



Le changement climatique

Serge Planton

Association Météo et Climat

Webinaire, 22 avril 2022



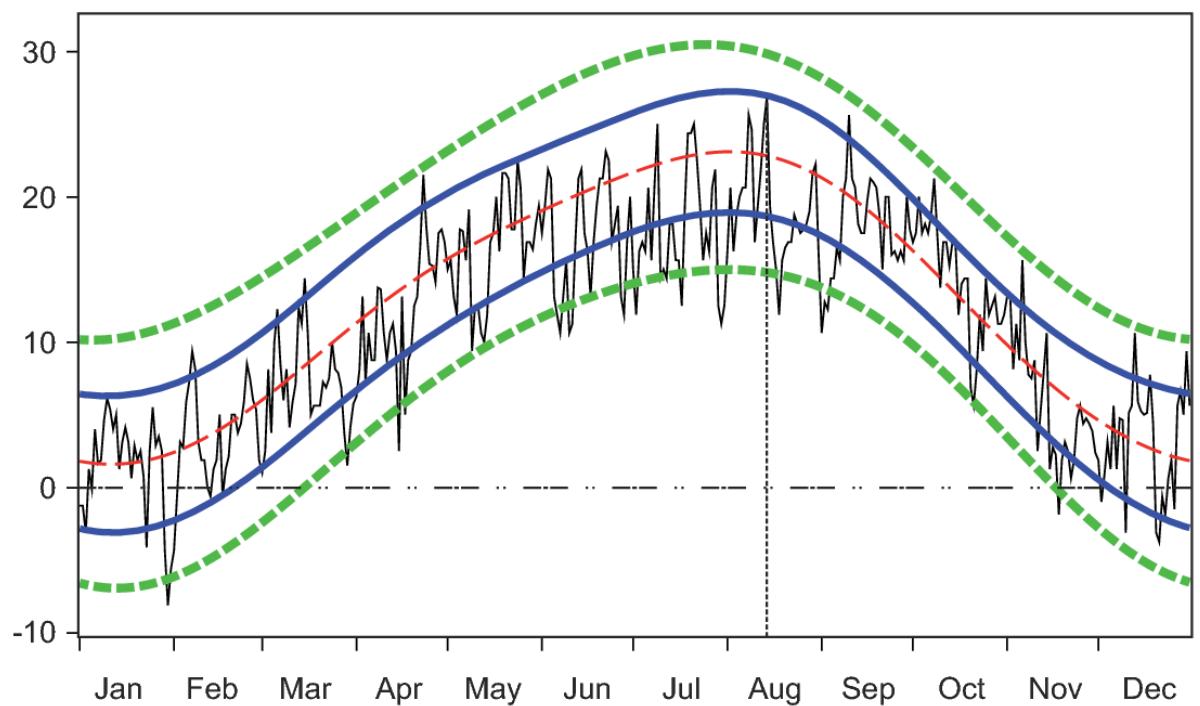
Le système climatique

Webinaire, 22 avril 2022



La différence entre météorologie et climat

Éruption du
Tambora
en avril 1815



Température maximale quotidienne à Genève en 1816 ($^{\circ}\text{C}$)

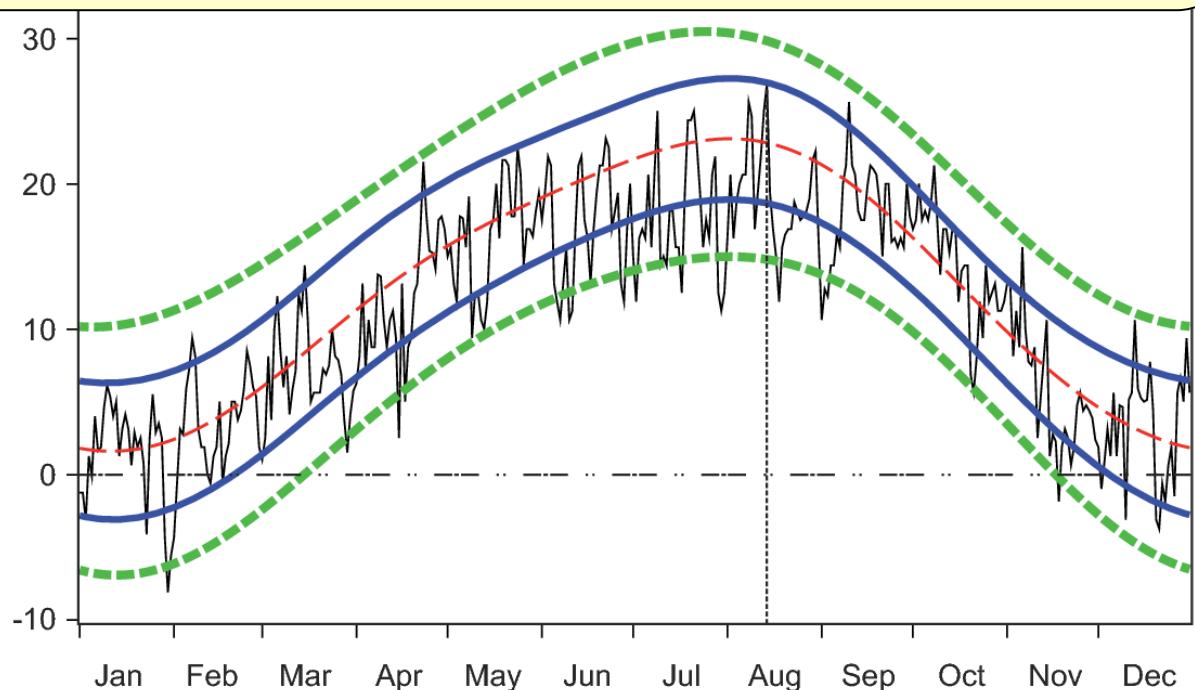
Source: Auchmann et al., 2012

La différence entre météorologie et climat

La météo étudie le temps qu'il fait et qu'il va faire, en un lieu donné et en un instant donné.

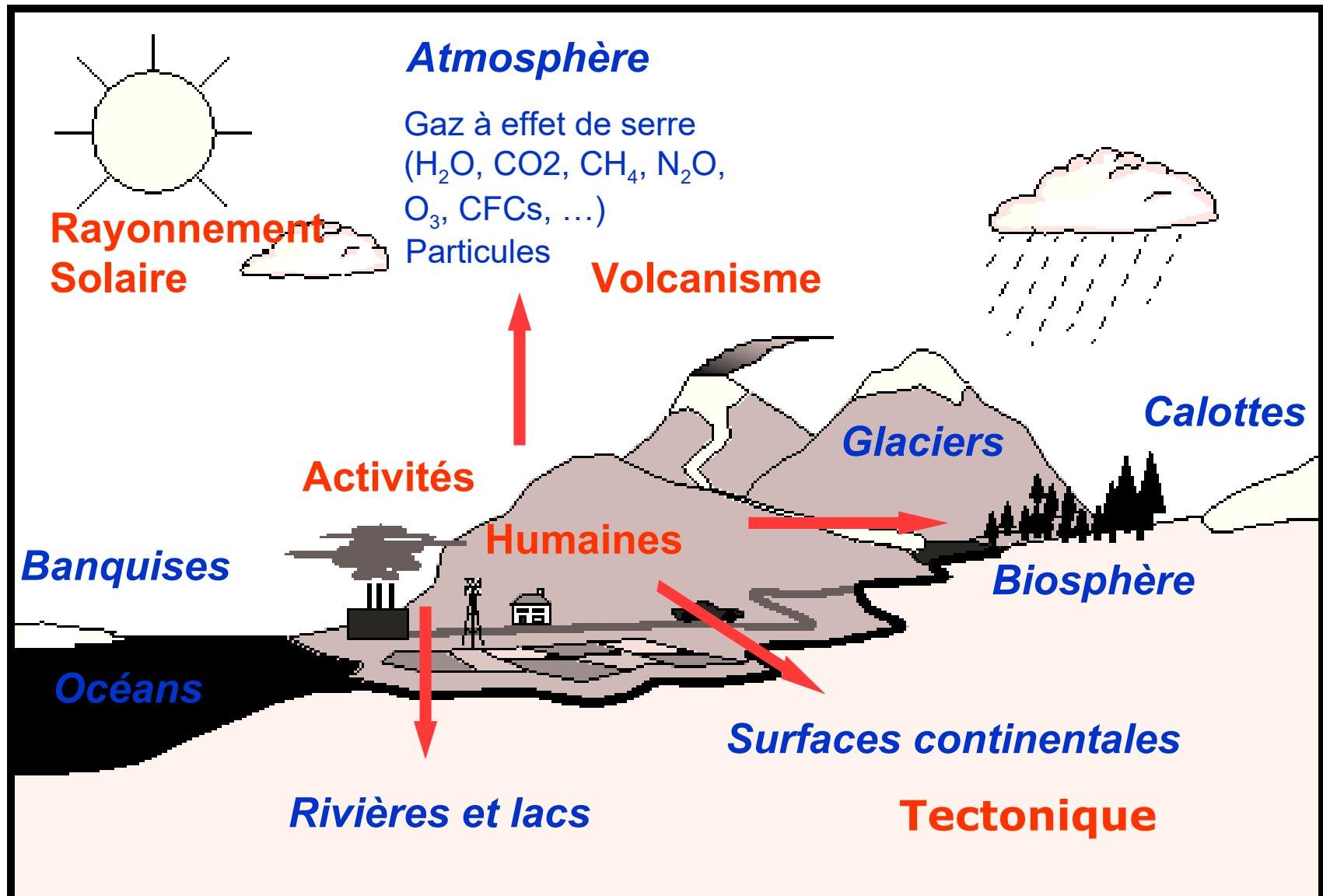
Le climat s'intéresse aux conditions météo moyennes calculées pour une région donnée, sur une longue période.

Éruption du
Tambora
en avril 1815

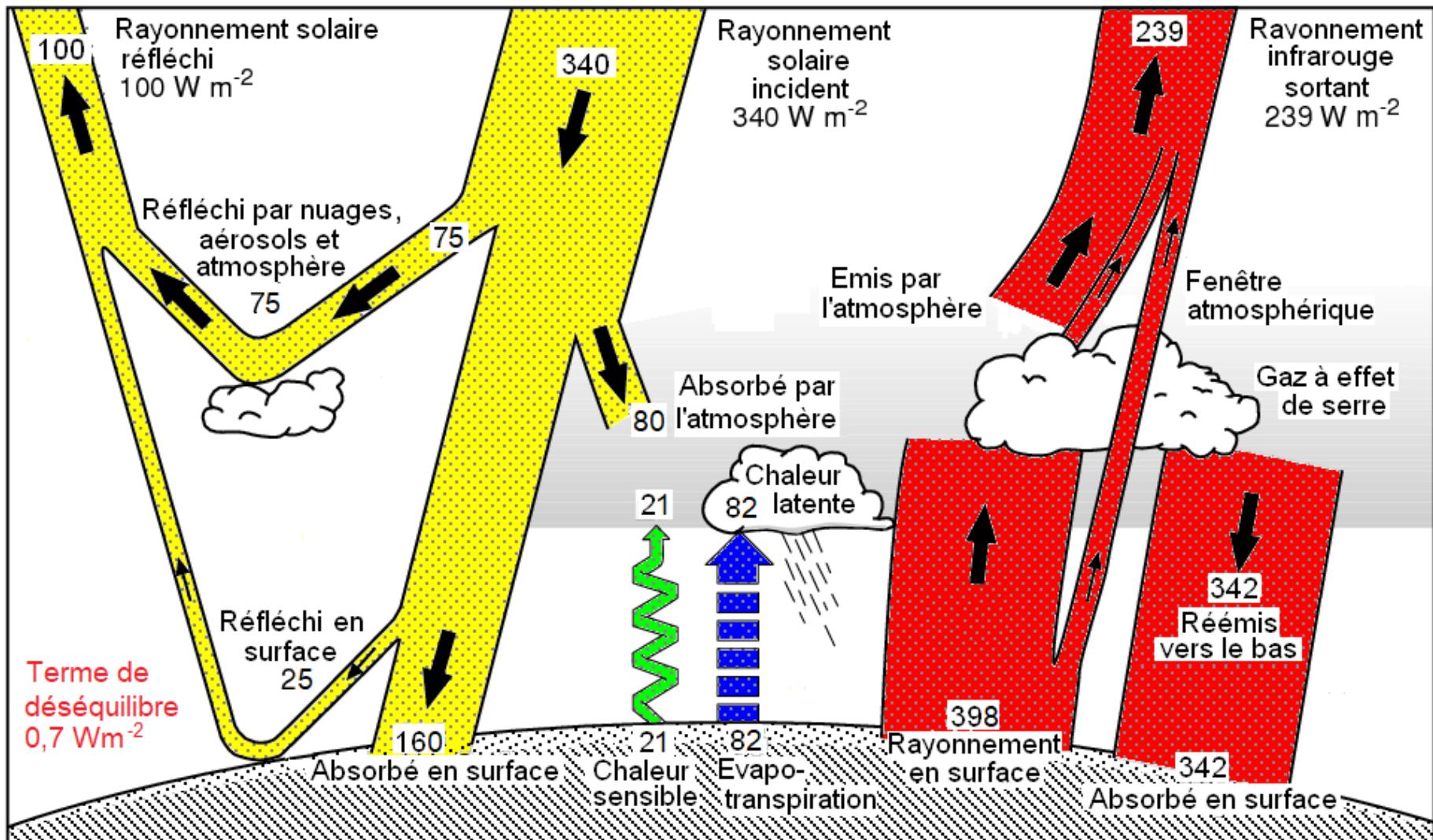


Température maximale quotidienne à Genève en 1816 (°C)

Le système climatique et les facteurs de forçage du climat

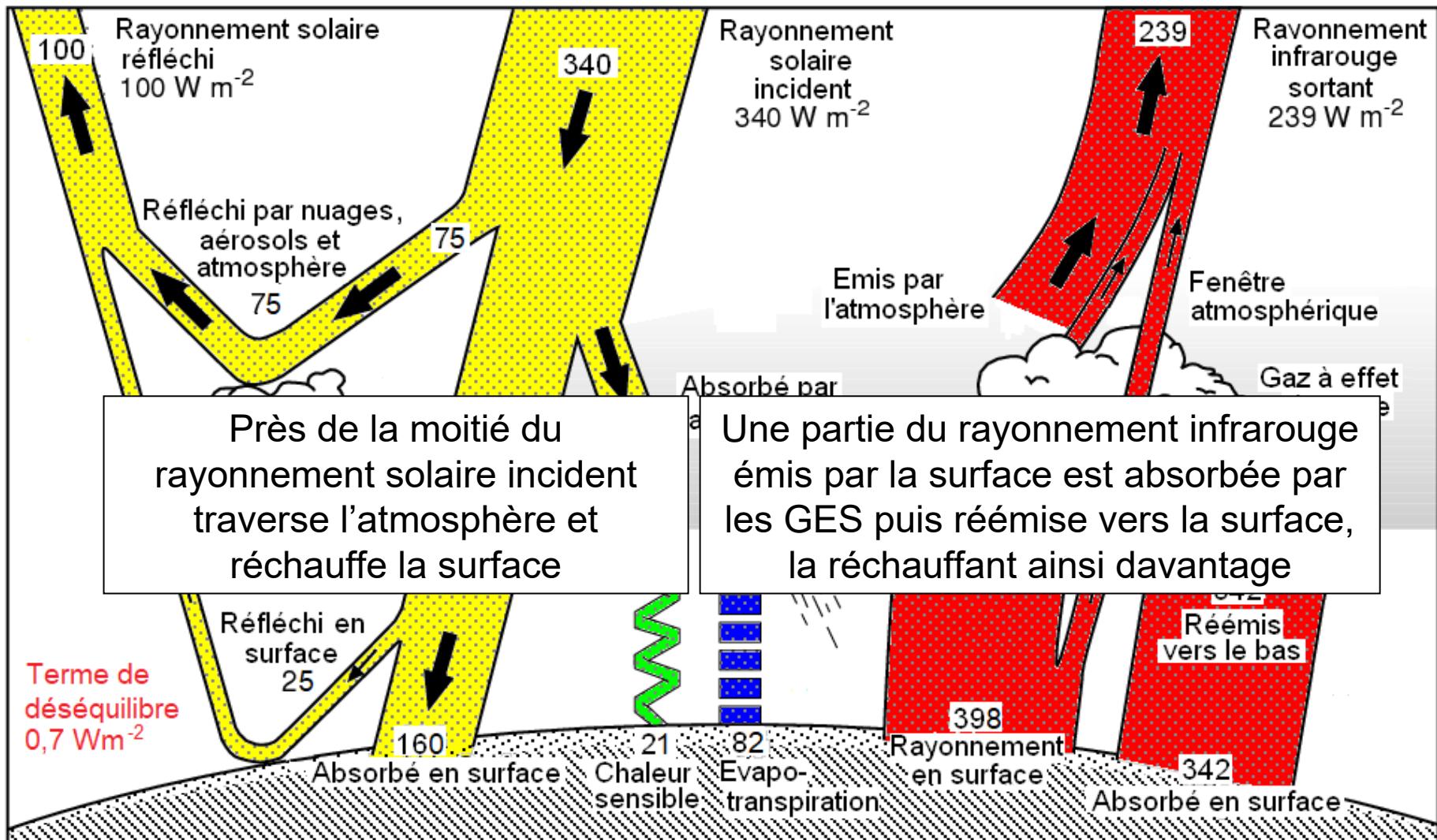


Le bilan d'énergie au début du XXI^e siècle



Sources : Wild et al., 2015, 2019 ; GIEC, 2021

Le bilan d'énergie au début du XXI^e siècle

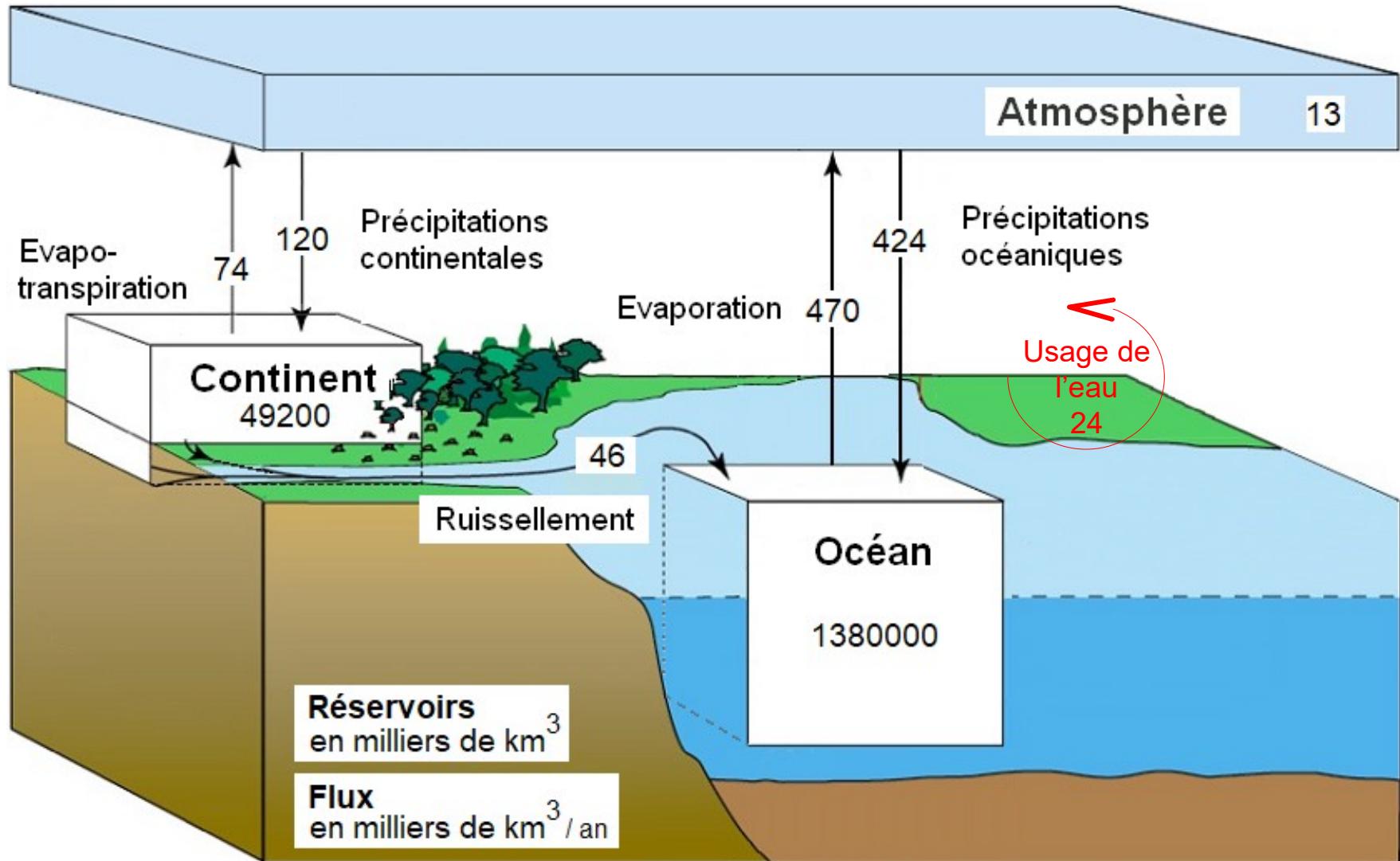


Sources : Wild et al., 2015, 2019 ; GIEC, 2021

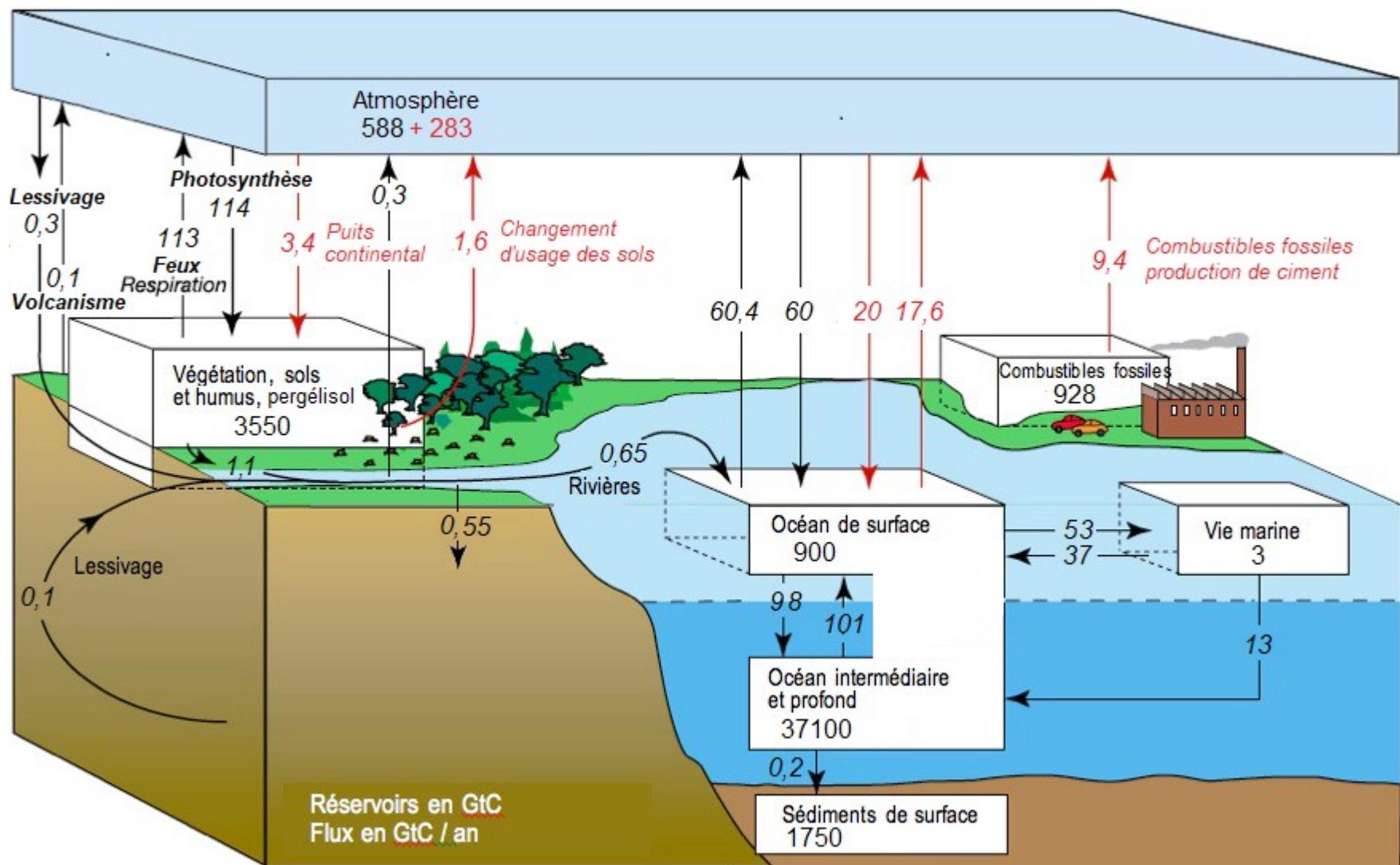
Le cycle de l'eau

Atmosphère

13



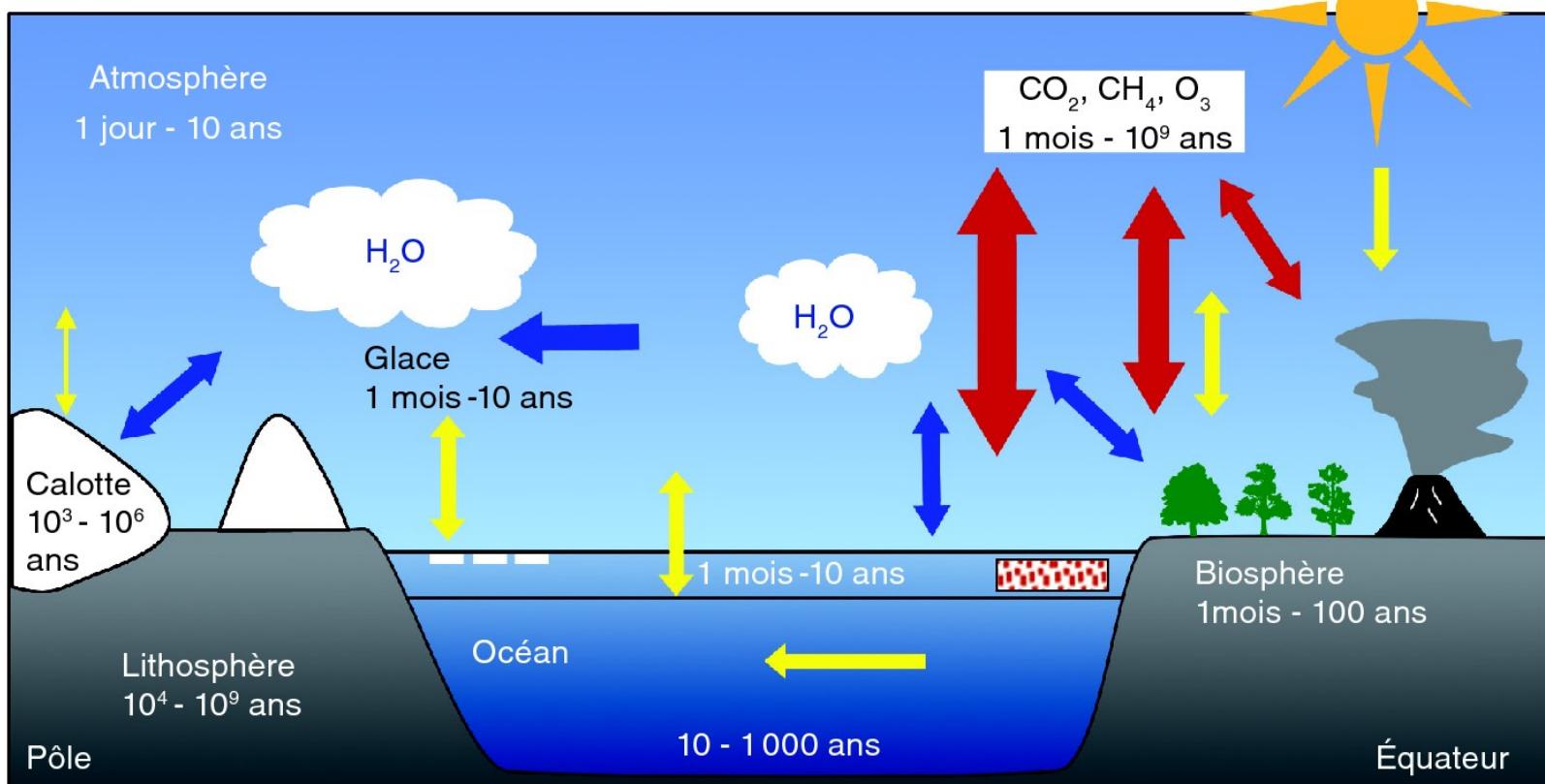
Le cycle du carbone



Sources : BGR, 2019 ; Friedlingstein et al., 2020 ; GIEC, 2021

Temps caractéristiques des échanges dans le système climatique

- ↔ Échanges d'énergie
- ↔ Échanges d'eau
- ↔ Échanges de carbone



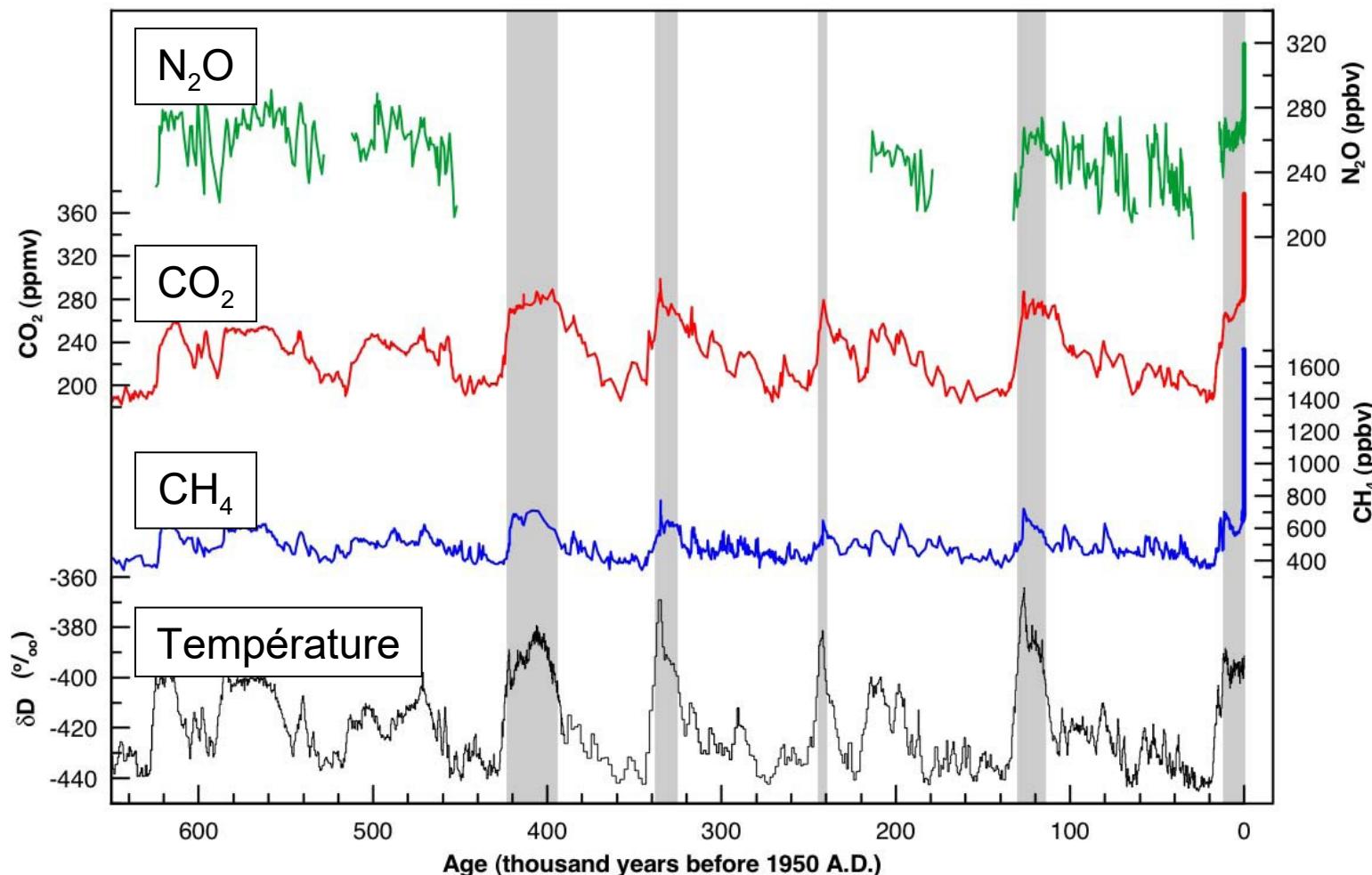


Le climat a toujours varié

Webinaire, 22 avril 2022



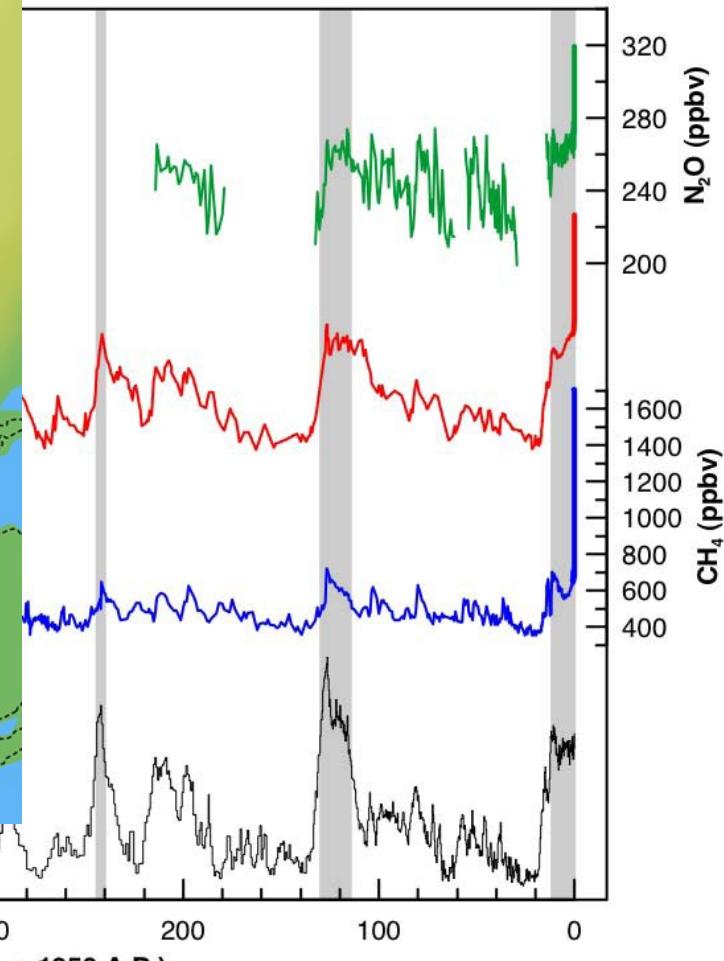
Les derniers 650 000 ans



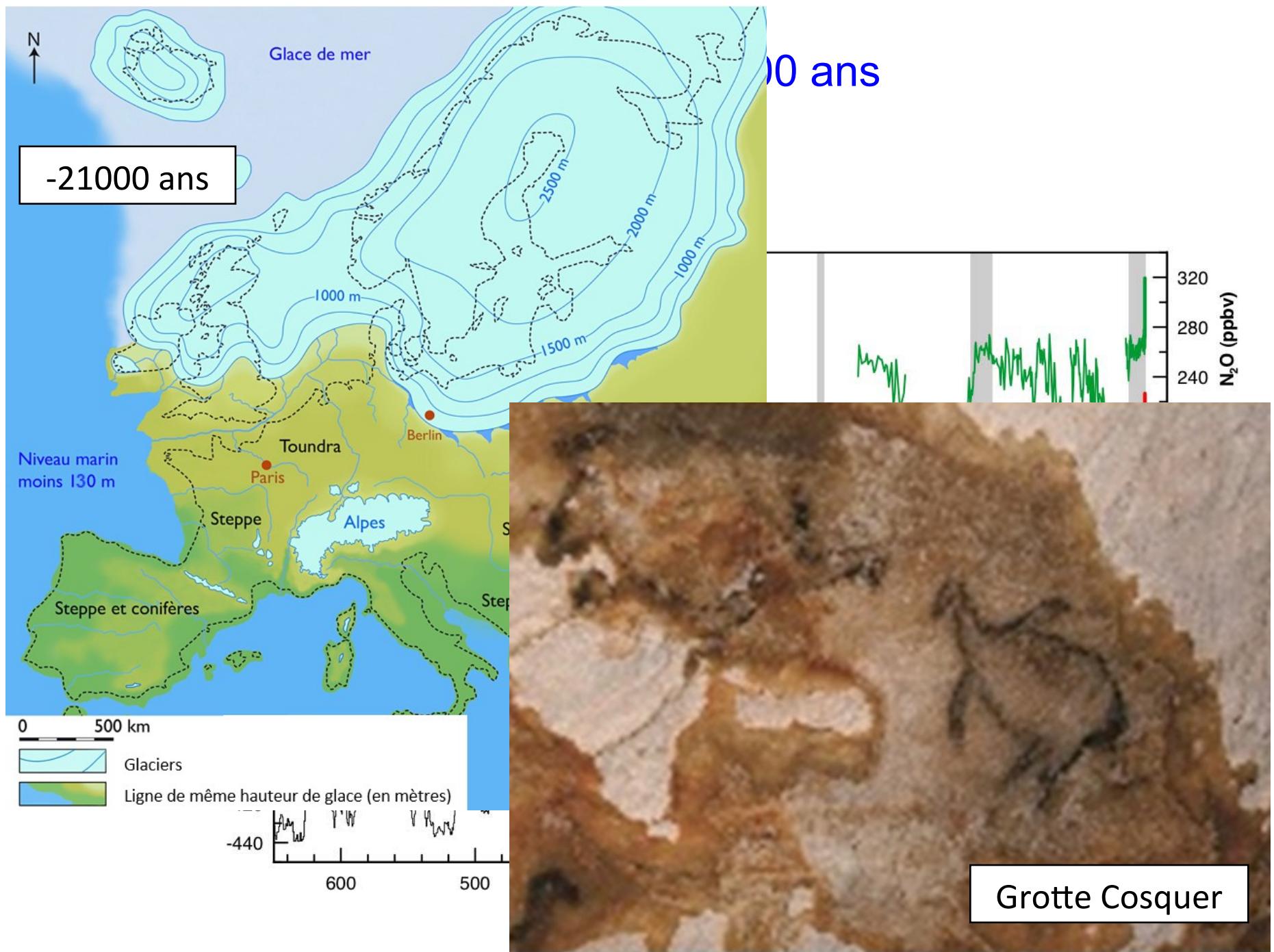
Source: GIEC, 2007

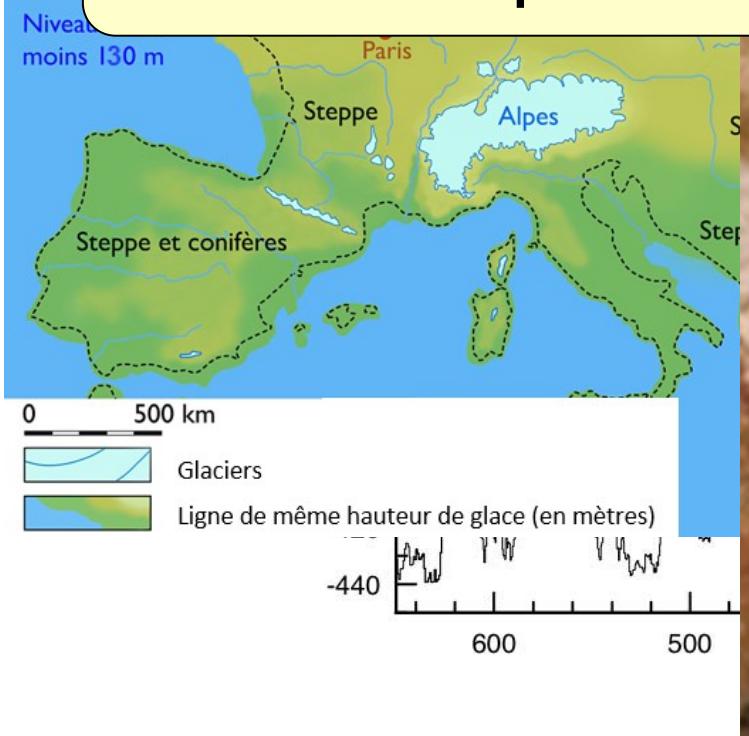
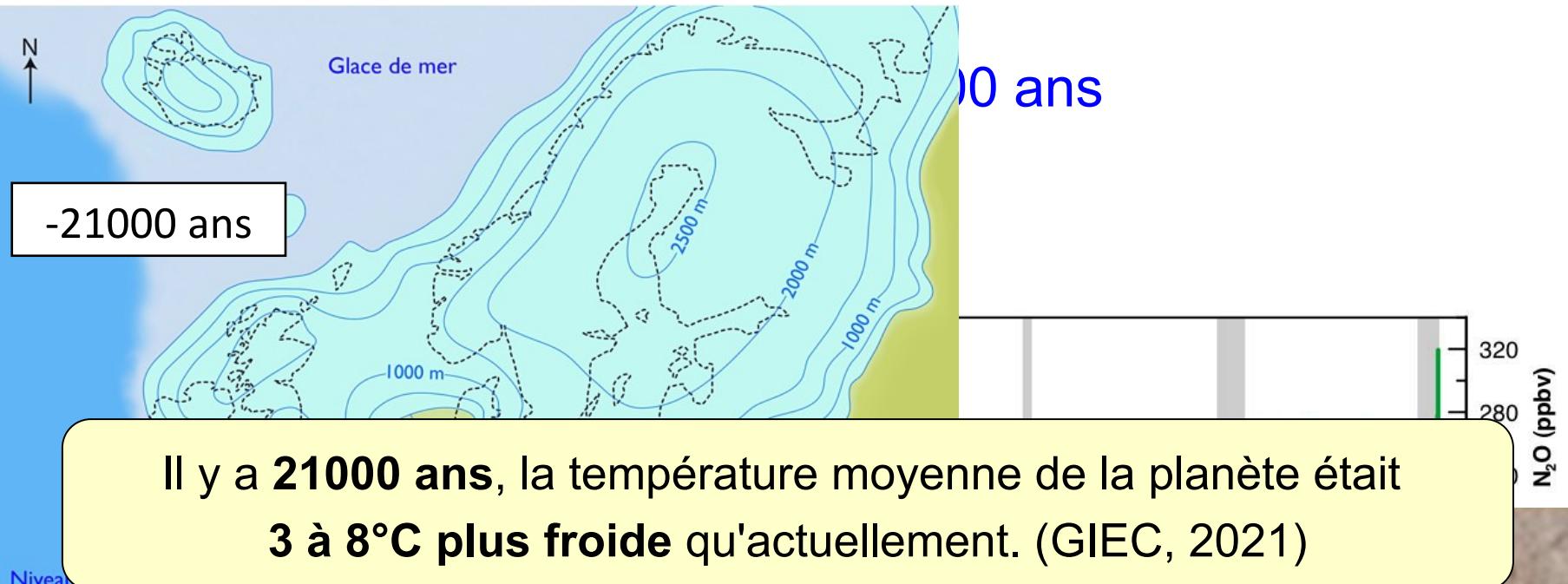


0 ans



Source: GIEC, 2007

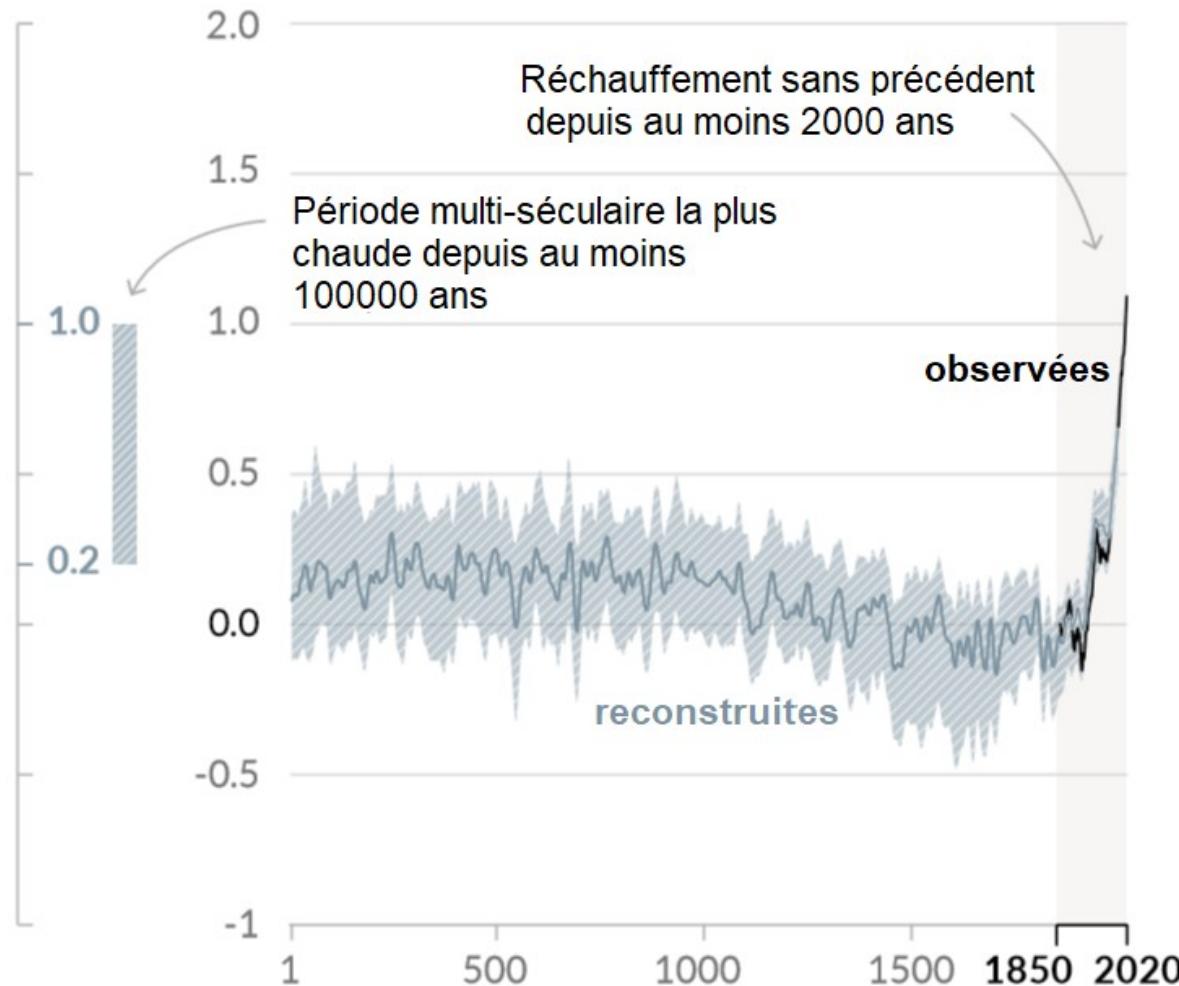




Grotte Cosquer

Variations de la température moyenne à la surface du globe observées ou reconstruites sur deux millénaires

Écarts à la moyenne 1850-1900 (°C)

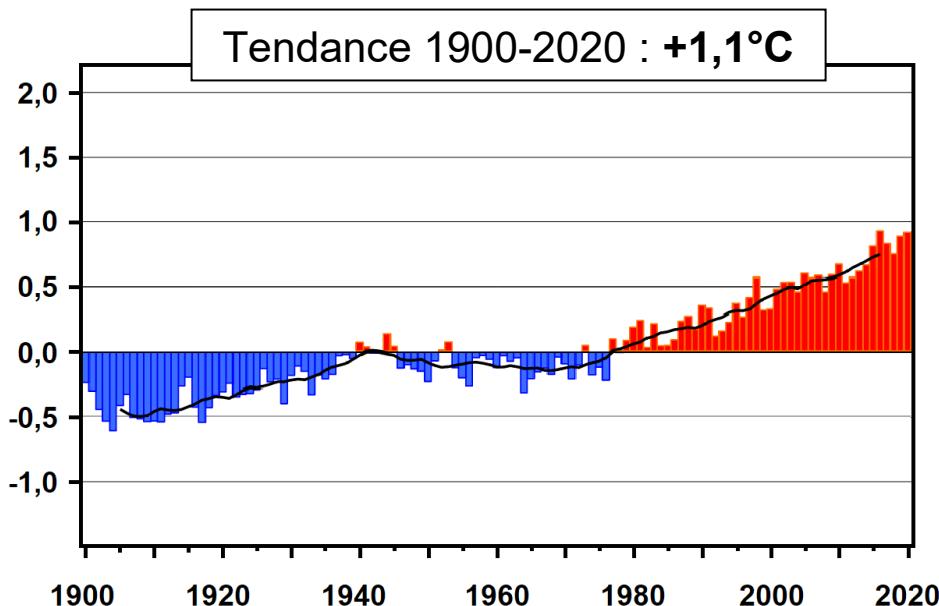


Source: GIEC, 2021

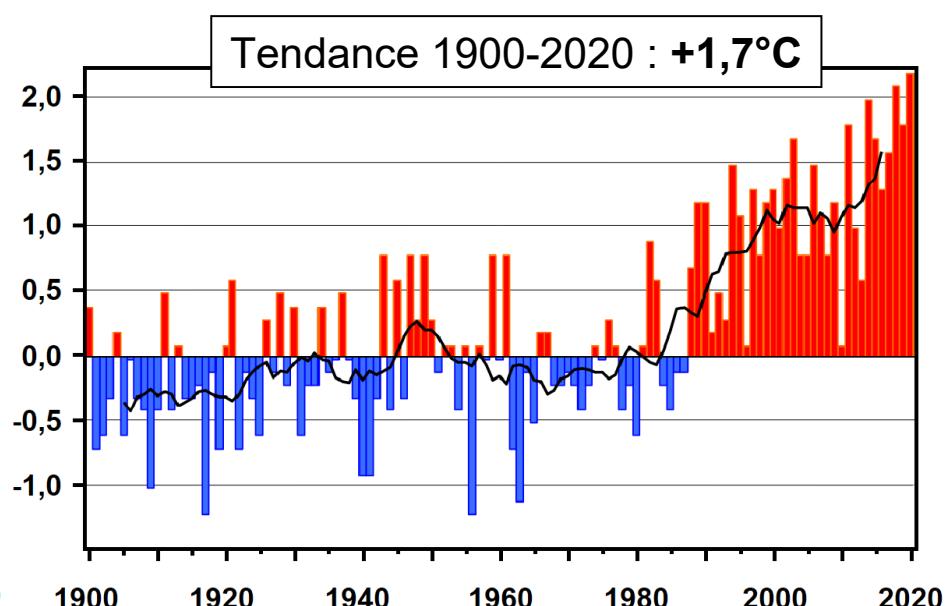
Variations de la température moyenne à la surface observées sur la période 1900-2020

Écarts à la moyenne 1961-1990 ($^{\circ}\text{C}$)

Sur la planète



En France



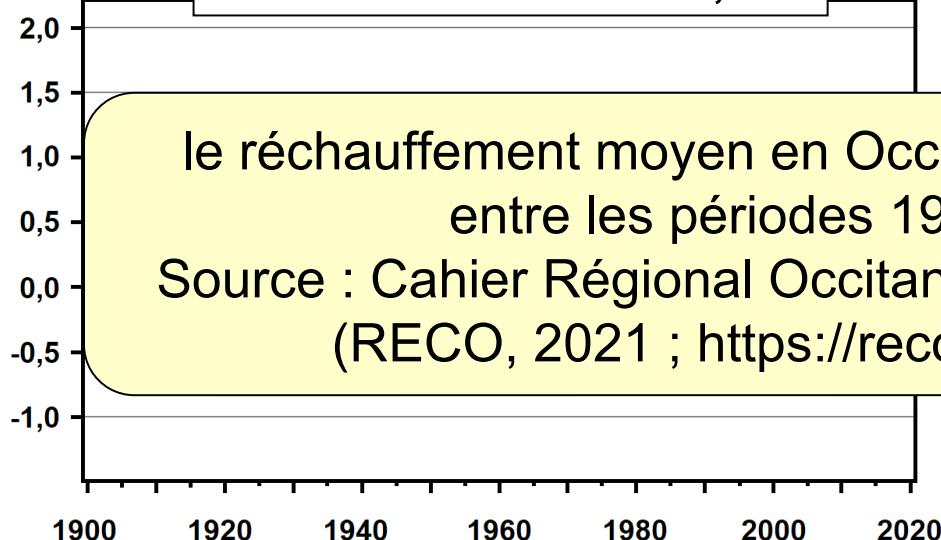
Source: UEA et Météo-France, 2021

Variations de la température moyenne à la surface observées sur la période 1900-2020

Écarts à la moyenne 1961-1990 ($^{\circ}\text{C}$)

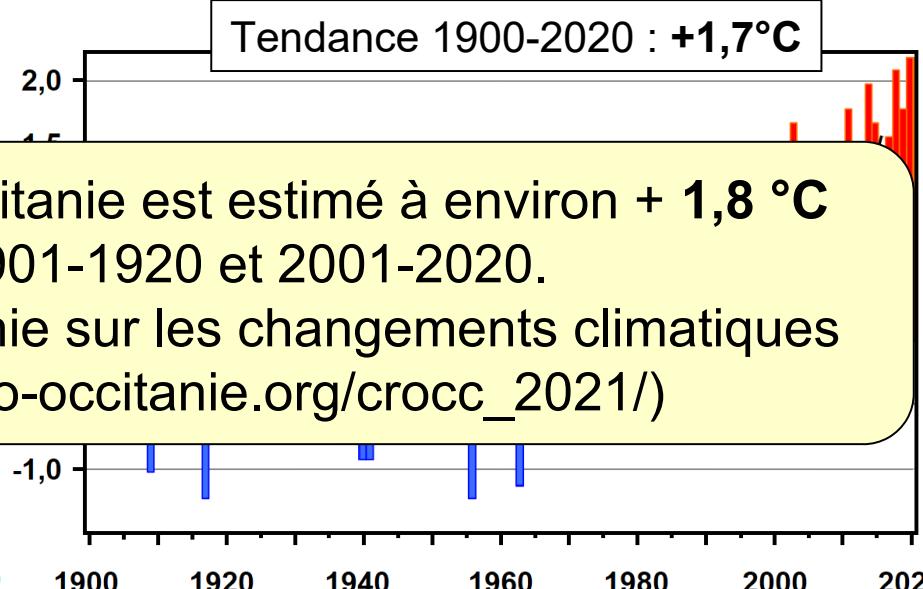
Sur la planète

Tendance 1900-2020 : $+1,1^{\circ}\text{C}$



En France

Tendance 1900-2020 : $+1,7^{\circ}\text{C}$



le réchauffement moyen en Occitanie est estimé à environ $+1,8^{\circ}\text{C}$ entre les périodes 1901-1920 et 2001-2020.

Source : Cahier Régional Occitanie sur les changements climatiques (RECO, 2021 ; https://reco-occitanie.org/crocc_2021/)

Source: UEA et Météo-France, 2021

Évolution des extrêmes en France métropolitaine



Source: Isl@m, 2011

Évolution des extrêmes en France métropolitaine

Depuis le milieu du XX^e siècle :
le nombre de journées estivales et le nombre de **vagues de chaleur** ont augmenté ;
Le nombre de jours de gel et le nombre de vagues de froid ont diminué.



Évolution des extrêmes en France métropolitaine

Depuis le milieu du XX^e siècle :
le nombre de journées estivales et le nombre de **vagues de chaleur** ont augmenté ;
Le nombre de jours de gel et le nombre de vagues de froid ont diminué.



Depuis la fin des années 80, l'étendue des **sécheresses agricoles** ont augmenté.

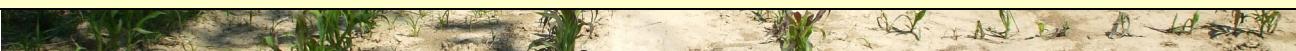


Évolution des extrêmes en France métropolitaine

Depuis le milieu du XX^e siècle :
le nombre de journées estivales et le nombre de **vagues de chaleur** ont augmenté ;
Le nombre de jours de gel et le nombre de vagues de froid ont diminué.



Depuis la fin des années 80, l'étendue des **sécheresses agricoles** ont augmenté.



Une étude a montré une augmentation robuste de 22% +/-15 % du **maximum annuel de pluie quotidienne** dans le Sud-Est sur la période 1961-2015.



Évolution des extrêmes en France métropolitaine

Depuis le milieu du XX^e siècle :
le nombre de journées estivales et le nombre de **vagues de chaleur** ont augmenté ;
Le nombre de jours de gel et le nombre de vagues de froid ont diminué.



Depuis la fin des années 80, l'étendue des **sécheresses agricoles** ont augmenté.



Une étude a montré une augmentation robuste de 22% +/-15 % du **maximum annuel de pluie quotidienne** dans le Sud-Est sur la période 1961-2015.



Les études actuelles ne permettent pas de mettre en évidence une tendance notable sur l'évolution de la fréquence et de l'intensité des **tempêtes** depuis 1980.

Glacier d'Ossoue (Vignemale, Haute-Pyrénées)



Photo : L. Gaurier

Source: Association Moraine

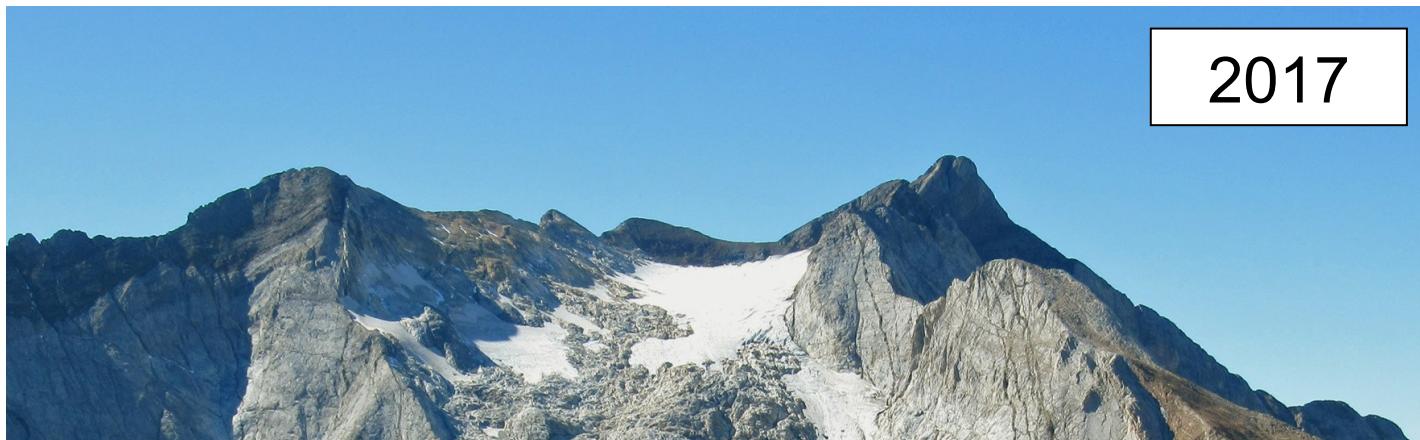
Glacier d'Ossoue (Vignemale, Haute-Pyrénées)



Photo : P. René

Source: Association Moraine

Glacier d'Ossoue (Vignemale, Haute-Pyrénées)



L'ampleur des changements récents dans l'ensemble du système climatique est sans précédent **depuis des siècles et des milliers d'années.** (GIEC, 2021)



Photo : P. René

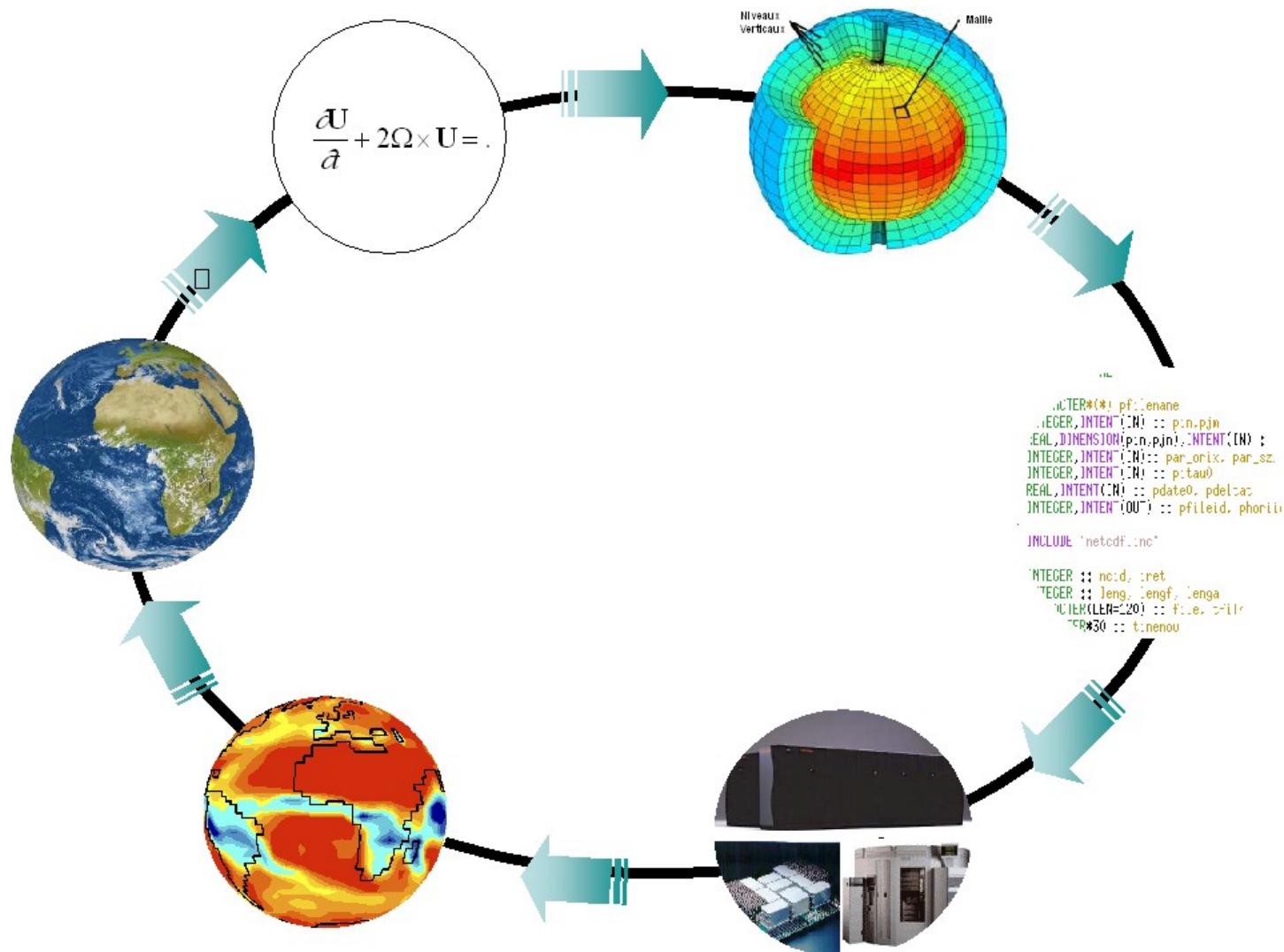


Influence des activités humaines sur le climat récent

Webinaire, 22 avril 2022

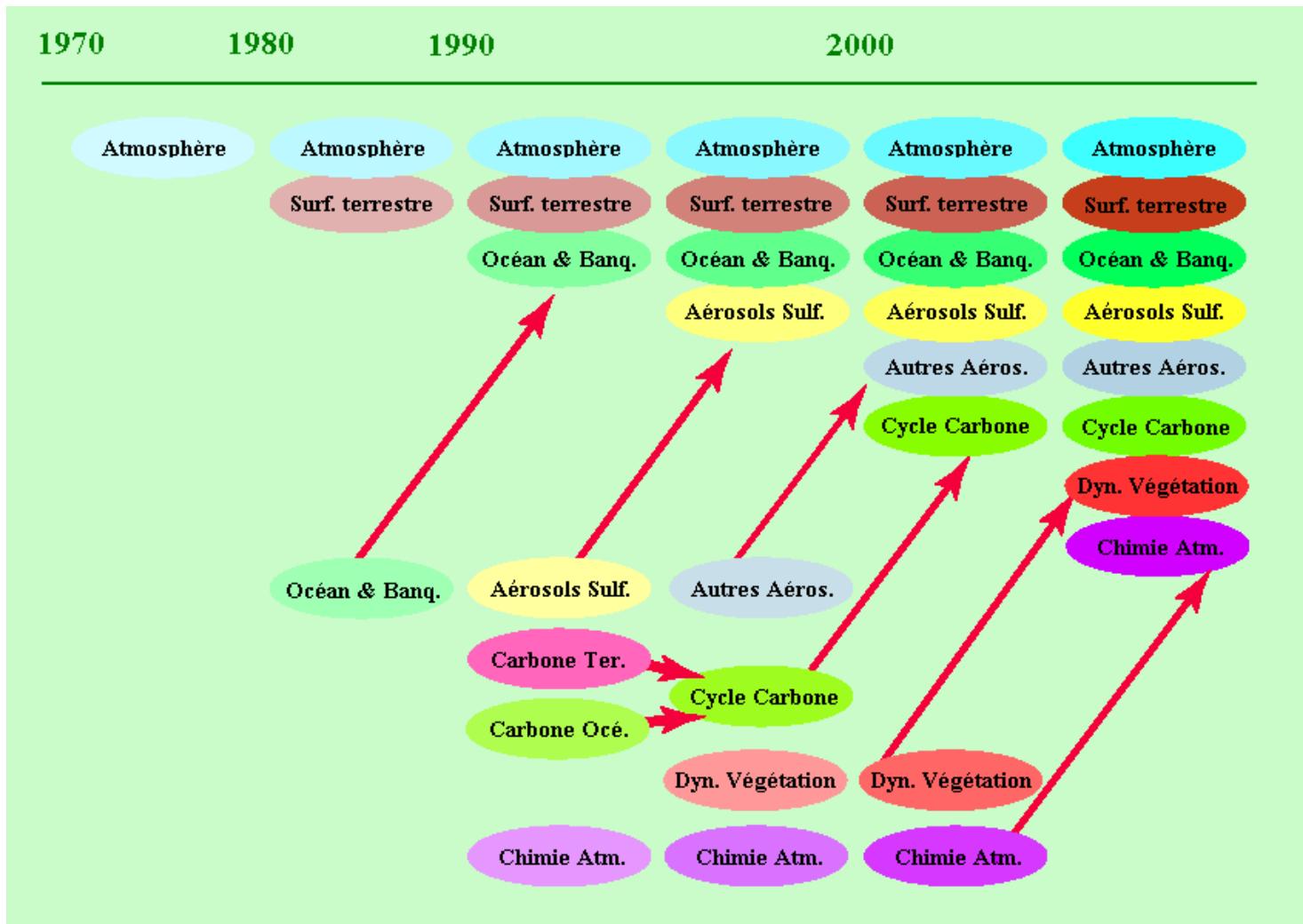


Principes de la modélisation météorologique et climatique

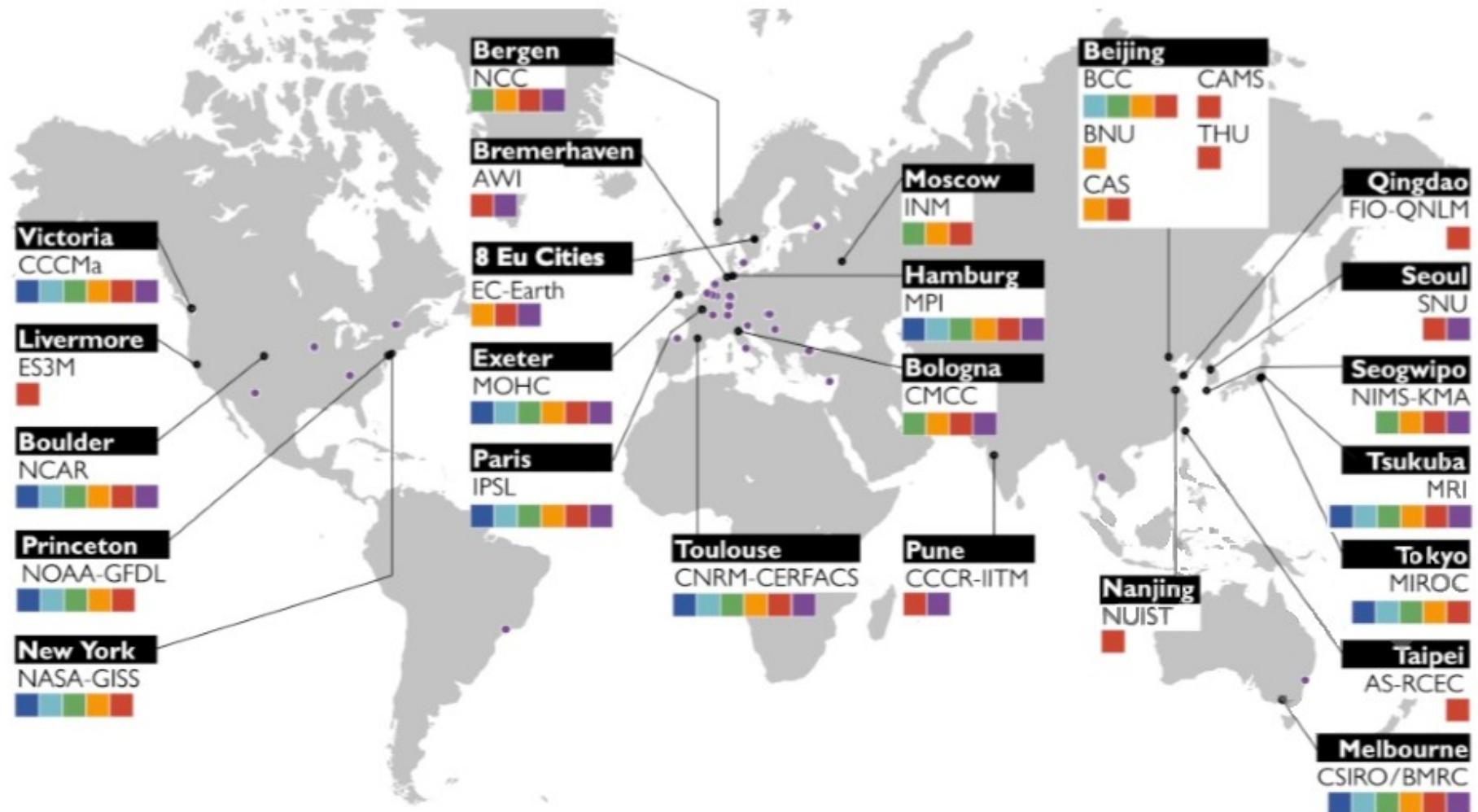


Source: IPSL

Le développement des modèles climatiques couplés



Les centres de modélisation climatique contribuant au GIEC



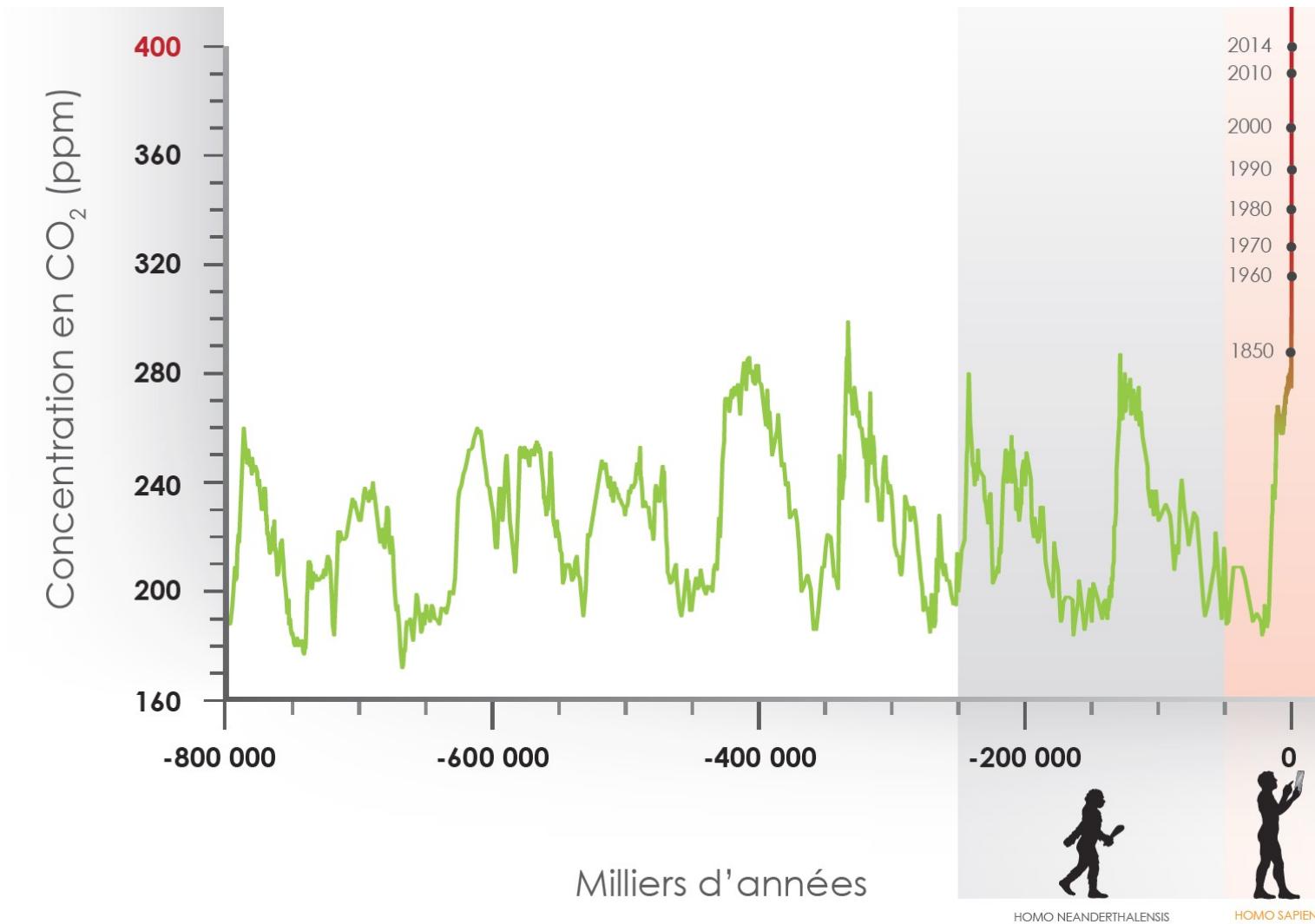
City

Institution

Participation à: **CMIP 1** **CMIP 2** **CMIP 3** **CMIP 5** **CMIP 6** **CORDEX**

Partenaire Cordex: ●

Concentration du CO₂ (dioxyde de carbone) dans l'atmosphère en parties par million (ppm)

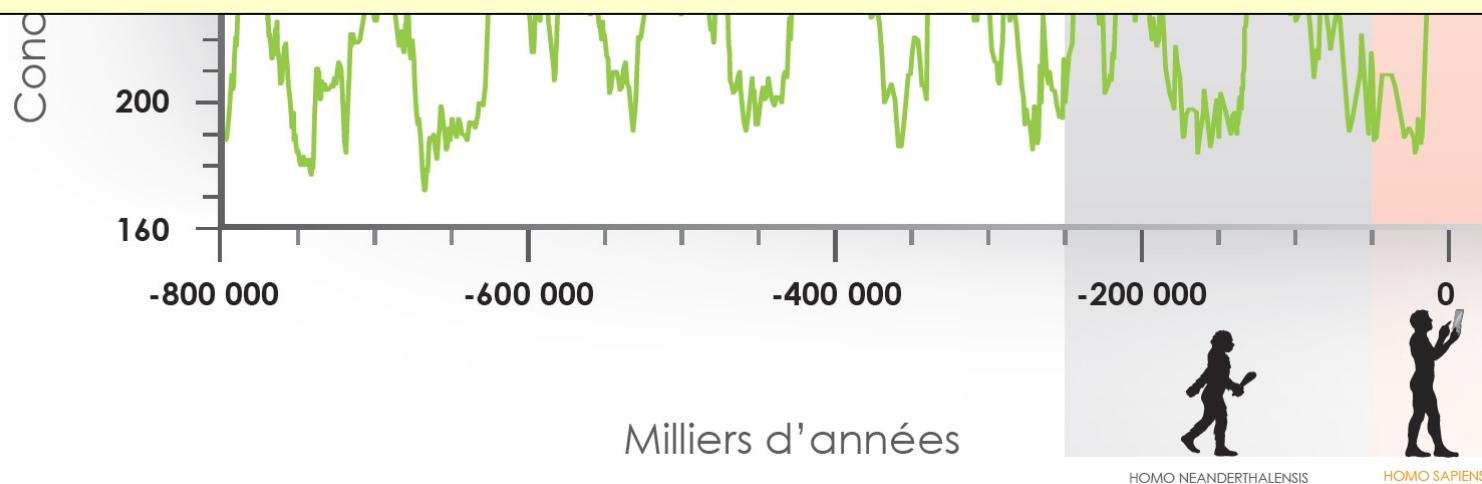


Concentration du CO₂ (dioxyde de carbone) dans l'atmosphère en parties par million (ppm)



En 2019, les concentrations atmosphériques de CO₂ étaient plus élevées qu'à tout autre moment depuis au moins **deux millions d'années**.

Les concentrations de méthane et de protoxyde d'azote étaient plus élevées qu'à tout autre moment depuis au moins **800 000 ans**.



Source: GIEC, 2013 et 2021

Émissions moyennes de CO₂ pour 2010-2019

$34,4 \pm 1,8 \text{ GtCO}_2/\text{an}$



$5,7 \pm 2,6 \text{ GtCO}_2/\text{an}$



$18,6 \pm 0,4 \text{ GtCO}_2/\text{an}$

46%



$12,5 \pm 2,9 \text{ GtCO}_2/\text{an}$

31%



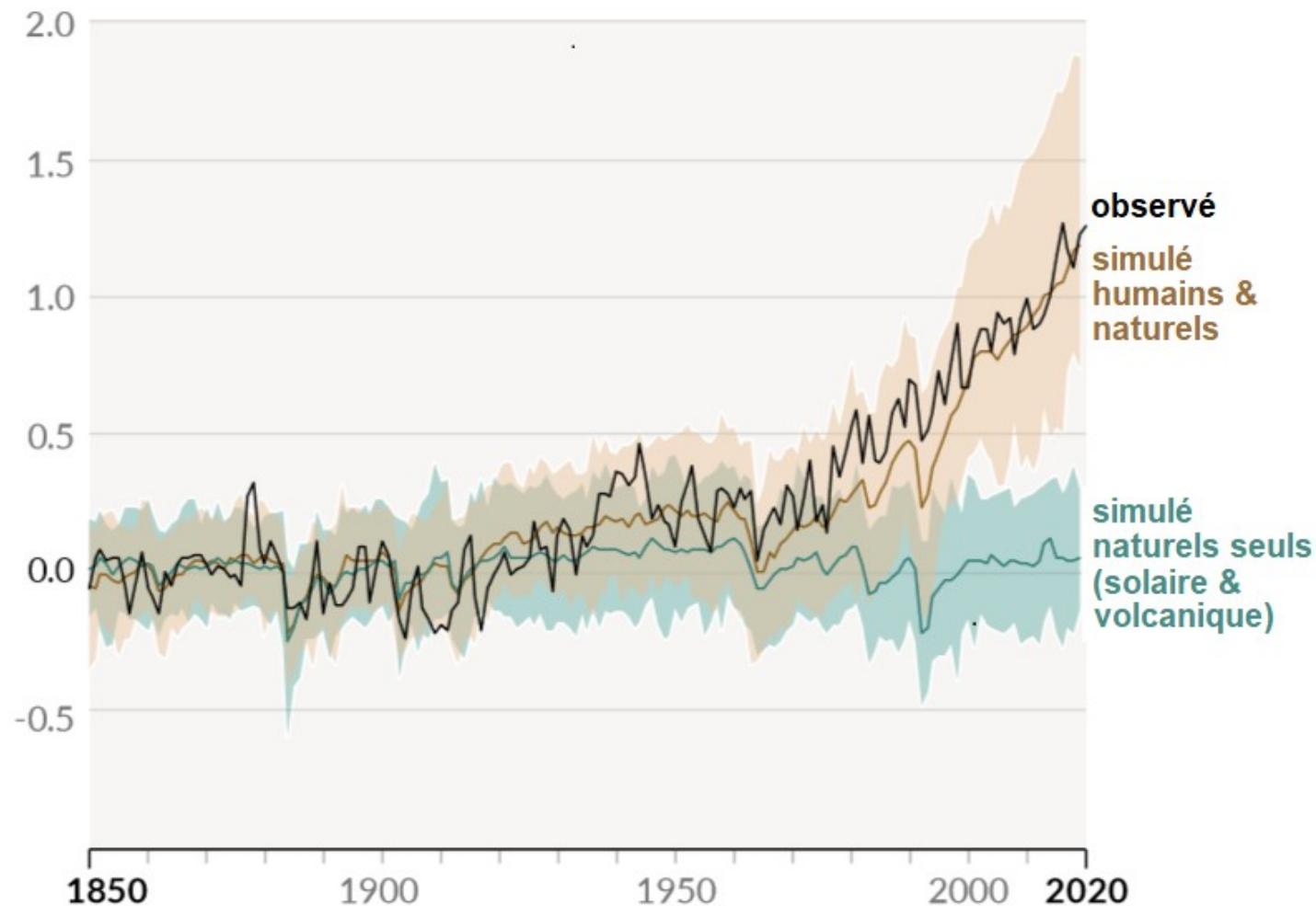
23%

$9,2 \pm 1,8 \text{ PgC/an}$



Variations de la température à la surface du globe observées et simulées avec et sans les facteurs humains

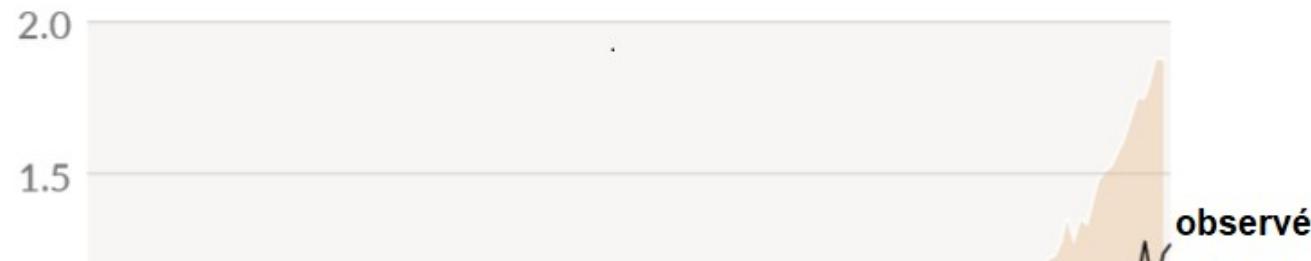
Écarts à la moyenne 1850-1900 (°C)



Source: GIEC, 2021 ; www.ipcc.ch

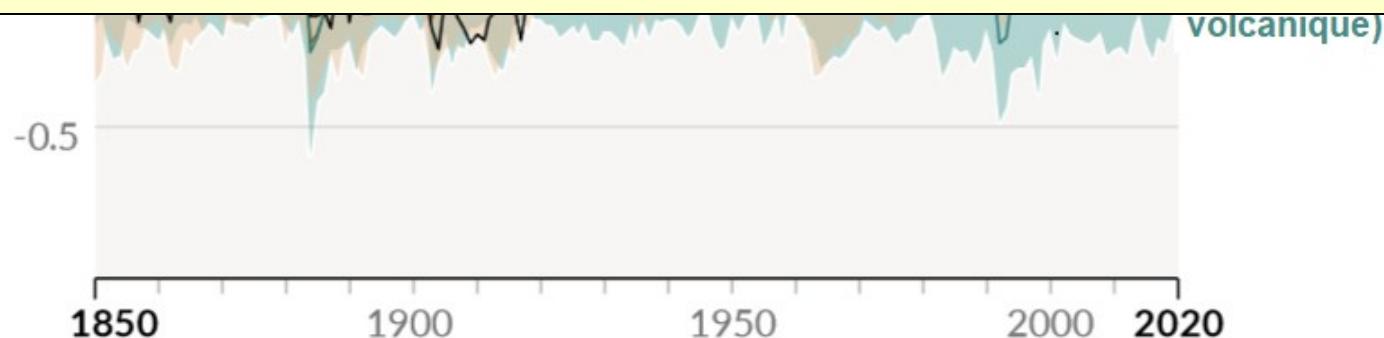
Variations de la température à la surface du globe observées et simulées avec et sans les facteurs humains

Écarts à la moyenne 1850-1900 (°C)



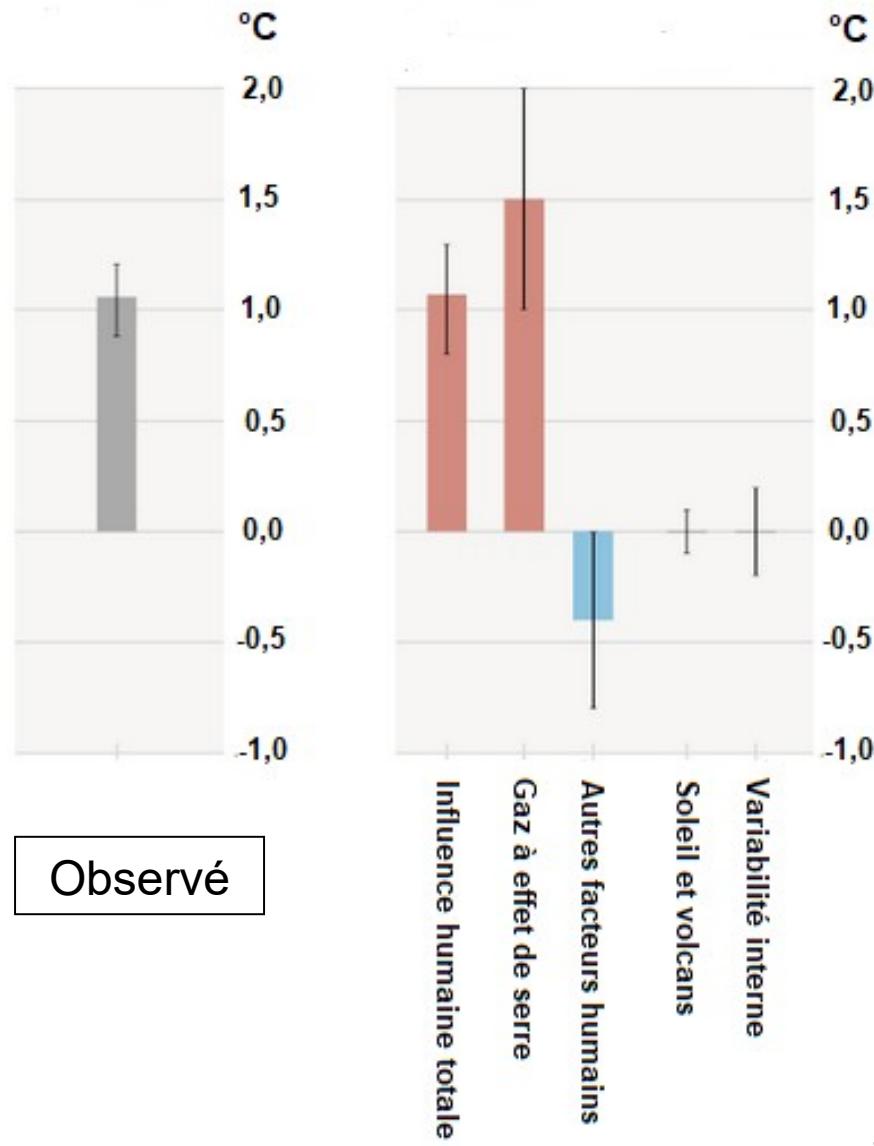
L'influence humaine sur le système climatique est maintenant un fait établi.

Il est sans équivoque que l'augmentation de la concentration des GES est le principal facteur à l'origine de nombreux changements observés dans l'atmosphère, l'océan, les glaces et la biosphère.



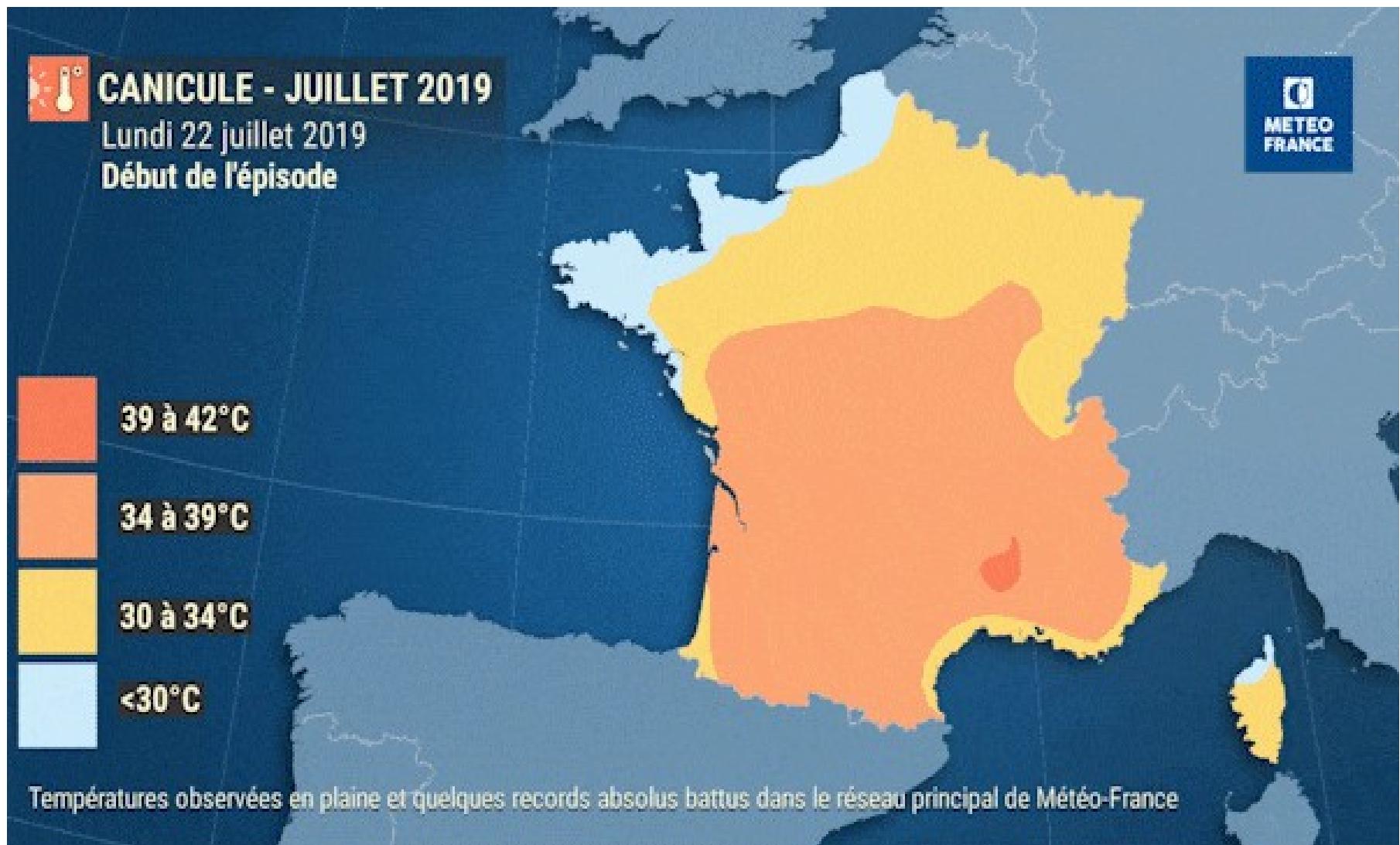
Source: GIEC, 2021 ; www.ipcc.ch

Contributions au réchauffement climatique observé entre 1850-1900 et 2010-2019



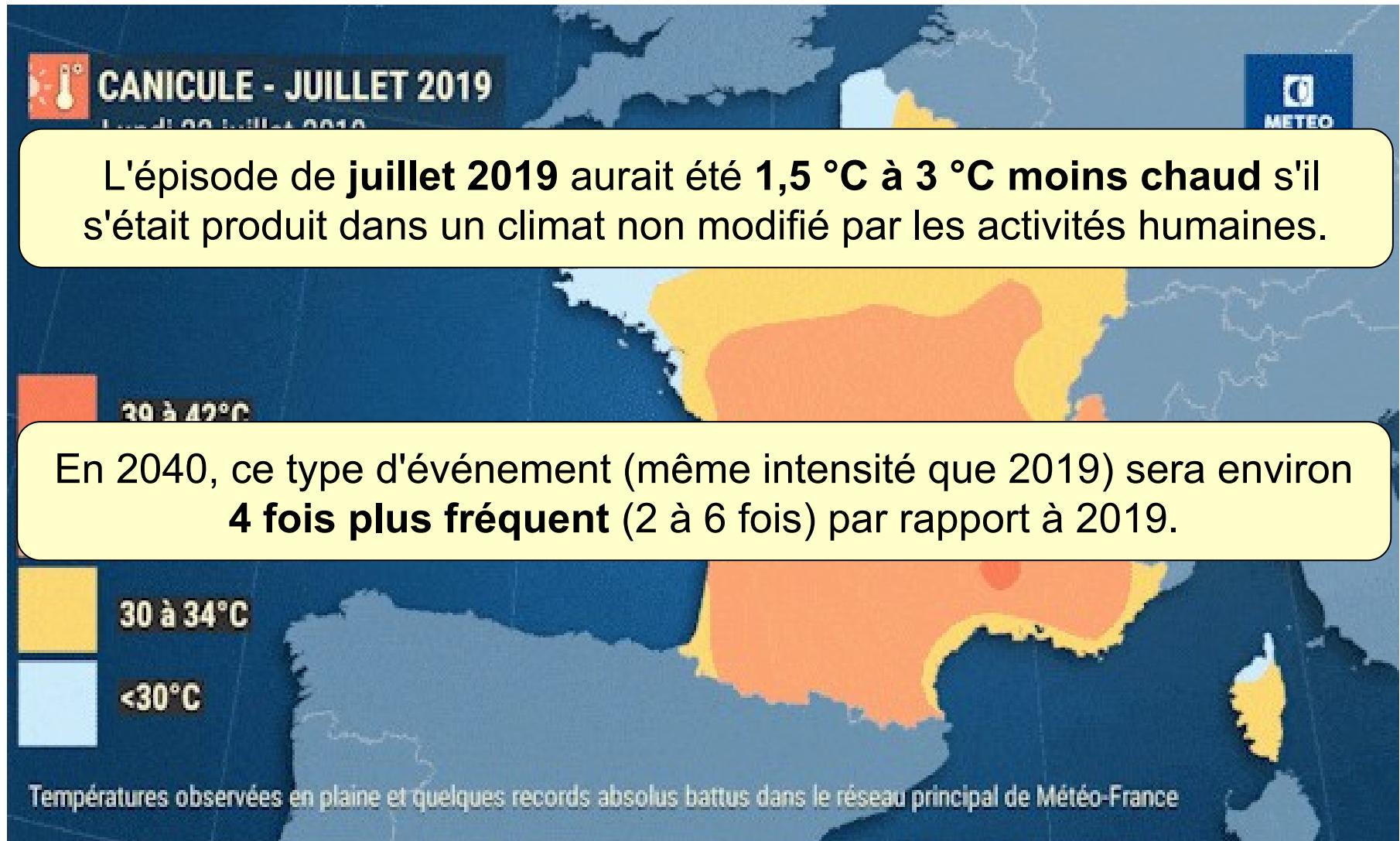
Source : GIEC, 2021

Canicule de juillet 2019



Source: Météo-France, 2019

Canicule de juillet 2019



Source: Météo-France, 2019

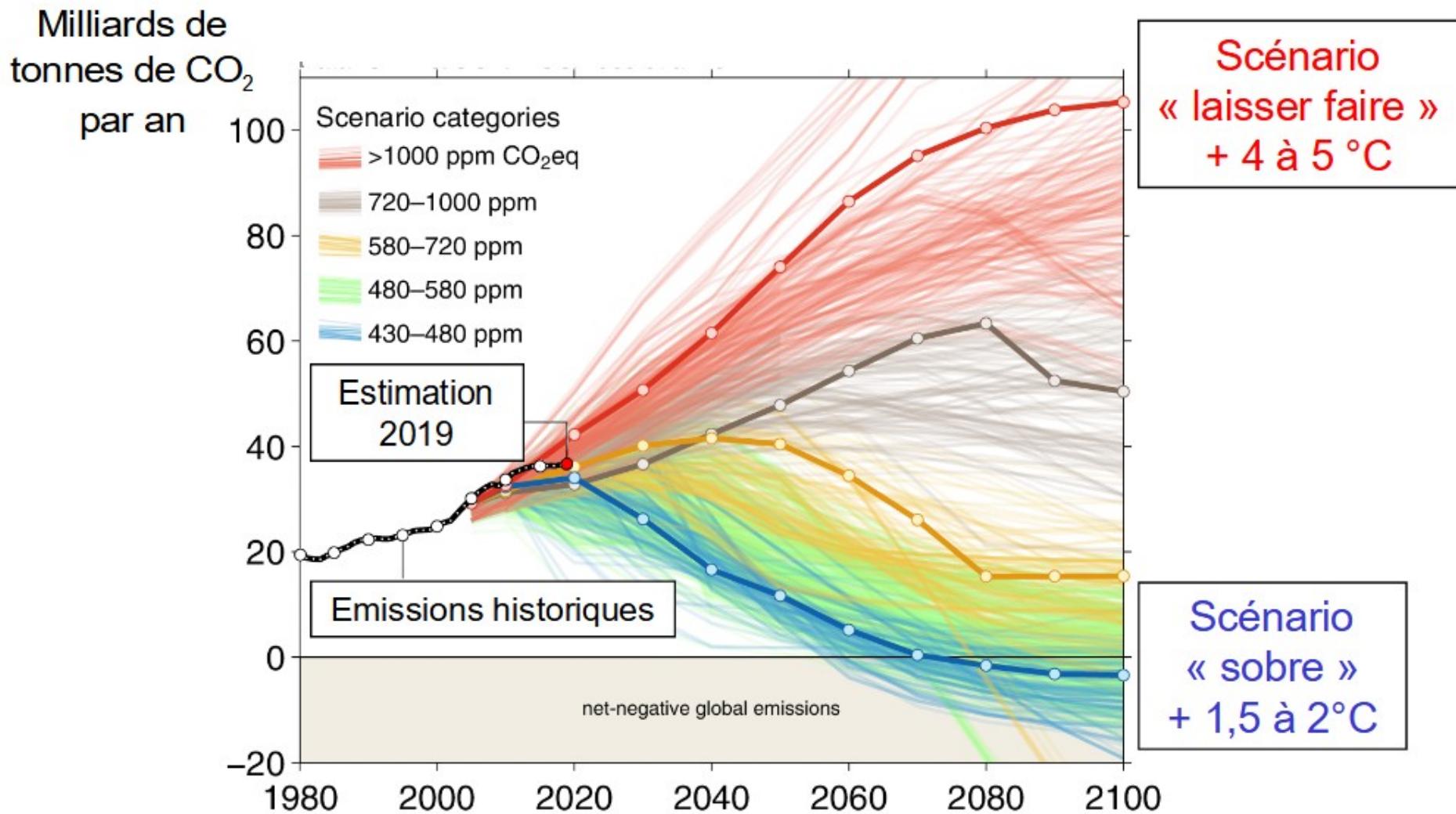


Scénarios pour le climat futur et quelques conséquences

La Salvetat-Saint-Gilles, 1^{er} octobre 2021



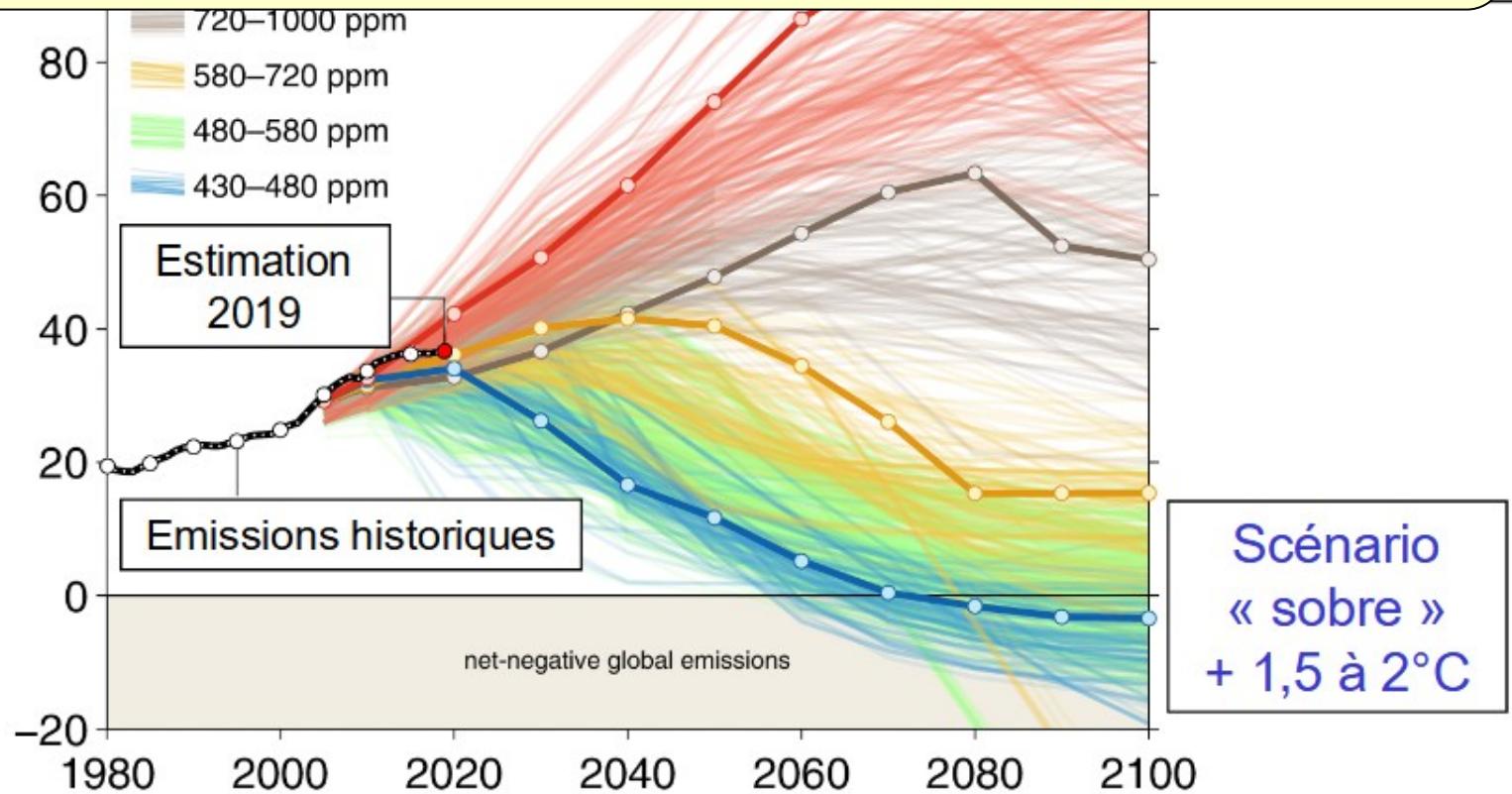
Émissions globales de CO₂ dues aux combustibles fossiles et à la production de ciment



Sources: GIEC, 2013 ; GCP 2020 (<https://www.globalcarbonproject.org/>)

Émissions globales de CO₂ dues aux combustibles fossiles et à la production de ciment

to Les activités humaines peuvent produire en **250 ans** un réchauffement climatique équivalent à celui produit par la nature en **10000 ans**.

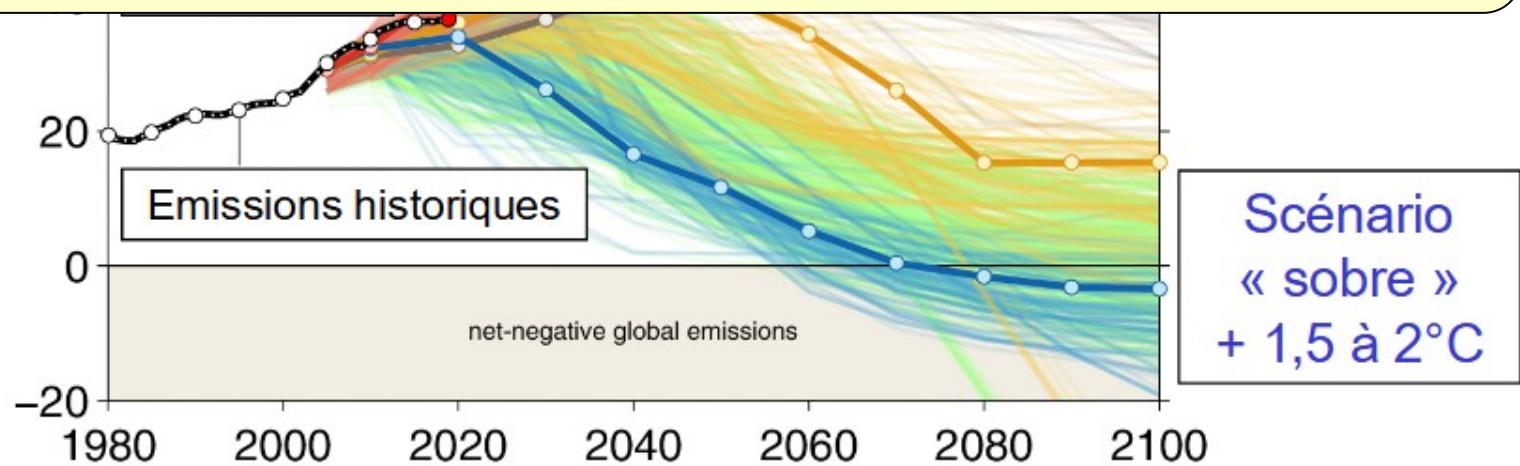


Émissions globales de CO₂ dues aux combustibles fossiles et à la production de ciment

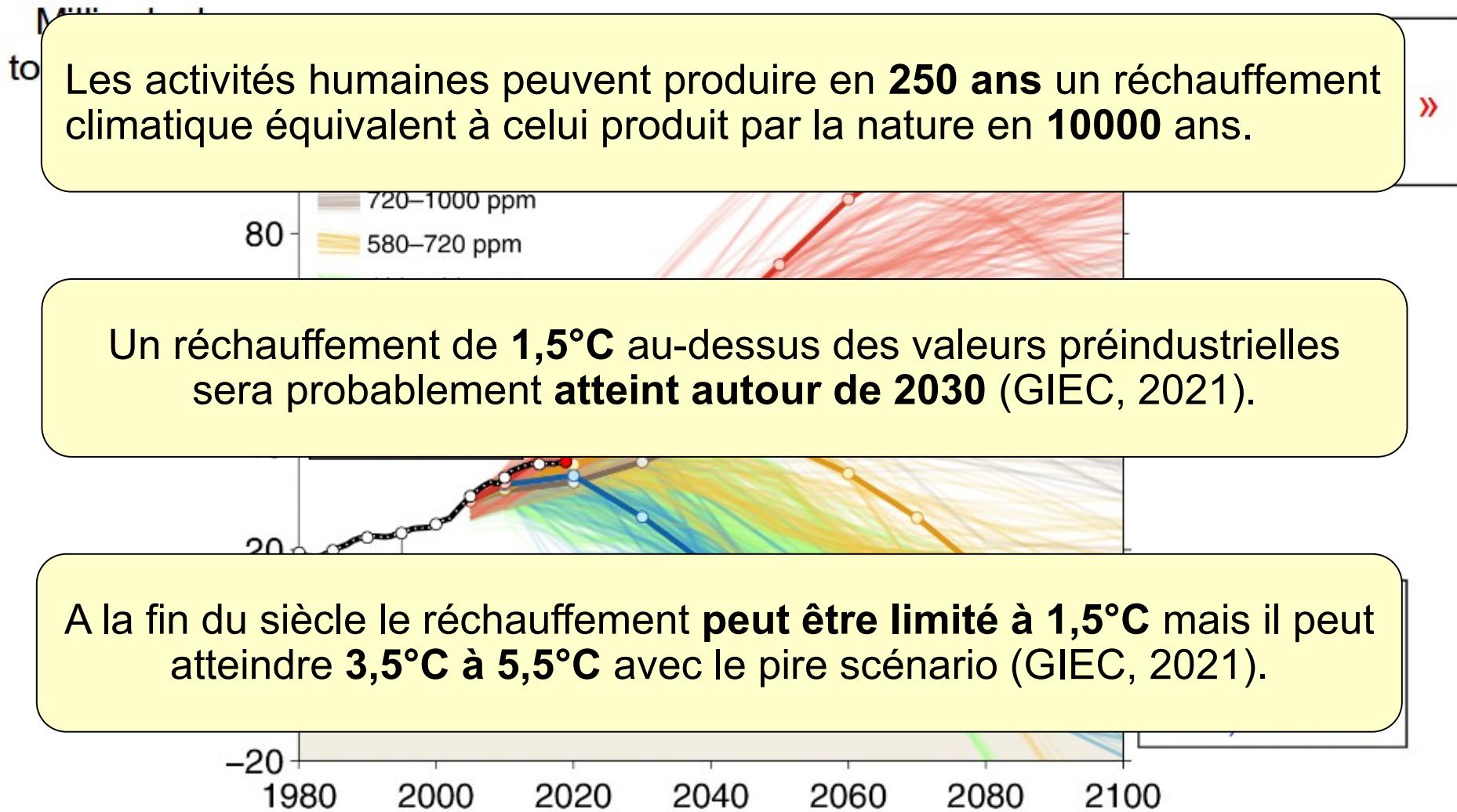
to Les activités humaines peuvent produire en **250 ans** un réchauffement climatique équivalent à celui produit par la nature en **10000 ans**.



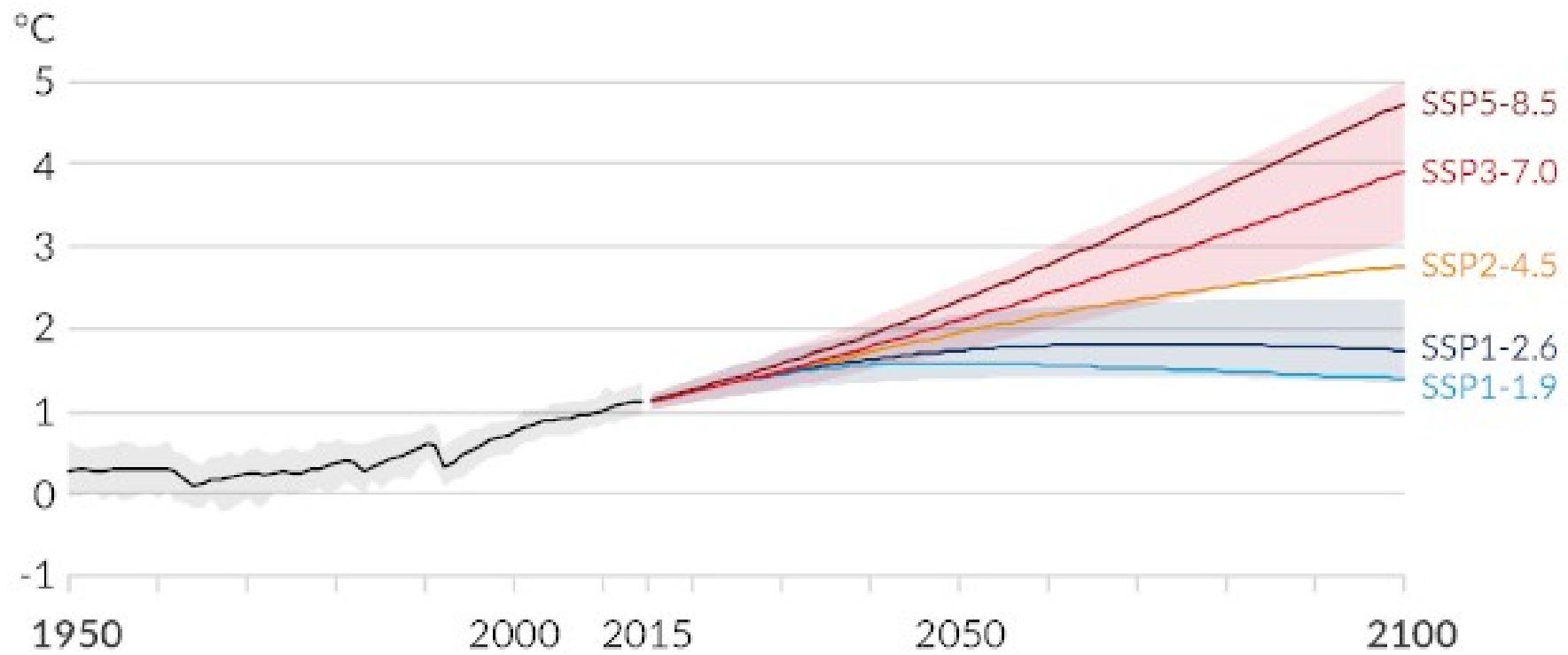
Un réchauffement de **1,5°C** au-dessus des valeurs préindustrielles sera probablement **atteint autour de 2030** (GIEC, 2021).



Émissions globales de CO₂ dues aux combustibles fossiles et à la production de ciment

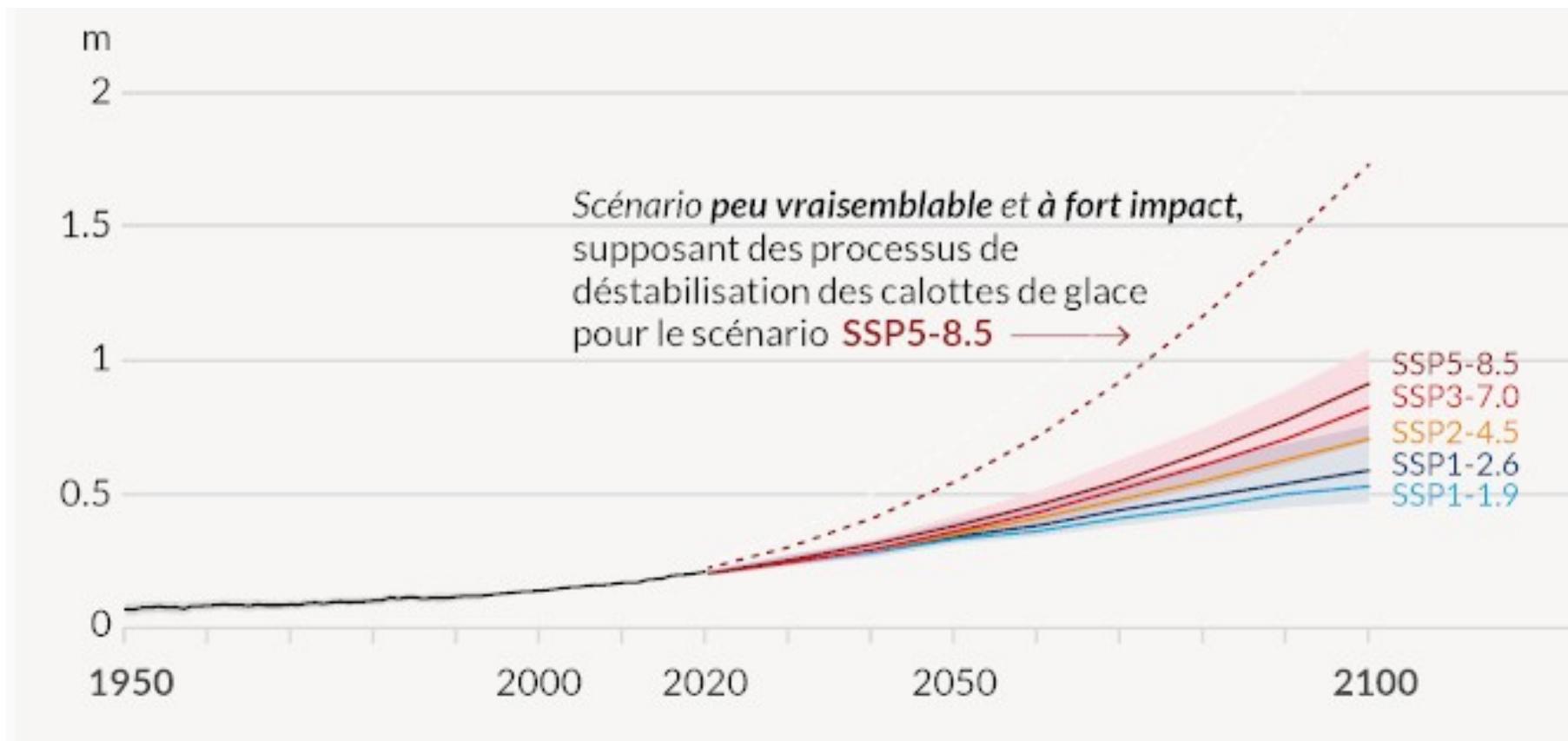


Évolution de la température de surface mondiale par rapport à 1850-1990



Source: GIEC, 2021.

Évolution de la moyenne mondiale du niveau de l'océan par rapport à 1900

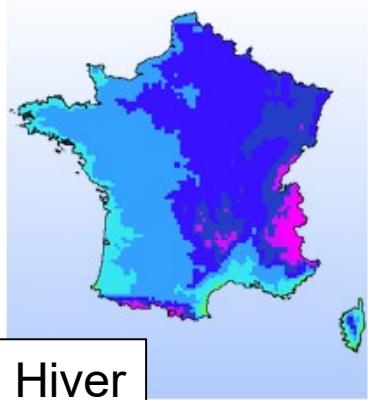


Source: GIEC, 2021.

Évolution des températures par rapport à 1976-2005

Scénario « sobre »

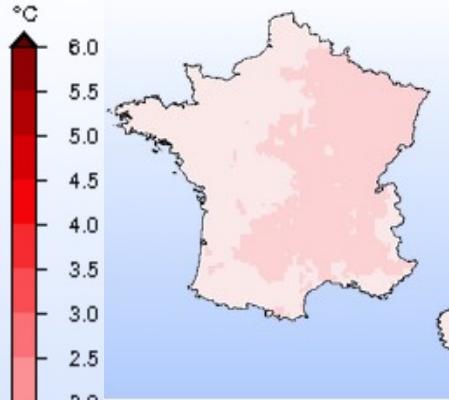
Référence (1976-2005)



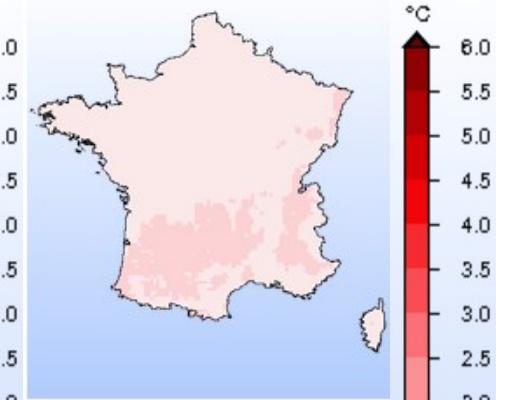
Horizon proche (2021-2050)



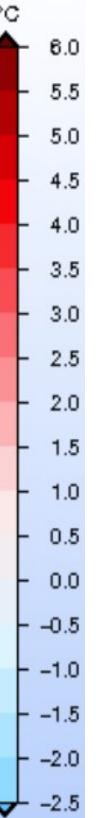
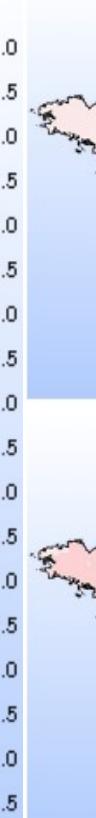
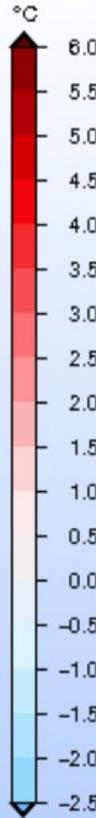
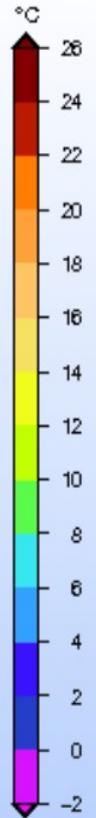
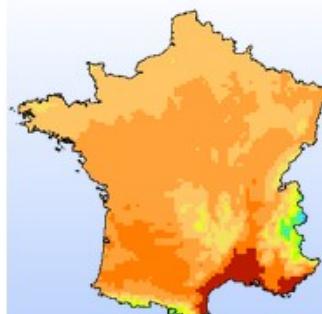
Horizon moyen (2041-2070)



Horizon lointain (2071-2100)



Hiver



Évolution des températures par rapport à 1976-2005

Scénario « laisser faire »

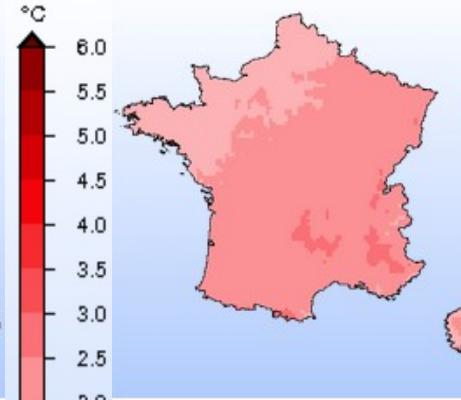
Référence (1976-2005)



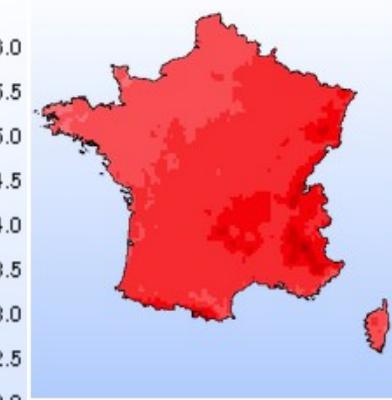
Horizon proche (2021-2050)



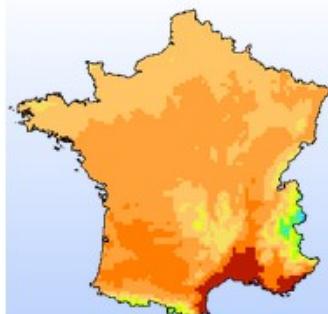
Horizon moyen (2041-2070)



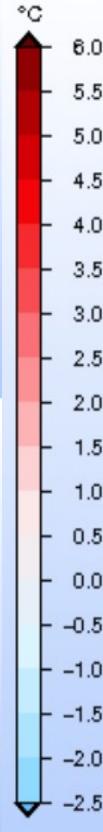
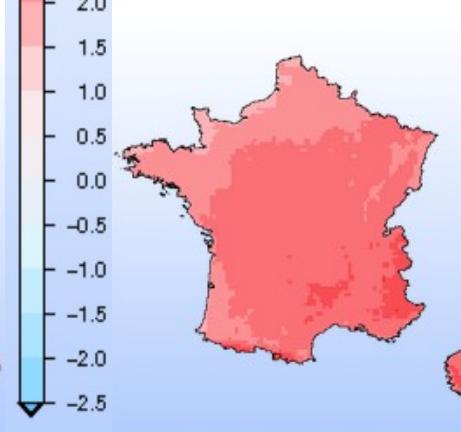
Horizon lointain (2071-2100)



Hiver



Été



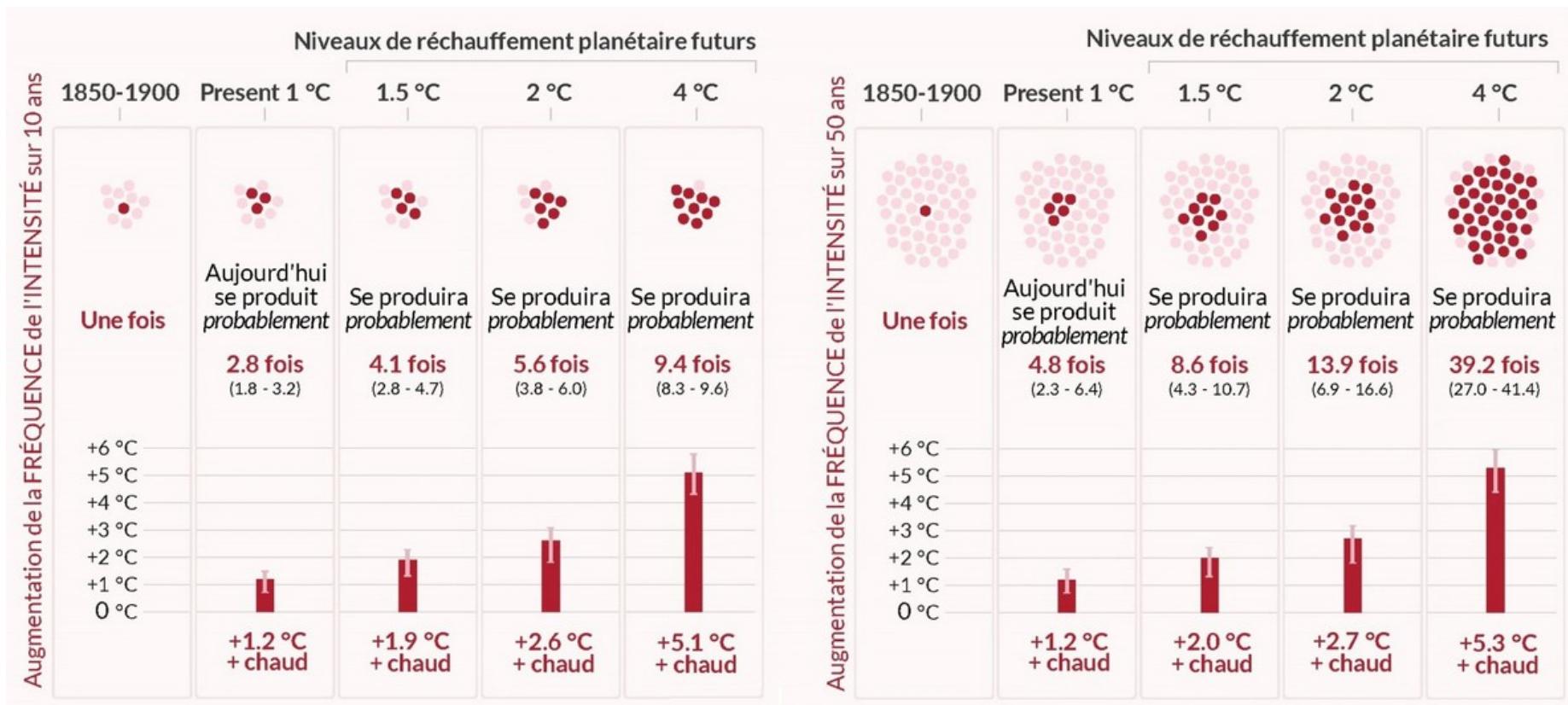
La hausse des **températures** moyennes pour les **20 prochaines années** serait du **même ordre** pour tous les scénarios d'émissions.

La hausse des **températures** moyennes sur l'**ensemble du siècle** pourrait varier d'un **facteur de 1 à 4** suivant le scénario d'émission de gaz à effet de serre sur lequel on se situera au cours des prochaines décennies.

Les **précipitations** annuelles devraient **peu évoluer** au XXI^e siècle, mais les contrastes saisonniers devraient s'accentuer avec une légère hausse en hiver et une diminution en été en particulier pour le scénario du « **laisser faire** » et au sud-est du pays.

Évolution des extrêmes chauds

Extrêmes chauds dépassés en moyenne tous les 10 ans ou tous les 50 ans dans le climat de la période 1850-1900 ($^{\circ}\text{C}$)



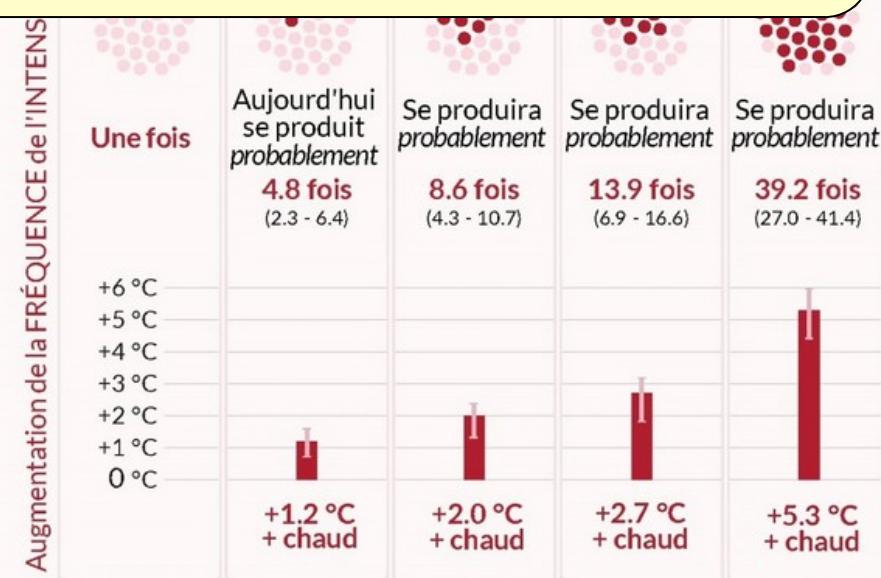
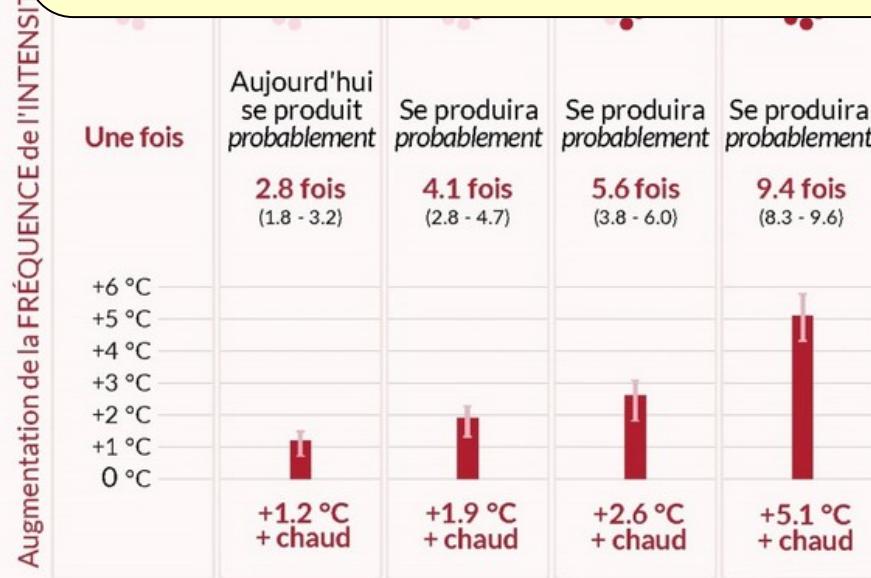
Source: GIEC, 2021 ; www.ipcc.ch

Évolution des extrêmes chauds

Extrêmes chauds dépassés en moyenne tous les 10 ans ou tous les 50 ans dans le climat de la période 1850-1900 (°C)

Il est très probable que chaque réchauffement supplémentaire de **0,5°C** cause un accroissement clairement décelable de l'intensité et de la fréquence des extrêmes chauds et des vagues de chaleur ...

Augmentation de la FREQUENCE de l'INTENSITÉ



Évolution des extrêmes chauds

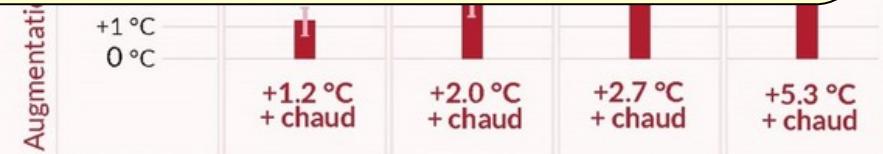
Extrêmes chauds dépassés en moyenne tous les 10 ans ou tous les 50 ans dans le climat de la période 1850-1900 ($^{\circ}\text{C}$)

Il est très probable que chaque réchauffement supplémentaire de **0,5 $^{\circ}\text{C}$** cause un accroissement clairement décelable de l'intensité et de la fréquence des extrêmes chauds et des vagues de chaleur ...

Augmentation de la FREQUENCE de l'INTENSITÉ



... Les pourcentages d'augmentation sont plus élevés pour les événements rares. (GIEC, 2021)



Évolution des extrêmes en France métropolitaine

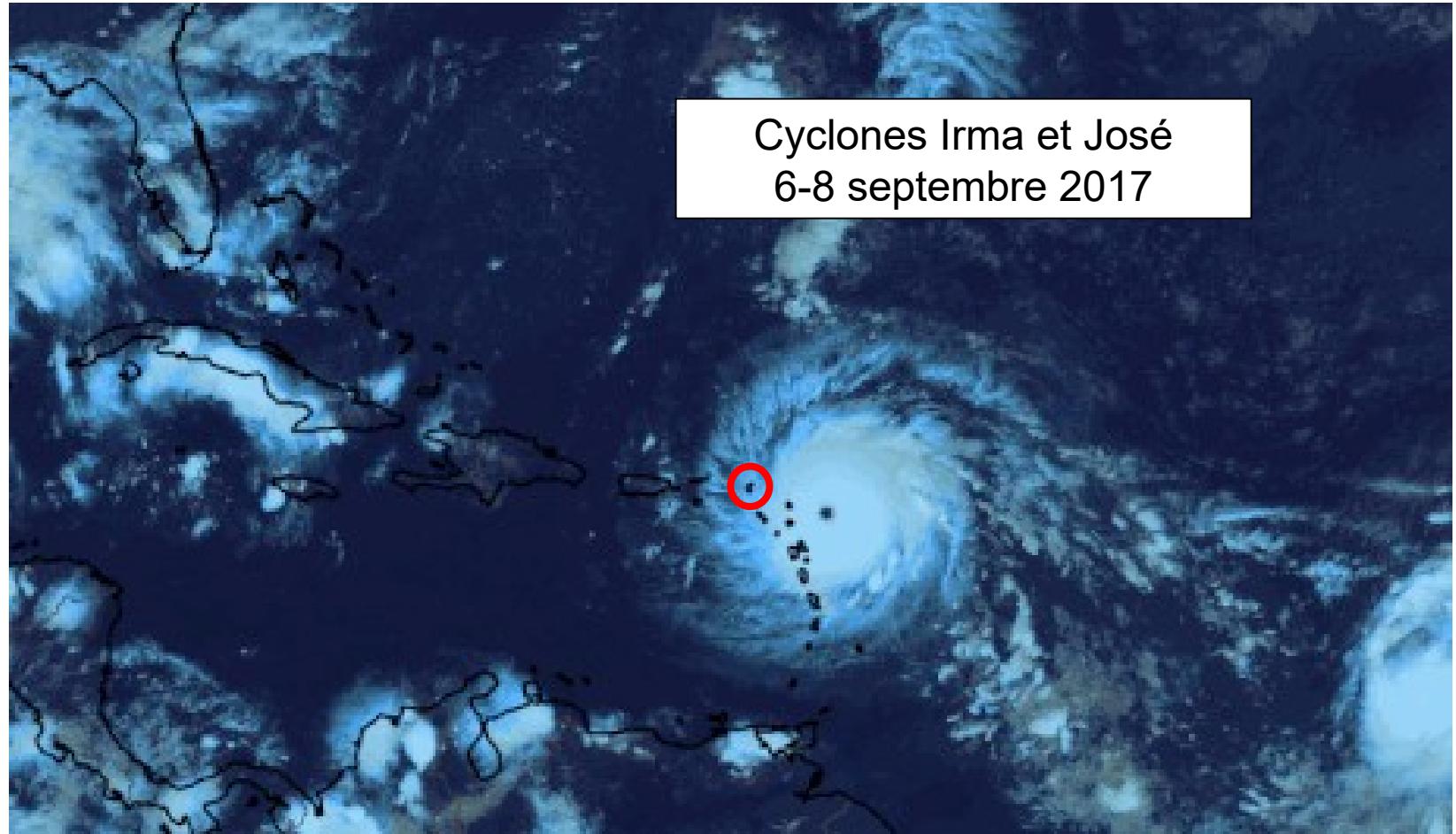
Dans le futur, les **vagues de chaleur estivales** deviendront à la fois plus fréquentes, plus longues et plus intenses.

Dans le futur, les **sécheresses agricoles** seront plus longues et plus intenses. L'humidité moyenne du sol en fin de siècle pourrait correspondre aux situations sèches extrêmes d'aujourd'hui.

Pour tous les scénarios on s'attend à une augmentation des **pluies les plus intenses**.

Les études actuelles ne permettent pas de mettre en évidence une tendance future de la fréquence et de l'intensité des **tempêtes**.

Évolution des cyclones tropicaux



Source: Météo-France, 2017

Évolution des cyclones tropicaux

Il est *probable* que la proportion de **cyclones tropicaux** de catégories **3 à 5** a augmenté au cours des **4 dernières décennies** ...

Des études d'attribution et la compréhension physique des processus indiquent que le changement climatique anthropique augmente les précipitations intenses associées (*confiance élevée*) ...



Évolution des cyclones tropicaux

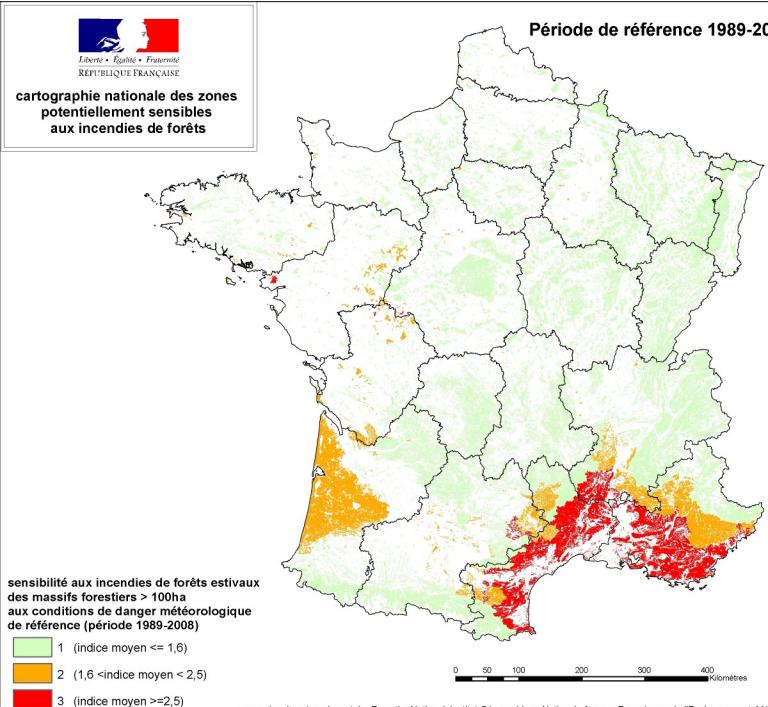
Il est *probable* que la proportion de **cyclones tropicaux** de catégories **3 à 5** a augmenté au cours des **4 dernières décennies** ...

Des études d'attribution et la compréhension physique des processus indiquent que le changement climatique anthropique augmente les précipitations intenses associées (*confiance élevée*) ...

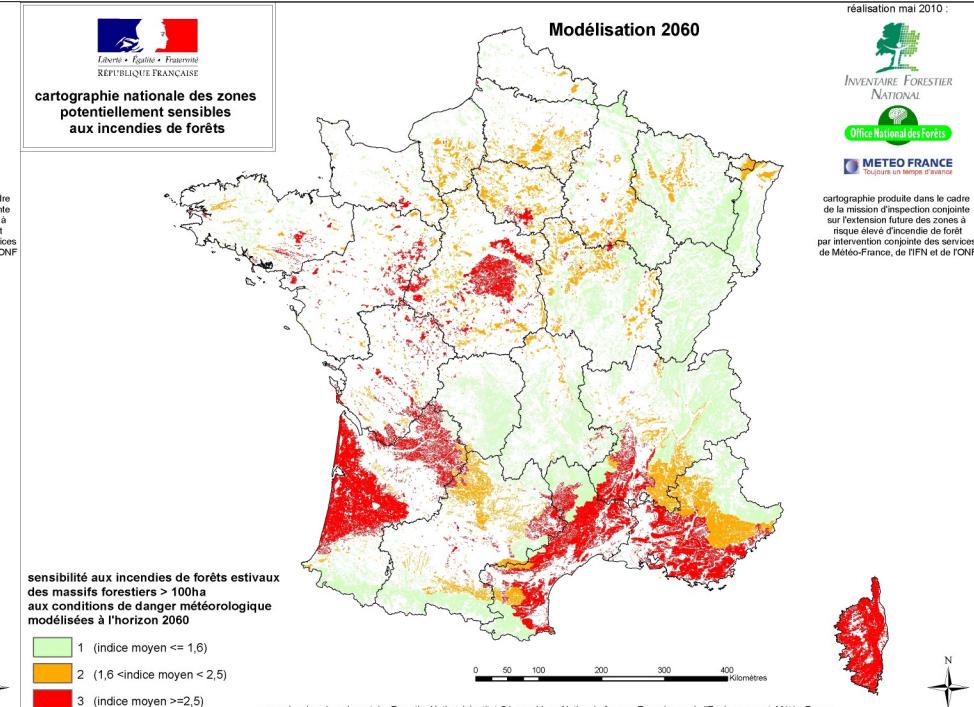
... Les **projections** montrent un accroissement à l'échelle mondiale de la proportion de cyclones tropicaux de catégories **4 et 5**, et des vitesses de vent maximales des plus intenses avec l'accroissement du réchauffement (*confiance élevée*). (GIEC, 2021)

Sensibilité de la végétation aux incendies de forêt estivaux

climat « actuel »



climat 2060



Source: Chatry et al., 2010

Les gelées « tardives » d'avril 2021



INFOS CLIMAT

Gettyimages

Records : dernier jour de mars le plus chaud jamais observé en France !

1^{er} avril 2021



INFOS CLIMAT

infoclimat / boubougep

Une masse d'air exceptionnellement froide sur la France

7 avril 2021

Les gelées « tardives » d'avril 2021



Records : dernier jour de mars le plus chaud jamais observé en France !

1^{er} avril 2021



Une masse d'air exceptionnellement froide sur la France

7 avril 2021

L'estimation de l'augmentation de probabilité de l'évènement d'impact des gelées sur la vigne **d'avril 2021** du fait des activités humaines est d'environ 60 % (comprise entre 20% et 120%).

Source : <https://www.worldweatherattribution.org>

Erosion du trait de côte



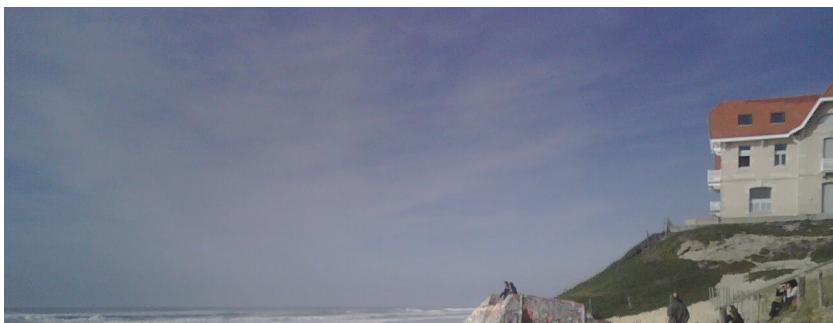
Biscarrosse, février 2011



Biscarrosse, février 2014

Source: Observatoire de la côte aquitaine – ONF, 2015

Erosion du trait de côte



À l'horizon **2050**, un recul moyen du trait de côte du littoral sableux Landes/Gironde est estimé à **65 m**.

Source : AcclimaTerra, 2018 (<https://www.acclimaterra.fr/>)

Biscarrosse, février 2011

Biscarrosse, février 2014

Ressources

Office for Climate Education: oce.global/fr

Rapports du GIEC: ipcc.ch

Atlas interactif du GIEC: interactive-atlas.ipcc.ch

Rapports du Haut Conseil pour le Climat: hautconseilclimat.fr

Indicateurs du changement climatique en France de l'ONERC :
ecologie.gouv.fr/observatoire-national-sur-effets-du-rechauffement-climatique-onerc

Changements climatiques futurs en France: drias-climat.fr

1^{er} cahier régional Occitanie sur les changements climatiques:
reco-occitanie.org/crocc_2021

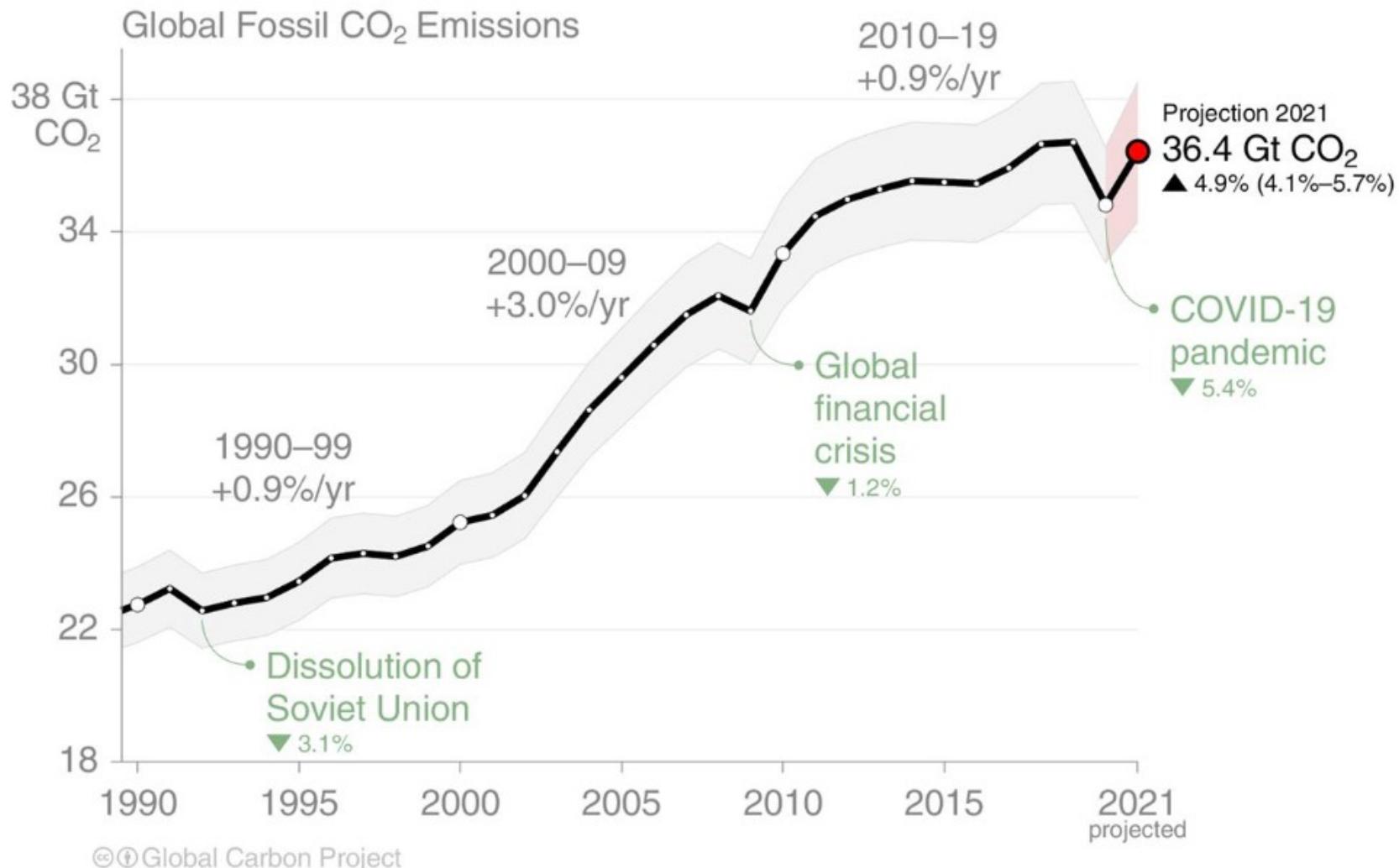
Rapports sur les changements climatiques et l'adaptation en Nouvelle Aquitaine :
acclimaterra.fr/rapport-page-menu/

Observatoire Pyrénéen du changement climatique : opcc-ctp.org/fr/contenido/accueil

Questions ?

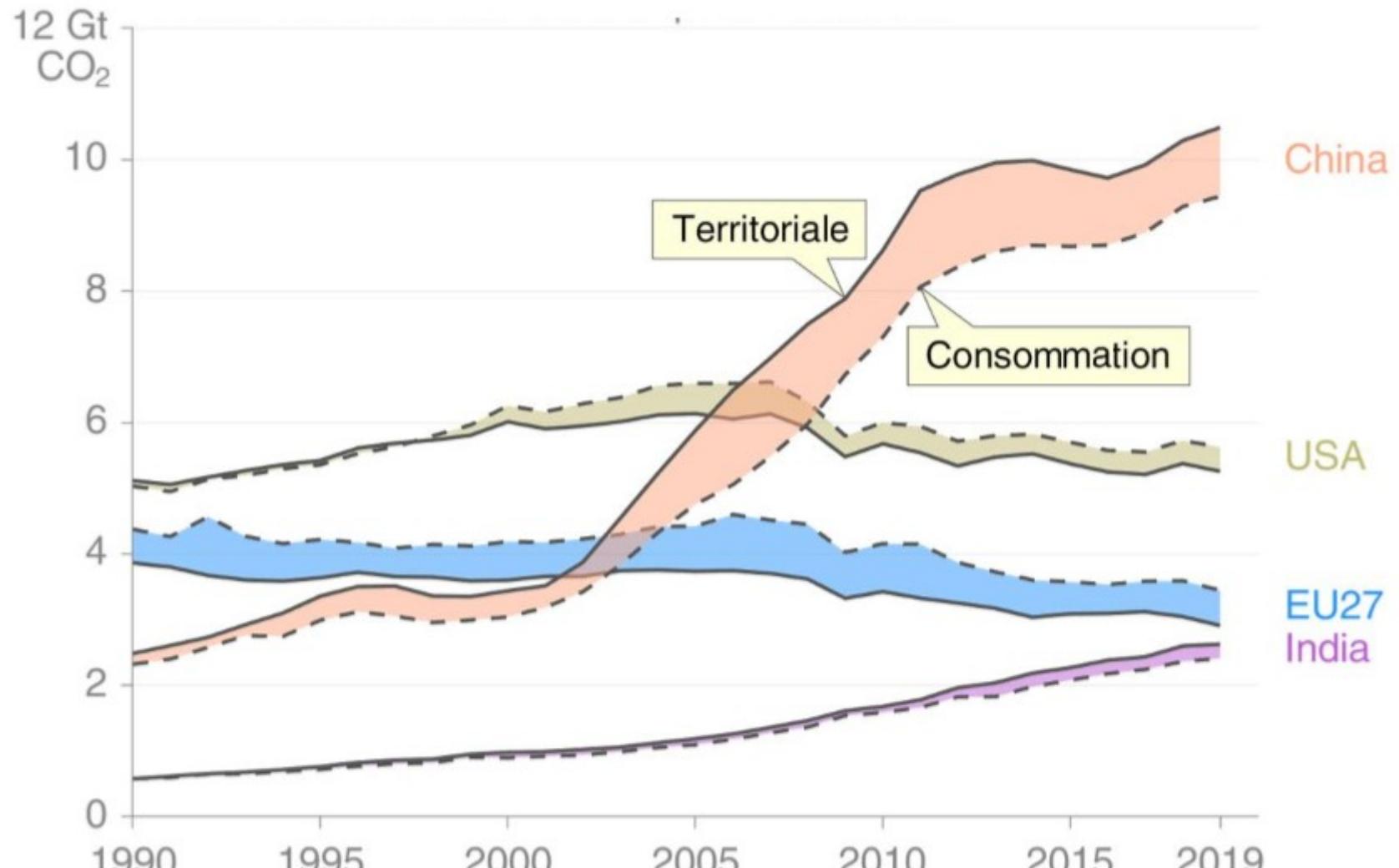
Webinaire, 22 avril 2022

Émissions globales de CO₂ dues aux combustibles fossiles et à la production de ciment



Source: Global Carbon Project 2021 (<https://www.globalcarbonproject.org/>)

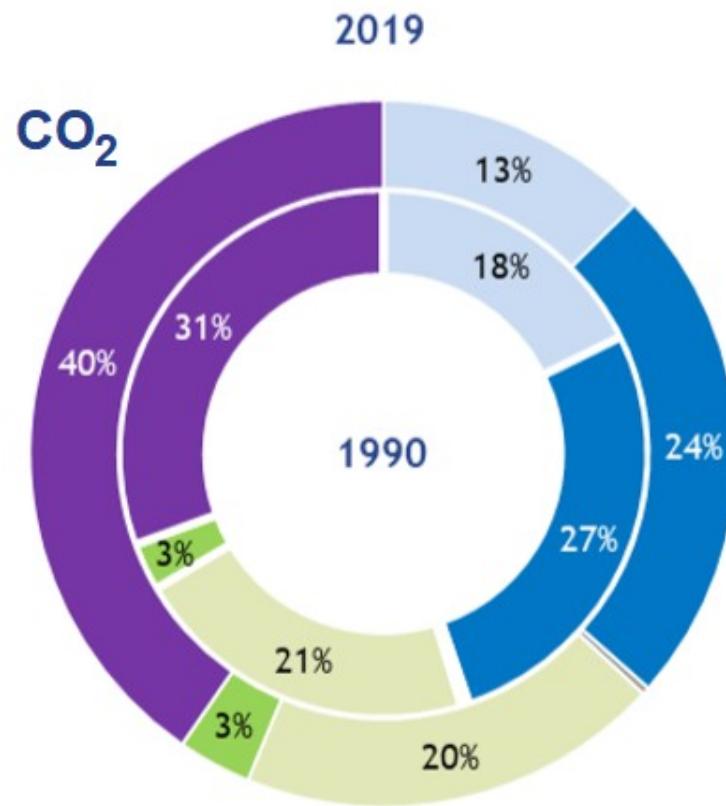
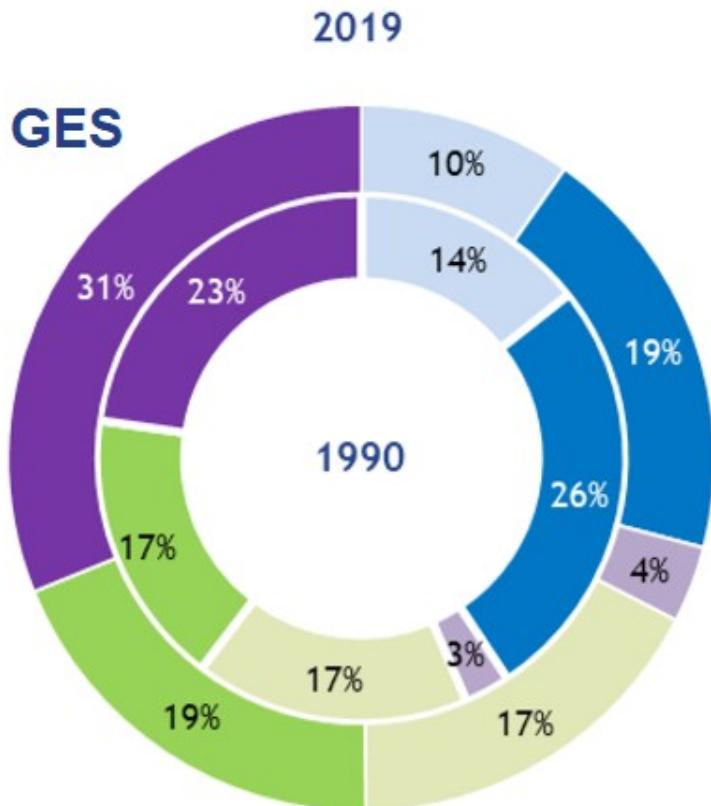
Émissions territoriales et consommations de CO₂ dues aux



© Global Carbon Project

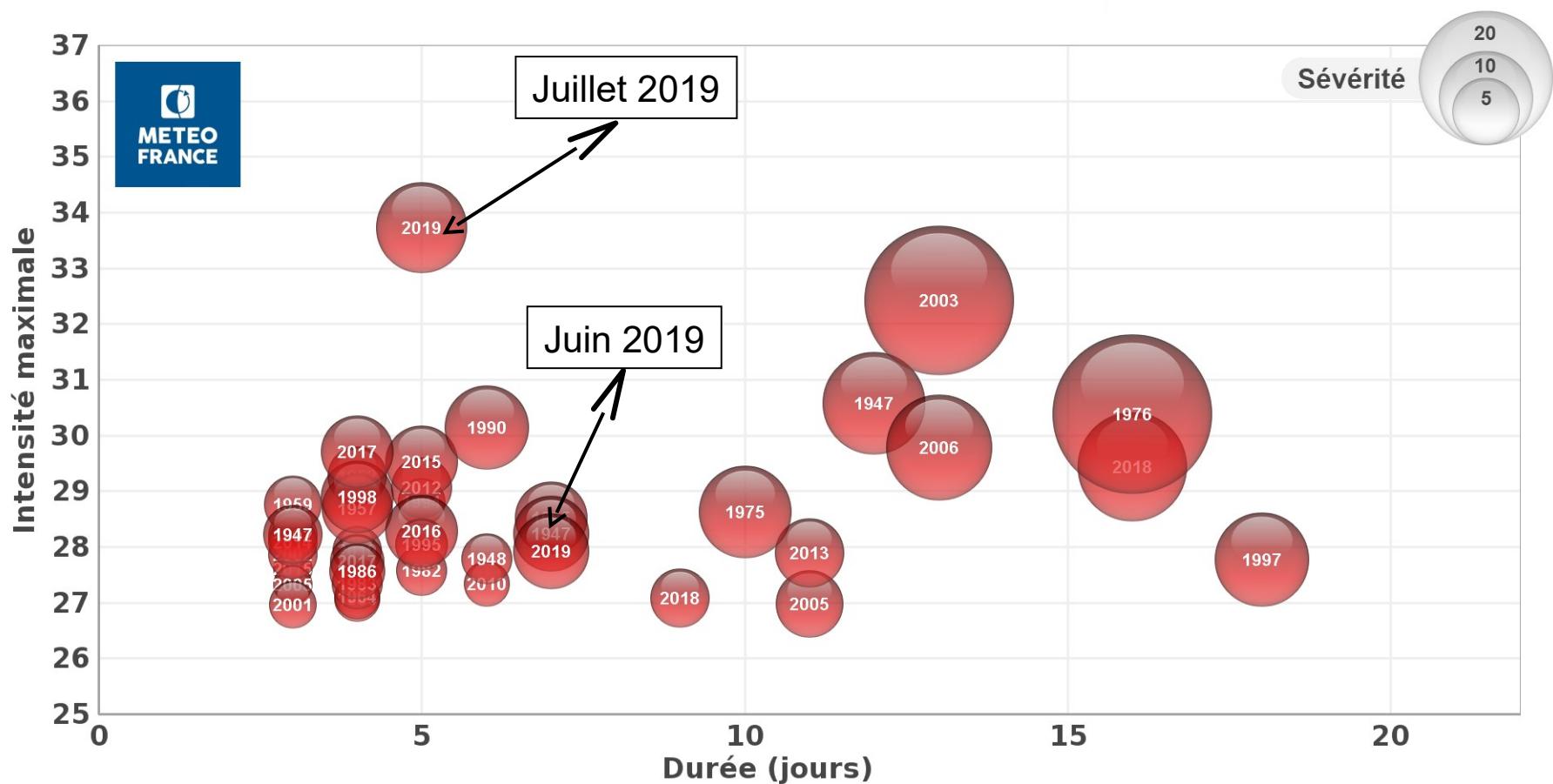
Source: Global Carbon Project 2021 (<https://www.globalcarbonproject.org/>)

Émissions par secteur en France



Industrie énergie	Industrie manufacturière
Résidentiel/tertiaire	Agriculture/sylviculture
Déchets (centralisés)	Transports

Vagues de chaleur en Ile-de-France de 1947 à juillet 2019



Source: Météo-France, 2019

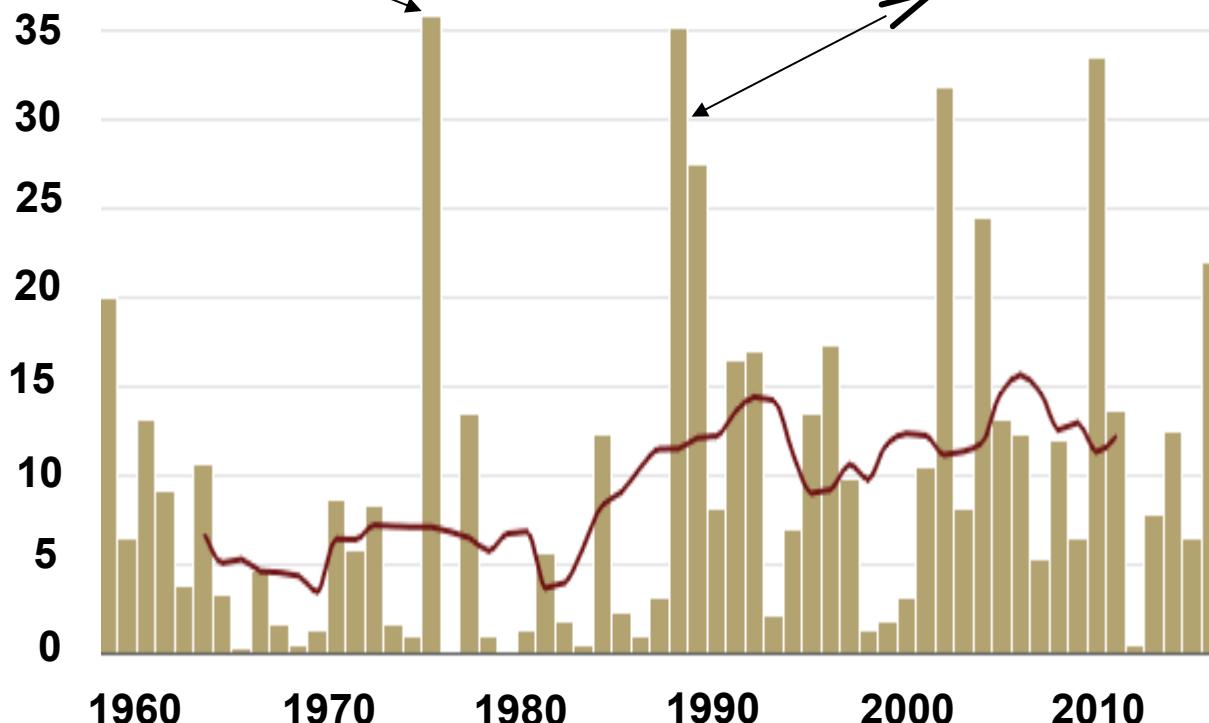
Surface de la France métropolitaine affectée par les sécheresses agricoles de 1959 à 2017 (%)



Manque d'eau : la France au régime sec

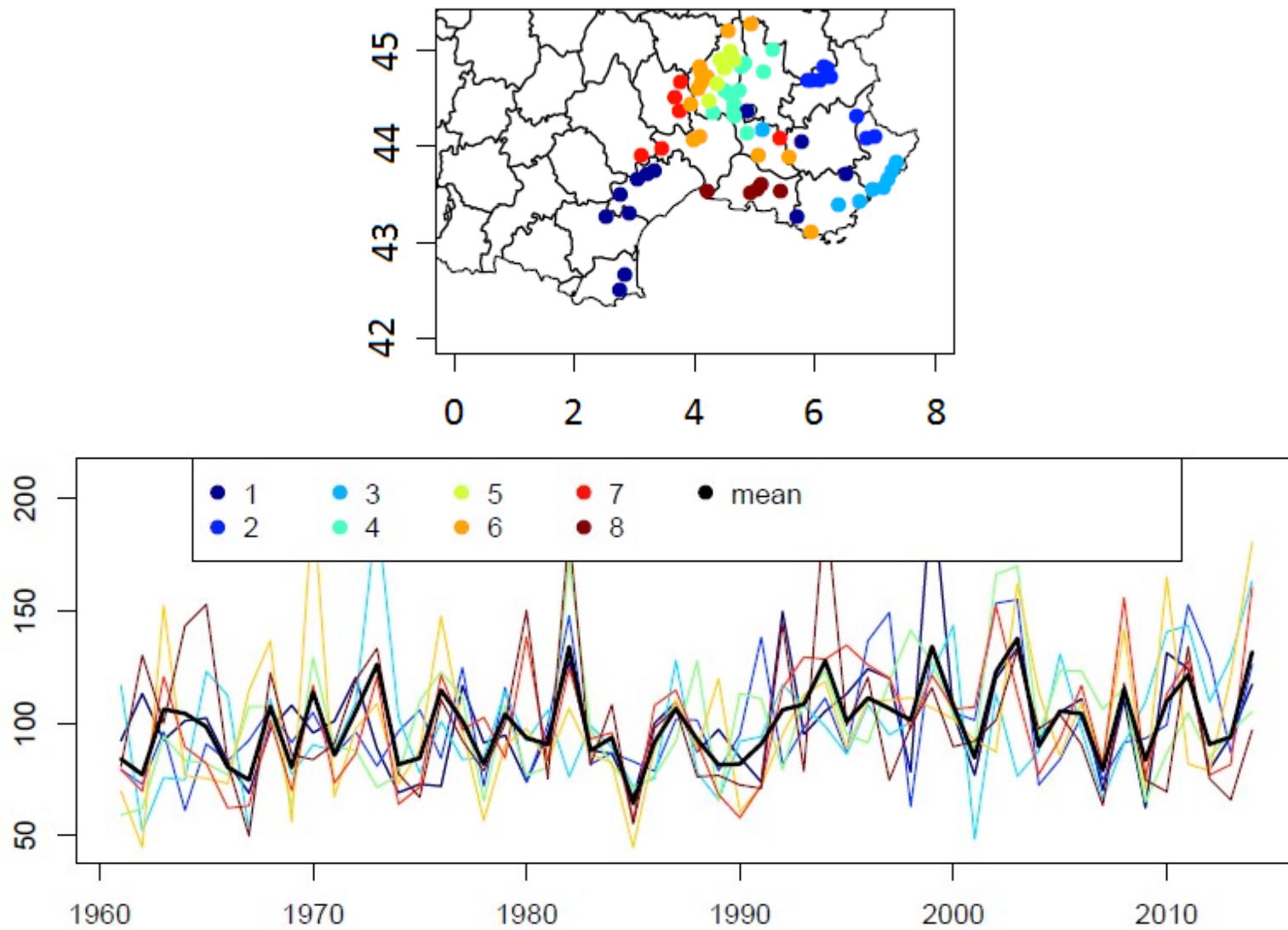
Le Sud-Ouest victime de l'avarice du ciel

Pluies très rares, chaleur de saison insuffisante, la sécheresse claque de redoublante dans une région qui ne s'est pas encore remise de celle de 1980. Les agriculteurs et les professionnels de l'activité font grimace. A la prédition, c'est l'alerte rouge.



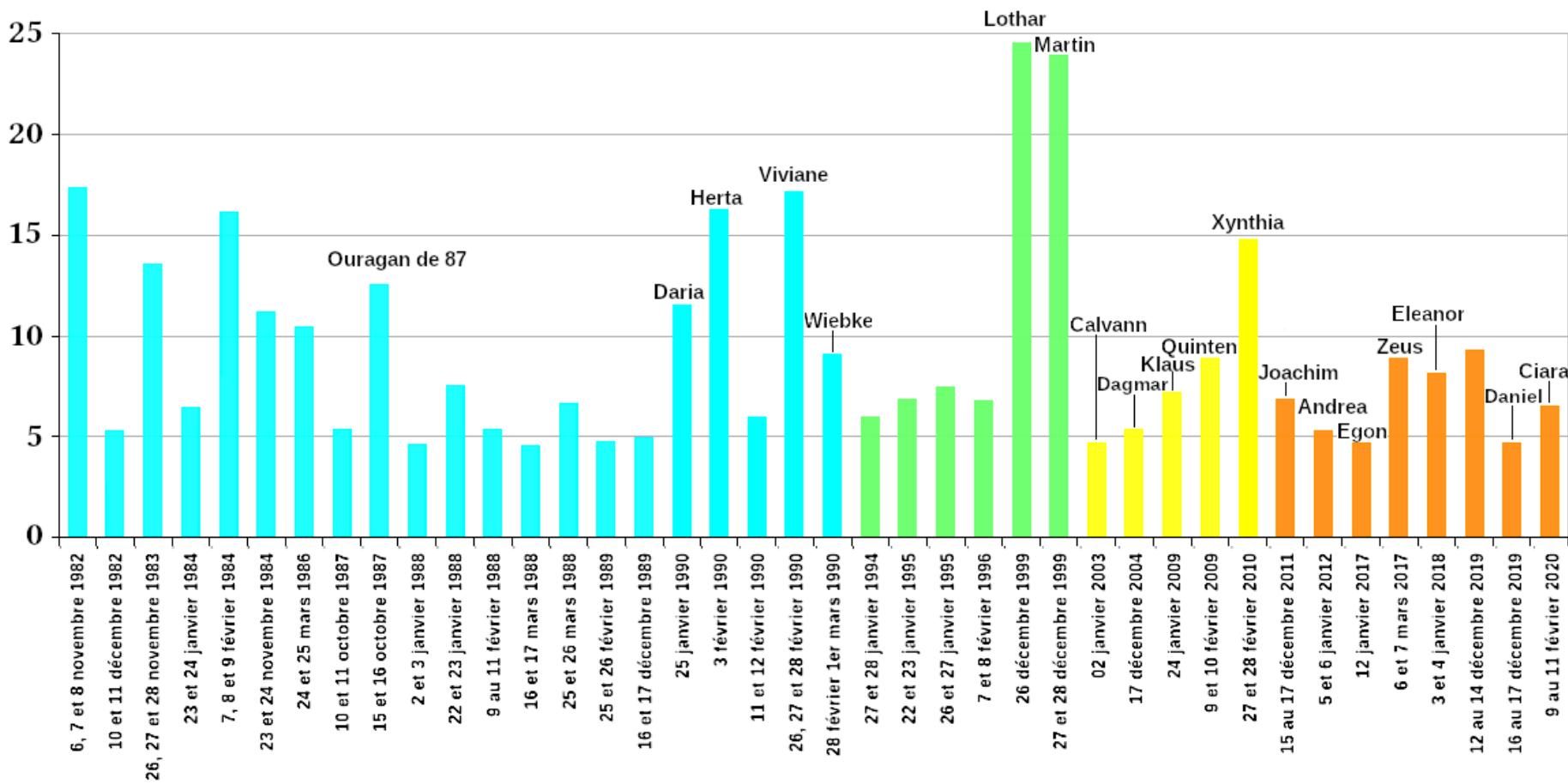
Source: Météo-France, 2018

Maximum annuel des pluies quotidiennes dans le Sud-Est de la France



Source: Ribes et al., 2019

Évolution des tempêtes en France métropolitaine



Source: Météo-France, 2020

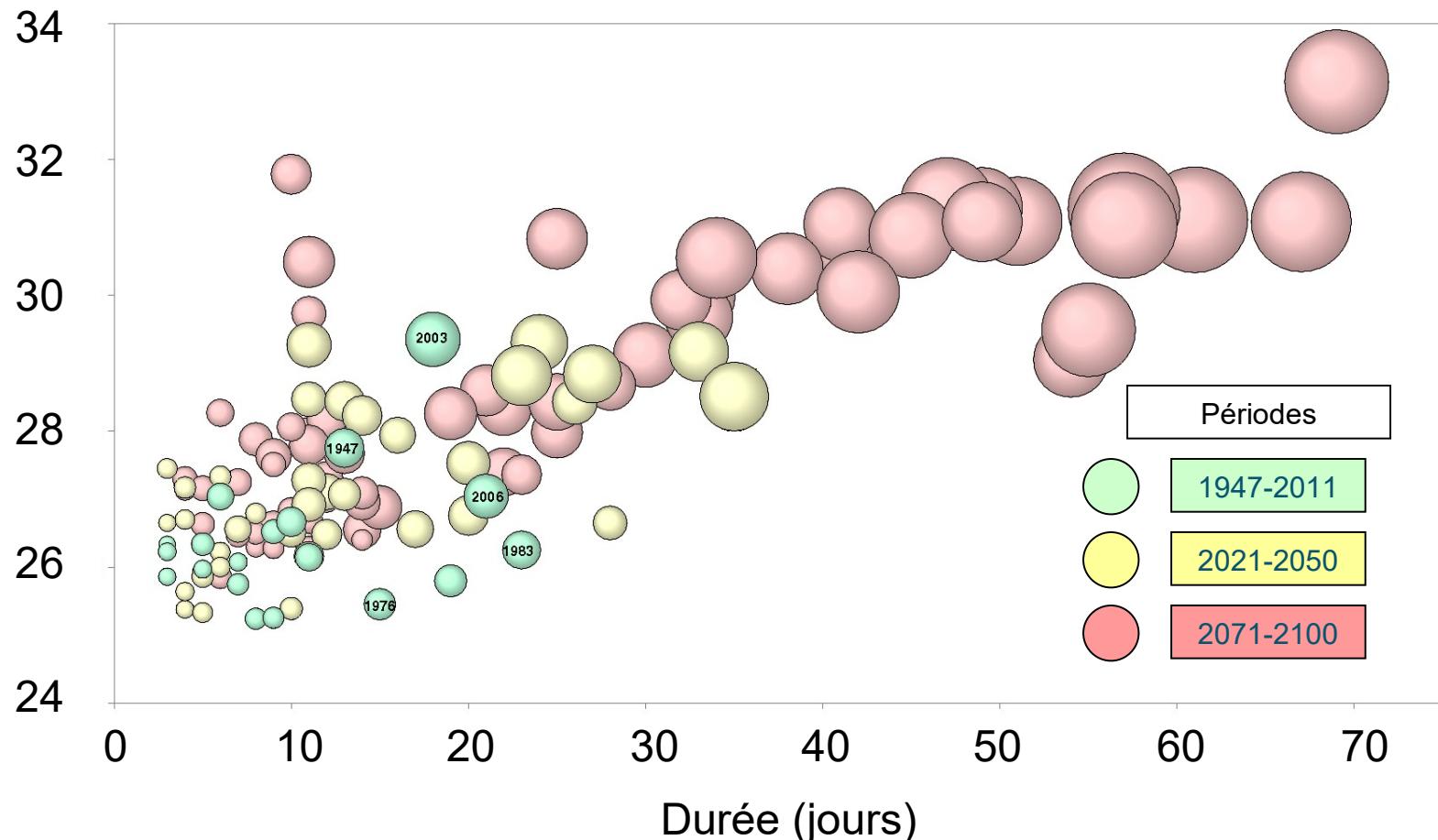
Les nouveaux scénarios du GIEC

Réchauffement global par rapport à la période 1850-1900 (°C)

Scénario	Court terme 2021-2040	Moyen terme 2041-2060	Long Terme 2081-2100
SSP1-1.9	1,5 (1,2 à 1,7)	1,6 (1,2 à 2,0)	1,4 (1,0 à 1,8)
SSP1-2.6	1,5 (1,2 à 1,8)	1,7 (1,3 à 2,2)	1,8 (1,3 à 2,4)
SSP2-4.5	1,5 (1,2 à 1,8)	2,0 (1,6 à 2,5)	2,7 (2,1 à 3,5)
SSP3-7.0	1,5 (1,2 à 1,8)	2,1 (1,7 à 2,6)	3,6 (2,8 à 4,6)
SSP5-8.5	1,6 (1,3 à 1,9)	2,4 (1,9 à 3,0)	4,4 (3,3 à 5,7)

Vagues de chaleur comparées au climat présent pour un scénario médian

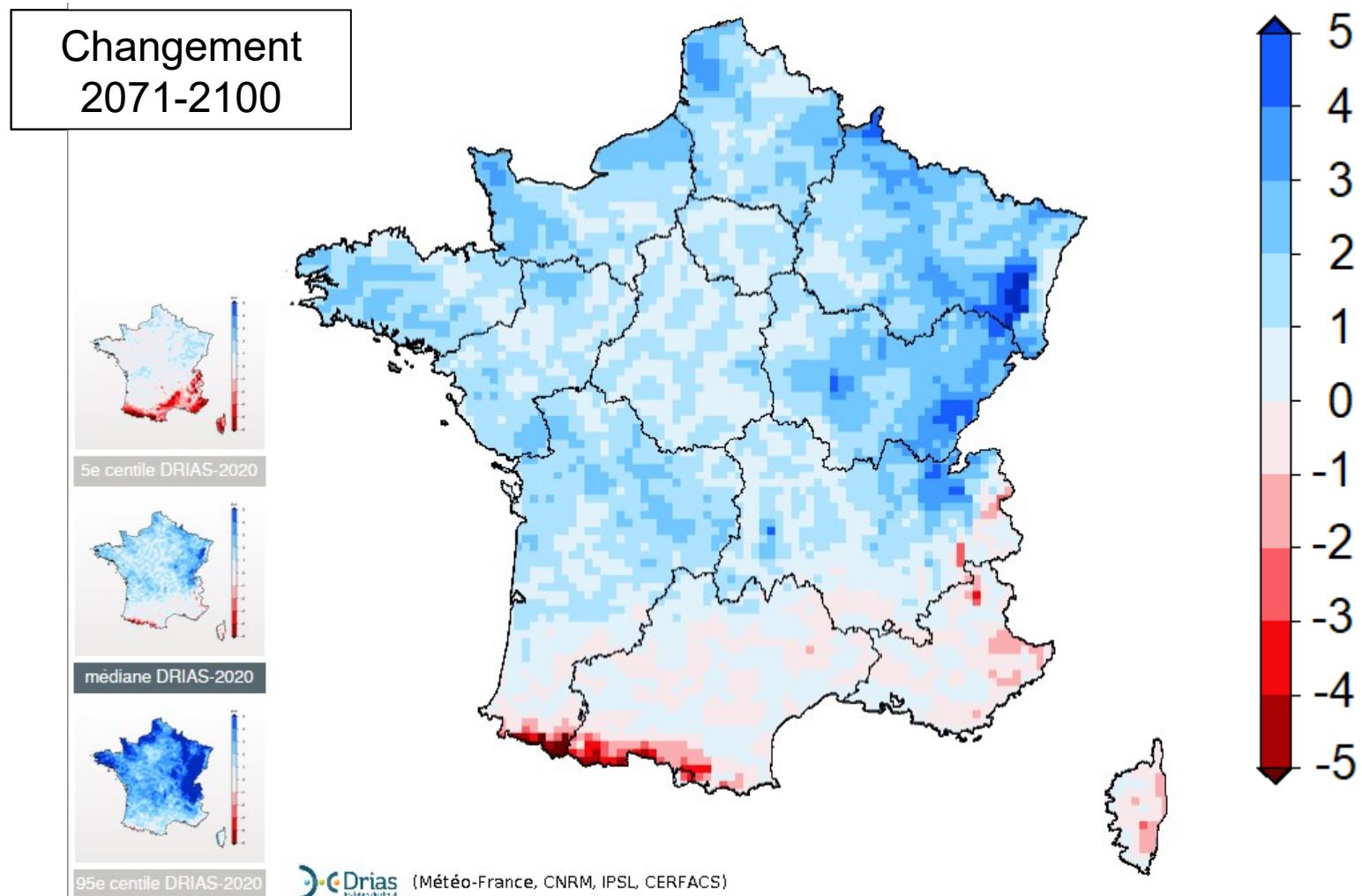
Valeur maximale
de l'indicateur thermique (°C)



Source: SCAMPEI, 2011

Évolution du nombre de jours de pluies de plus de 20mm

Scénario « laisser-faire » (RCP 8.5) Ensemble modèles Eurocordex

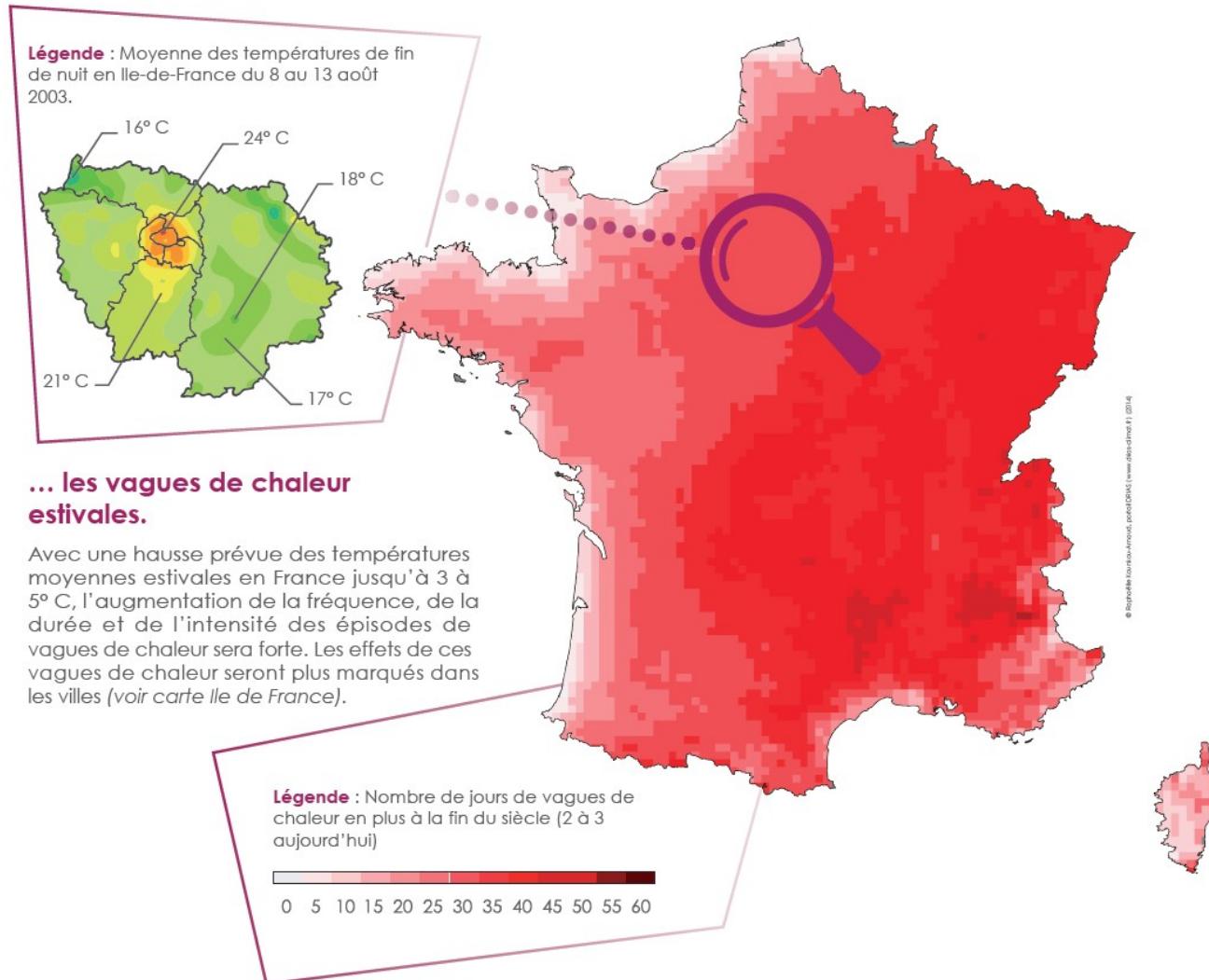


Source: DRIAS, 2020 (www.driasis-climat.fr/decouverte)

Impacts en France

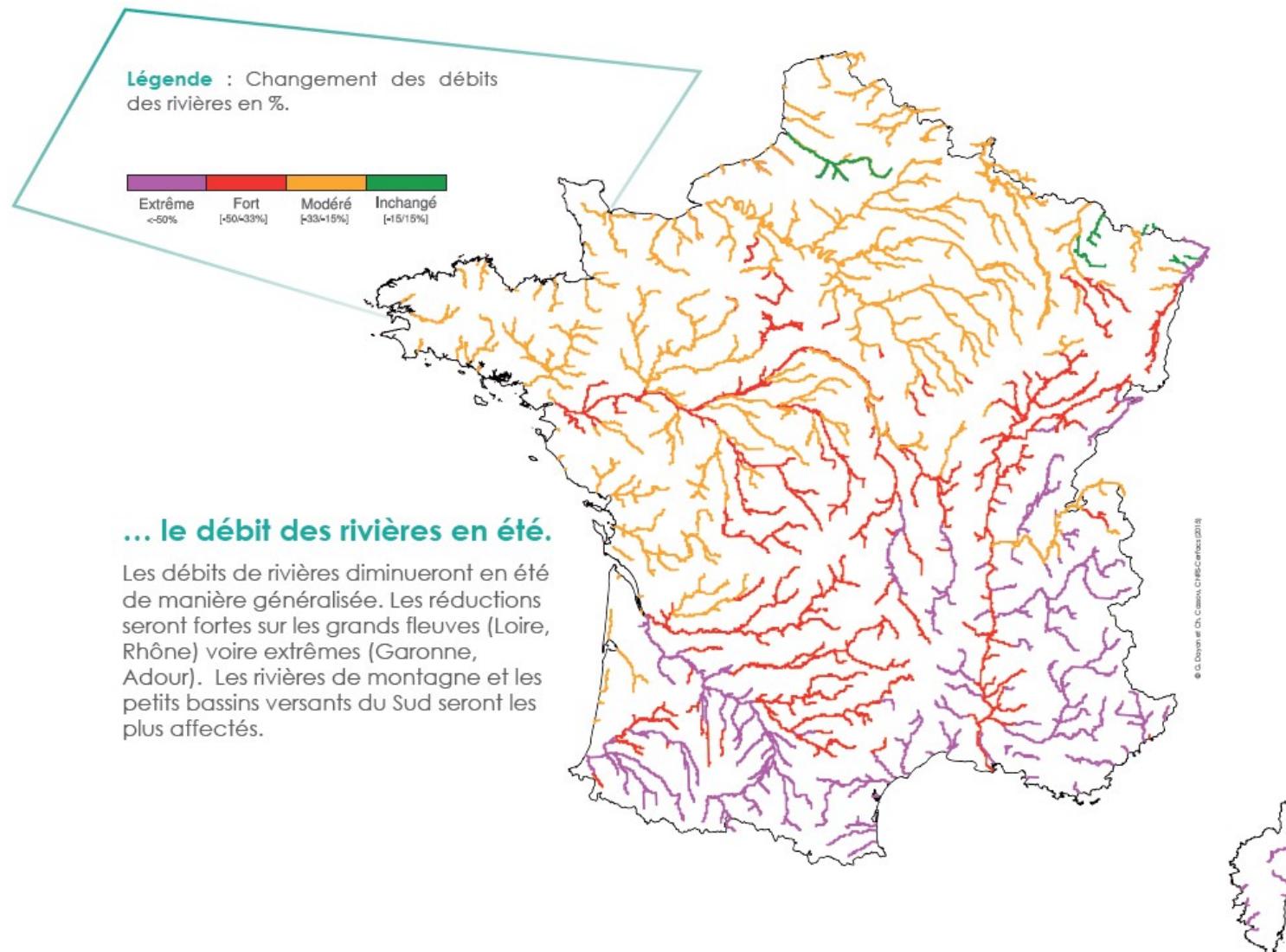


Nombre de jours de vagues de chaleur en plus à la fin du siècle (2 à 3 aujourd'hui)



Source: Kourkou-Arnaud, 2014

Changement des débits estivaux



Source: Doyon et Cassou, 2015

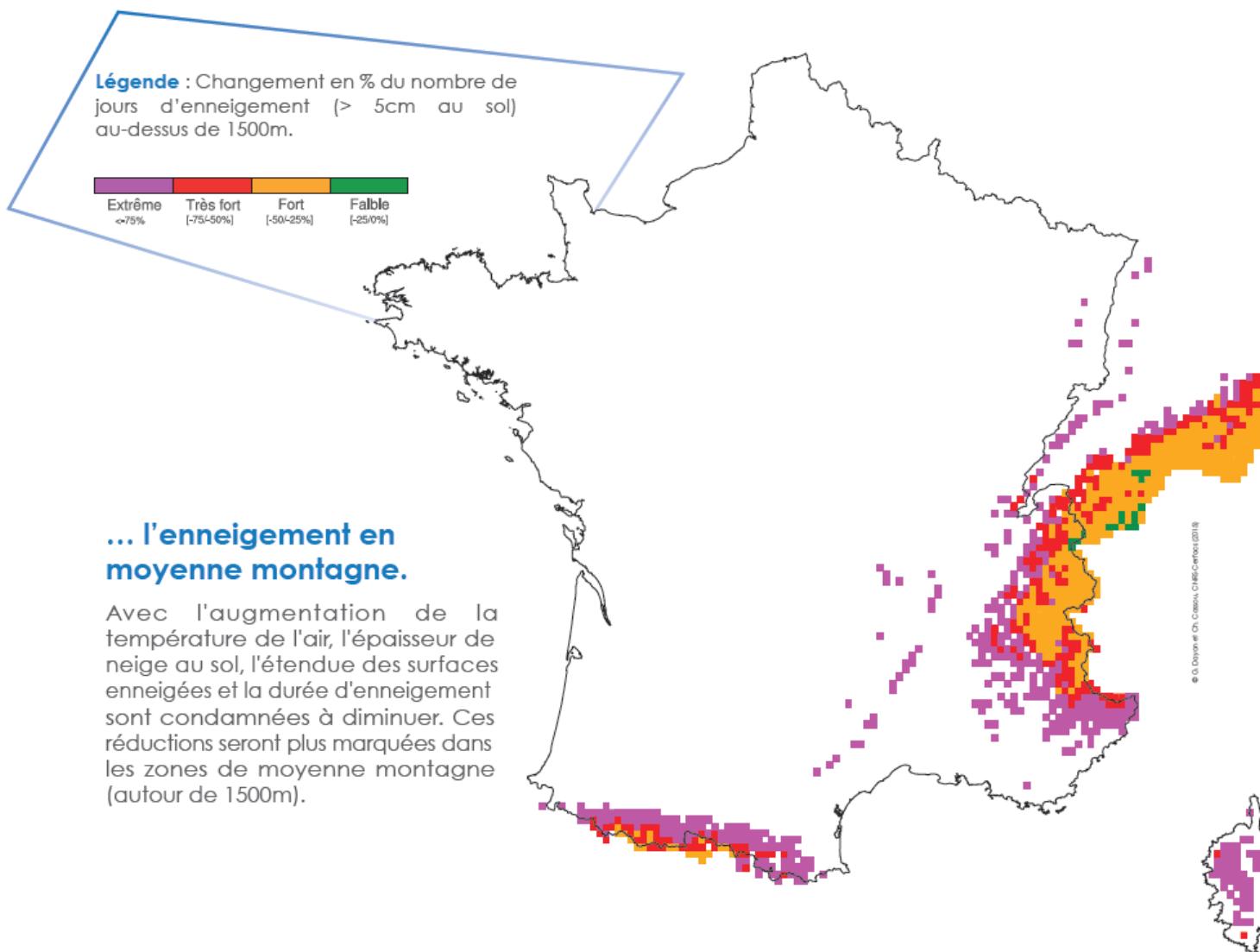
Changement en % du nombre de jours d'enneigement (> 5cm au sol) au-dessus de 1500m

Légende : Changement en % du nombre de jours d'enneigement (> 5cm au sol) au-dessus de 1500m.

Extreme =>75%	Très fort [-75;-50%]	Fort [-50;-25%]	Faible [-25;0%]
------------------	-------------------------	--------------------	--------------------

... l'enneigement en moyenne montagne.

Avec l'augmentation de la température de l'air, l'épaisseur de neige au sol, l'étendue des surfaces enneigées et la durée d'enneigement sont condamnées à diminuer. Ces réductions seront plus marquées dans les zones de moyenne montagne (autour de 1500m).

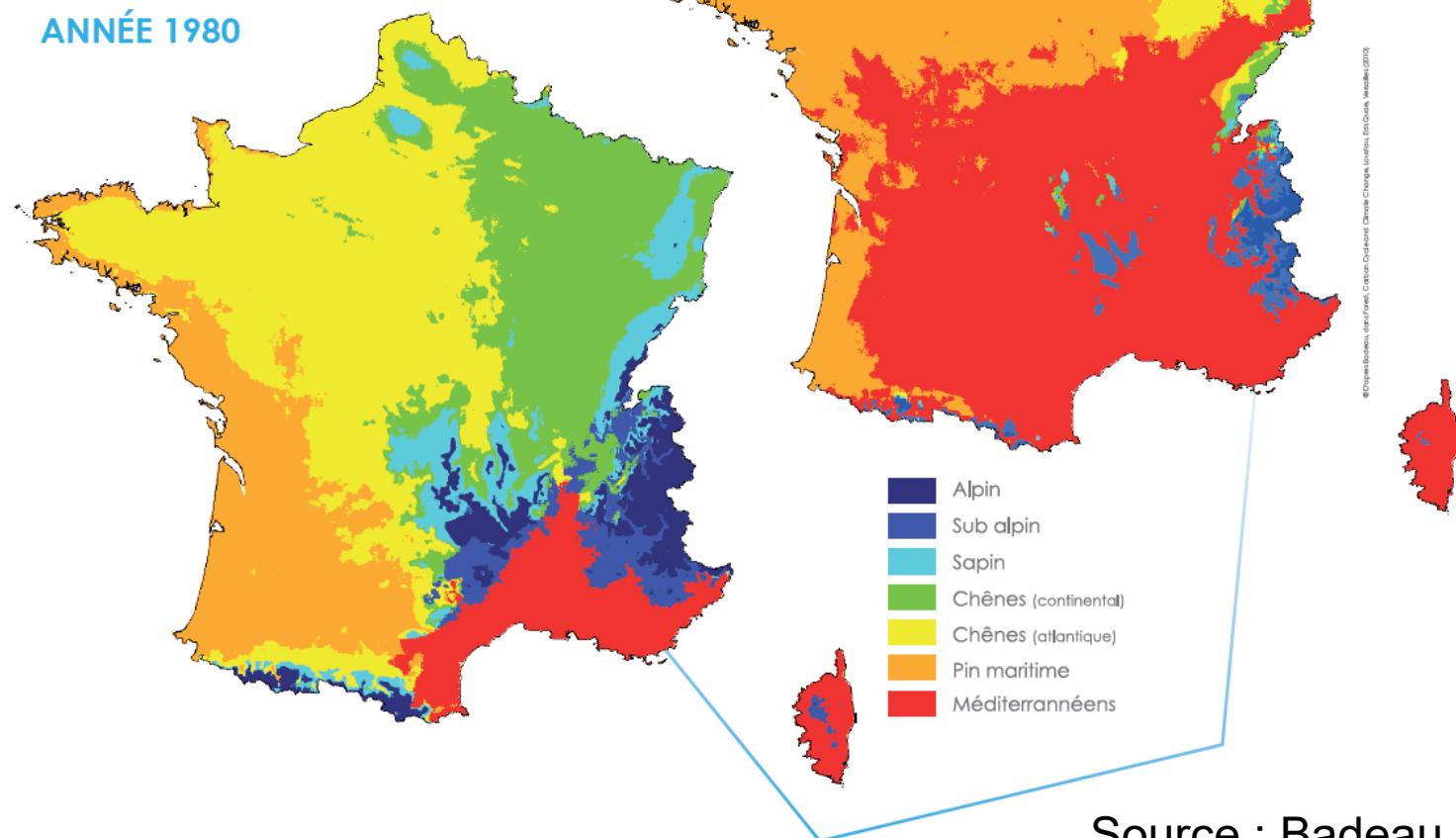


Source: Doyon et Cassou, 2015

Répartition des forêts en 1980 et 2100

... la répartition des forêts.

L'évolution potentielle des aires géographiques des essences d'arbres suggère un déplacement des espèces « méridionales », vers le Nord et vers l'Est, comme le pin maritime, alors que les variétés « montagnardes et continentales », tendent à régresser fortement, comme le chêne.



Rendement des vignobles tous cépages et faisabilité de la culture du merlot

... sur les vignobles

La culture du Merlot (carte de droite), aujourd'hui limitée au Sud de la France, pourra s'étendre vers le Nord. Les rendements, tous cépages confondus, (carte de gauche) augmentent sauf dans les vignobles les plus au Sud. Sans adaptation des cultures, des modifications importantes des conditions de maturation et de la qualité du raisin sont attendus dans tous les sites de tradition viticole.

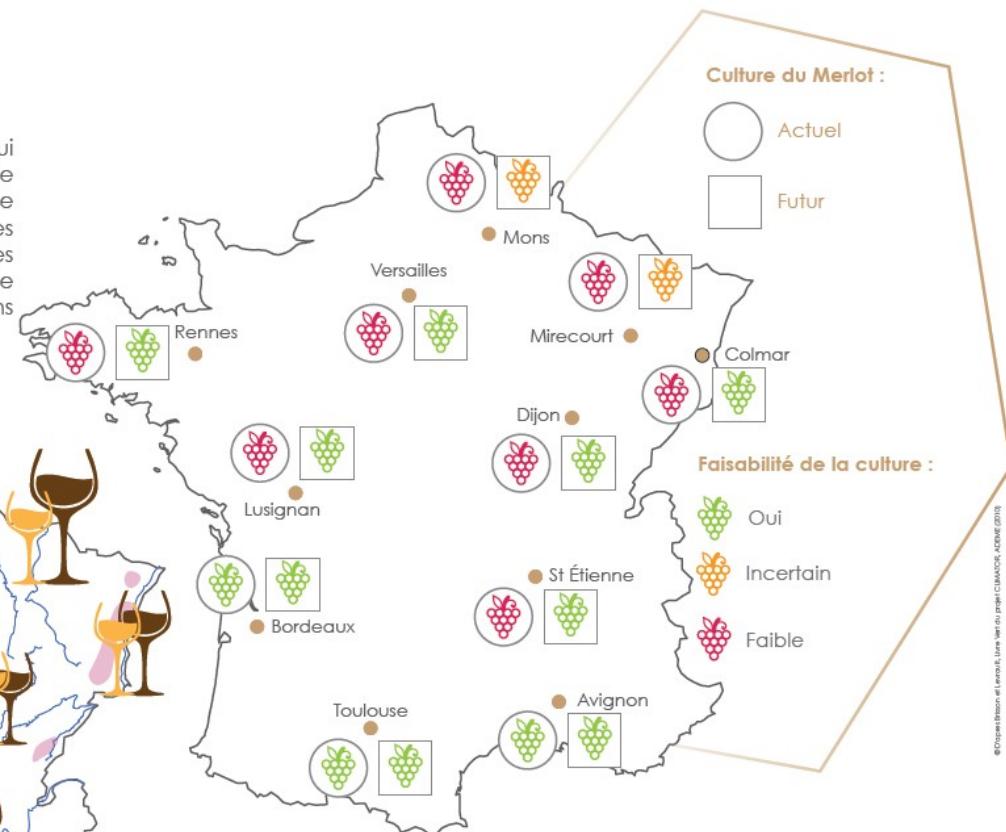
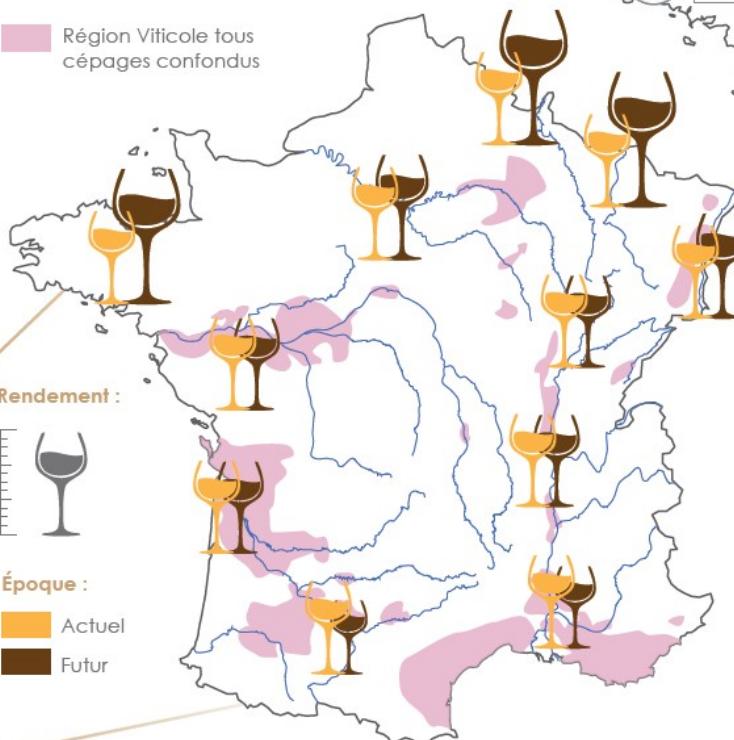
Région Viticole tous cépages confondus

Rendement :



Époque :

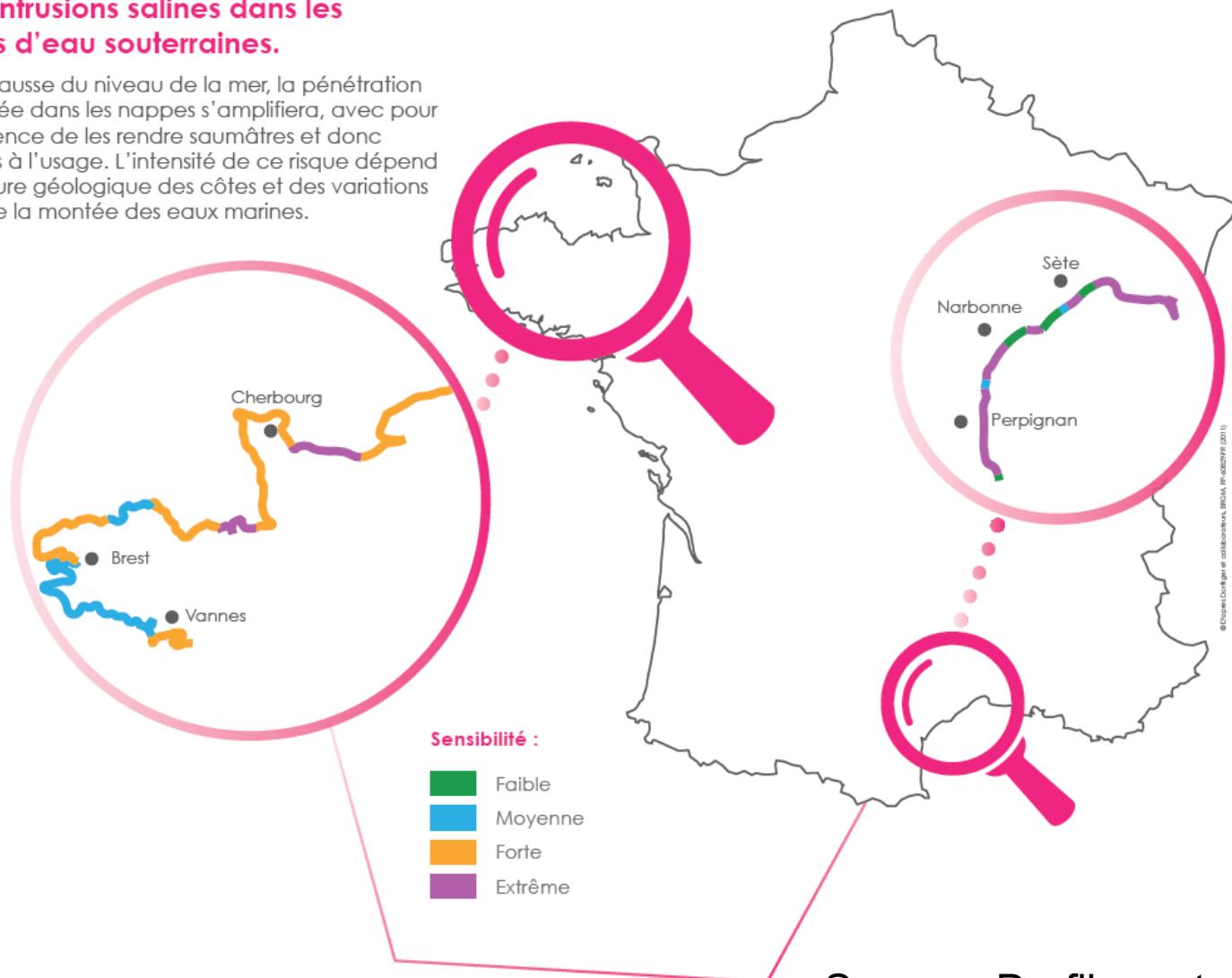
- Actuel
- Futur



Sensibilité aux intrusions salines dans les nappes d'eau souterraines

... les intrusions salines dans les nappes d'eau souterraines.

Avec la hausse du niveau de la mer, la pénétration d'eau salée dans les nappes s'amplifiera, avec pour conséquence de les rendre saumâtres et donc impropre à l'usage. L'intensité de ce risque dépend de la nature géologique des côtes et des variations locales de la montée des eaux marines.

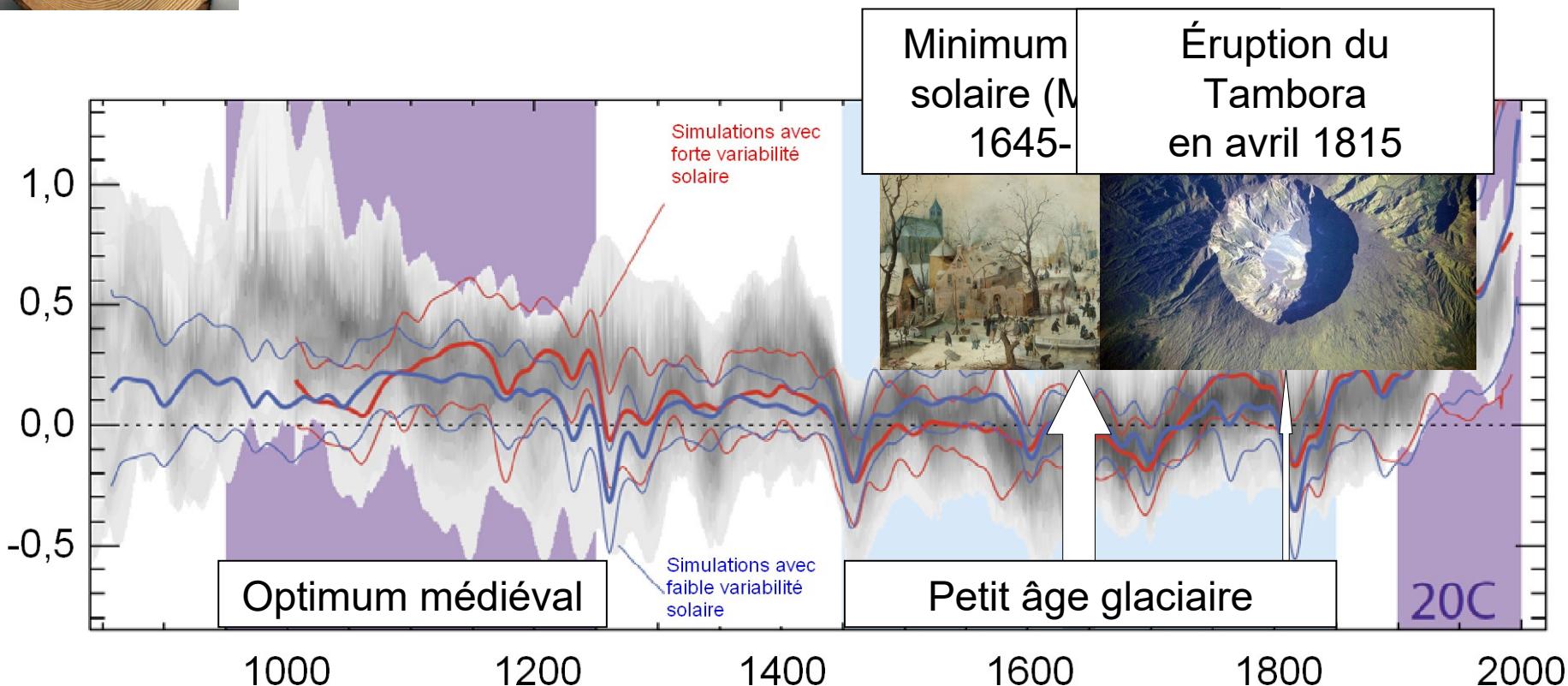


Source : Dorfliger et al., 2011

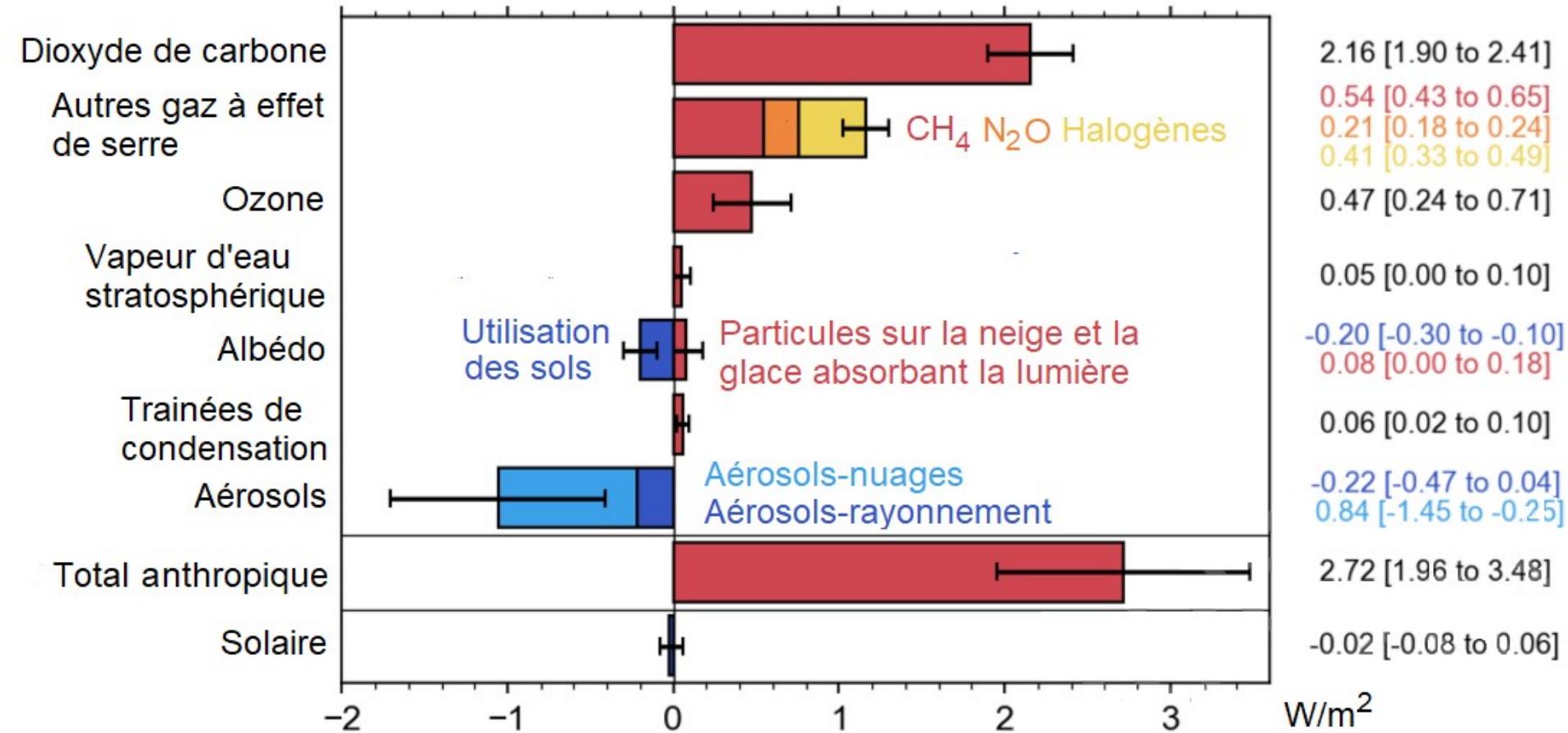
Les 1400 dernières années



Reconstruction de la température moyenne de l'hémisphère nord: écart à la moyenne 1500-1850

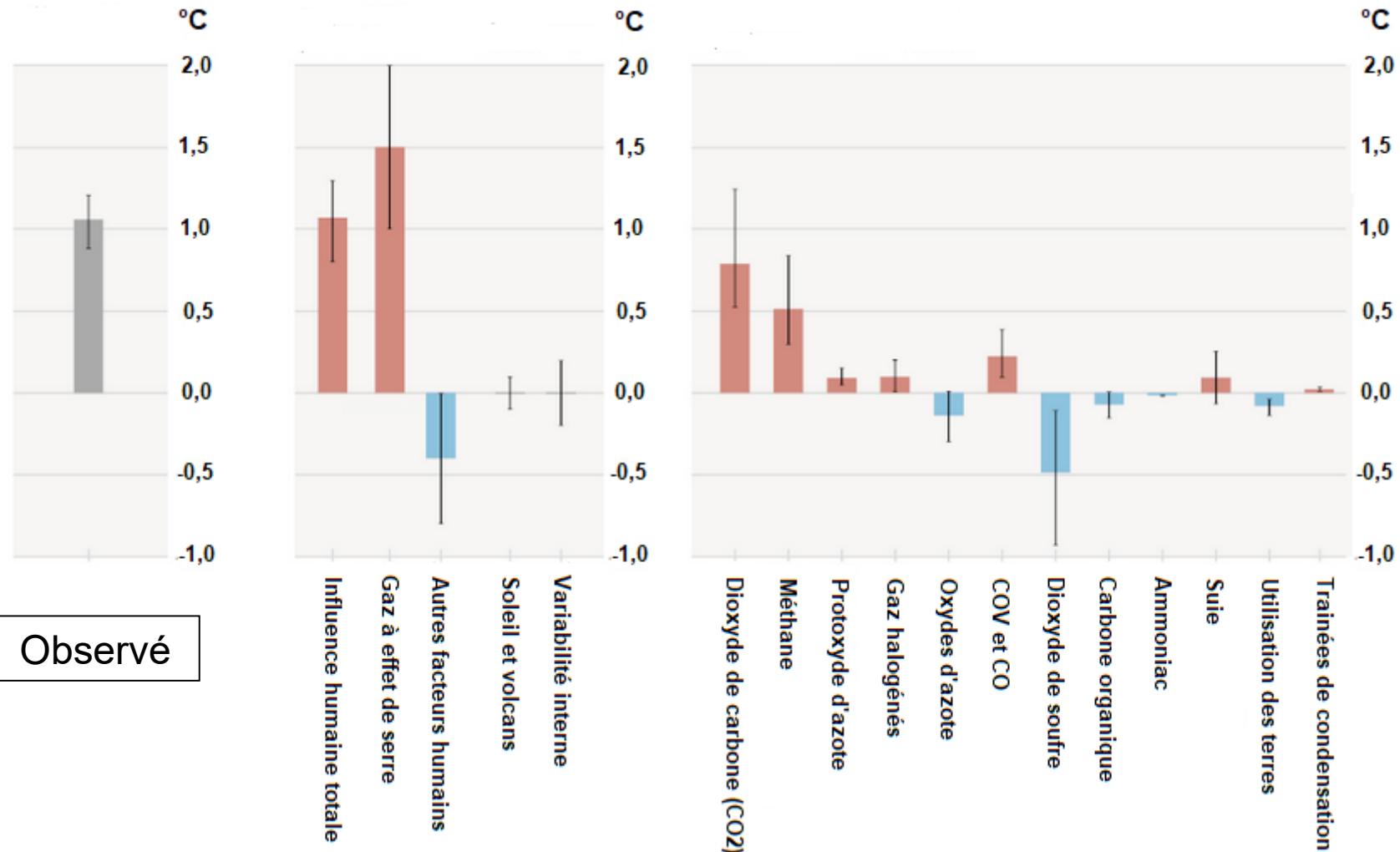


Forçage radiatif effectif entre 1750 et 2019



Source : GIEC, 2021

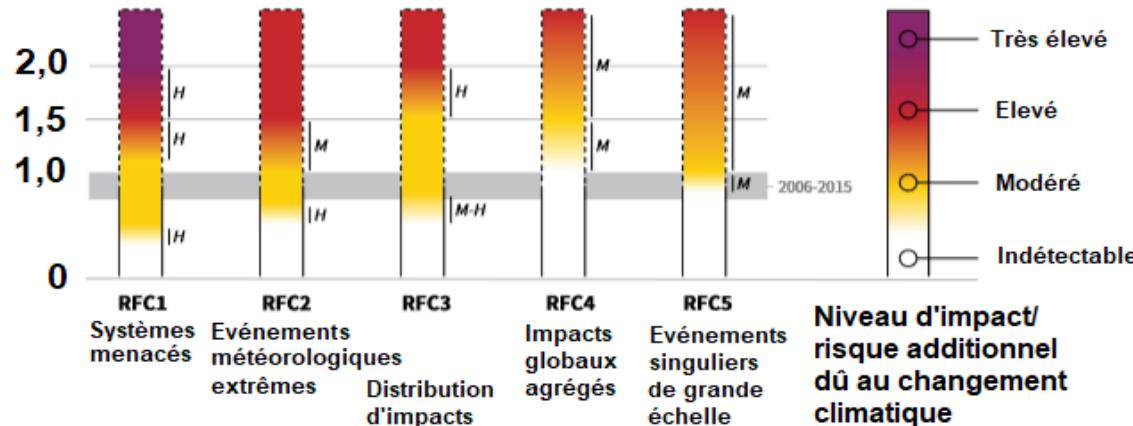
Contributions au réchauffement climatique observé entre 1850-1900 et 2010-2019



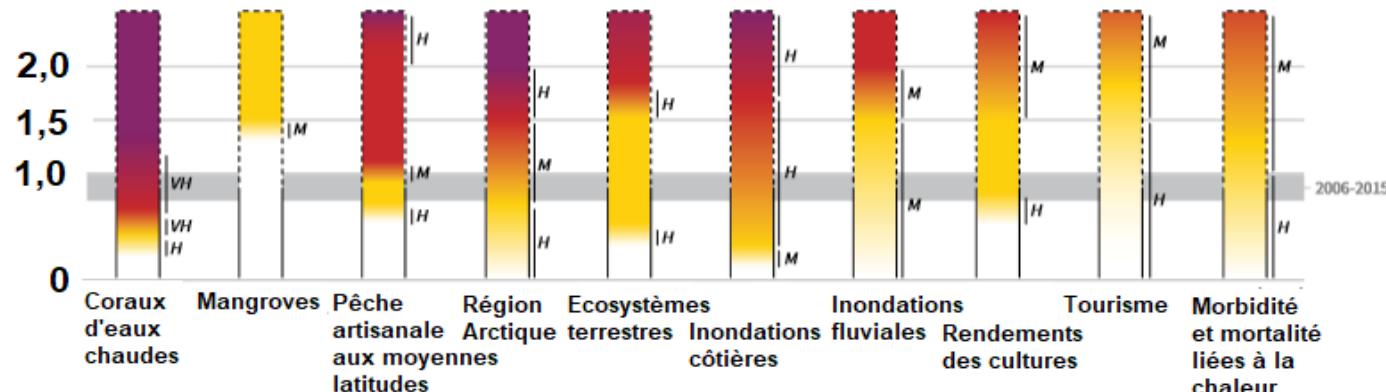
Source : GIEC, 2021

Impacts du changement climatique : différences selon les niveaux de réchauffement

Impacts et risques associés à 5 motifs de préoccupation



Impacts et risques pour des systèmes naturels, aménagés et humains sélectionnés



Impacts du changement climatique : exemples de différences pour 0,5°C de plus

D'ici à 2100, l'**élévation moyenne mondiale du niveau de la mer** devrait être inférieure d'environ 10cm avec un réchauffement planétaire de 1,5°C par rapport à 2°C (*confiance moyenne*).

Avec 1,5°C de réchauffement climatique, un **été dans l'océan Arctique sans glace** se produirait en moyenne une fois par siècle. Cette fréquence est portée à au moins un par décennie avec un réchauffement climatique de 2°C.

Avec un réchauffement de 1,5°C, 70 à 90% des **récifs coraliens** disparaîtraient, alors qu'avec un réchauffement de 2°C, la quasi-totalité (>99%) disparaîtrait (*confiance très élevée*).

Les simulations du climat futur : scénarios compatibles avec un réchauffement de 1,5°C

Dans les scénarios limitant le réchauffement climatique à 1,5°C sans dépassement ou dépassement limité, les émissions anthropiques mondiales nettes de CO₂ diminuent d'environ **45%** par rapport aux niveaux de **2010** d'ici à **2030** (intervalle interquartile de 40 à 60%), atteignant **zéro émissions nettes vers 2050** (intervalle interquartile de 2045 à 2055).

Ces scénarios nécessiteraient des transitions rapides et de grande portée dans les domaines de l'énergie, de l'utilisation des terres, des zones urbaines et des infrastructures (y compris le transport et les bâtiments) et les systèmes industriels (*confiance élevée*).

Ces scénarios prévoient l'utilisation d'une élimination du dioxyde de carbone (CDR) de l'ordre de **100 à 1000 GtCO₂** au cours du XXI^e siècle.