat ; Insee. Traitements : SDES, 2019

Source : Commissariat général au développement durable

L'empreinte carbone des Français reste stable

JANVIER 2020

Introduction



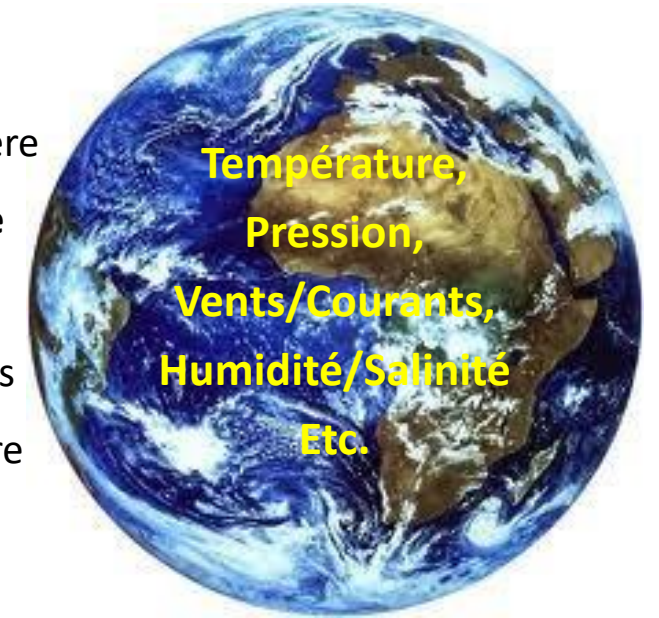
Richesse des interactions ?

Combien d'espèces ?
Combien d'individus ?

Sont-ils tous pareils ?

Grands cycles

Atmosphère
Biosphère
Océans
Continents
Cryosphère



Biodiversité

Désigne l'ensemble des êtres vivants en insistant sur leur diversité et celles de leurs relations avec leur environnement.

Trois niveaux principaux :

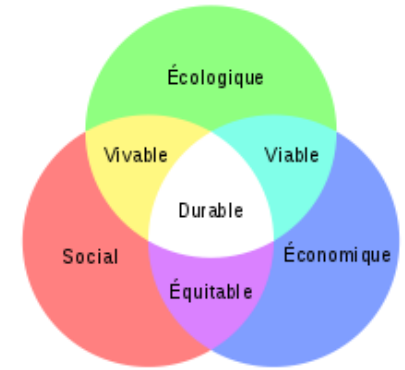
- Spécifique
- Génétique
- Écosystémique

Climat

Désigne les caractéristiques physiques de l'atmosphère et de l'océan d'un point de vue statistique (moyenne et variabilité, en général sur 30 ans). Implique des échelles et des compartiments variés.

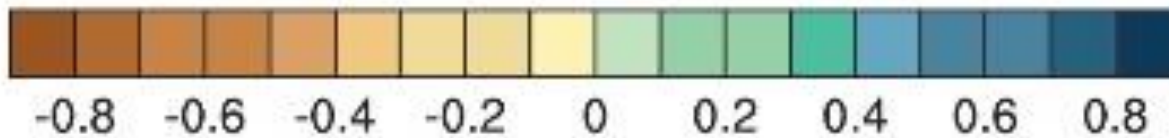
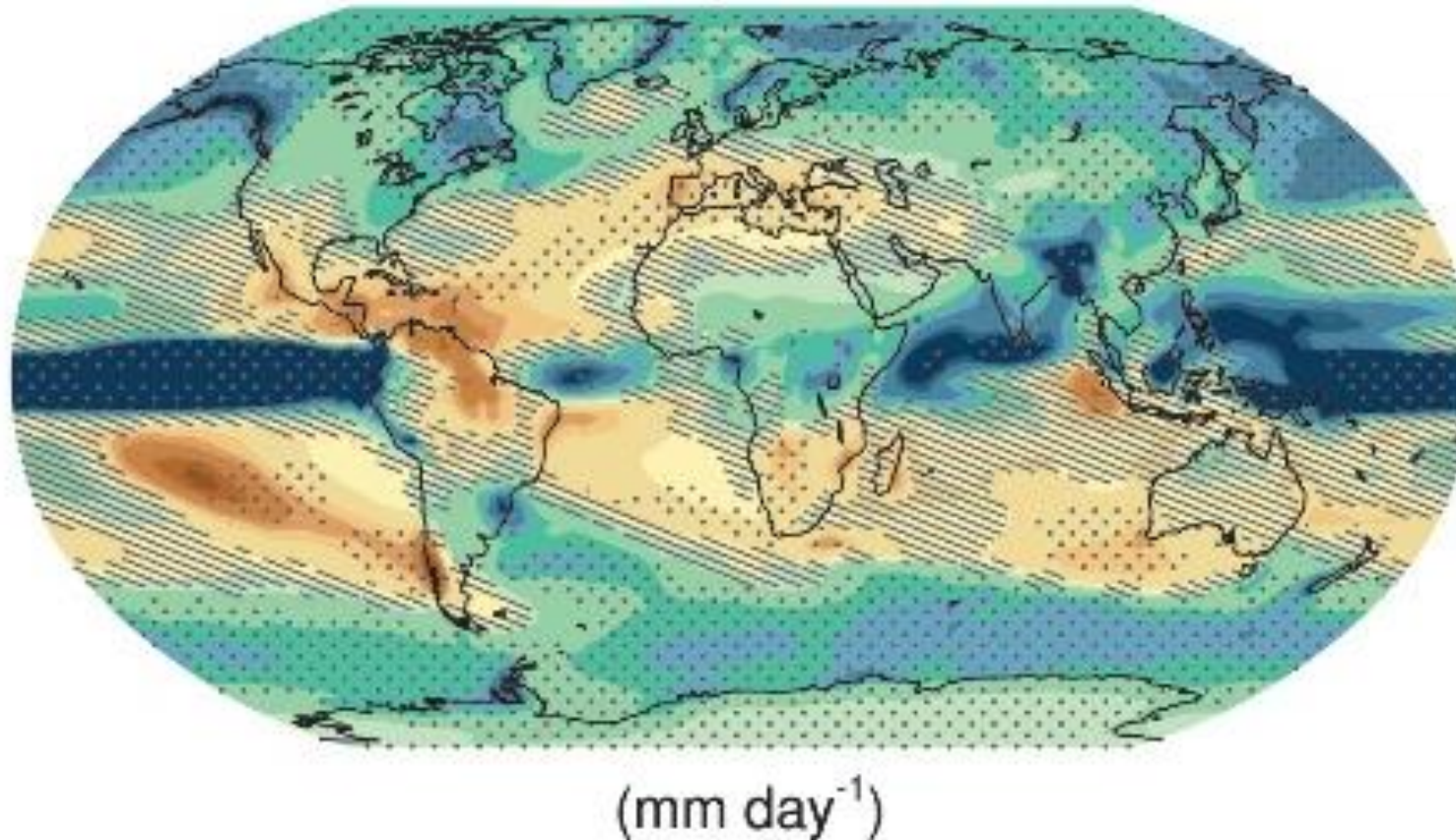
La prise de conscience n'est pas nouvelle !

- 1872 Création du premier parc naturel de l'Histoire, à Yellowstone
- 1896 Svante Arrhenius (Nobel en 1903) publie "On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground", Philosophical Magazine, 41, 237-276.
- 1972 Premier sommet de la Terre à Stockholm
Rapport Meadows « The limits to growth » (Halte à la croissance ?)
- 1987 Rapport Bruntland, définition du « développement durable »
- 1988 Création du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) par l'ONU
- 1992 Sommet de la Terre à Rio
World Scientists' Warning to Humanity, par l'Union of Concerned Scientists (USA)
Rédigé par Henry Kendall et signé par 1700 scientifiques dont une majorité des Nobel de sciences
- 1997 Protocole de Kyoto
- 2007 Prix Nobel de la Paix décerné au GIEC et à Al Gore (The inconvenient truth)
- 2012 5ème sommet de la Terre Rio+20
Création de l'IPBES (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services)
- 2015 Accord de Paris
Définition des ODD pour 2030



Accroissement des inégalités de précipitations

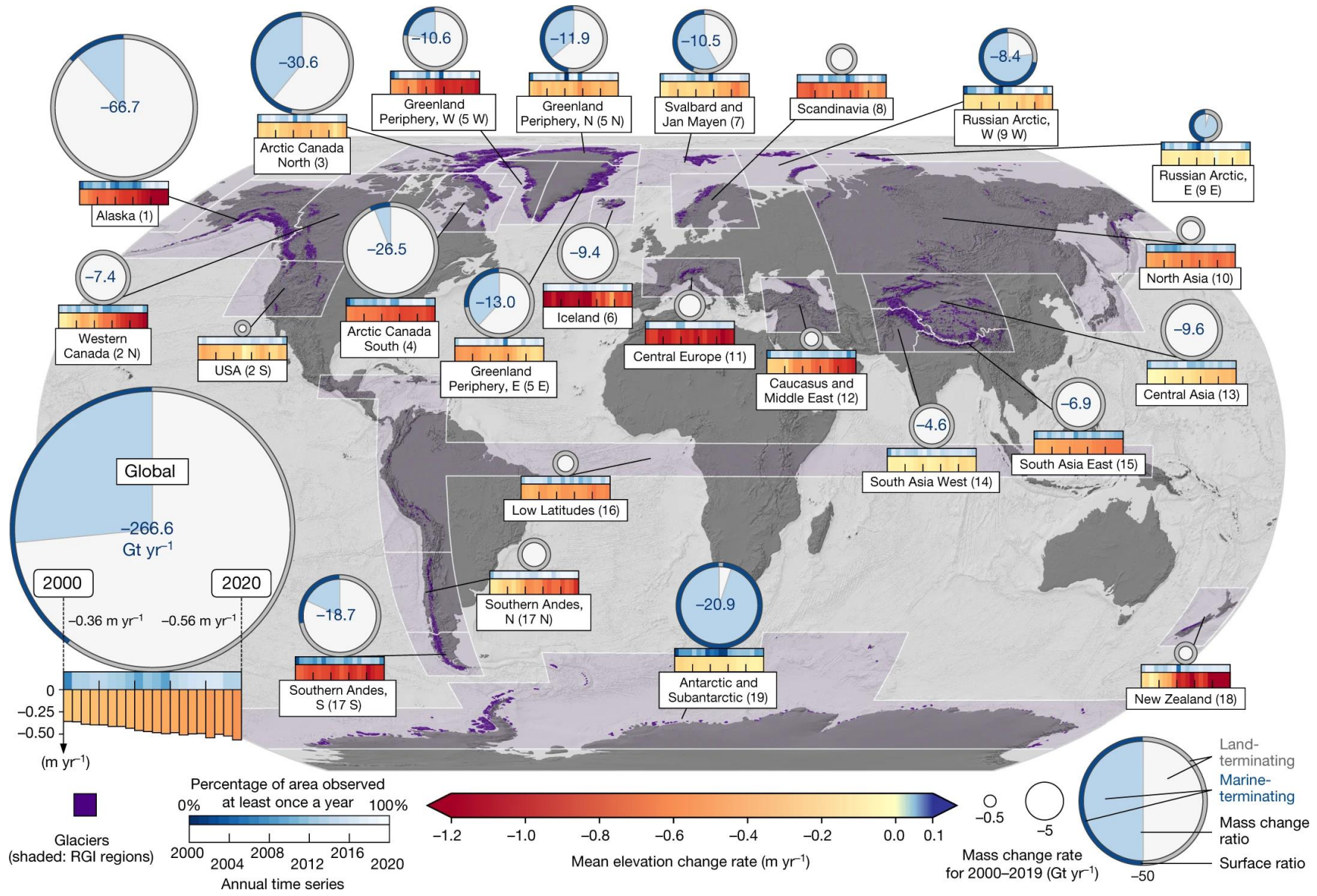
Annual mean changes in precipitation in 2081–2100
relative to 1986–2005 under RCP8.5



Pointillés si changement robustes :
P augmente dans zones humides
P baisse dans zones sèches

Hachures si changements incertains :
Dans les zones de transition

Principales manifestations du changement climatique depuis 150 ans



Entre 2000 et 2019,
tous les glaciers ont fondu !!

En libérant l'équivalent de 21% de l'augmentation du niveau de la mer.

Hugonnet et al., 2021, Nature Accelerated global glacier mass loss in the early twenty-first century. [10.1038/s41586-021-03436-z](https://doi.org/10.1038/s41586-021-03436-z), 2021