

# Le changement climatique

Serge Planton

Association Météo et Climat

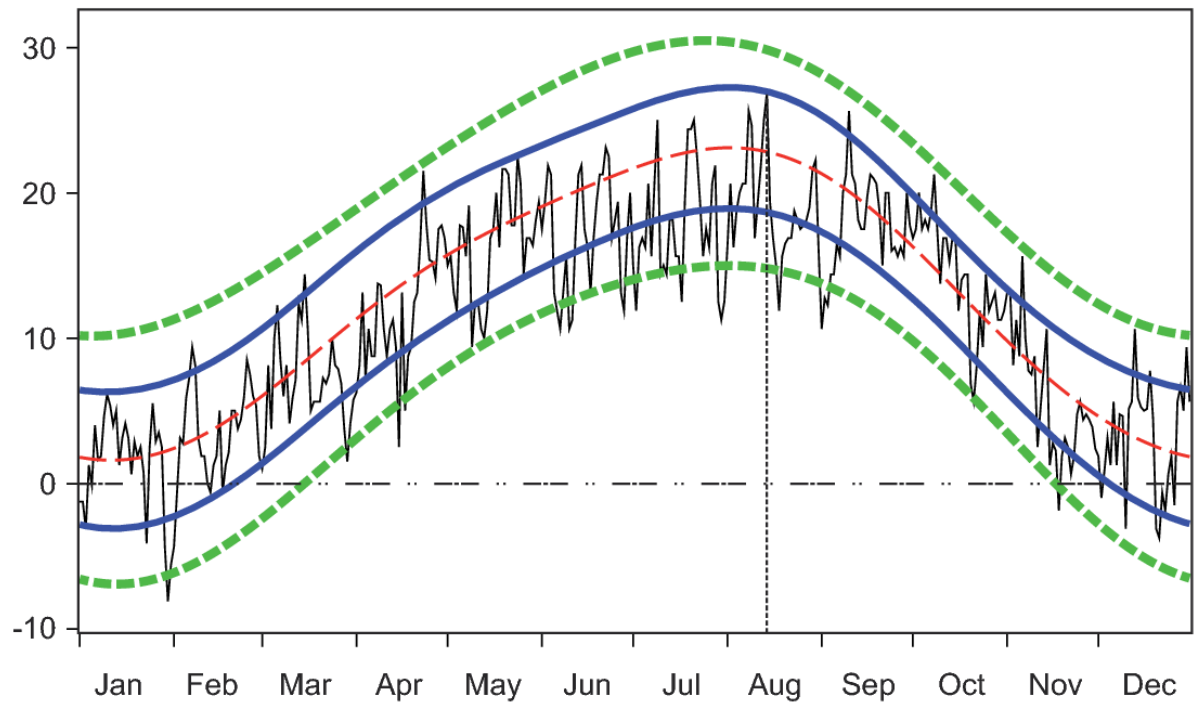
*Webinaire, 22 avril 2022*

# 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 (°C)

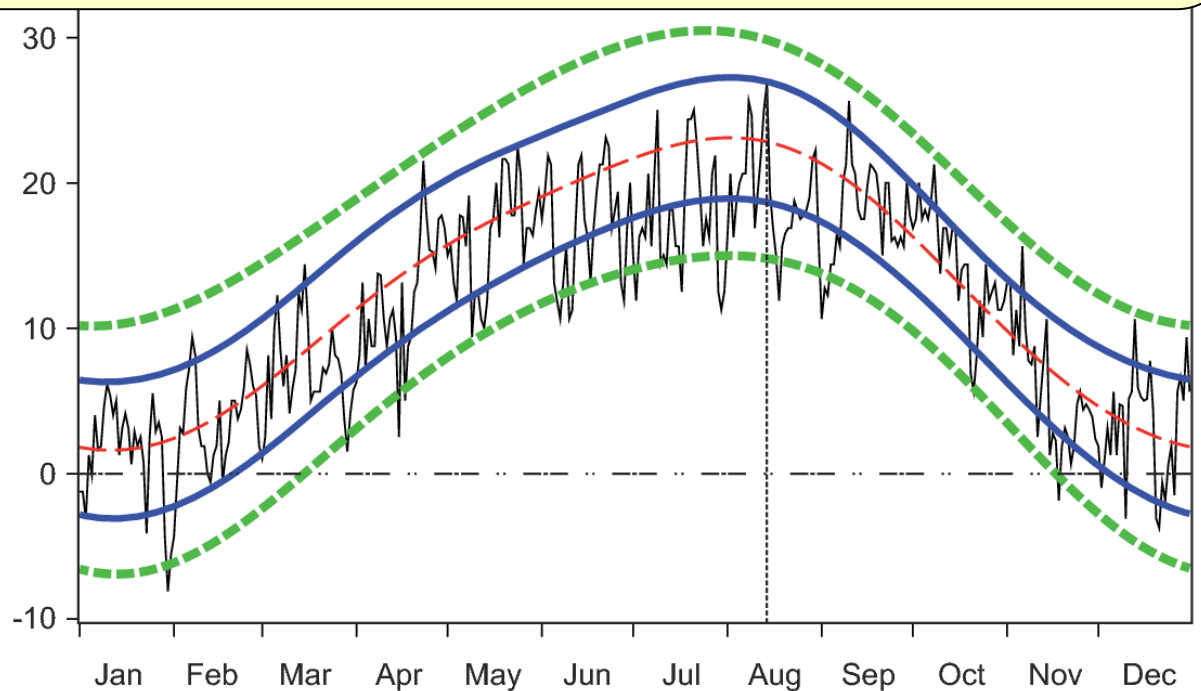
Source: Auchmann et al., 2012

# 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

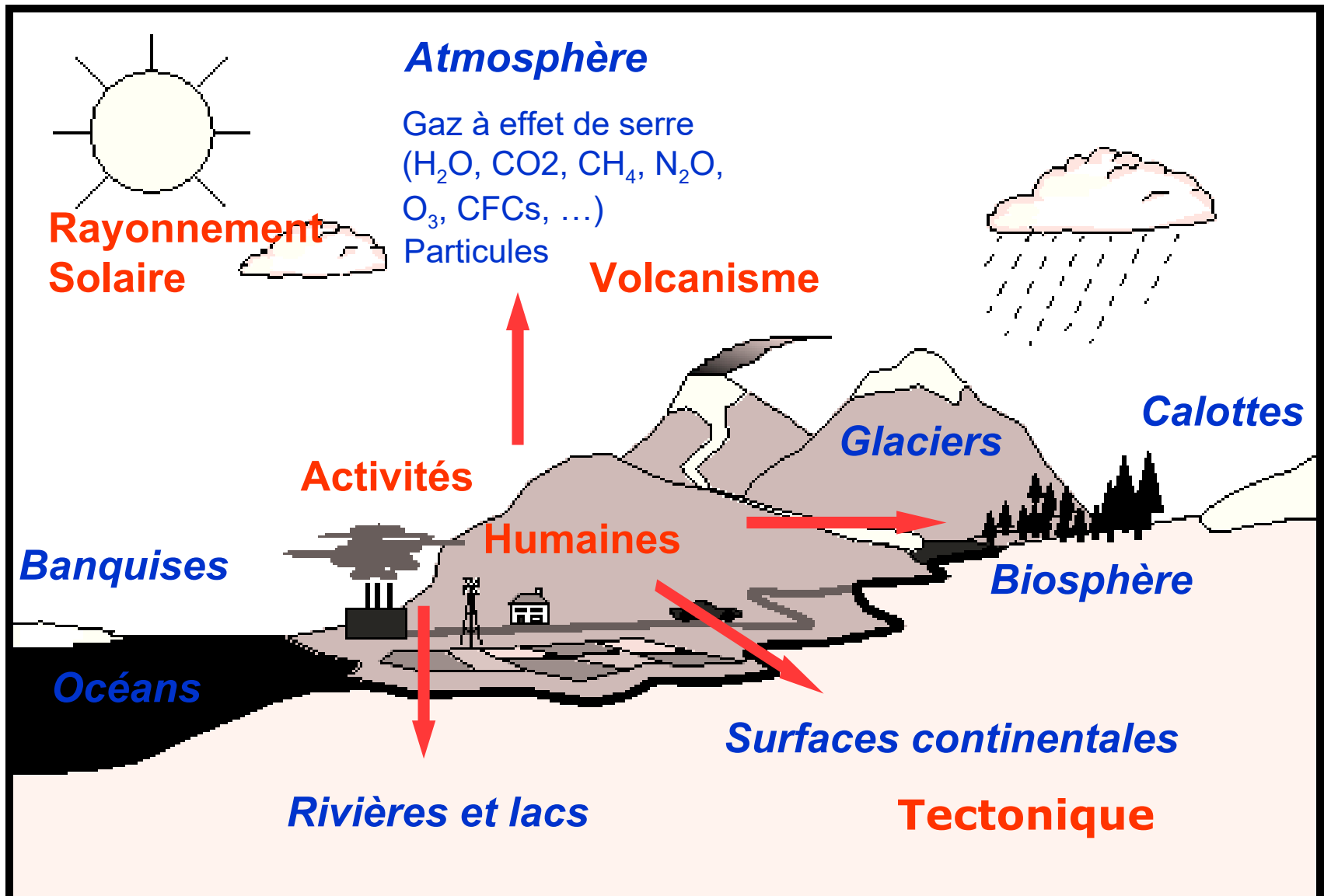


Température maximale quotidienne à Genève en 1816 (°C)

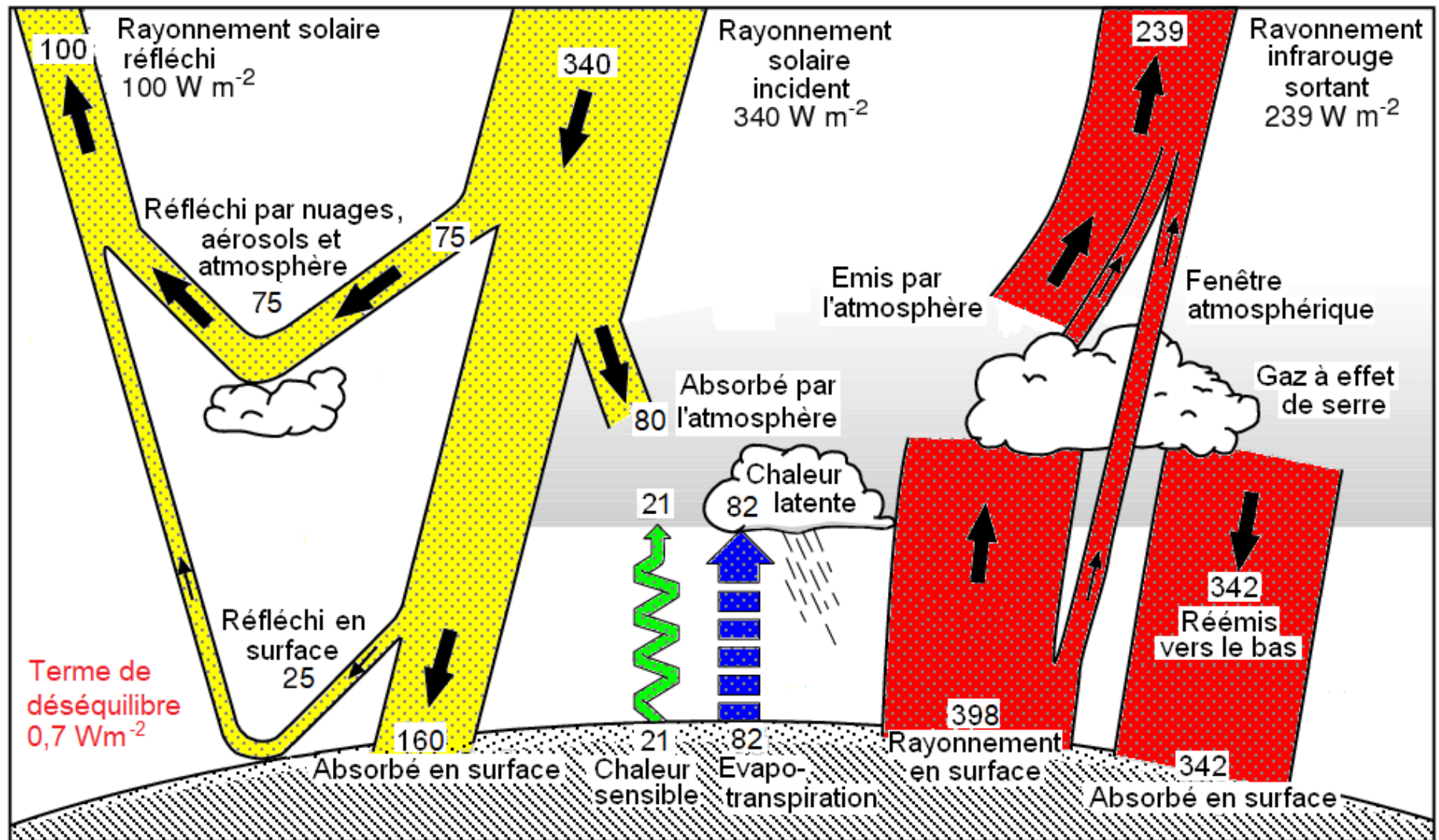
Source: Auchmann et al., 2012



# Le système climatique et les facteurs de forçage du climat

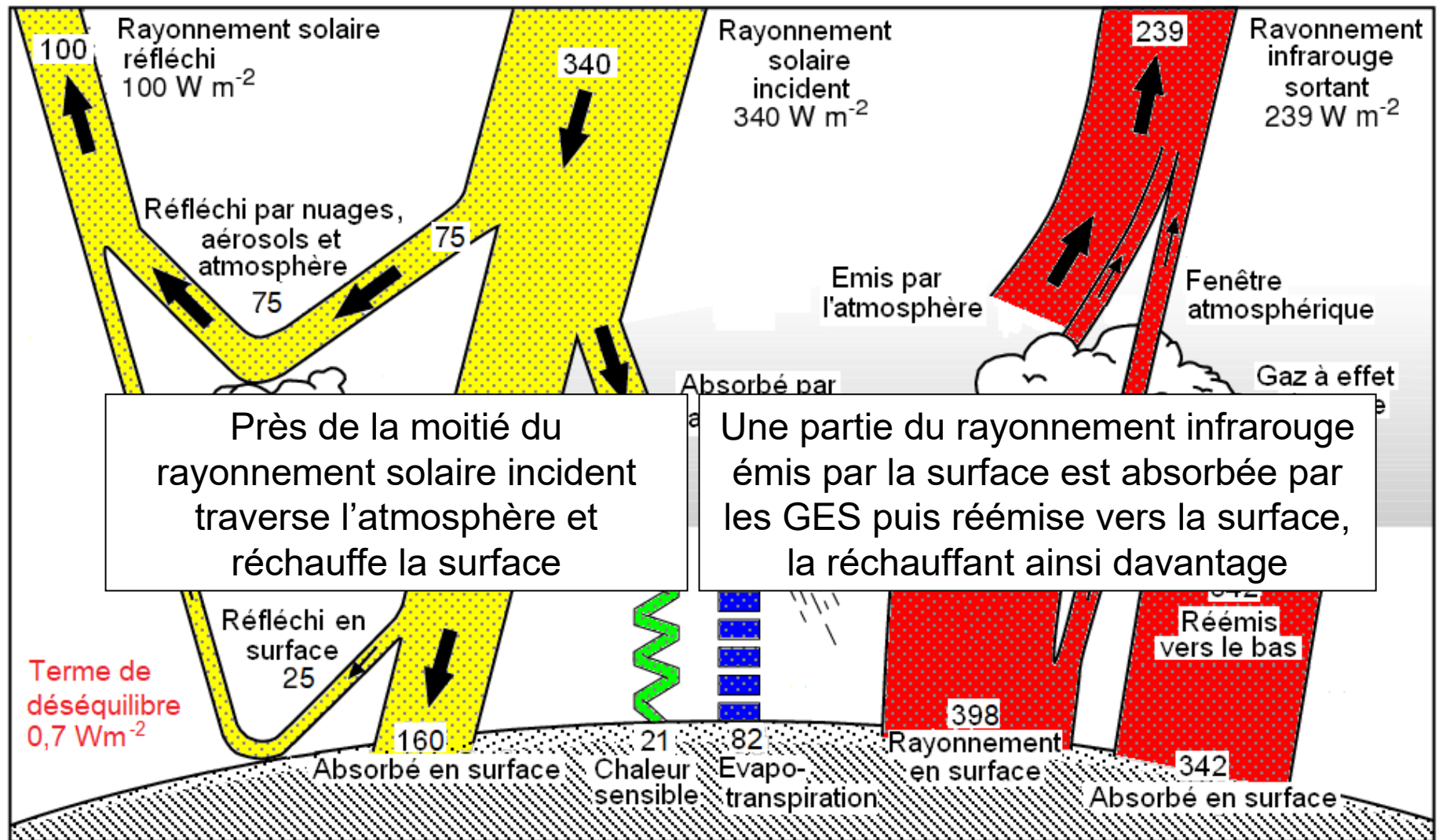


# Le bilan d'énergie au début du XXI<sup>e</sup> siècle

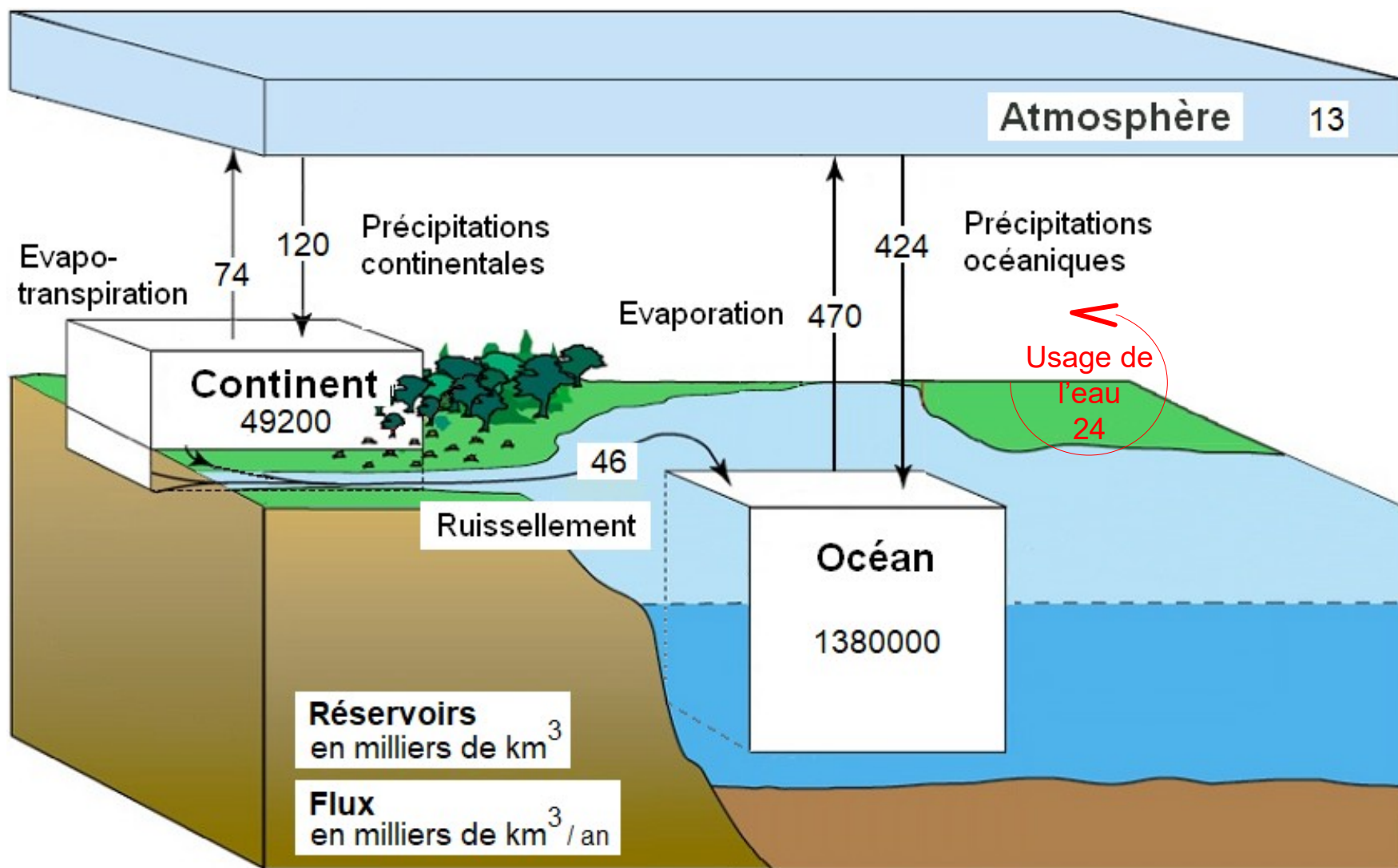


Sources : Wild et al., 2015, 2019 ; GIEC, 2021

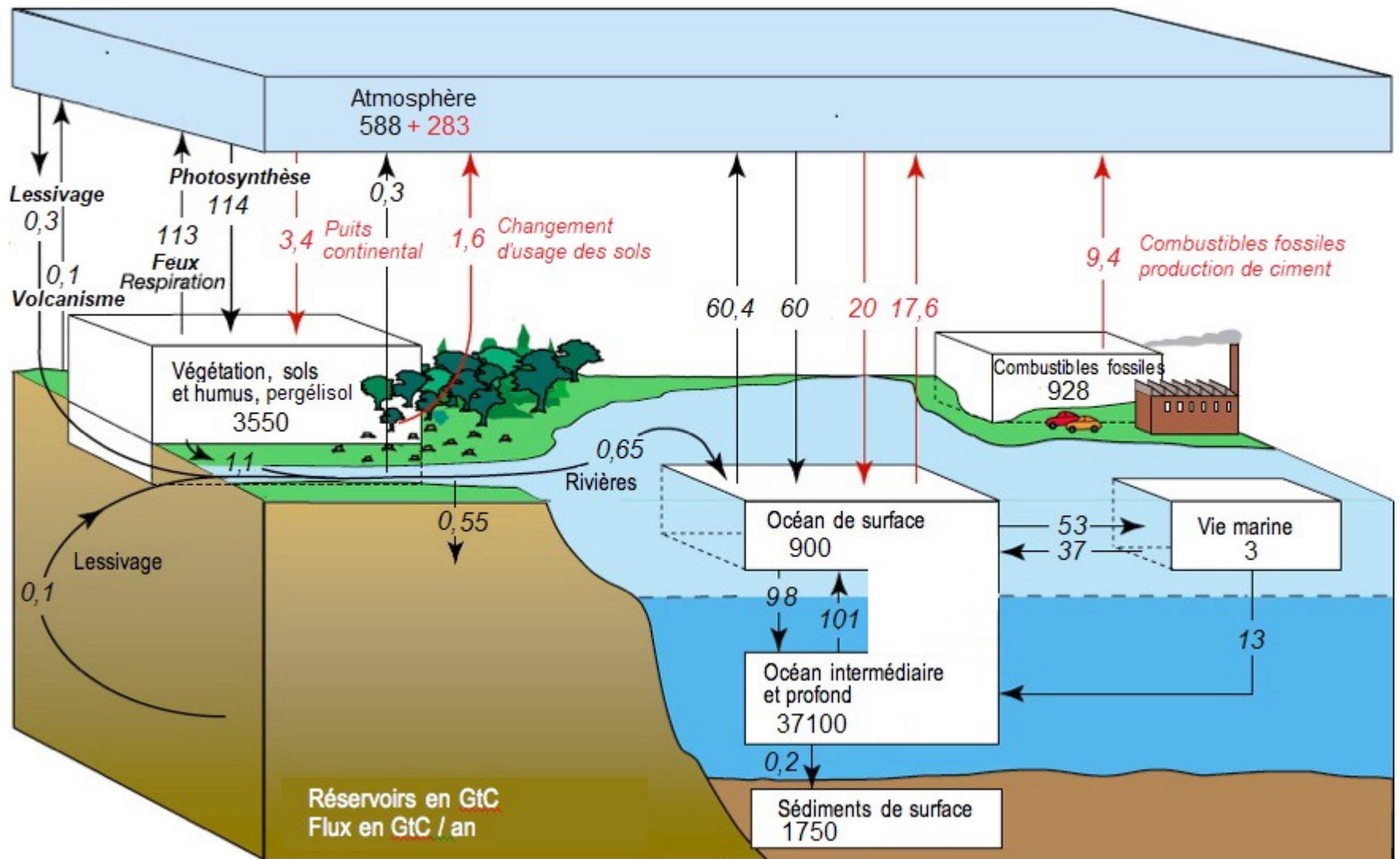
# Le bilan d'énergie au début du XXI<sup>e</sup> siècle



# Le cycle de l'eau



# Le cycle du carbone

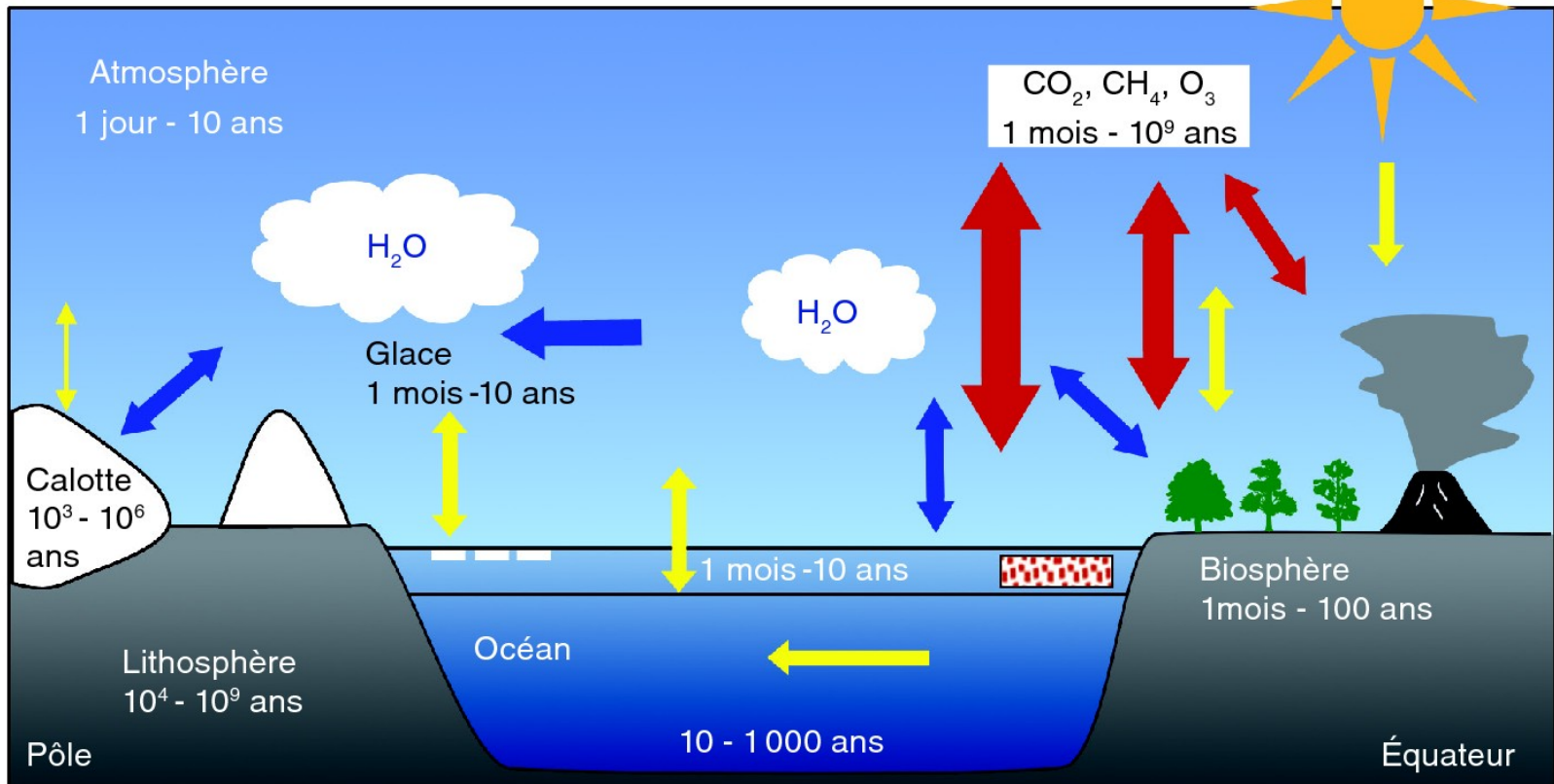


Sources : BGR, 2019 ; Friedlingstein et al., 2020 ; GIEC, 2021



# Temps caractéristiques des échanges dans le système climatique

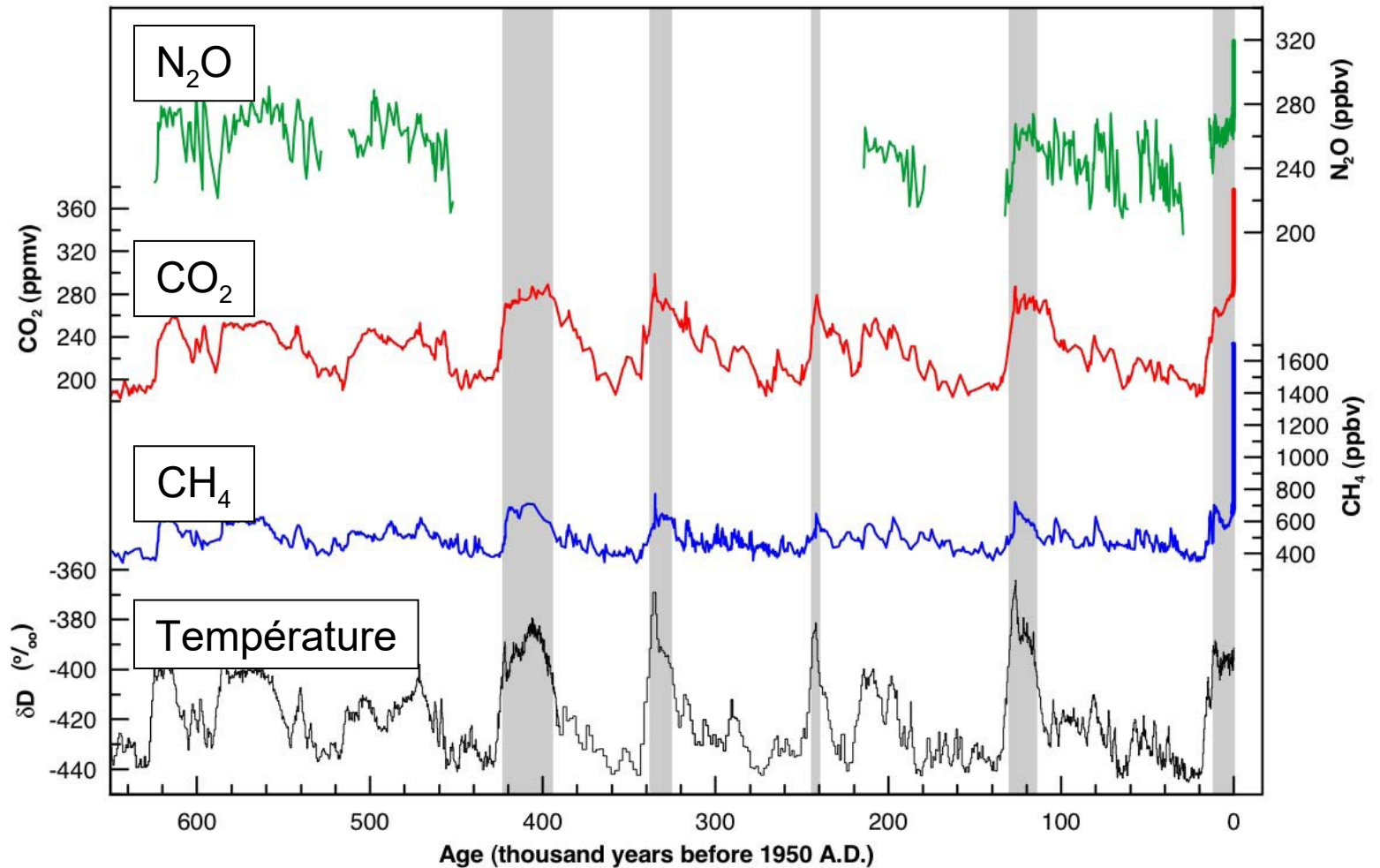
- ↔ Échanges d'énergie
- ↔ Échanges d'eau
- ↔ Échanges de carbone



# Le climat a toujours varié

*Webinaire, 22 avril 2022*

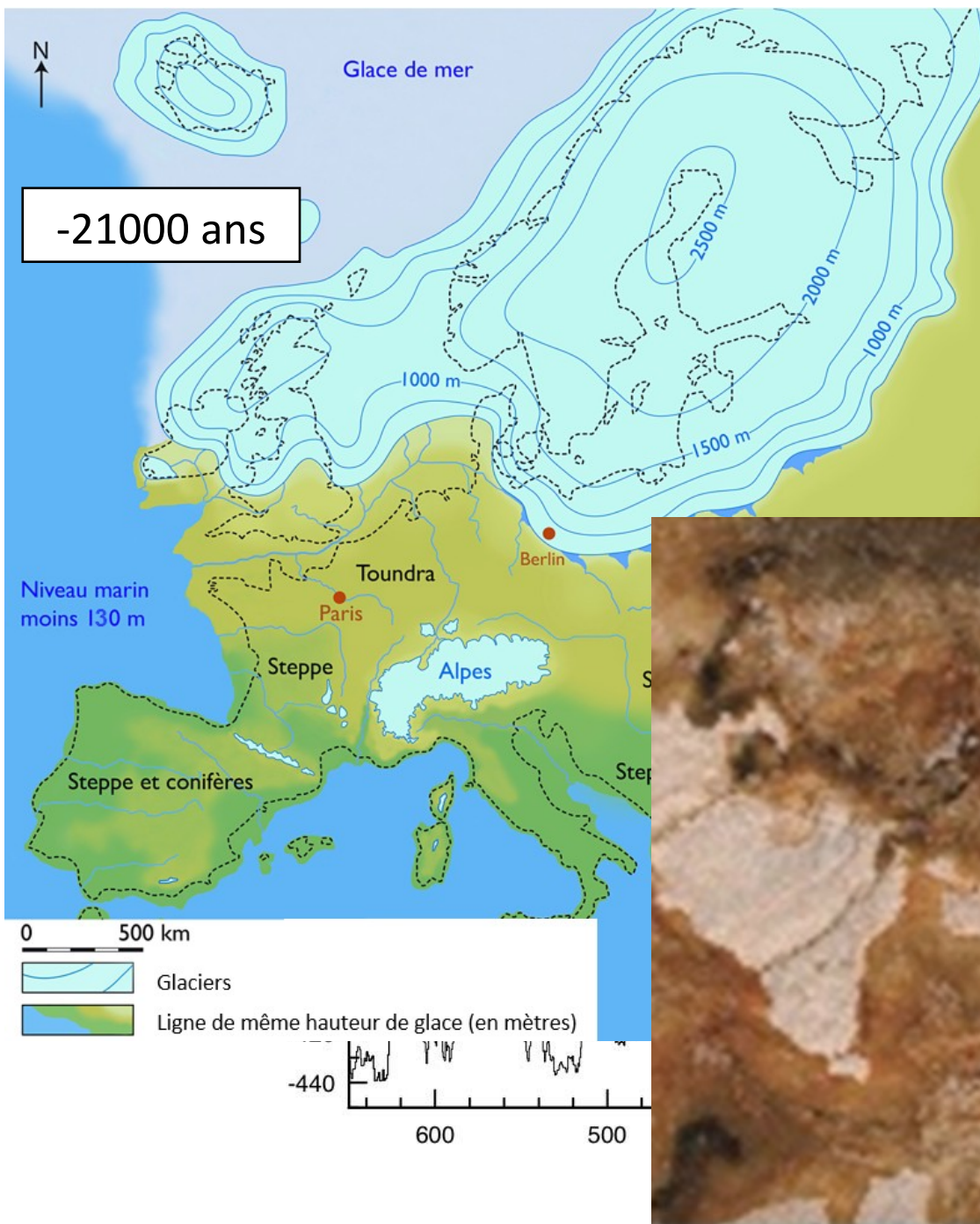
# Les derniers 650 000 ans



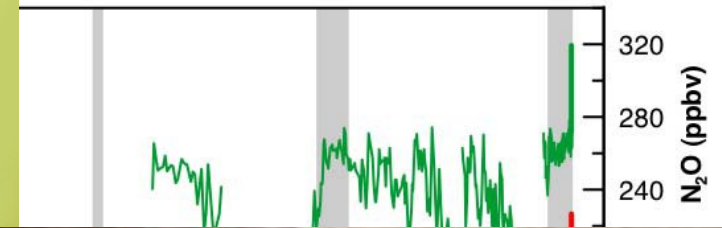
Source: GIEC, 2007





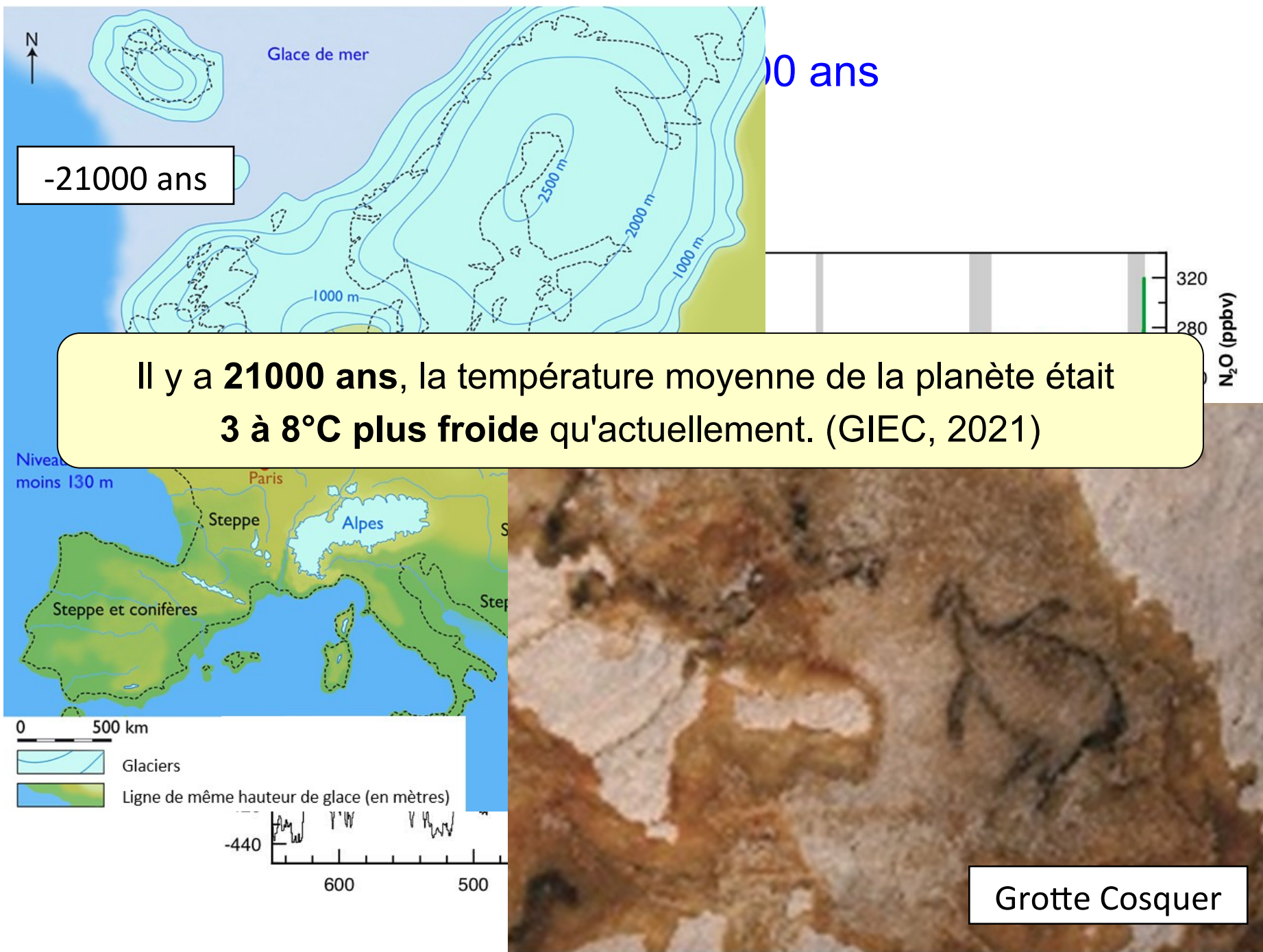


00 ans



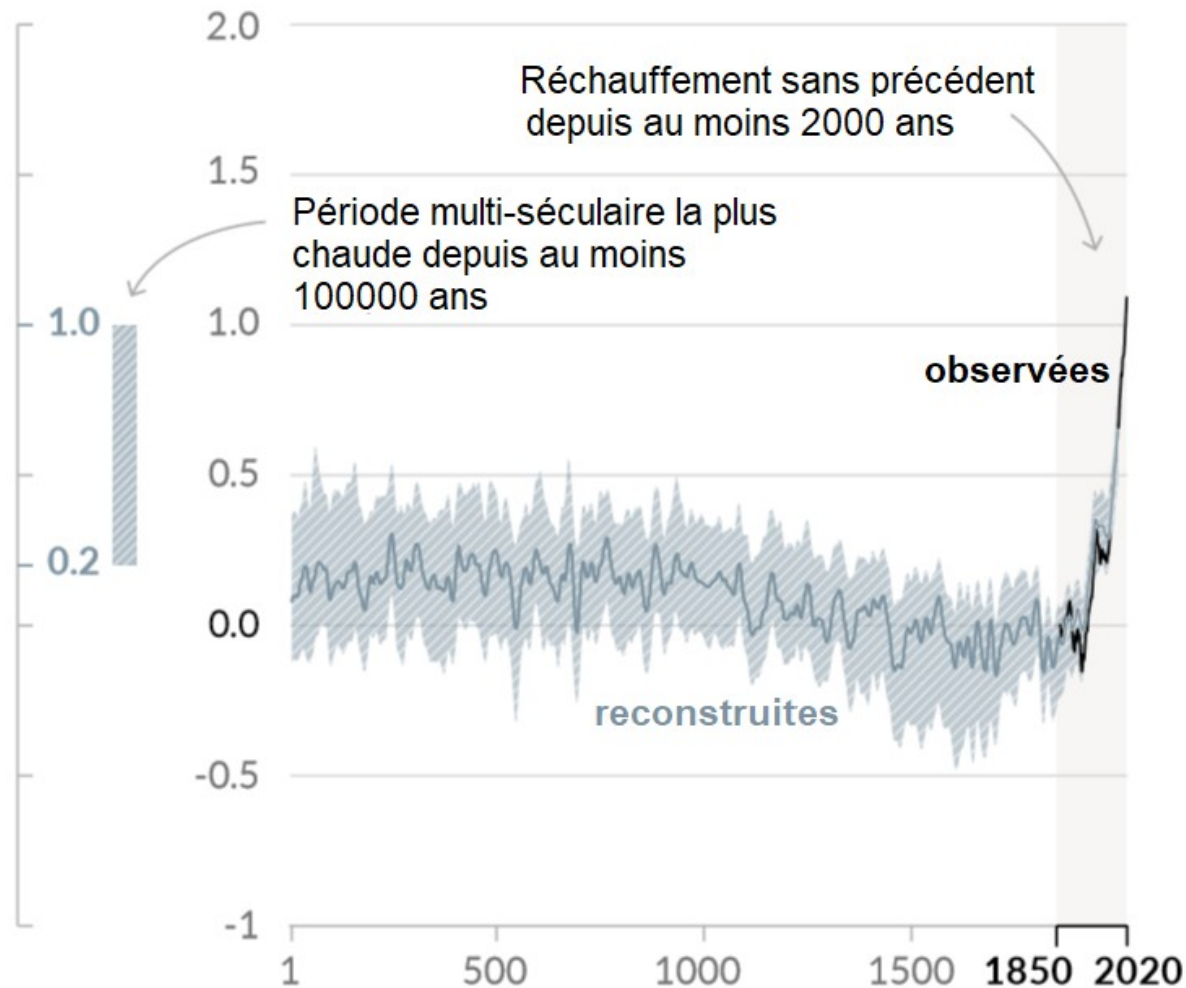
Grotte Cosquer





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

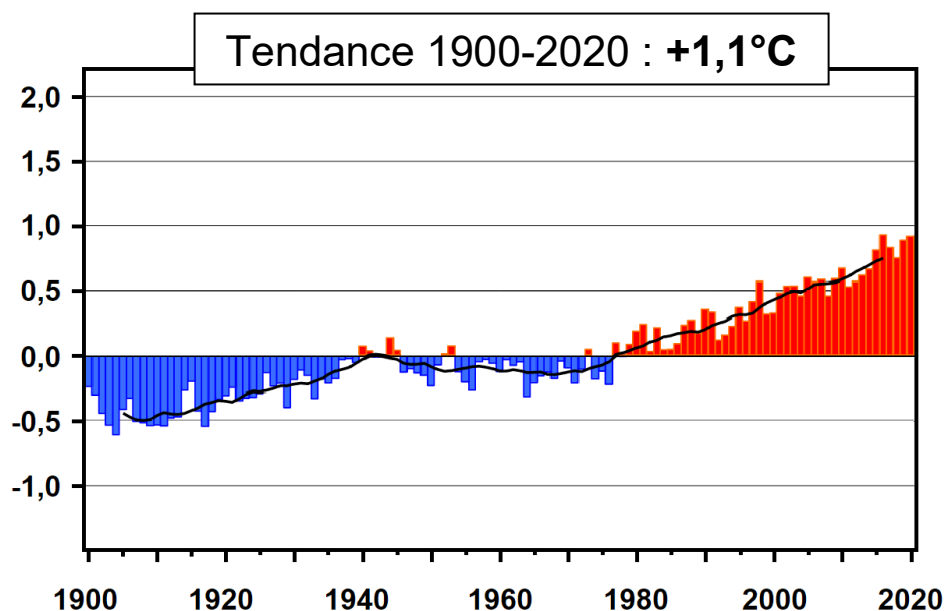
Écarts à la moyenne 1850-1900 (°C)



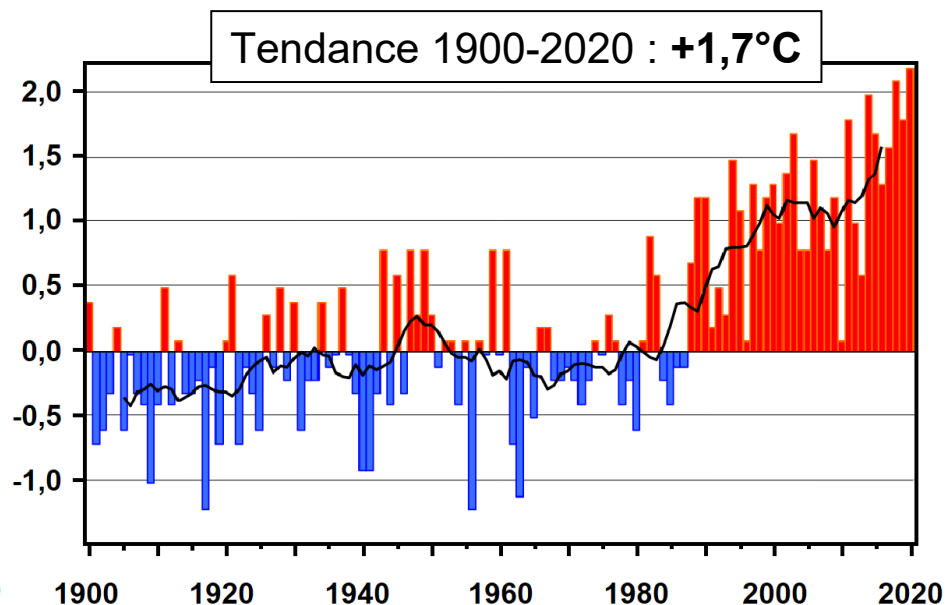
# Variations de la température moyenne à la surface observées sur la période 1900-2020

Écarts à la moyenne 1961-1990 (°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 (°C)

Sur la planète

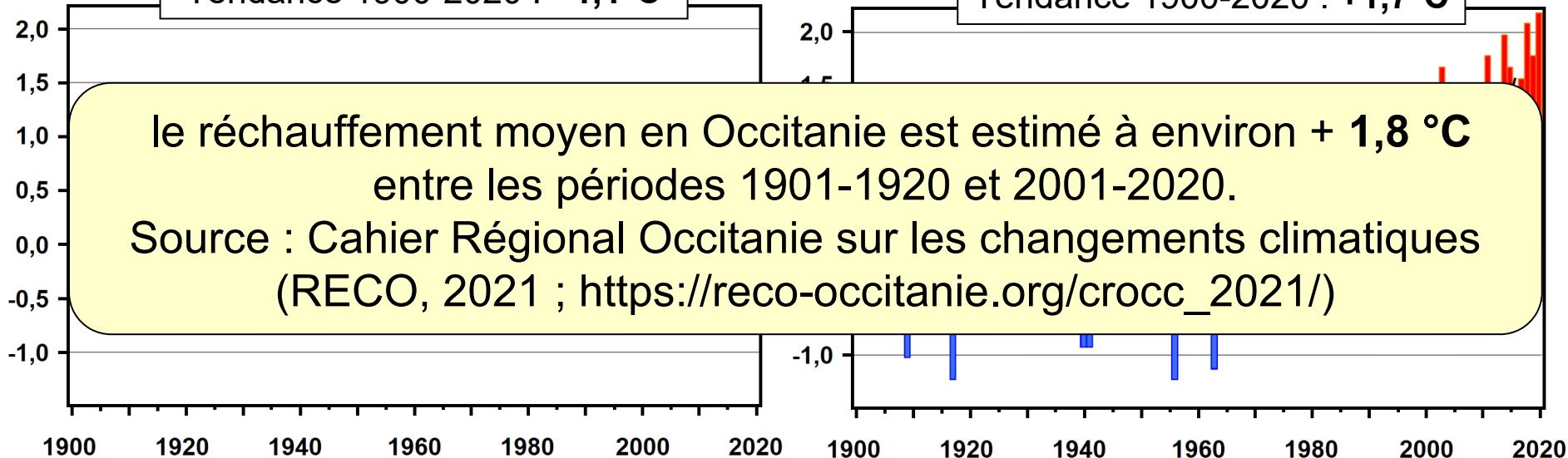
En France

Tendance 1900-2020 : **+1,1°C**

Tendance 1900-2020 : **+1,7°C**

le réchauffement moyen en Occitanie est estimé à environ **+ 1,8 °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/](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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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.



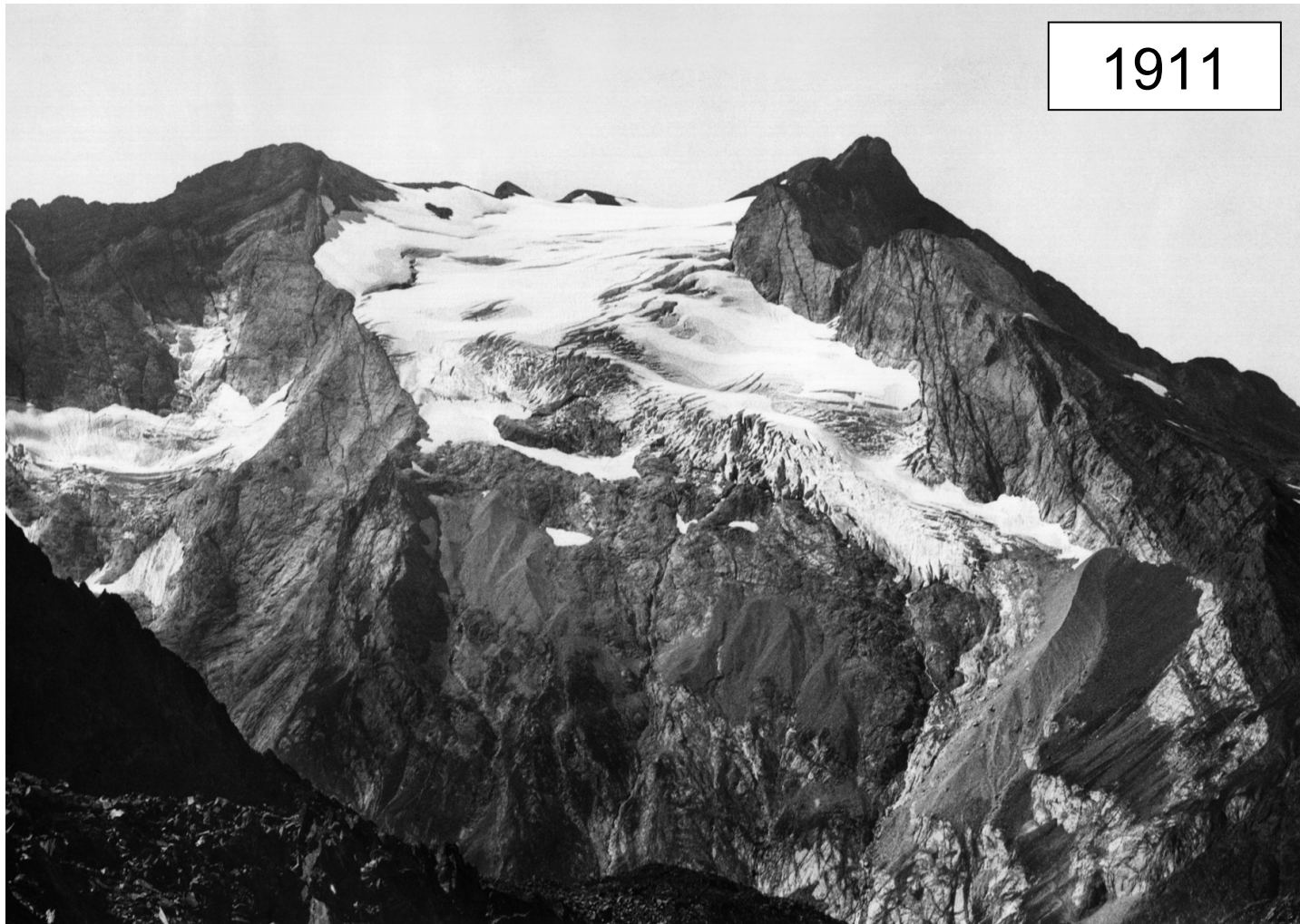
Une étude a montré une augmentation robuste de 22% +/-15 % du **maximum annuel de pluie quotidienne** dans le Sud-Est sur la période 1961-2015.



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)



1911

Photo : L. Gaurier

Source: Association Moraine



# Glacier d'Ossoue (Vignemale, Haute-Pyrénées)



Photo : P. René

Source: Association Moraine



# Glacier d'Ossoue (Vignemale, Haute-Pyrénées)



2017

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

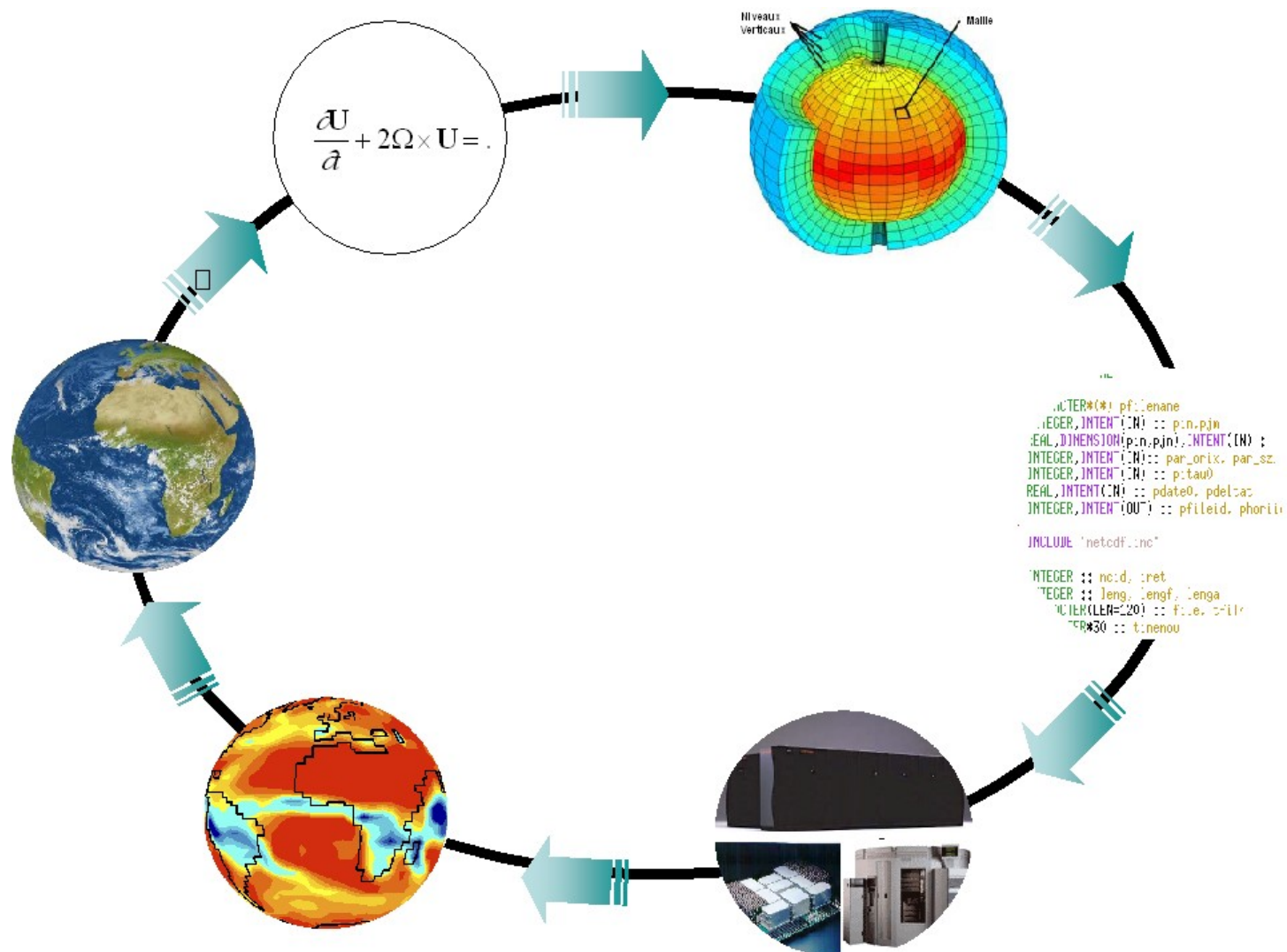


Photo : P. René

# Influence des activités humaines sur le climat récent

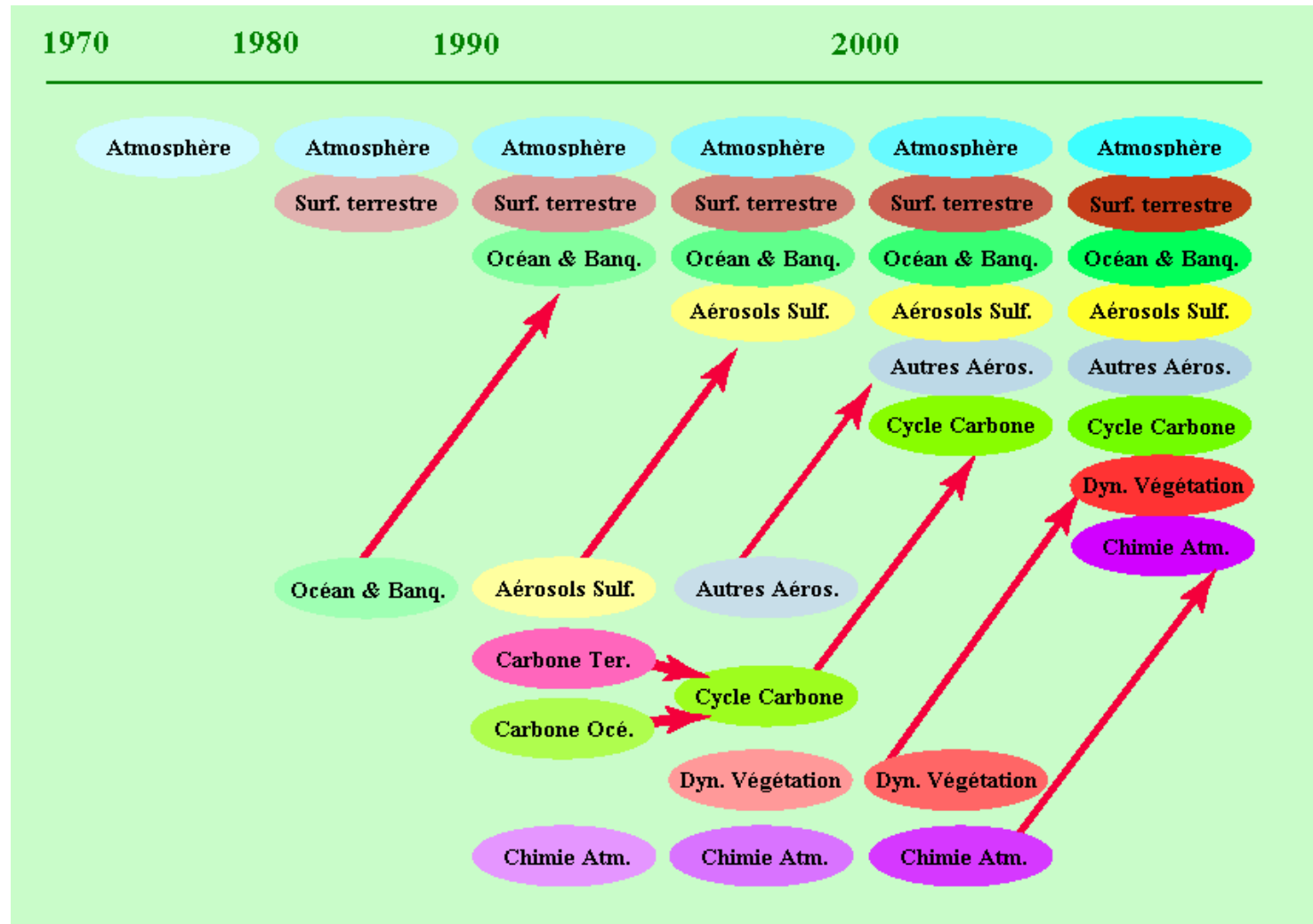
*Webinaire, 22 avril 2022*

# Principes de la modélisation météorologique et climatique

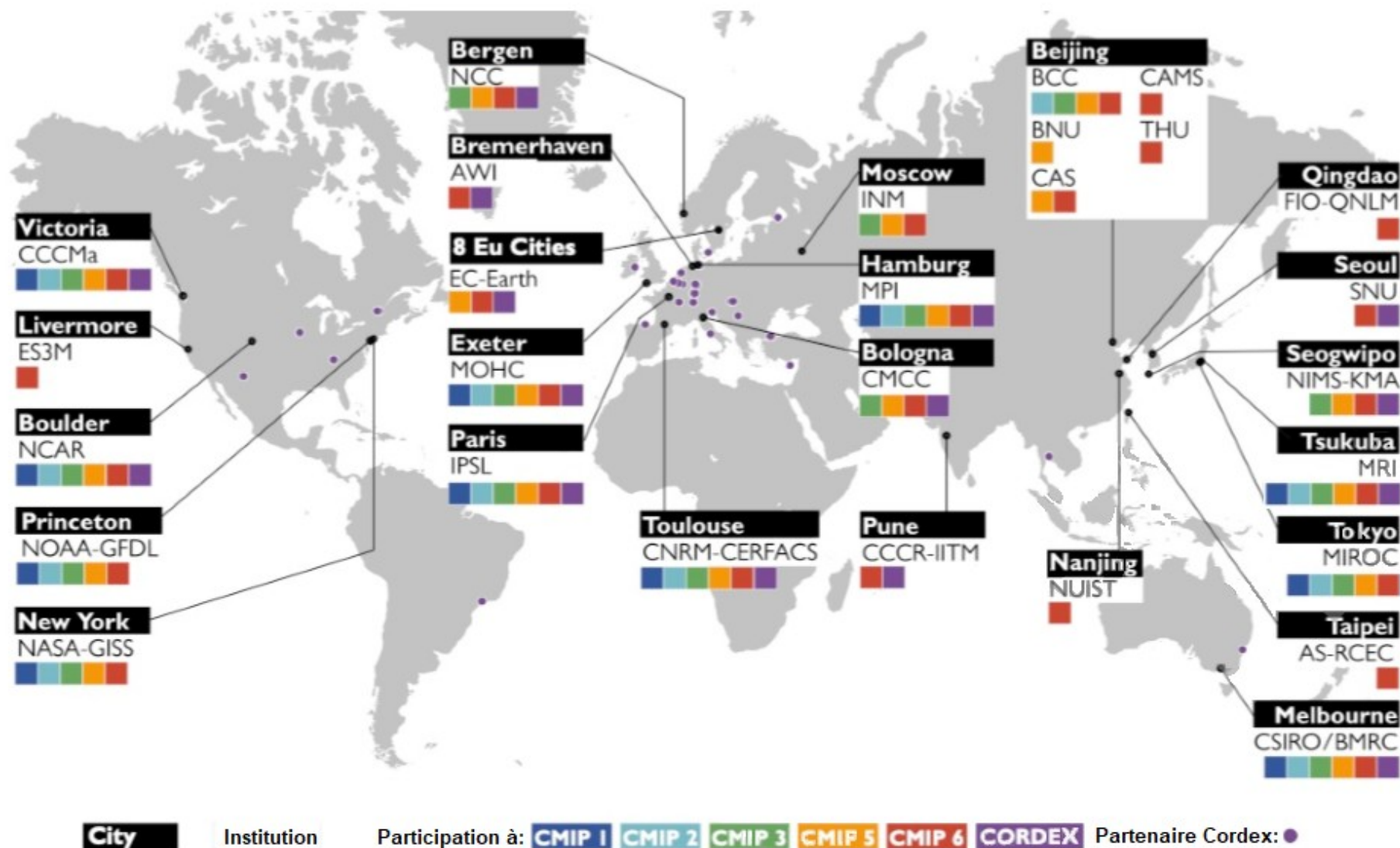




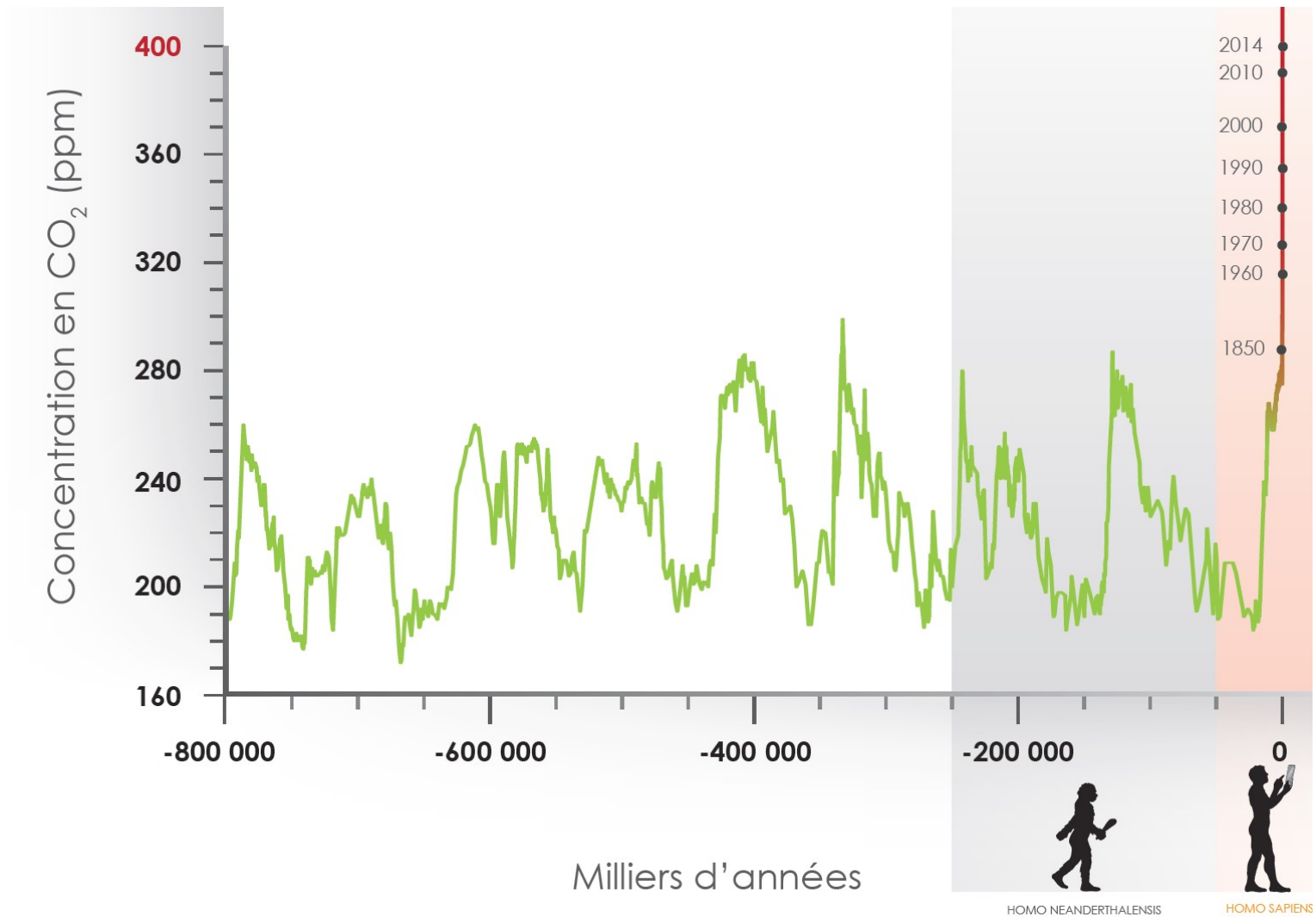
# Le développement des modèles climatiques couplés



# Les centres de modélisation climatique contribuant au GIEC



# Concentration du CO<sub>2</sub> (dioxyde de carbone) dans l'atmosphère en parties par million (ppm)



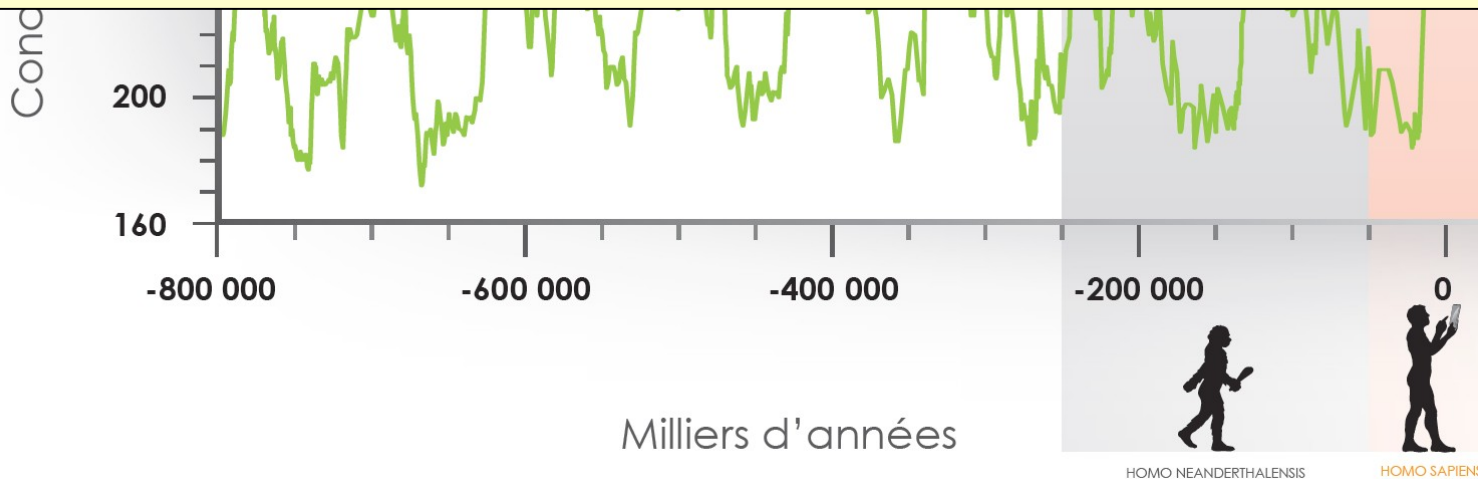
Source: GIEC, 2013 et 2021

# Concentration du CO<sub>2</sub> (dioxyde de carbone) dans l'atmosphère en parties par million (ppm)



En 2019, les concentrations atmosphériques de CO<sub>2</sub> 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**.



# Émissions moyennes de CO<sub>2</sub> pour 2010-2019

34,4 ± 1,8 GtCO<sub>2</sub>/an



5,7 ± 2,6 GtCO<sub>2</sub>/an

+



18,6 ± 0,4 GtCO<sub>2</sub>/an

**46%**



12,5 ± 2,9 GtCO<sub>2</sub>/an

**31%**



**23%**

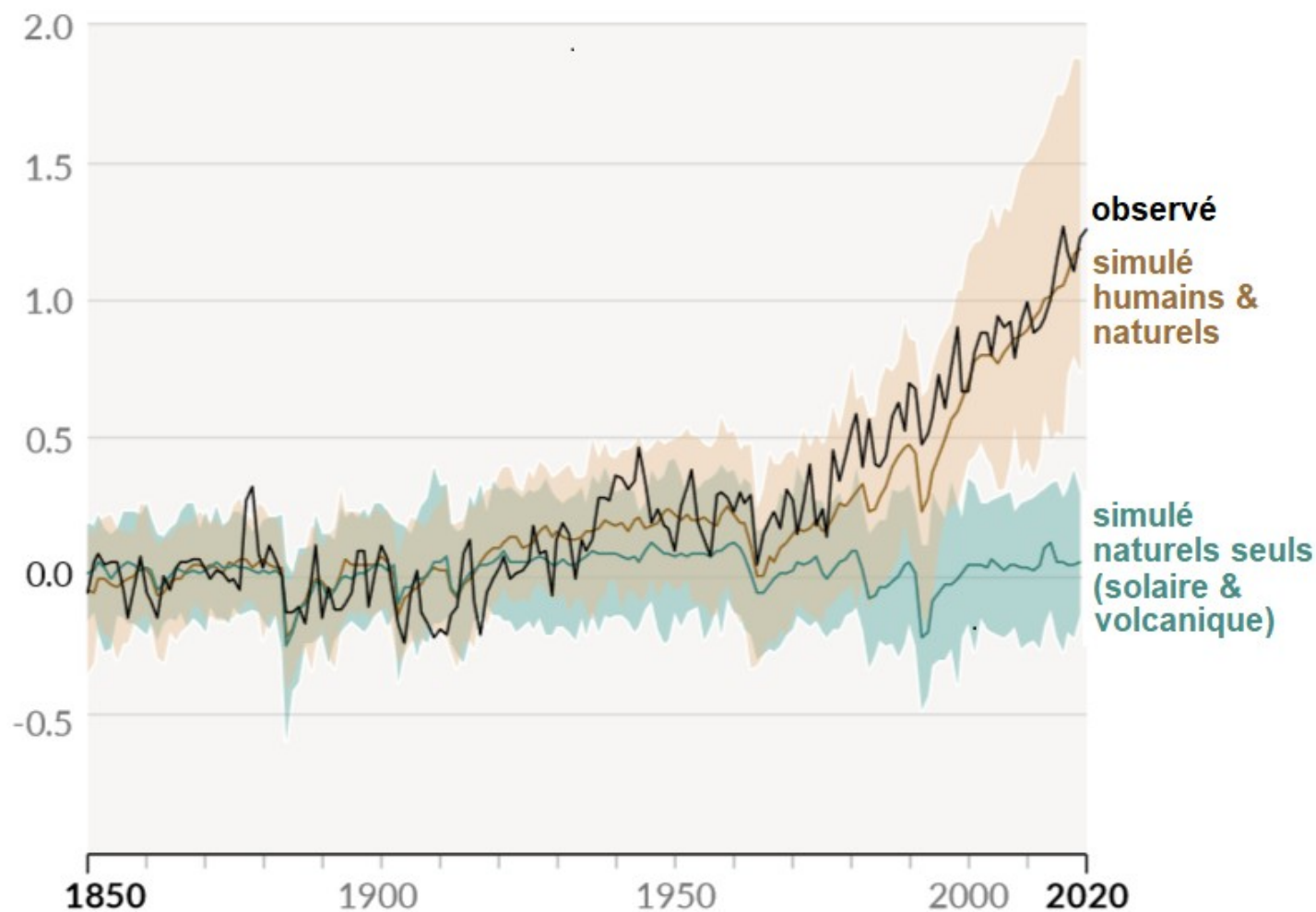
9,2 ± 1,8 PgC/an





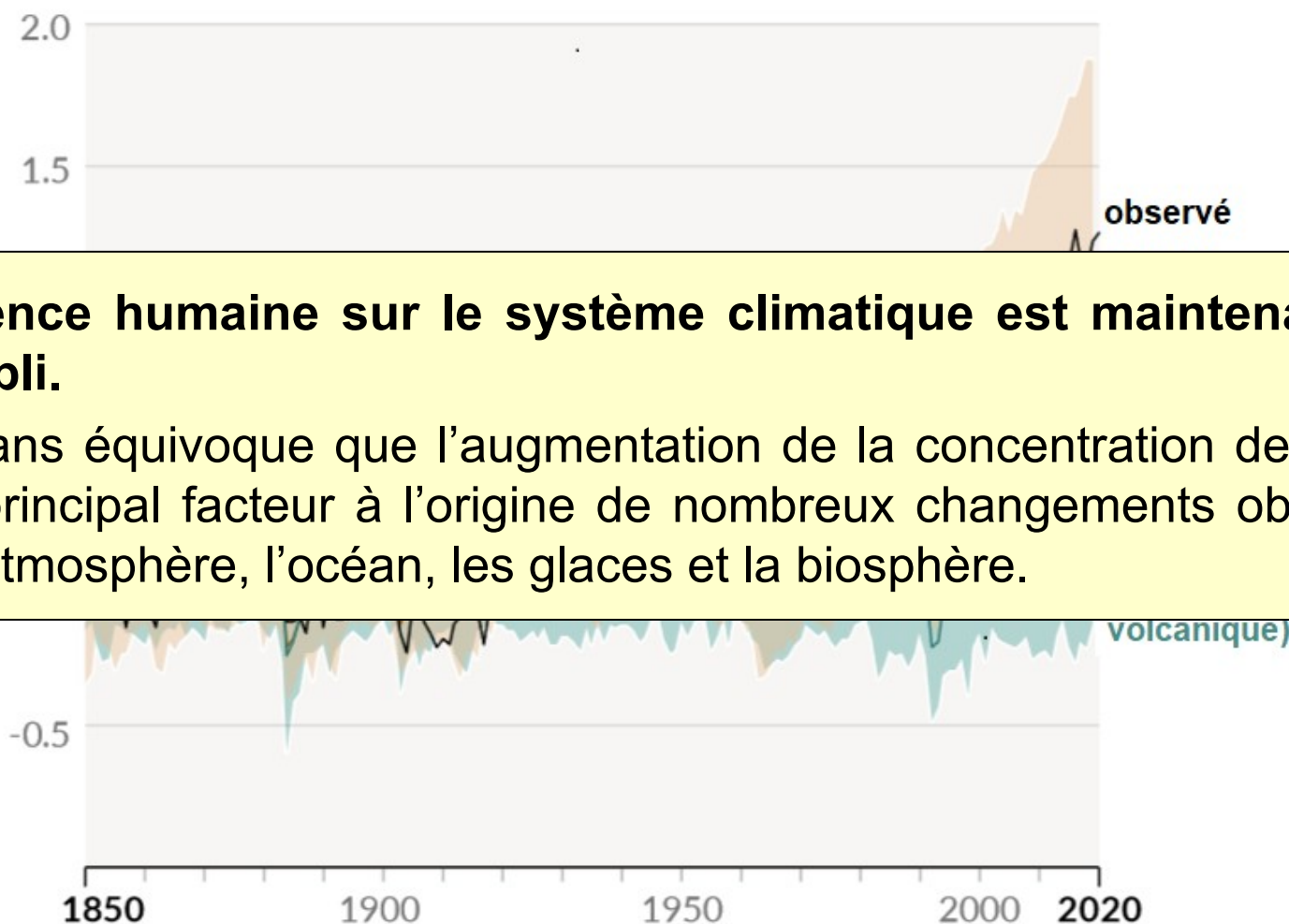
# Variations de la température à la surface du globe observées et simulées avec et sans les facteurs humains

Écarts à la moyenne 1850-1900 (°C)



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

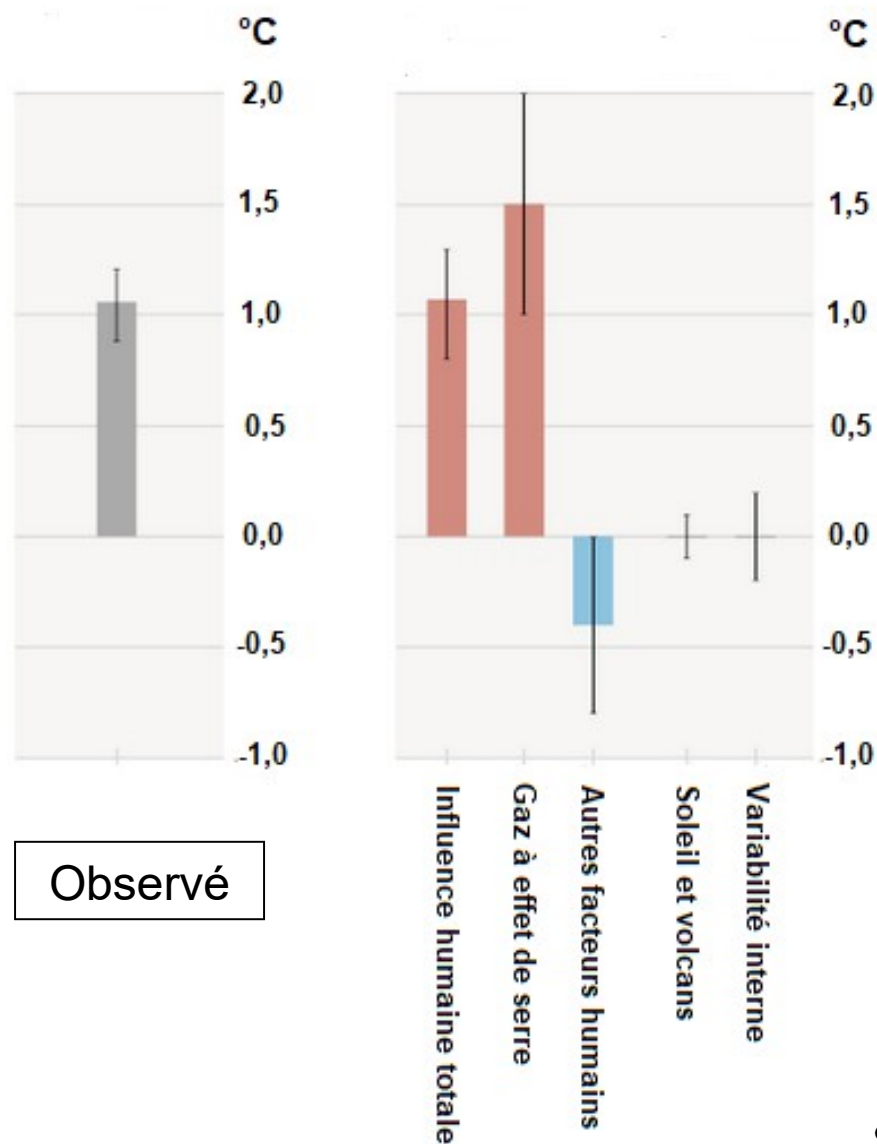
Écarts à la moyenne 1850-1900 (°C)



**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.

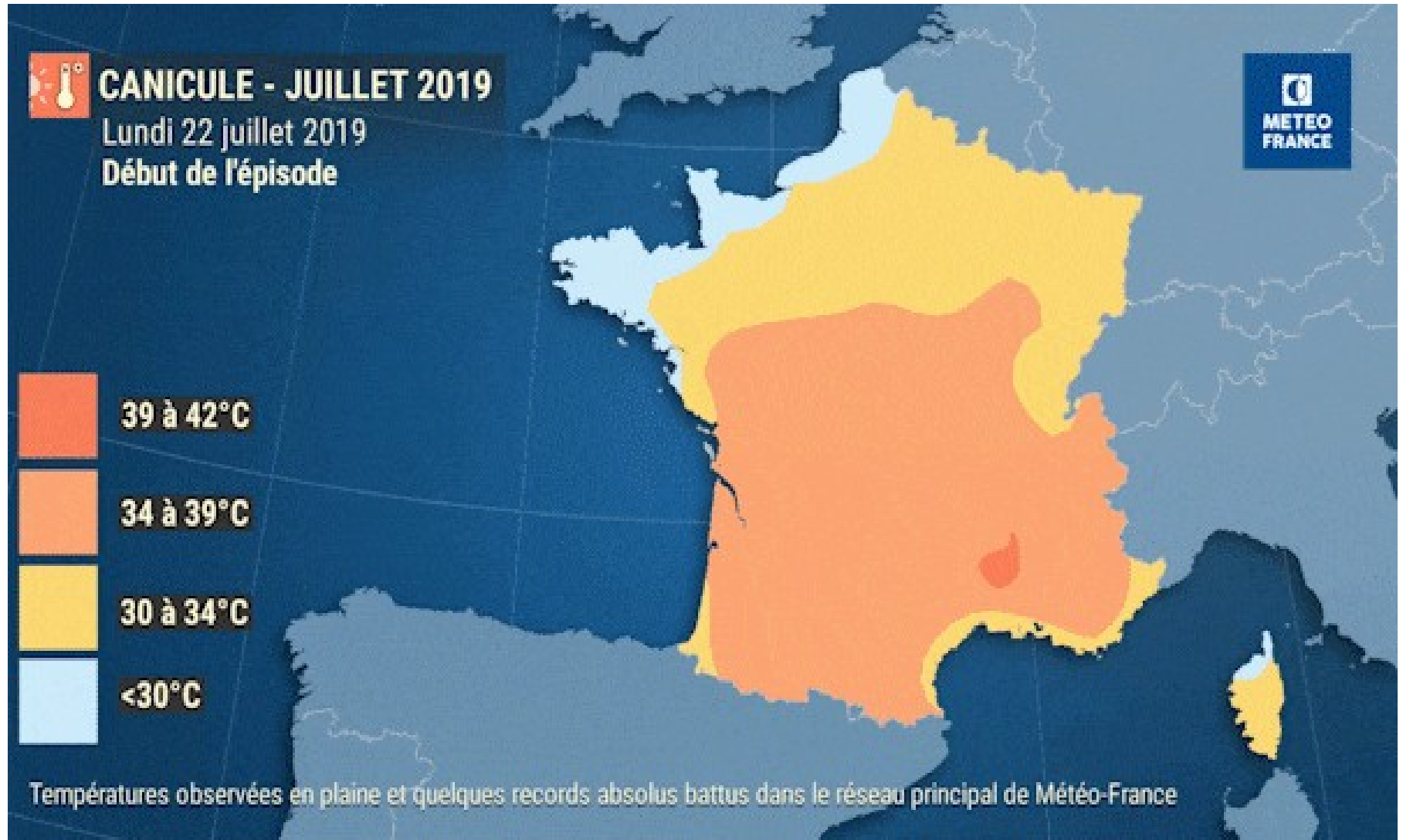
# Contributions au réchauffement climatique observé entre 1850-1900 et 2010-2019



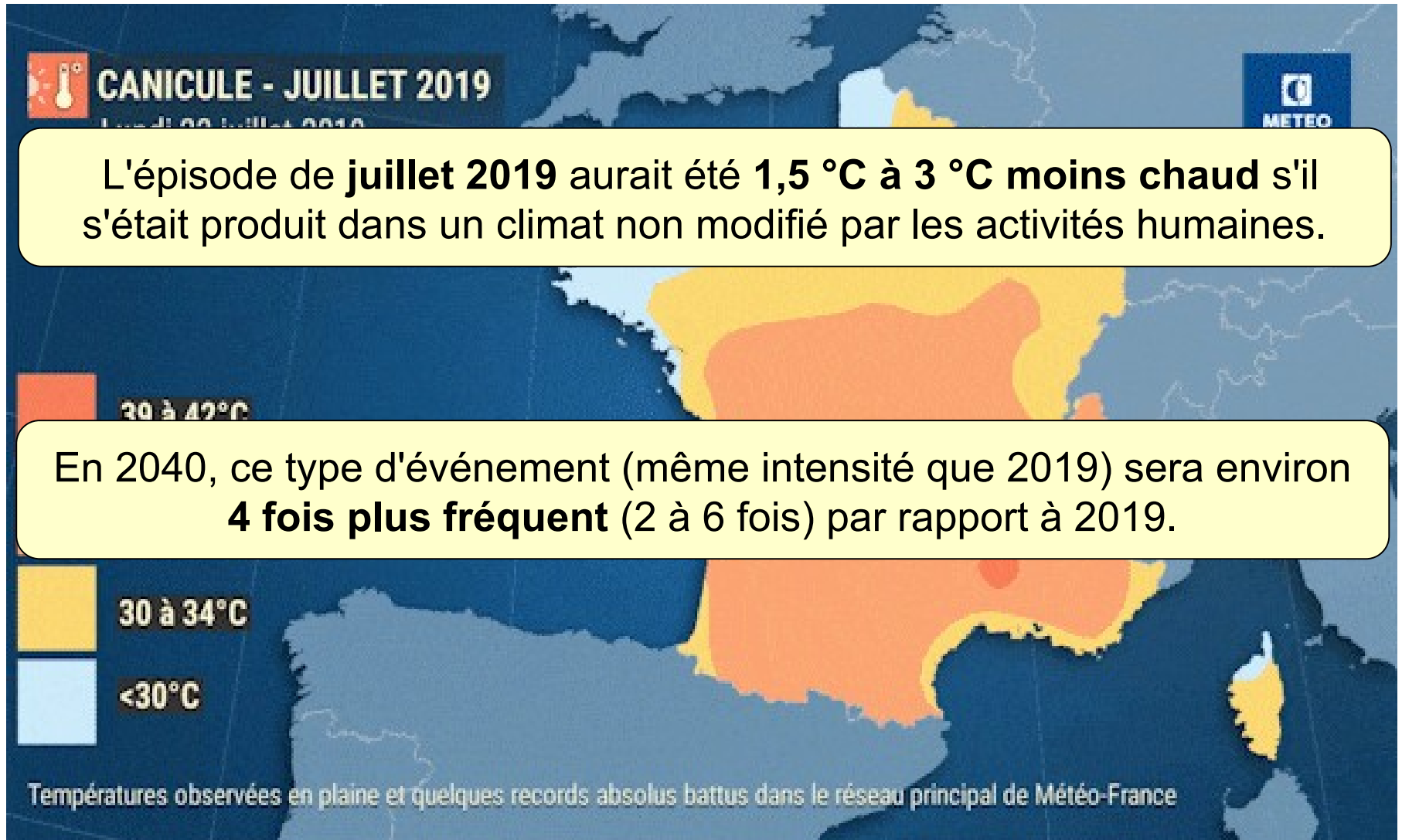
Source : GIEC, 2021



# Canicule de juillet 2019



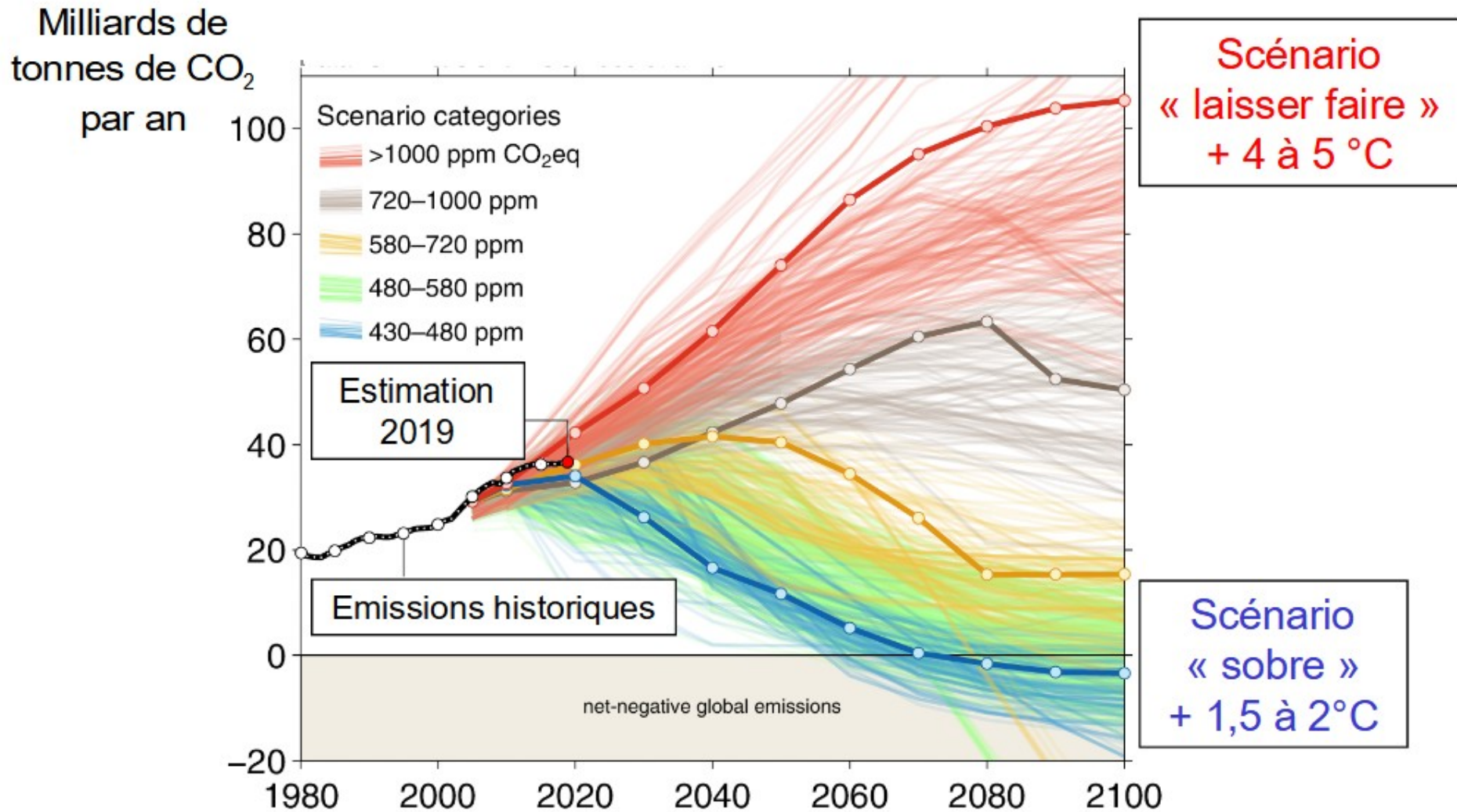
# Canicule de juillet 2019



# Scénarios pour le climat futur et quelques conséquences

*La Salvetat-Saint-Gilles, 1<sup>er</sup> octobre 2021*

# Émissions globales de CO<sub>2</sub> dues aux combustibles fossiles et à la production de ciment

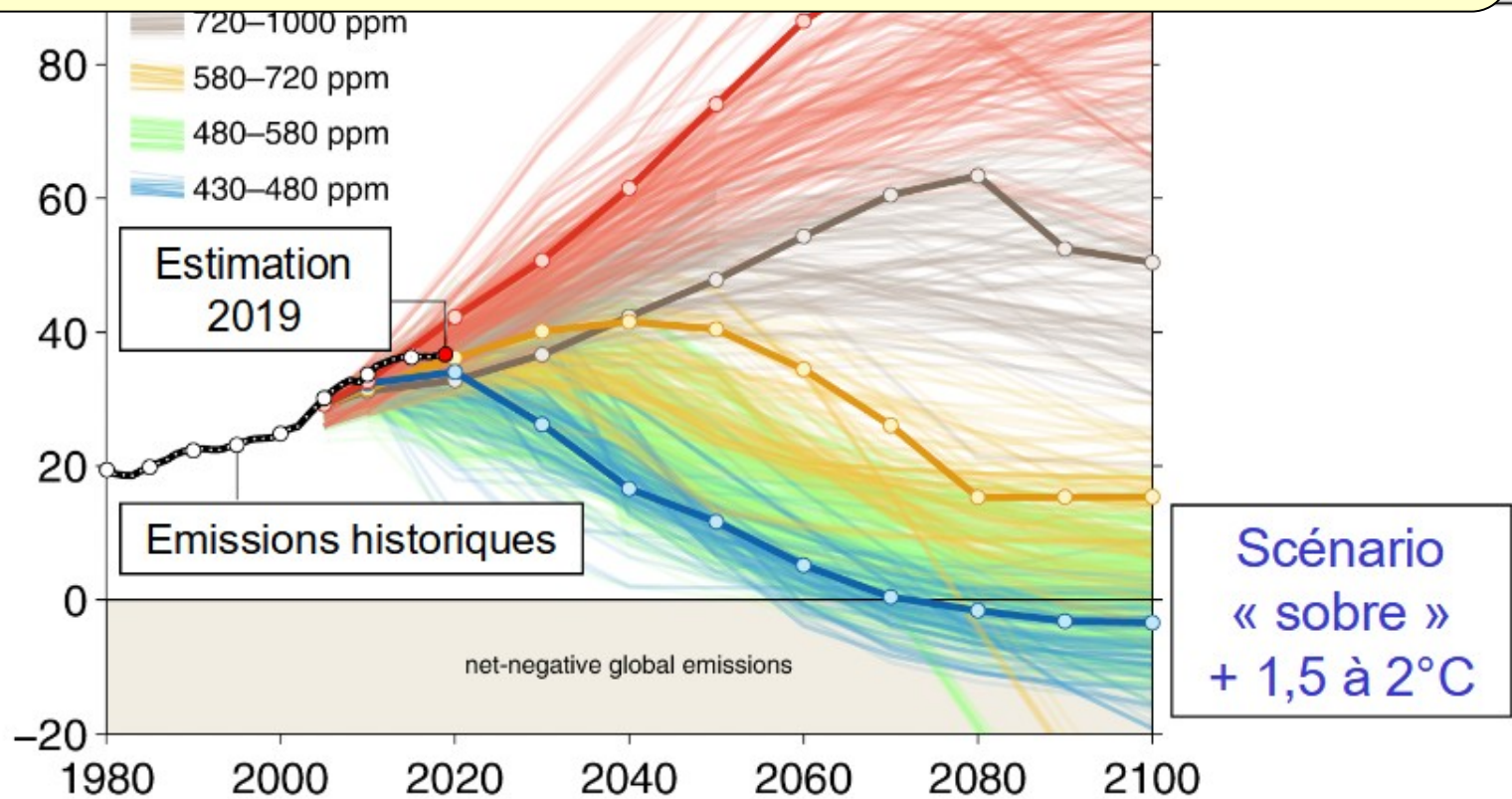


Sources: GIEC, 2013 ; GCP 2020 (<https://www.globalcarbonproject.org/>).



# Émissions globales de CO<sub>2</sub> dues aux combustibles fossiles et à la production de ciment

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



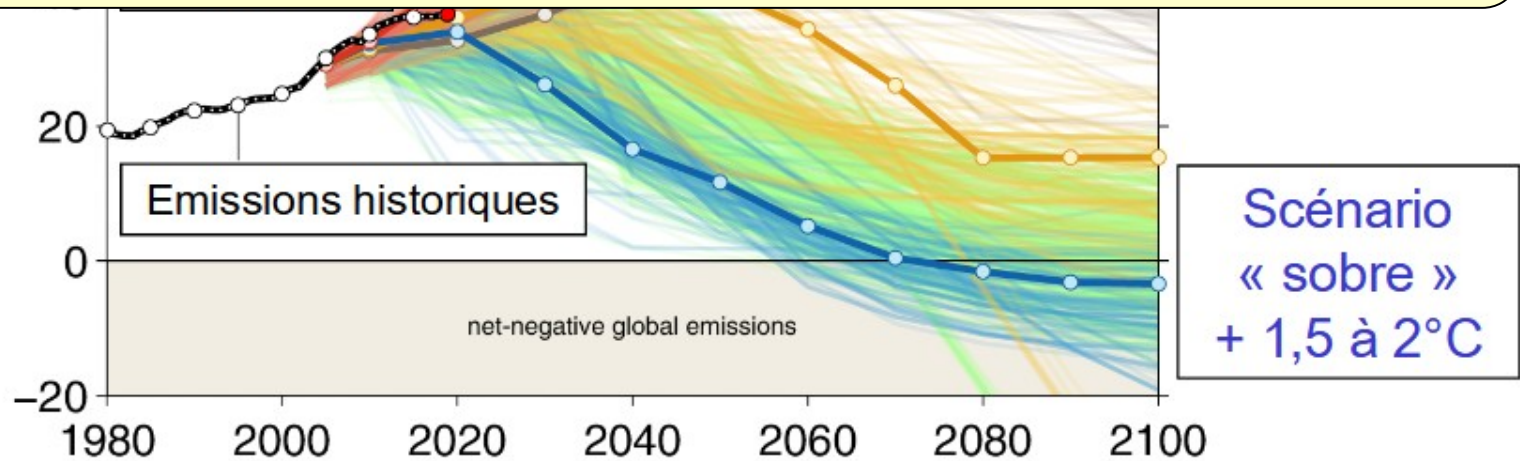
Sources: GIEC, 2013 ; GCP 2020 (<https://www.globalcarbonproject.org/>).

# Émissions globales de CO<sub>2</sub> dues aux combustibles fossiles et à la production de ciment

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

80 — 720–1000 ppm  
— 580–720 ppm

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

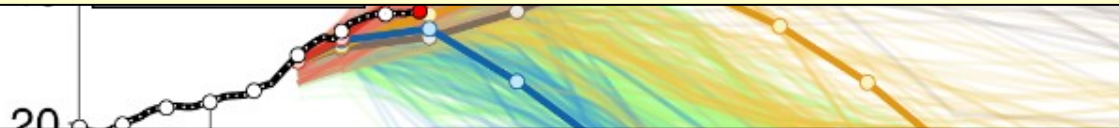


# Émissions globales de CO<sub>2</sub> dues aux combustibles fossiles et à la production de ciment

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

80  
720–1000 ppm  
580–720 ppm

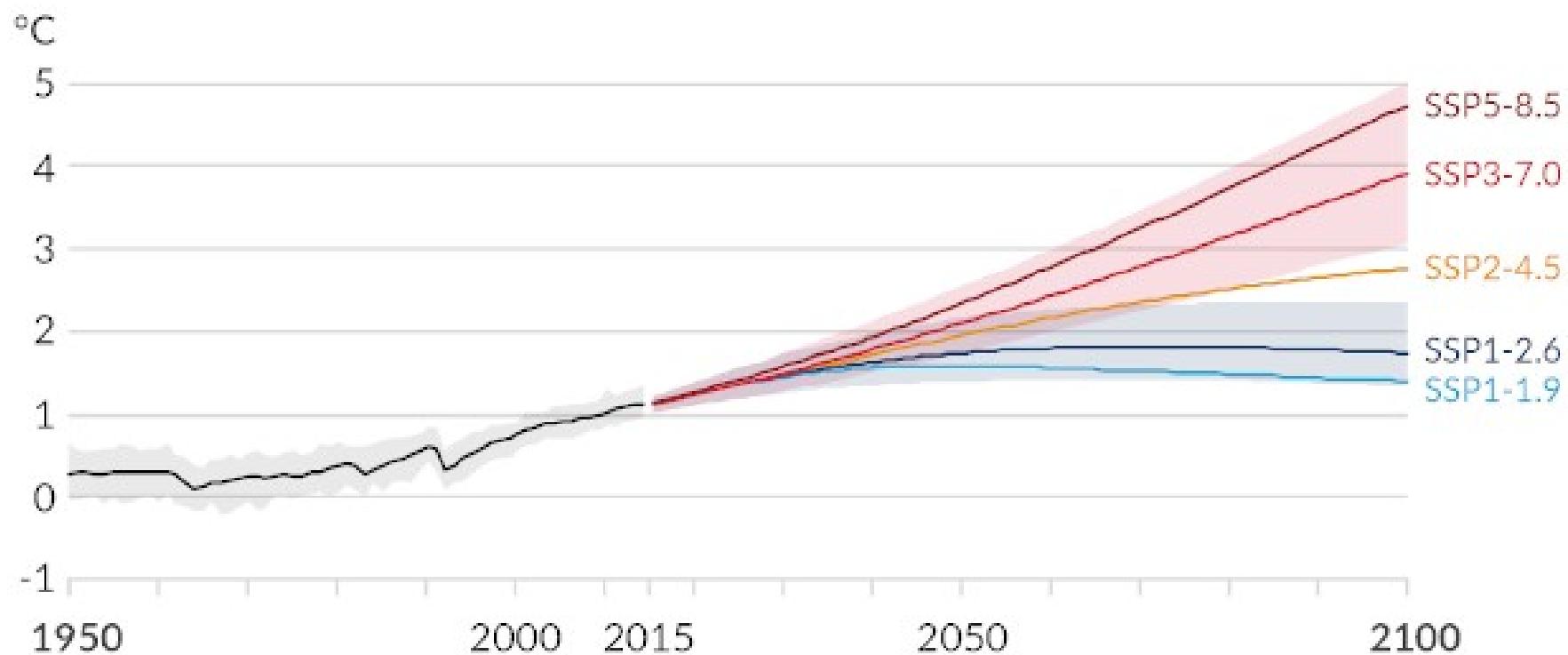
Un réchauffement de **1,5°C** au-dessus des valeurs préindustrielles sera probablement **atteint autour de 2030** (GIEC, 2021).



A la fin du siècle le réchauffement **peut être limité à 1,5°C** mais il peut atteindre **3,5°C à 5,5°C** avec le pire scénario (GIEC, 2021).

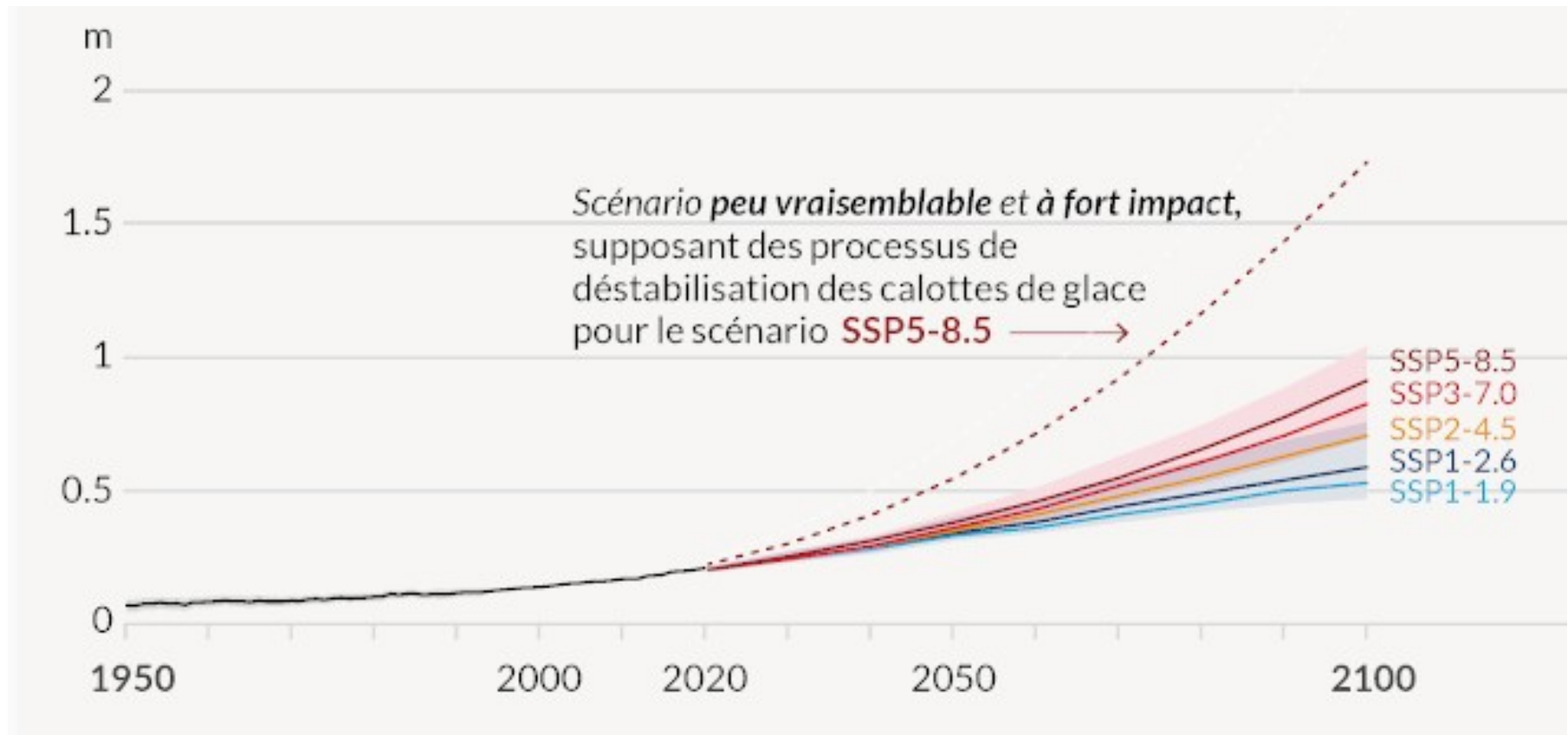
-20  
1980 2000 2020 2040 2060 2080 2100

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





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



# Évolution des températures par rapport à 1976-2005

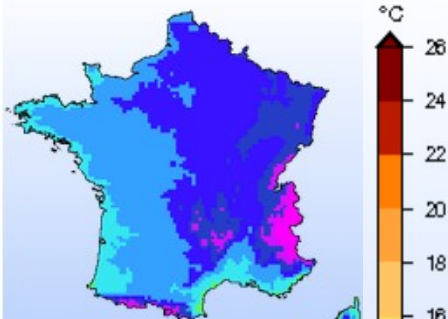
Scénario « sobre »

Référence (1976-2005)

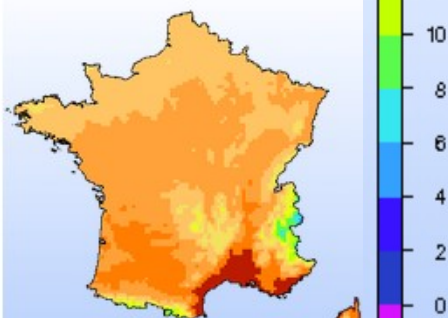
Horizon proche (2021-2050)

Horizon moyen (2041-2070)

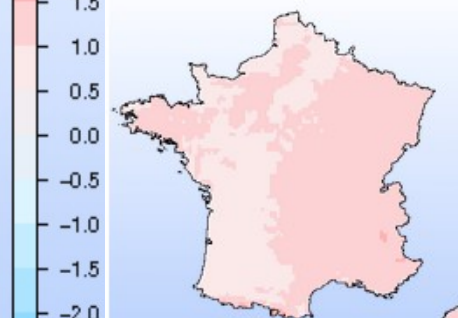
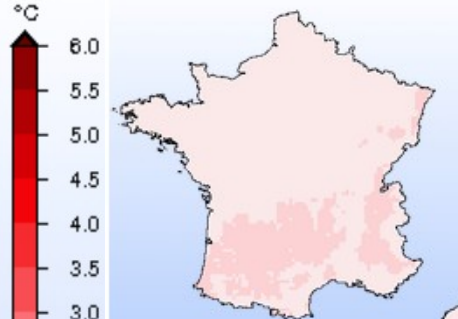
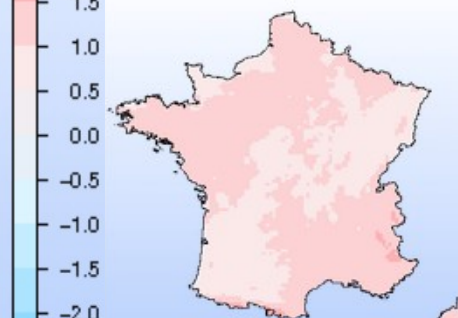
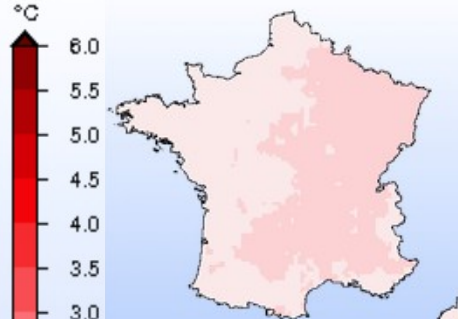
Horizon lointain (2071-2100)



Hiver



Été



# Évolution des températures par rapport à 1976-2005

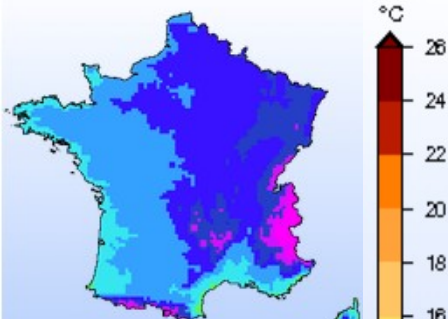
Scénario « laisser faire »

Référence (1976-2005)

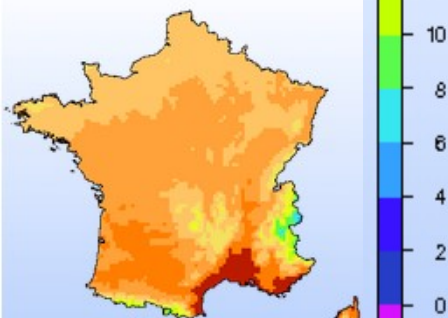
Horizon proche (2021-2050)

Horizon moyen (2041-2070)

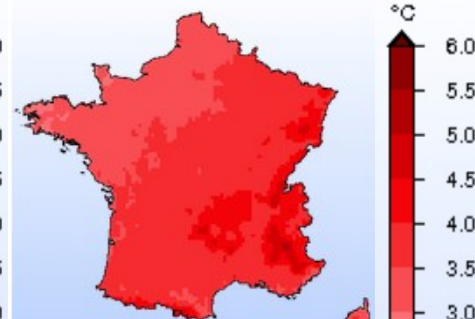
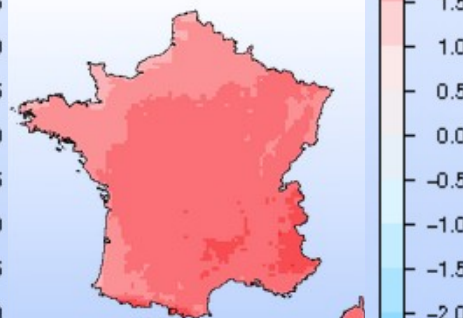
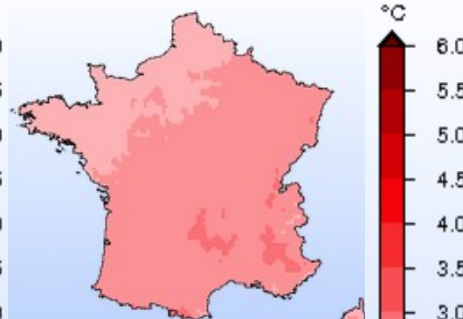
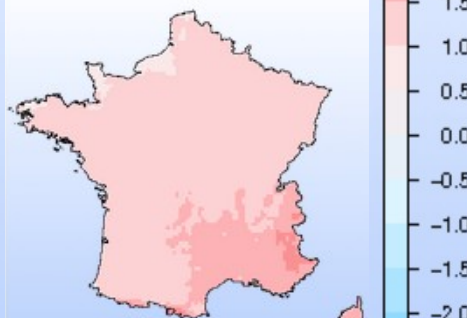
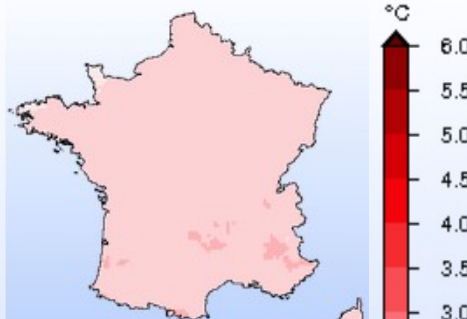
Horizon lointain (2071-2100)



Hiver



Été



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

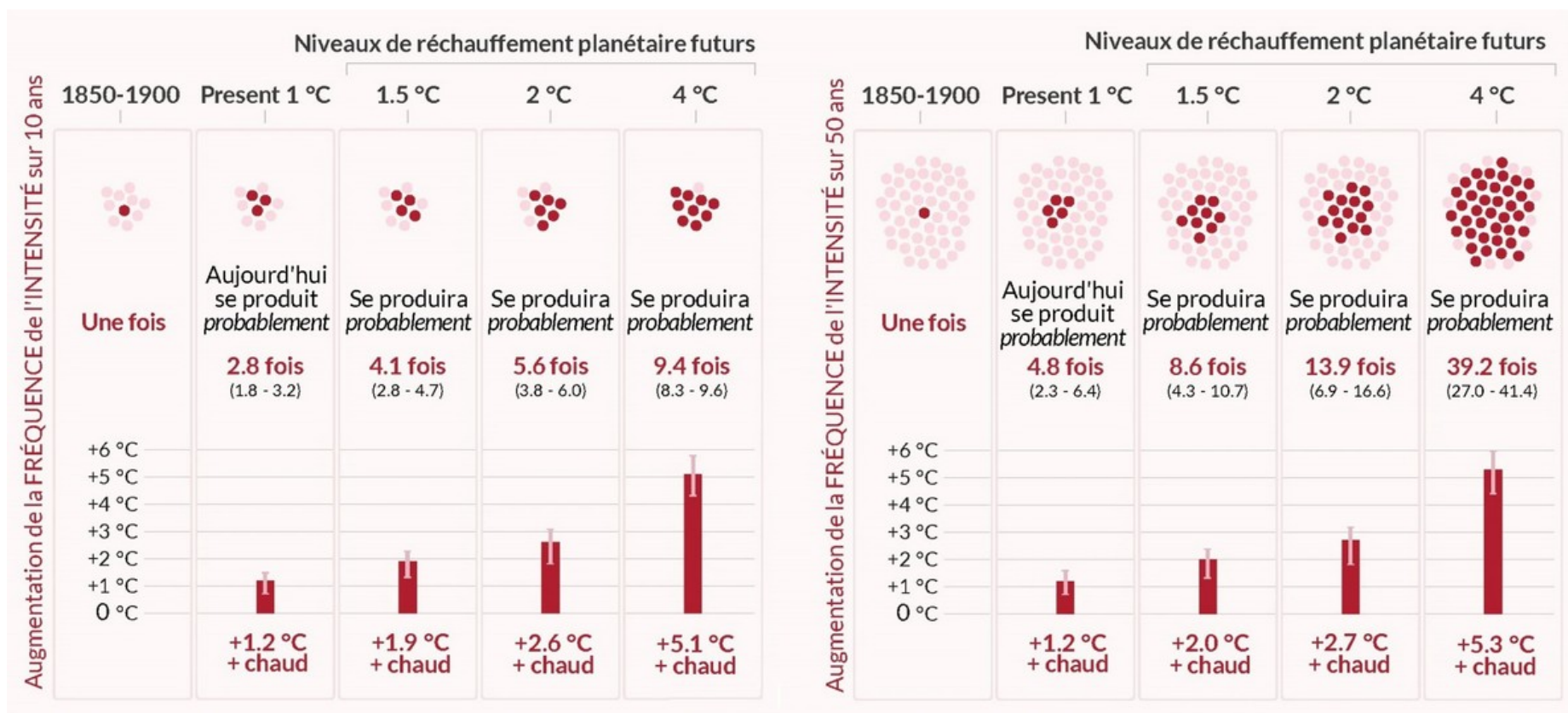
La hausse des **températures** moyennes sur l'**ensemble du siècle** pourrait varier d'un **facteur de 1 à 4** suivant le scénario d'émission de gaz à effet de serre sur lequel on se situera au cours des prochaines décennies.

Les **précipitations** annuelles devraient **peu évoluer** au XXI<sup>e</sup> siècle, mais les contrastes saisonniers devraient s'accroître 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

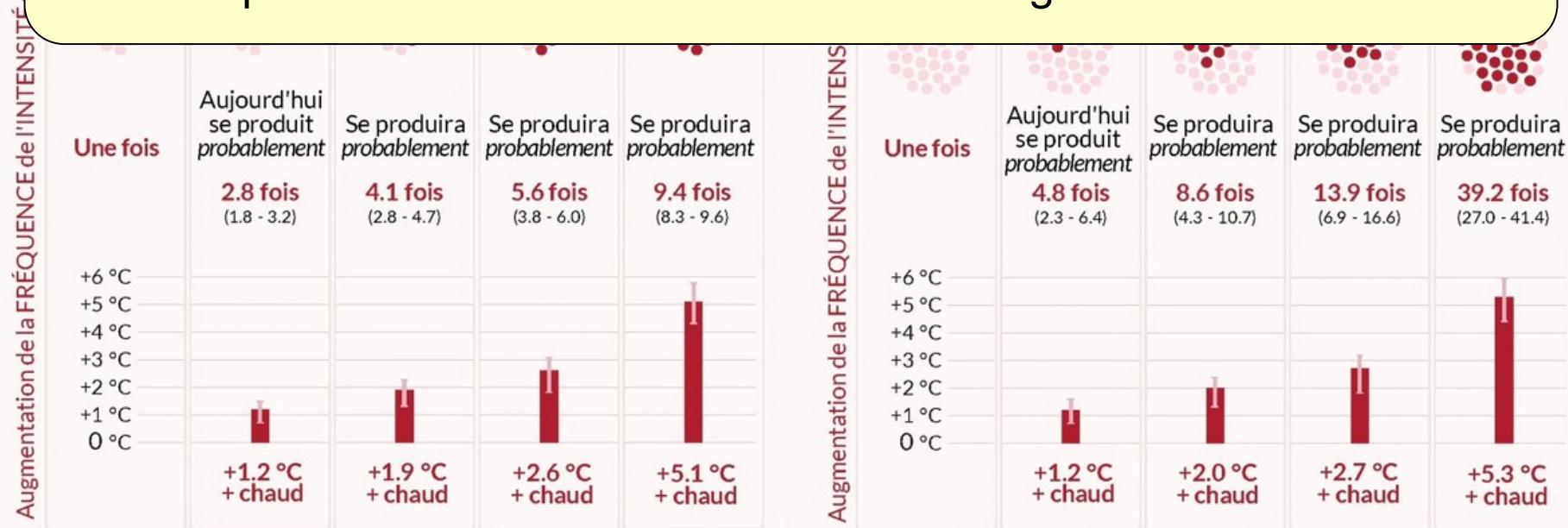
Extrêmes chauds dépassés en moyenne tous les 10 ans ou tous les 50 ans dans le climat de la période 1850-1900 (°C)



# 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 ...



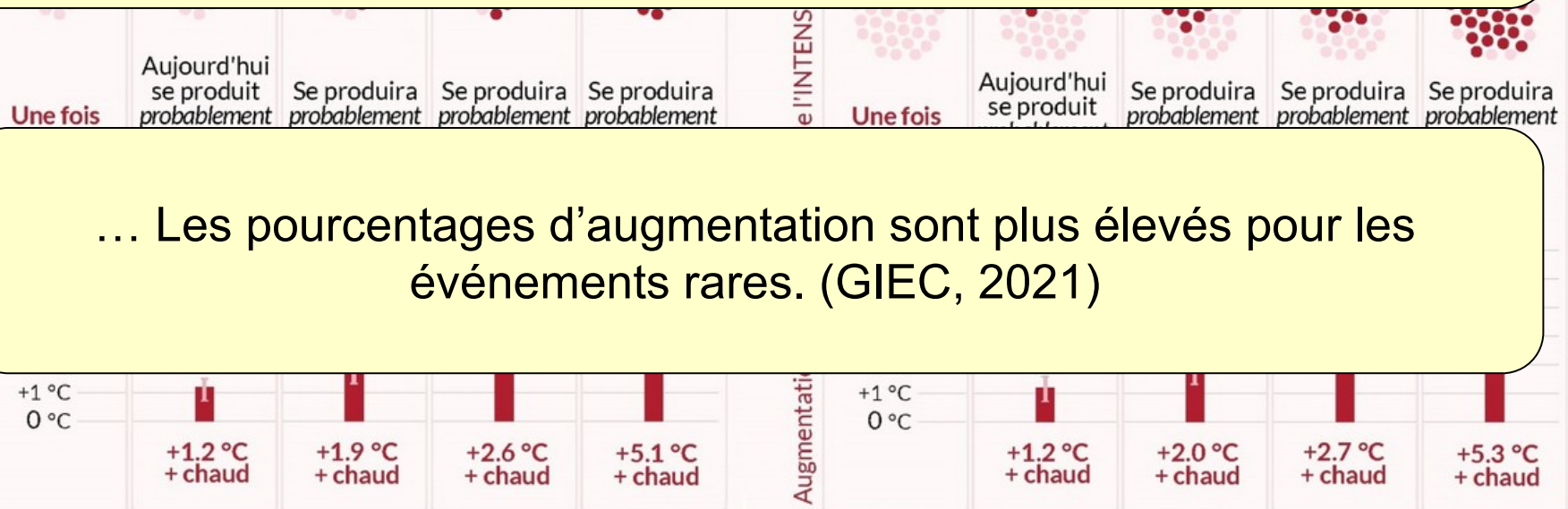
# Évolution des extrêmes chauds

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 ...

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

Augmentation de la FRÉQUENCE de l'INTENSITÉ



# 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.

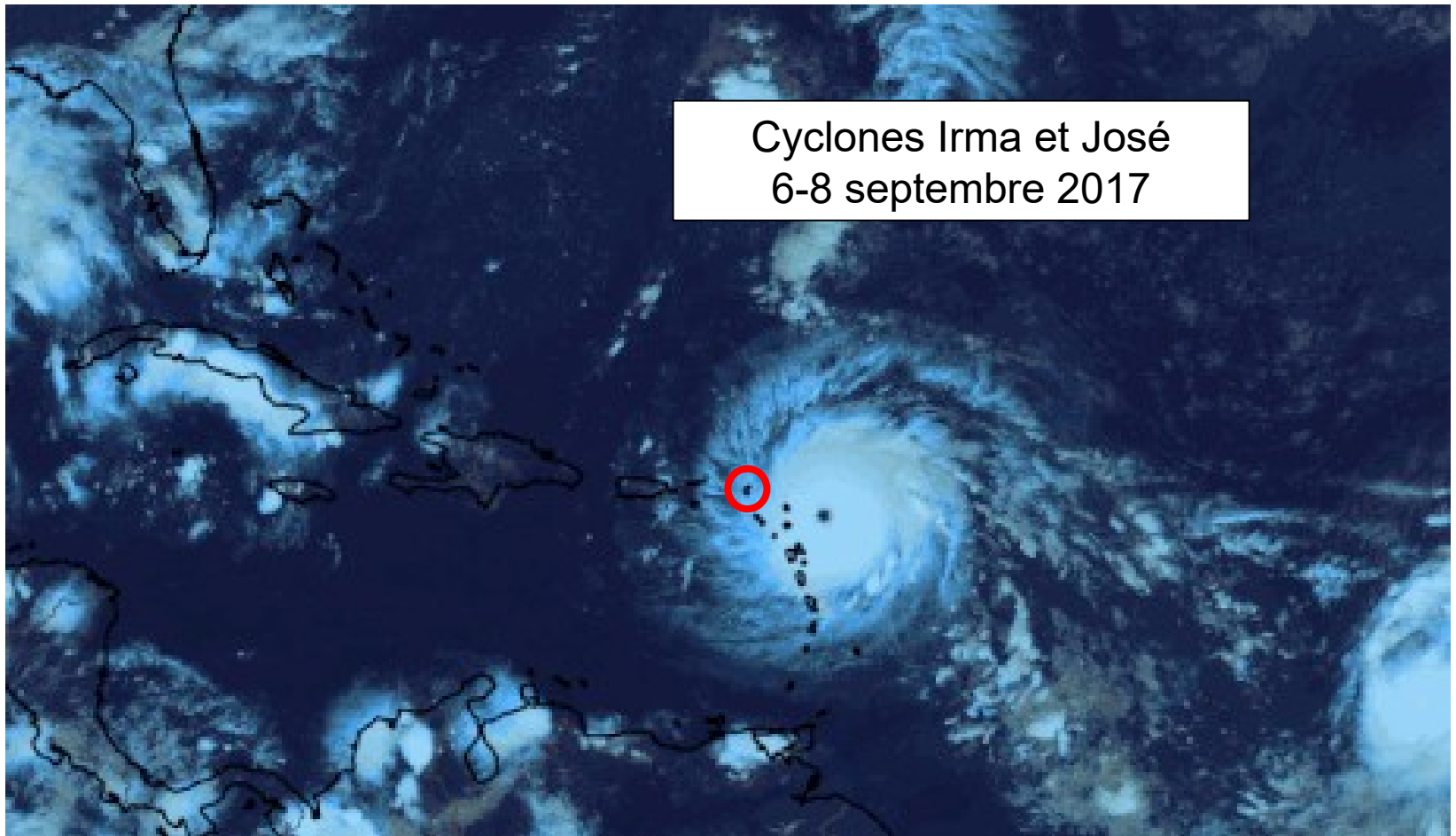
Dans le futur, les **sécheresses agricoles** seront plus longues et plus intenses. L'humidité moyenne du sol en fin de siècle pourrait correspondre aux situations sèches extrêmes d'aujourd'hui.

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**.



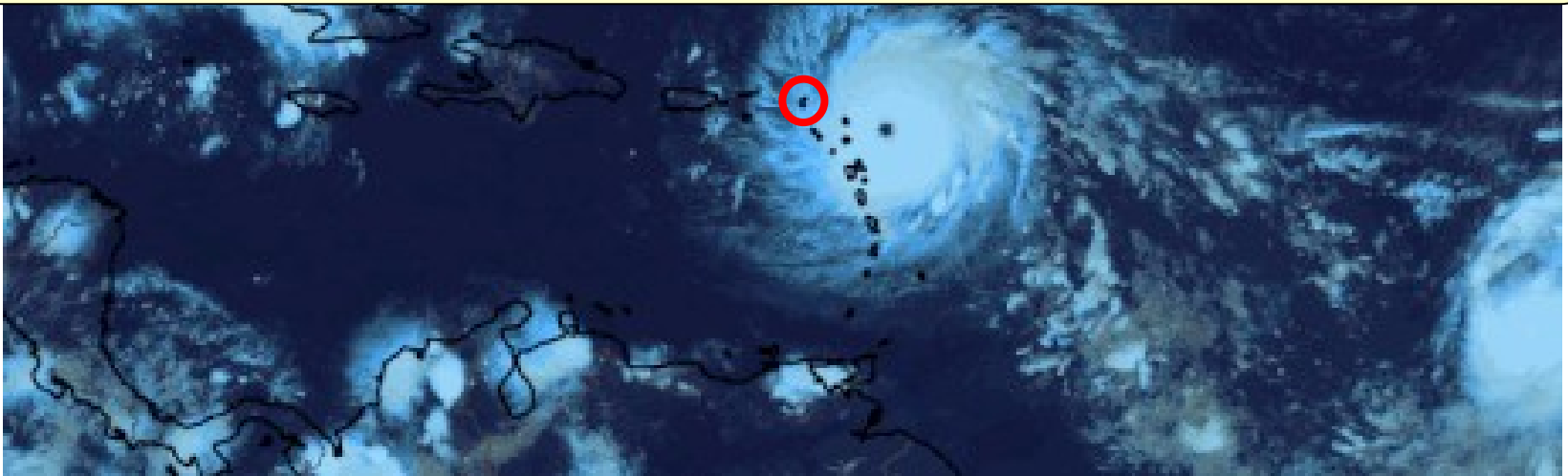
# Évolution des cyclones tropicaux




# 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*) ...

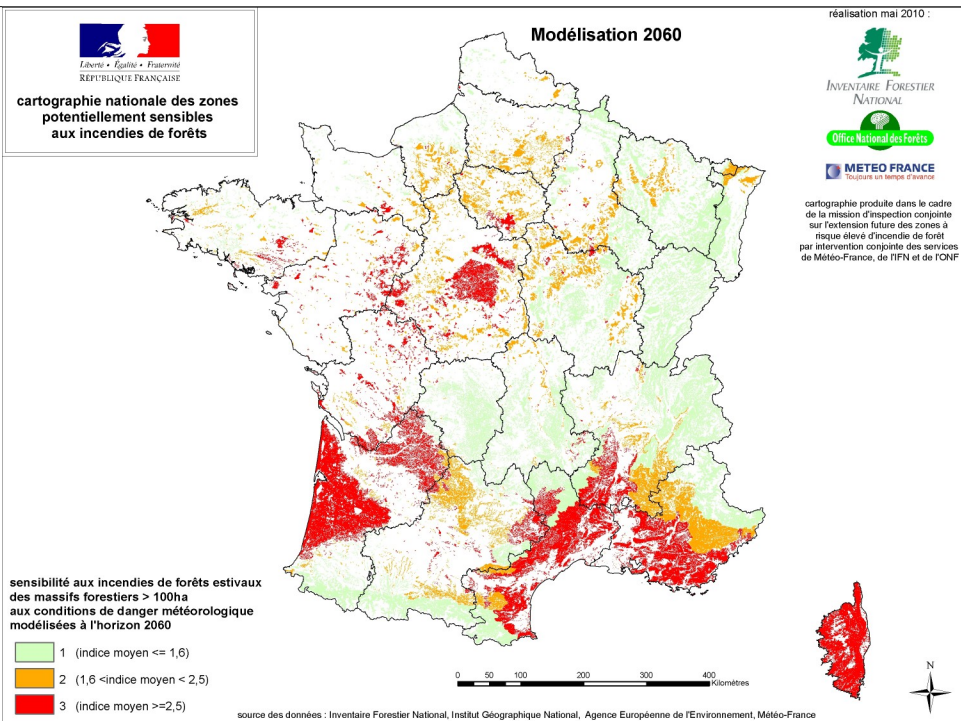
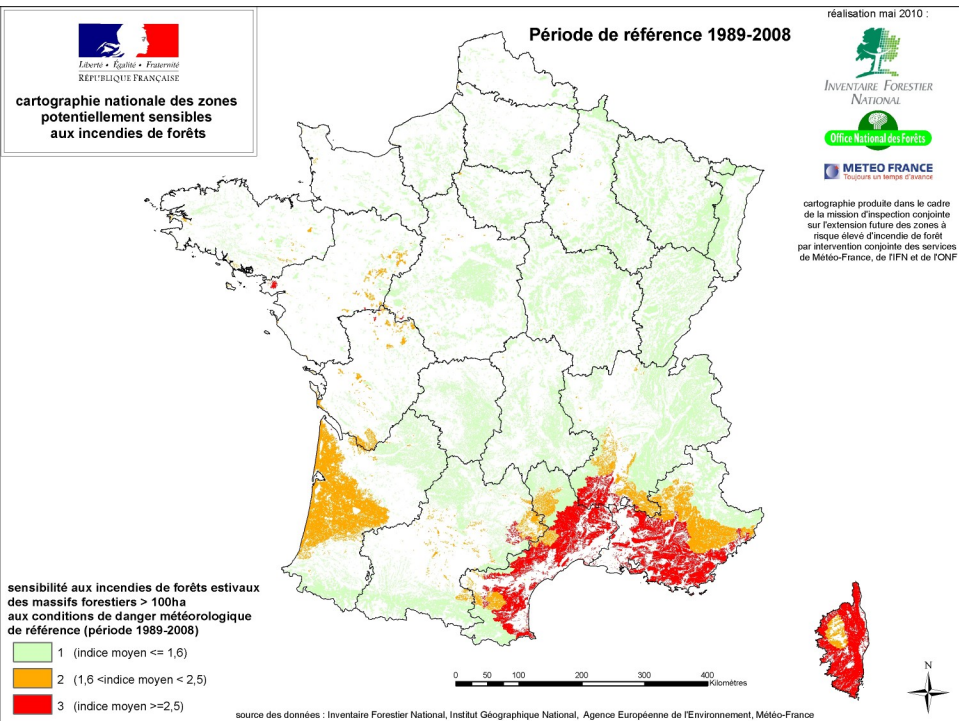


... Les **projections** montrent un accroissement à l'échelle mondiale de la proportion de cyclones tropicaux de catégories **4 et 5**, et des vitesses de vent maximales des plus intenses avec l'accroissement du réchauffement (*confiance élevée*). (GIEC, 2021)

# Sensibilité de la végétation aux incendies de forêt estivaux

climat « actuel »

climat 2060





# Les gelées « tardives » d'avril 2021



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

1<sup>er</sup> avril 2021



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<sup>er</sup> 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



Biscarosse, février 2011



Biscarosse, février 2014



## 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/>)

Biscarosse, février 2011

Biscarosse, février 2014



# Ressources

Office for Climate Education: [oce.global/fr](https://oce.global/fr)

Rapports du GIEC: [ipcc.ch](https://ipcc.ch)

Atlas interactif du GIEC: [interactive-atlas.ipcc.ch](https://interactive-atlas.ipcc.ch)

Rapports du Haut Conseil pour le Climat: [hautconseilclimat.fr](https://hautconseilclimat.fr)

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

Changements climatiques futurs en France: [drias-climat.fr](https://drias-climat.fr)

1<sup>er</sup> cahier régional Occitanie sur les changements climatiques:  
[reco-occitanie.org/crocc\\_2021](https://reco-occitanie.org/crocc_2021)

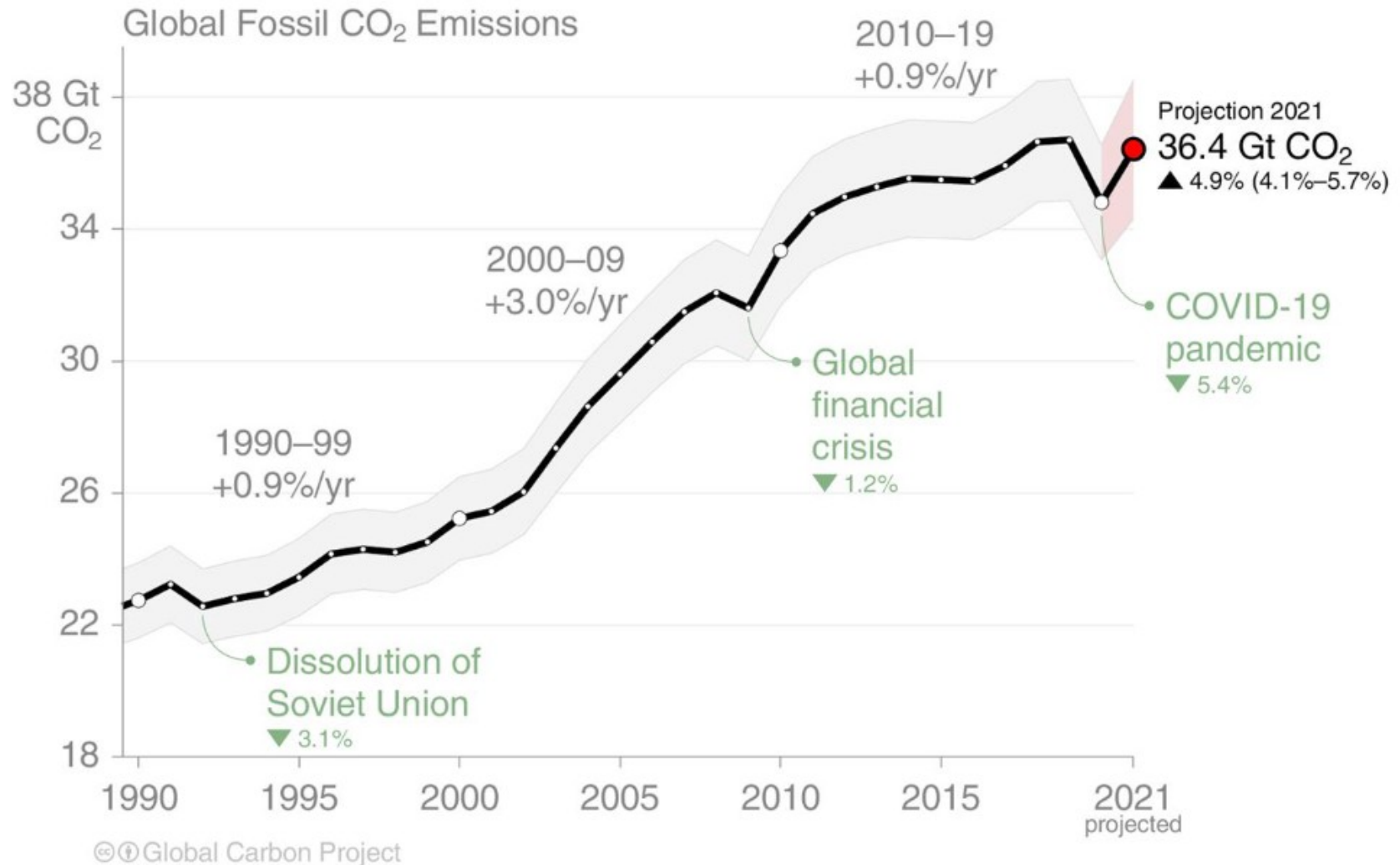
Rapports sur les changements climatiques et l'adaptation en Nouvelle Aquitaine :  
[acclimaterra.fr/rapport-page-menu/](https://acclimaterra.fr/rapport-page-menu/)

Observatoire Pyrénéen du changement climatique : [opcc-ctp.org/fr/contenido/accueil](https://opcc-ctp.org/fr/contenido/accueil)

# Questions ?

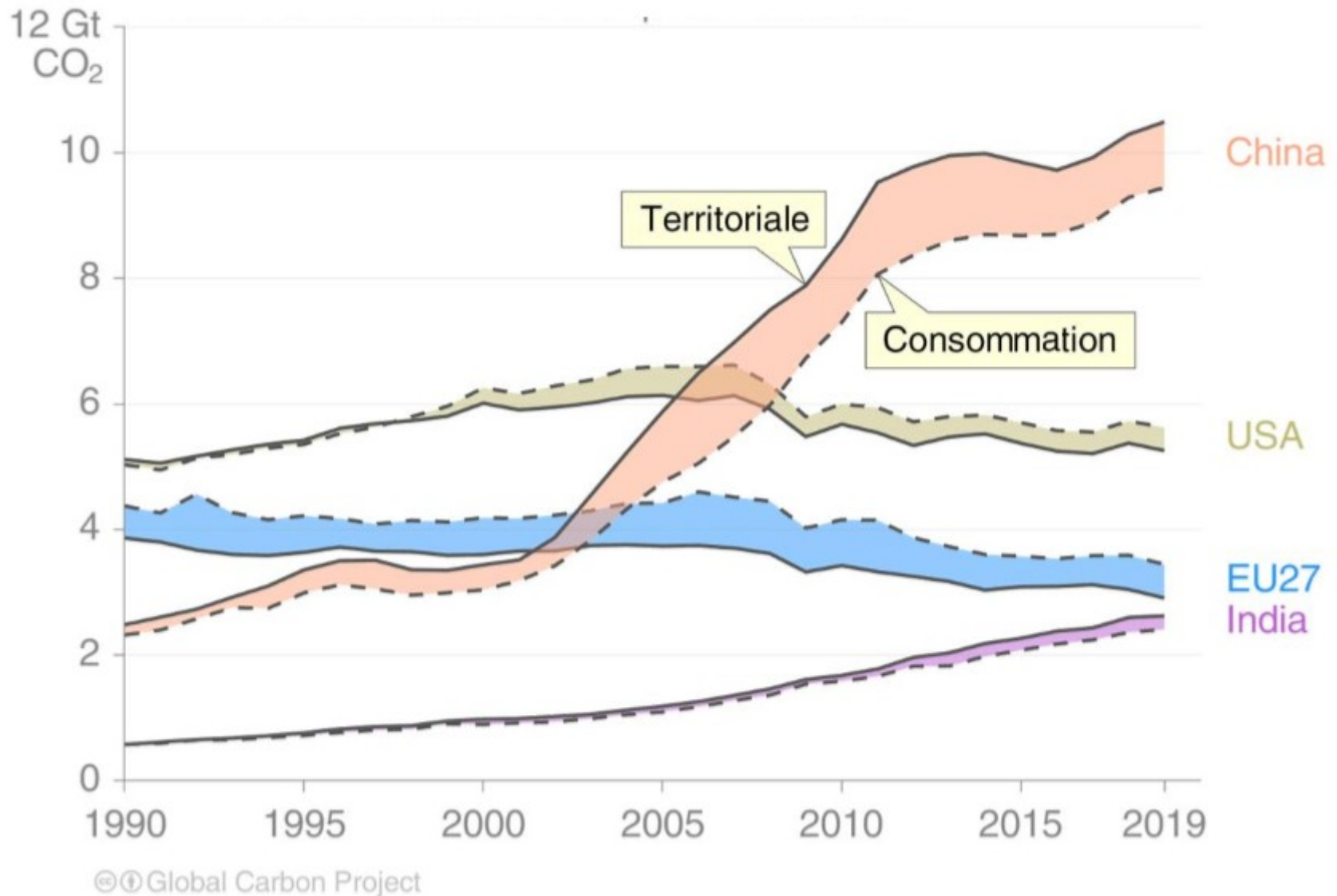
*Webinaire, 22 avril 2022*

# Émissions globales de CO<sub>2</sub> dues aux combustibles fossiles et à la production de ciment



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

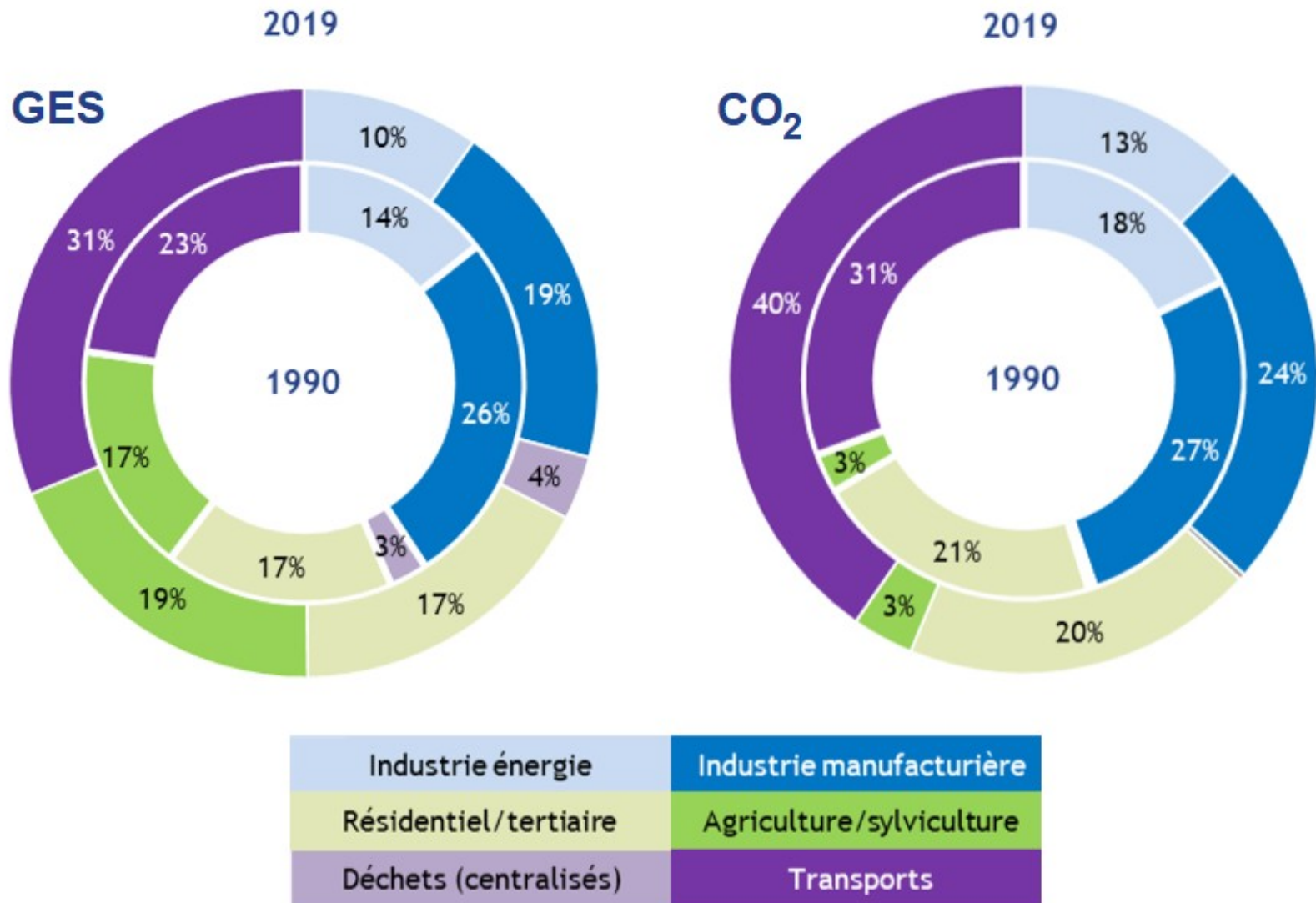
# Émissions territoriales et consommations de CO<sub>2</sub> dues aux



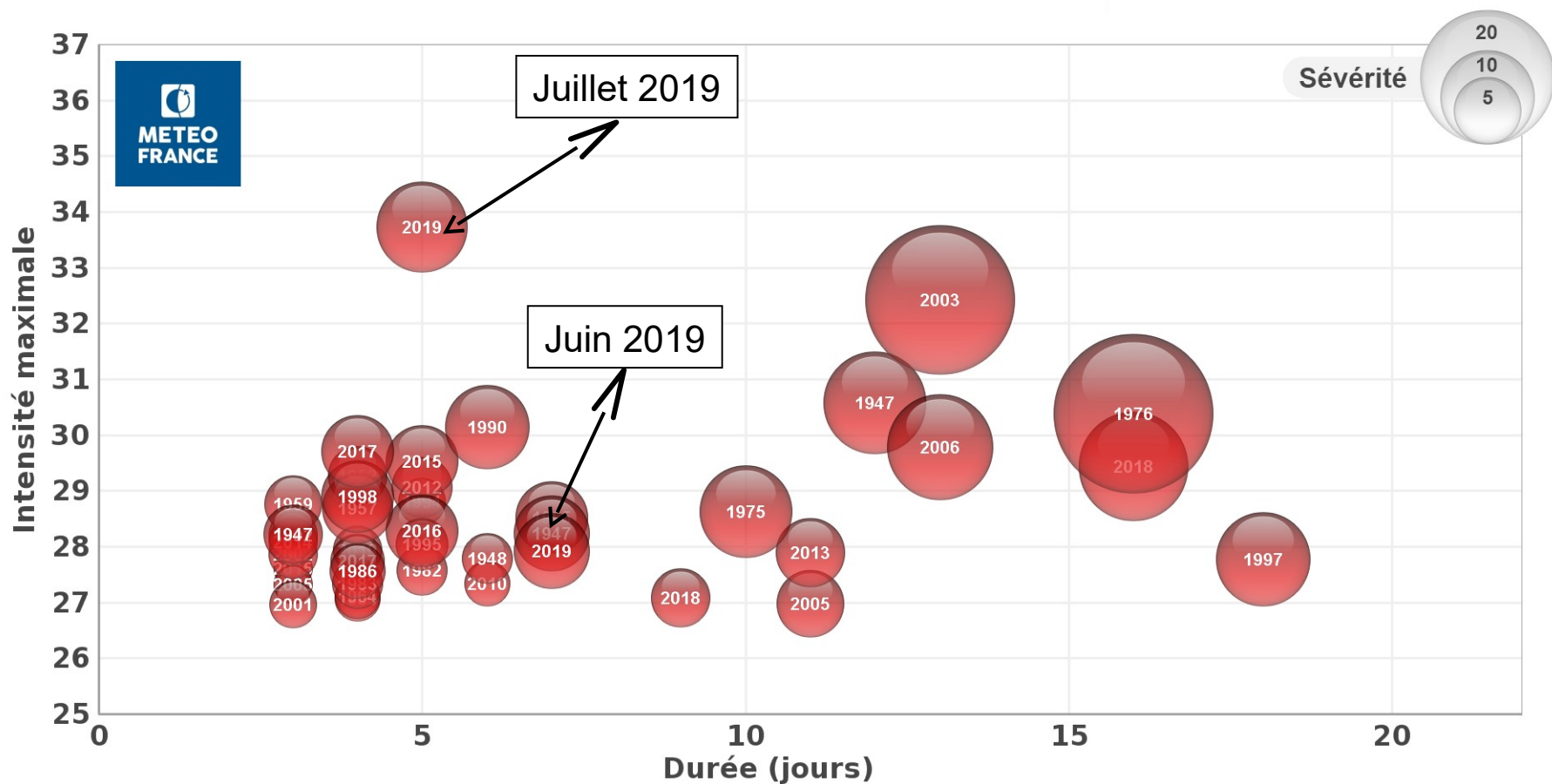
Source: Global Carbon Project 2021 (<https://www.globalcarbonproject.org/>)



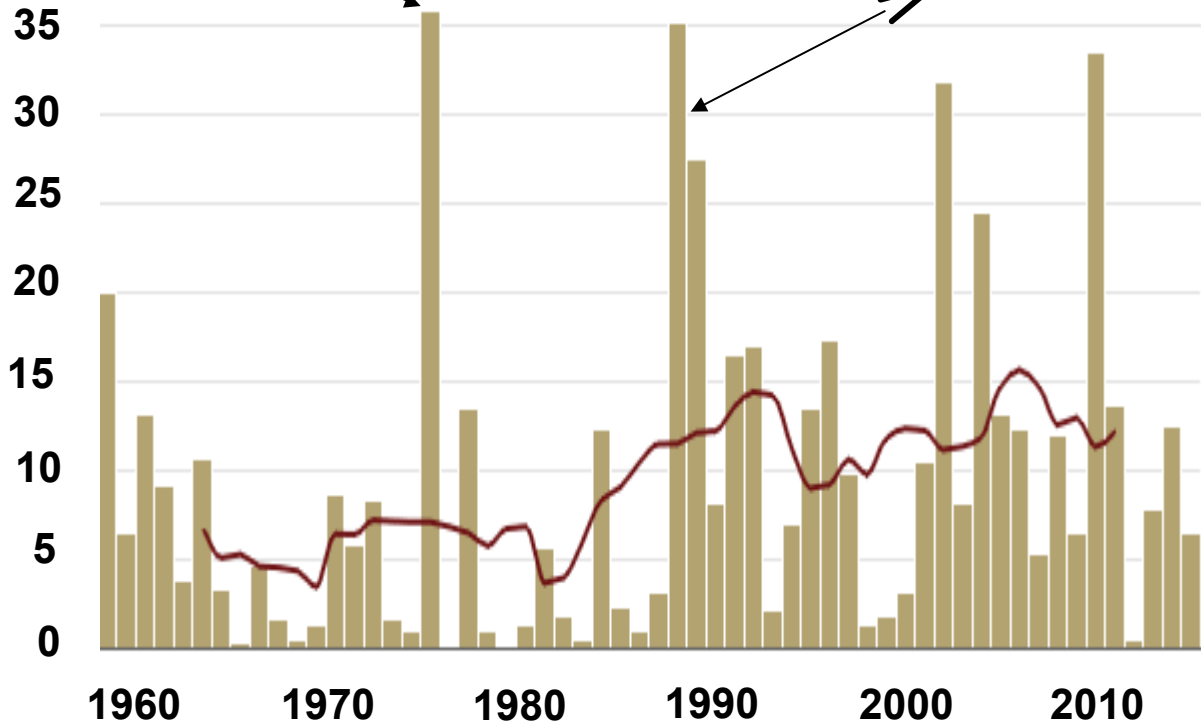
# Émissions par secteur en France



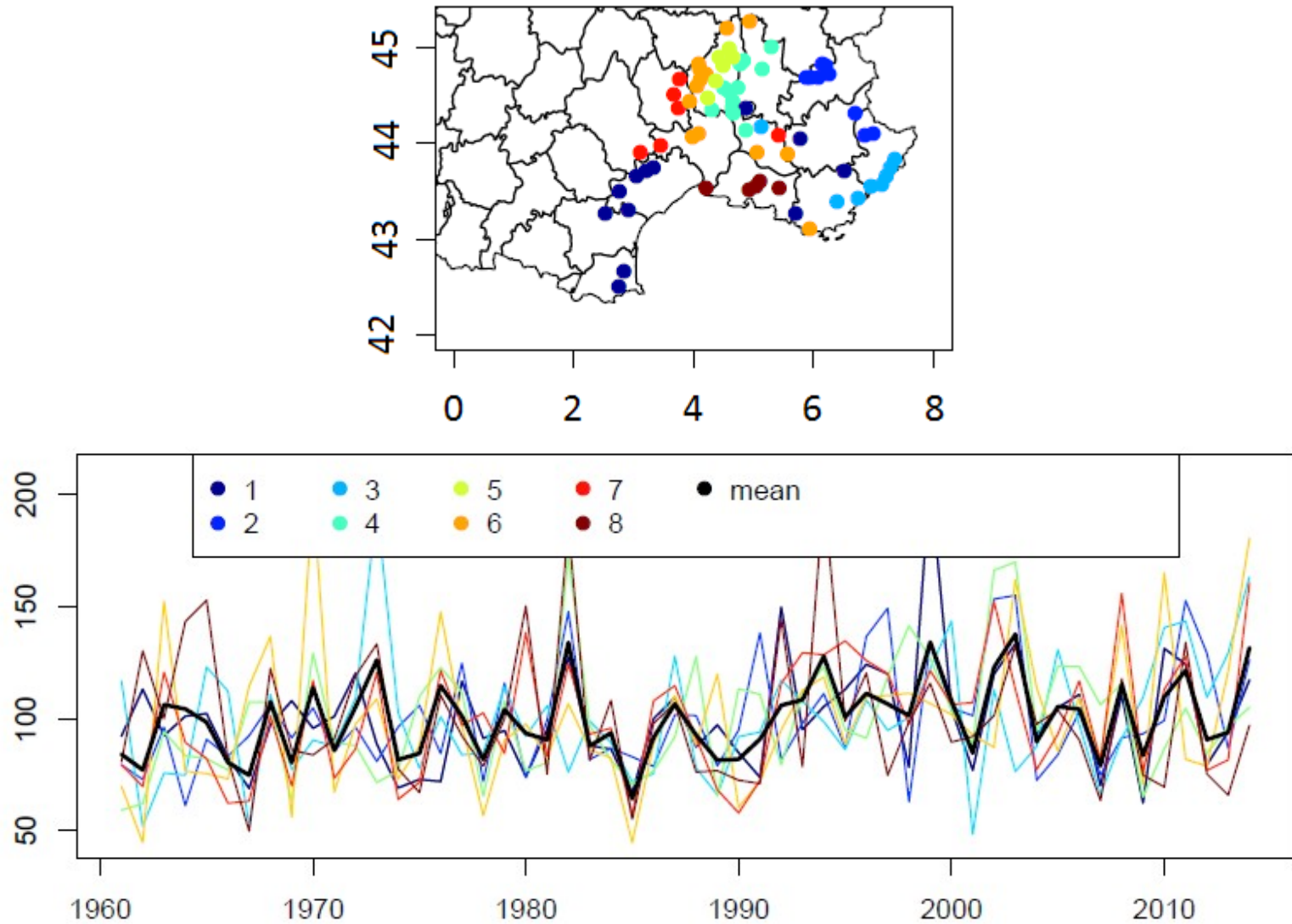
# Vagues de chaleur en Ile-de-France de 1947 à juillet 2019



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

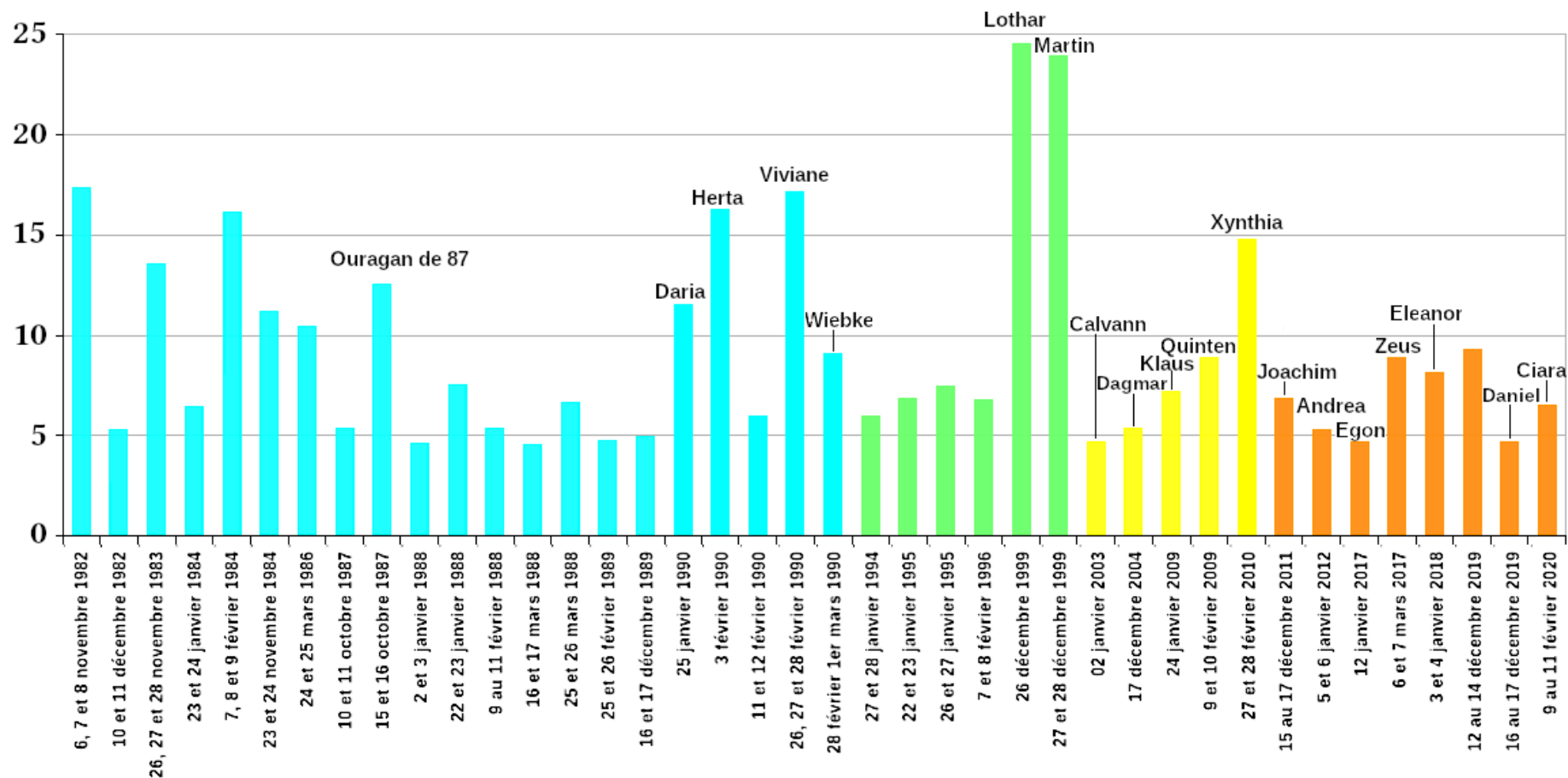


## Maximum annuel des pluies quotidiennes dans le Sud-Est de la France





# Évolution des tempêtes en France métropolitaine



Source: Météo-France, 2020

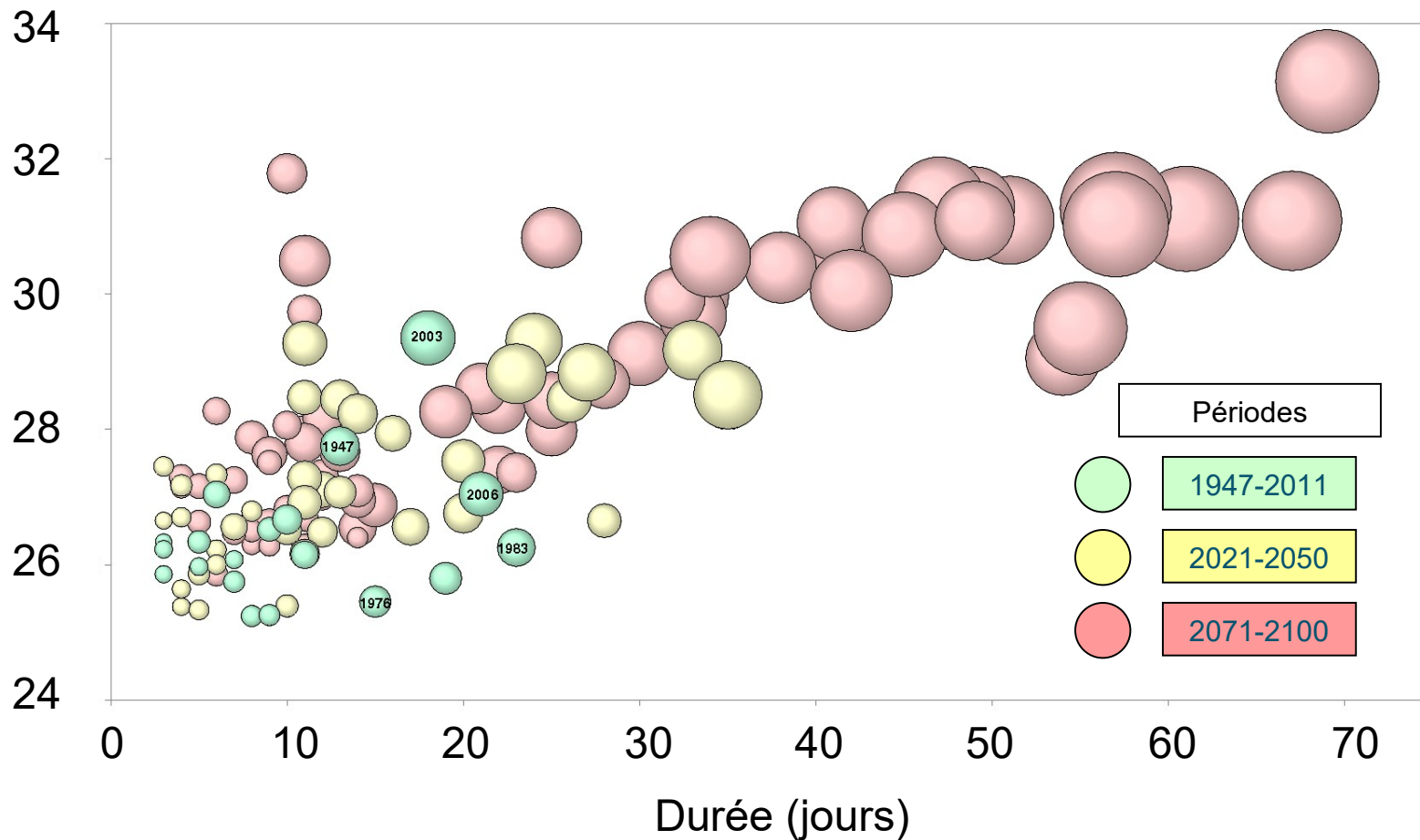
## Les nouveaux scénarios du GIEC

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

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

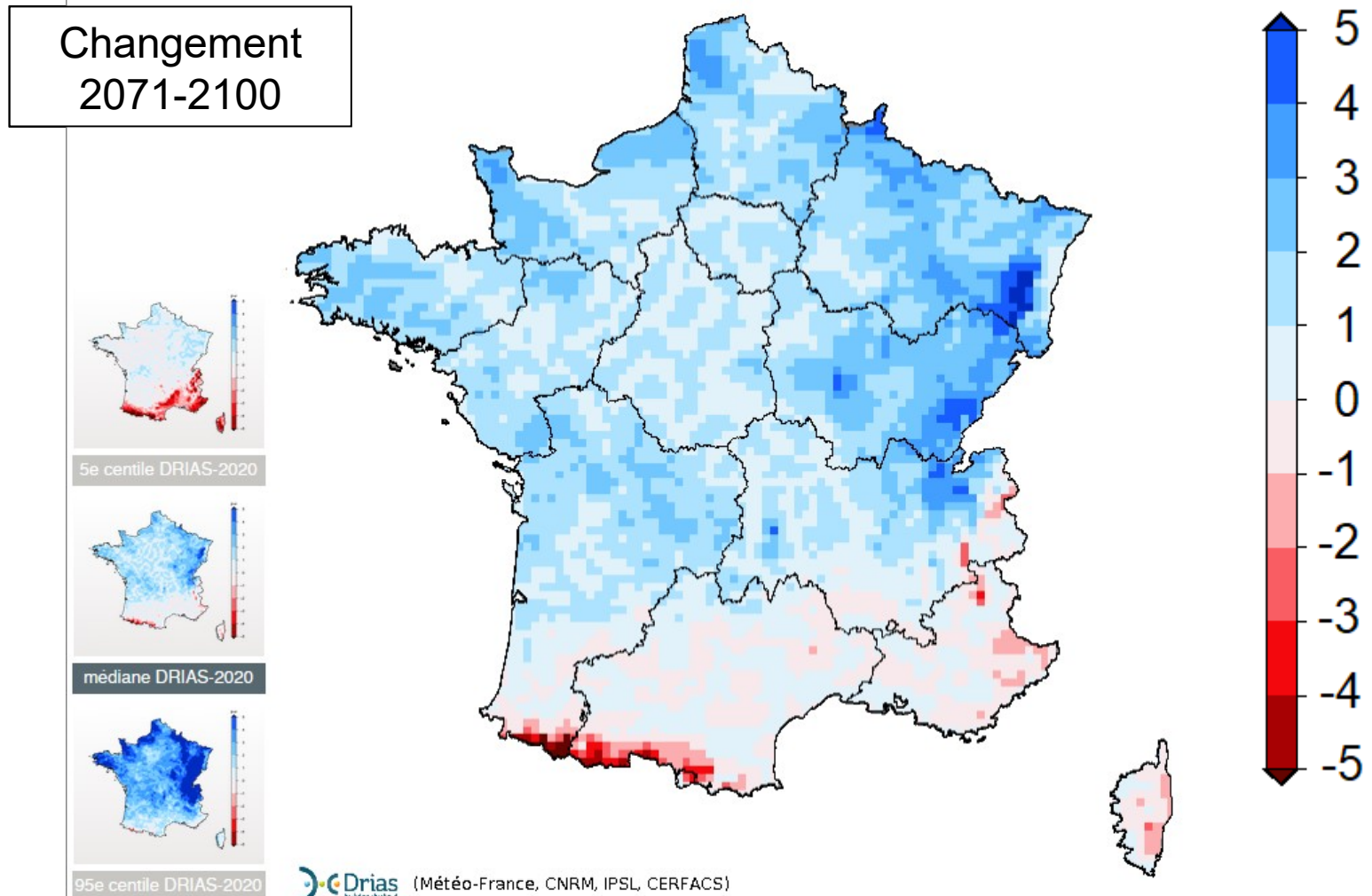
# Vagues de chaleur comparées au climat présent pour un scénario médian

Valeur maximale  
de l'indicateur thermique (°C)



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

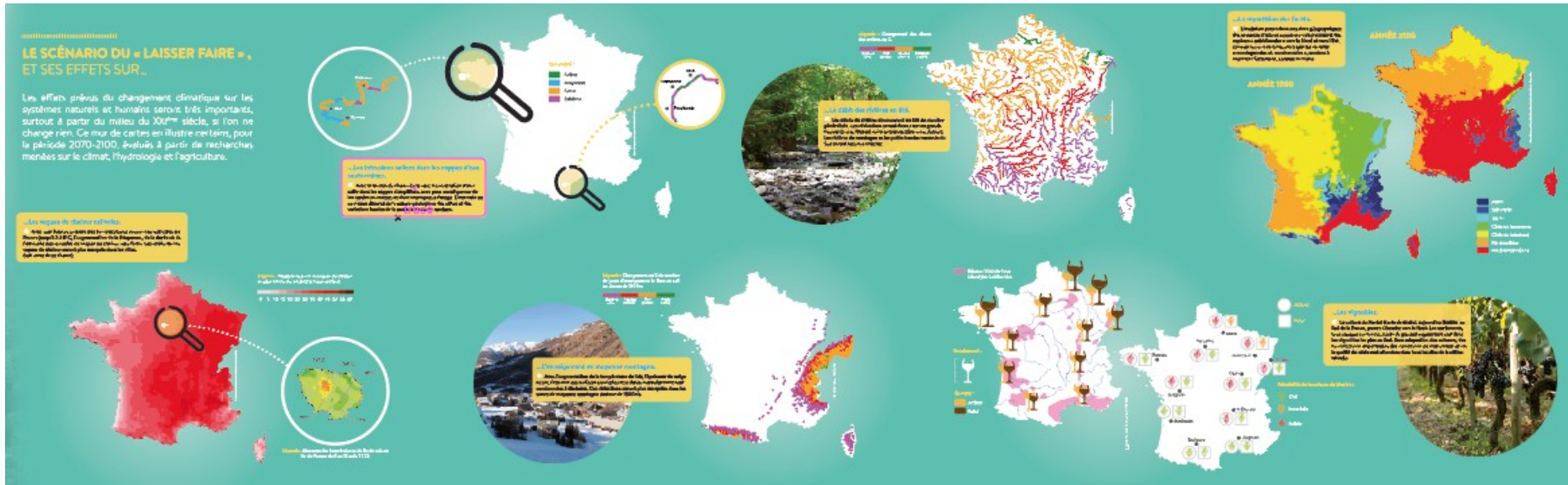
Scénario « laisser-faire » (RCP 8.5) Ensemble modèles Eurocordex



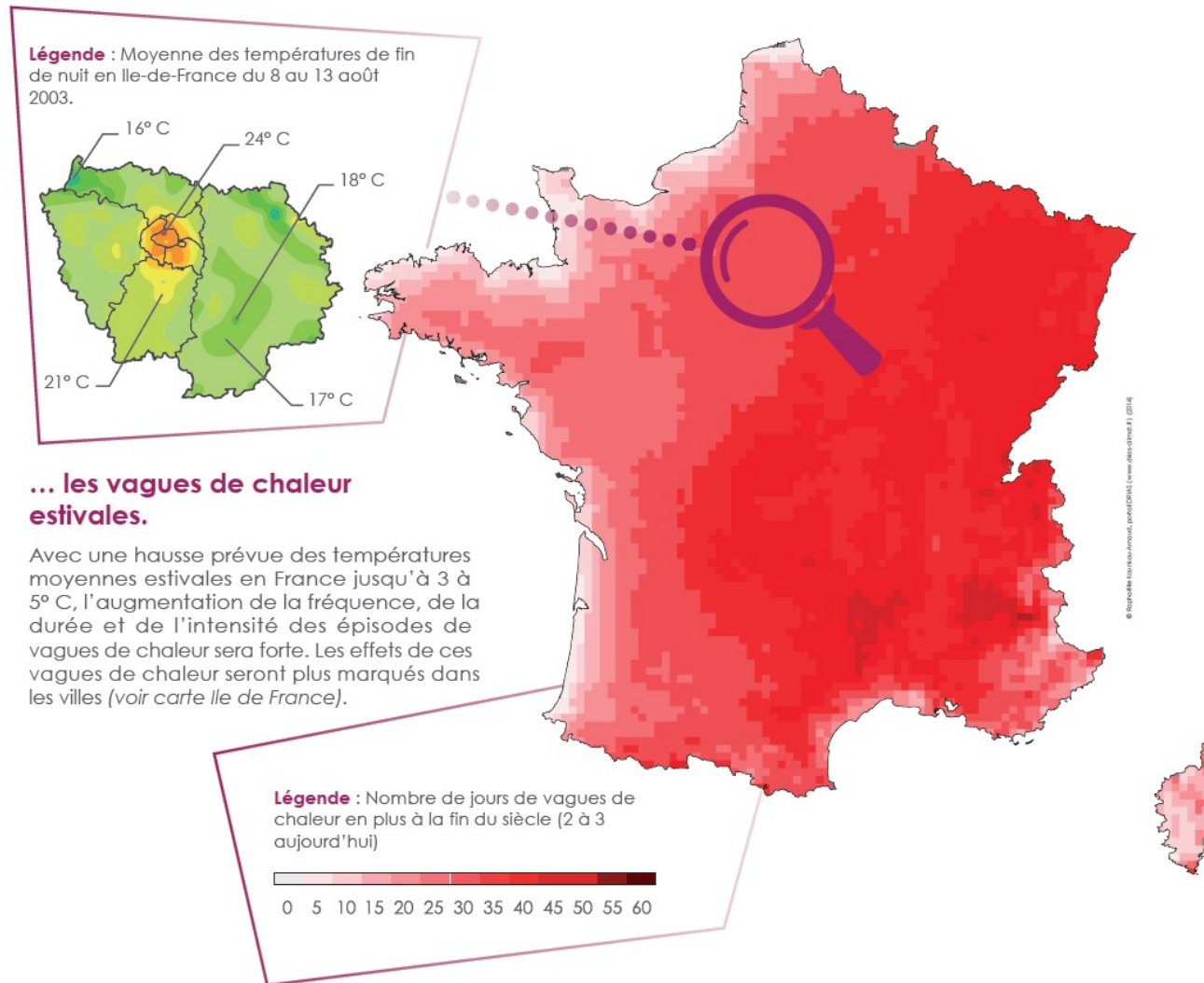
Source: DRIAS, 2020 ([www.drias-climat.fr/decouverte](http://www.drias-climat.fr/decouverte))



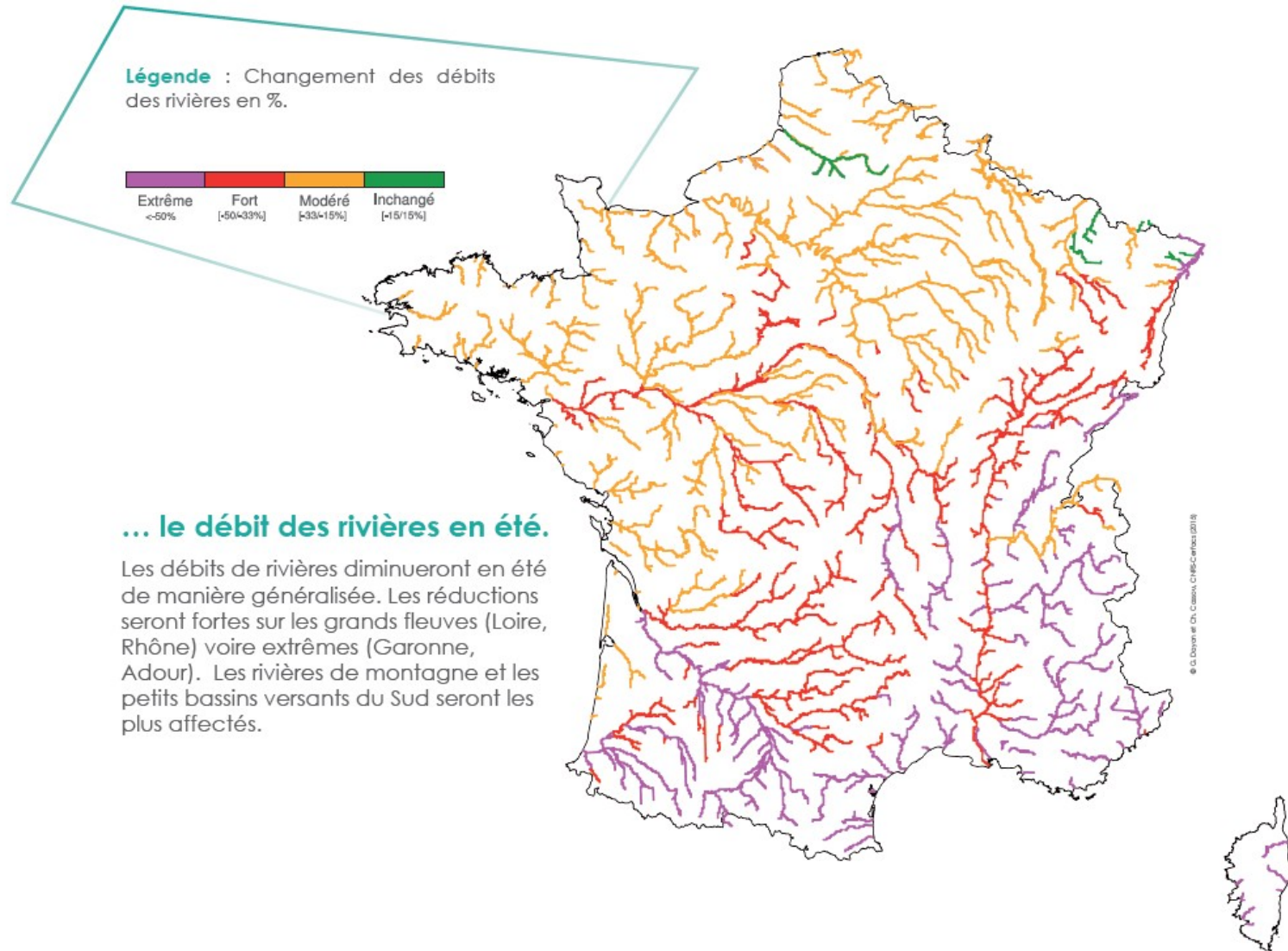
## Impacts en France



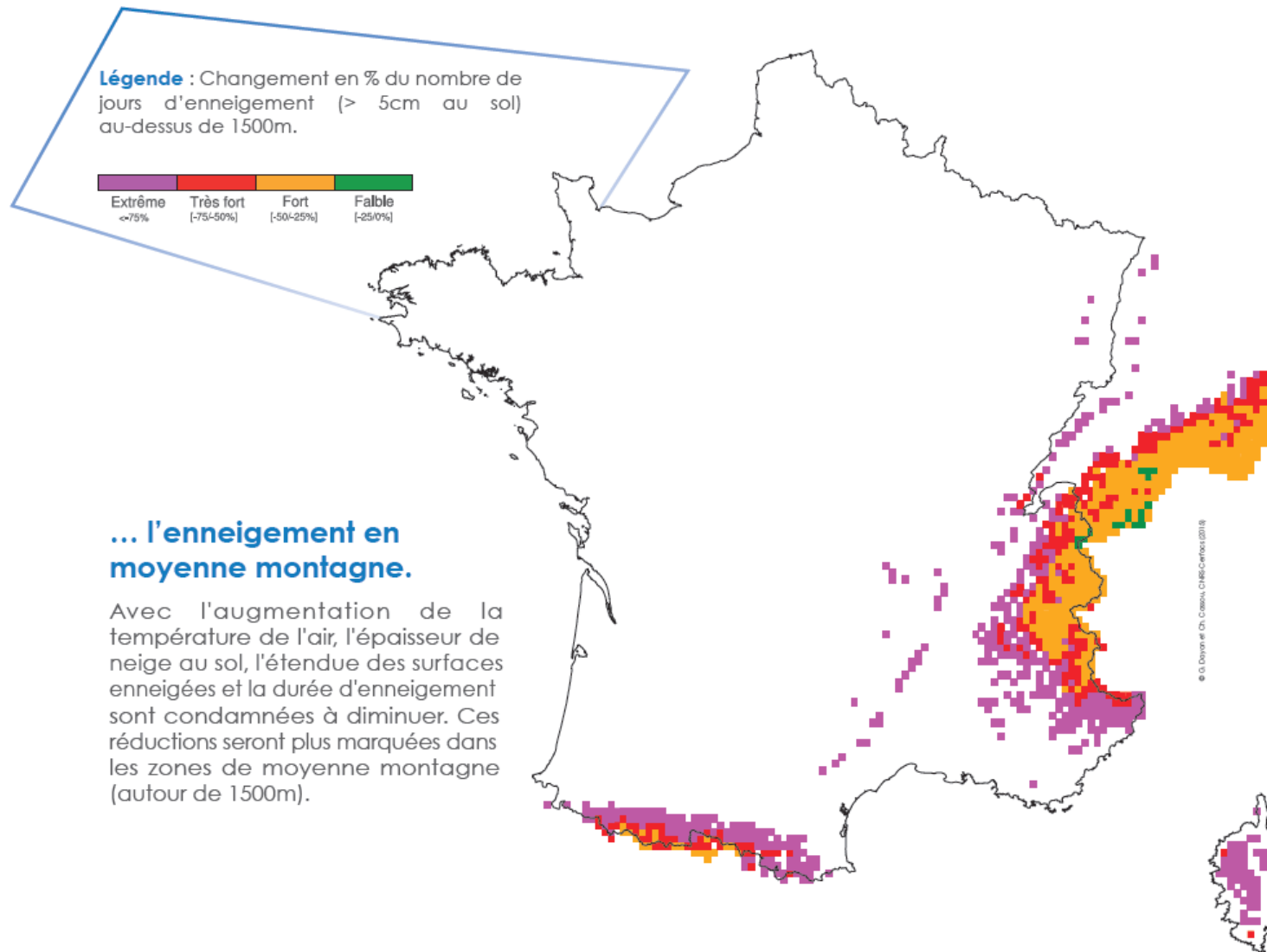
# Nombre de jours de vagues de chaleur en plus à la fin du siècle (2 à 3 aujourd'hui)



# Changement des débits estivaux



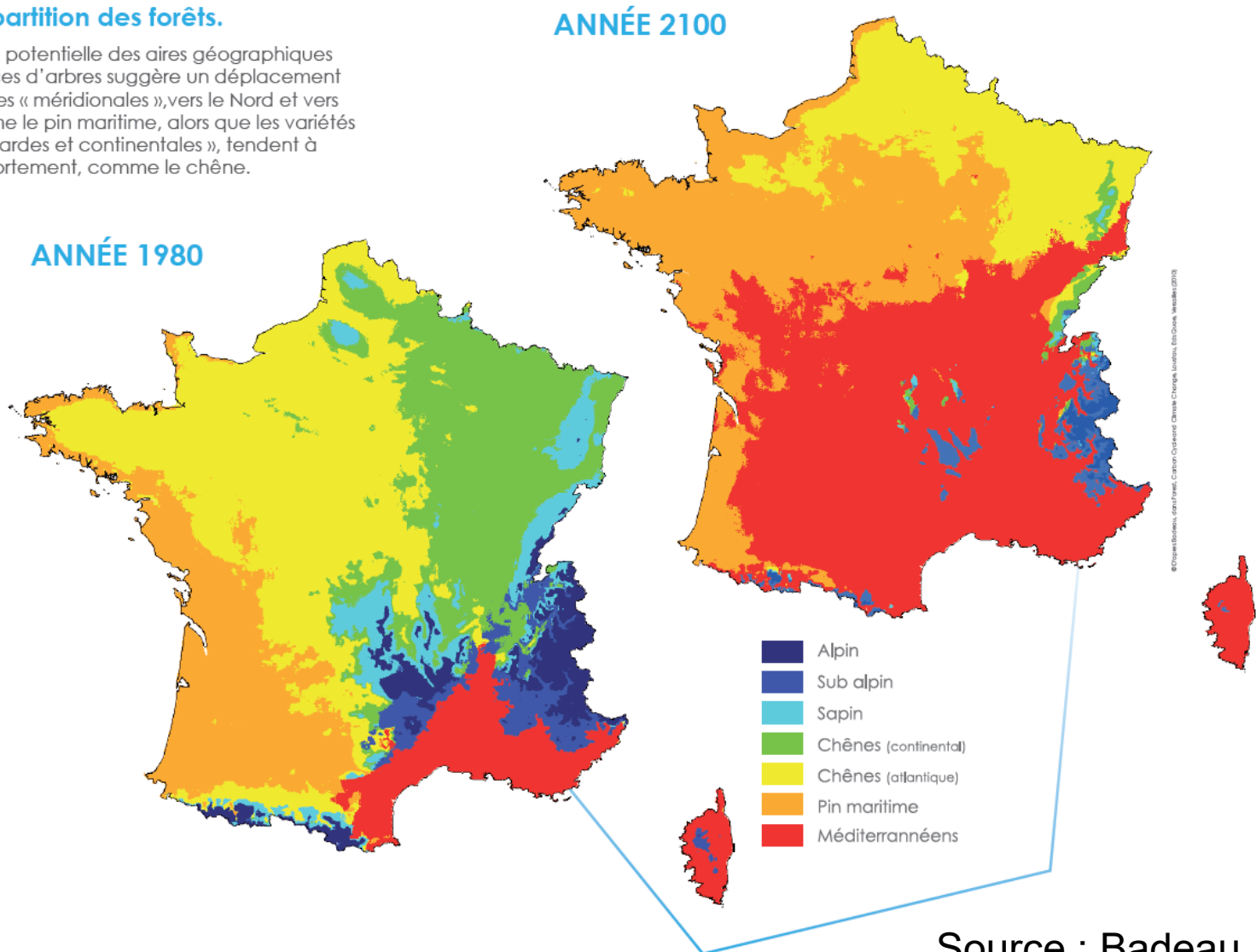
# Changement en % du nombre de jours d'enneigement (> 5cm au sol) au-dessus de 1500m



# 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

Culture du Merlot :

Actuel  
Futur

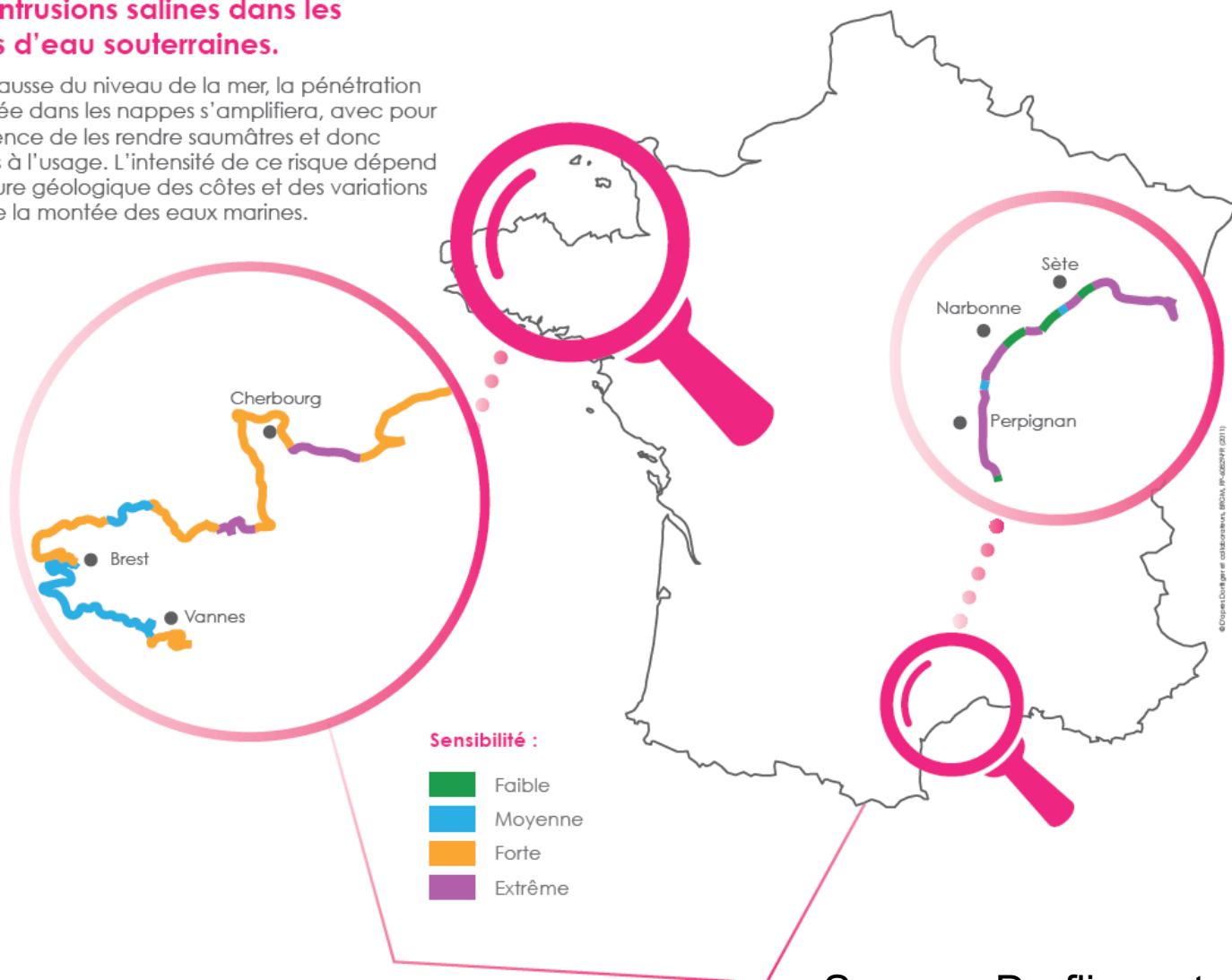
Faisabilité de la culture :

Oui  
Incertain  
Faible

# 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 impropres 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.

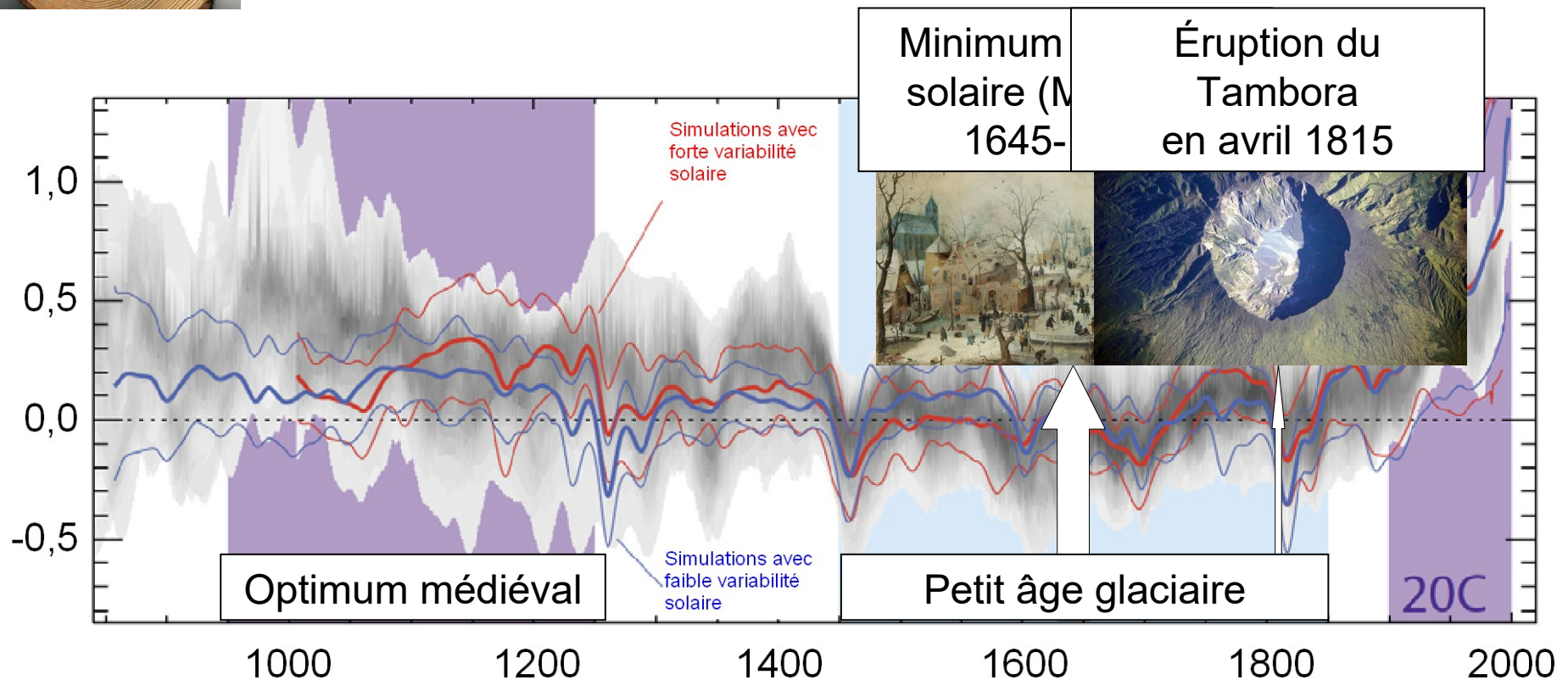


Source : Dorfliger et al., 2011

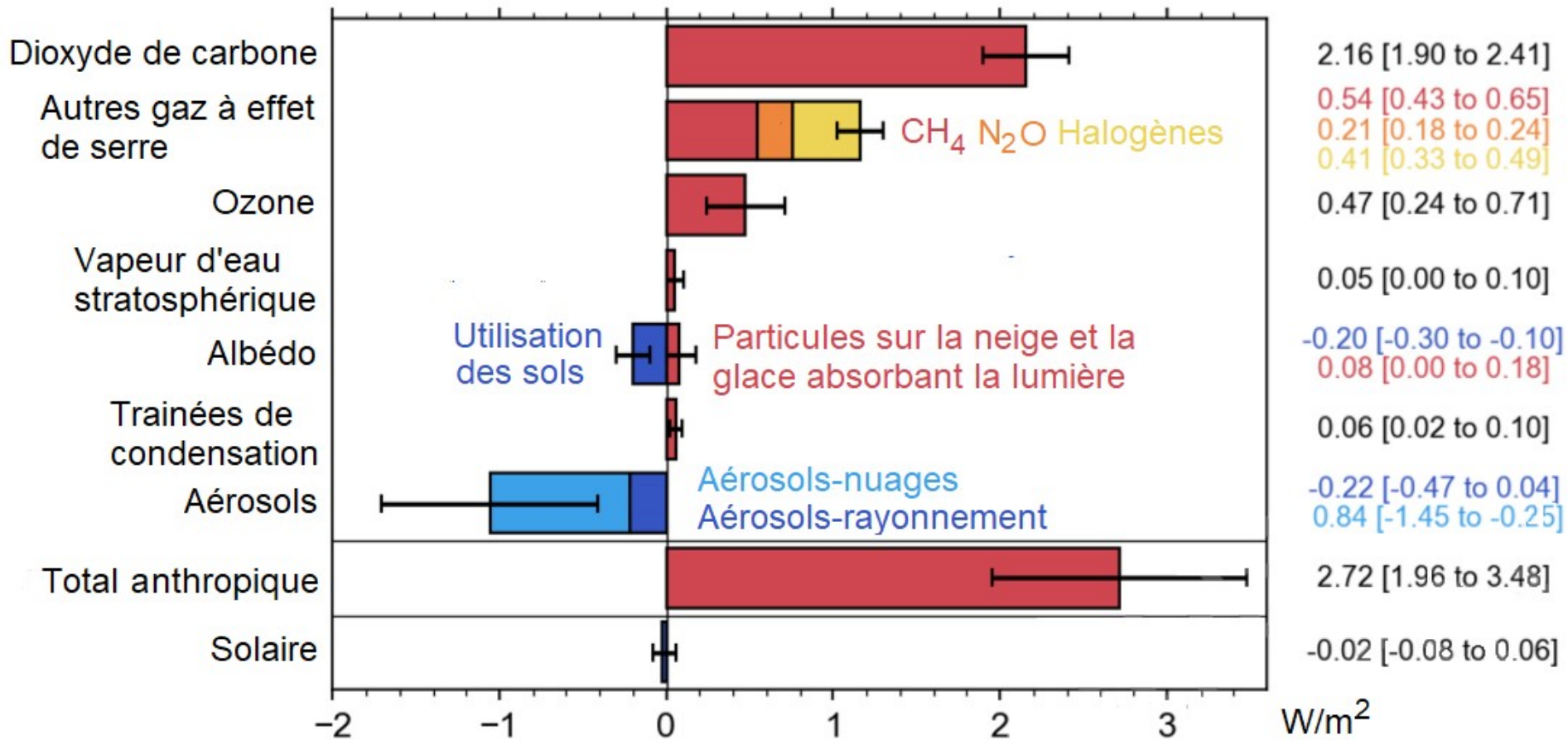
# Les 1400 dernières années



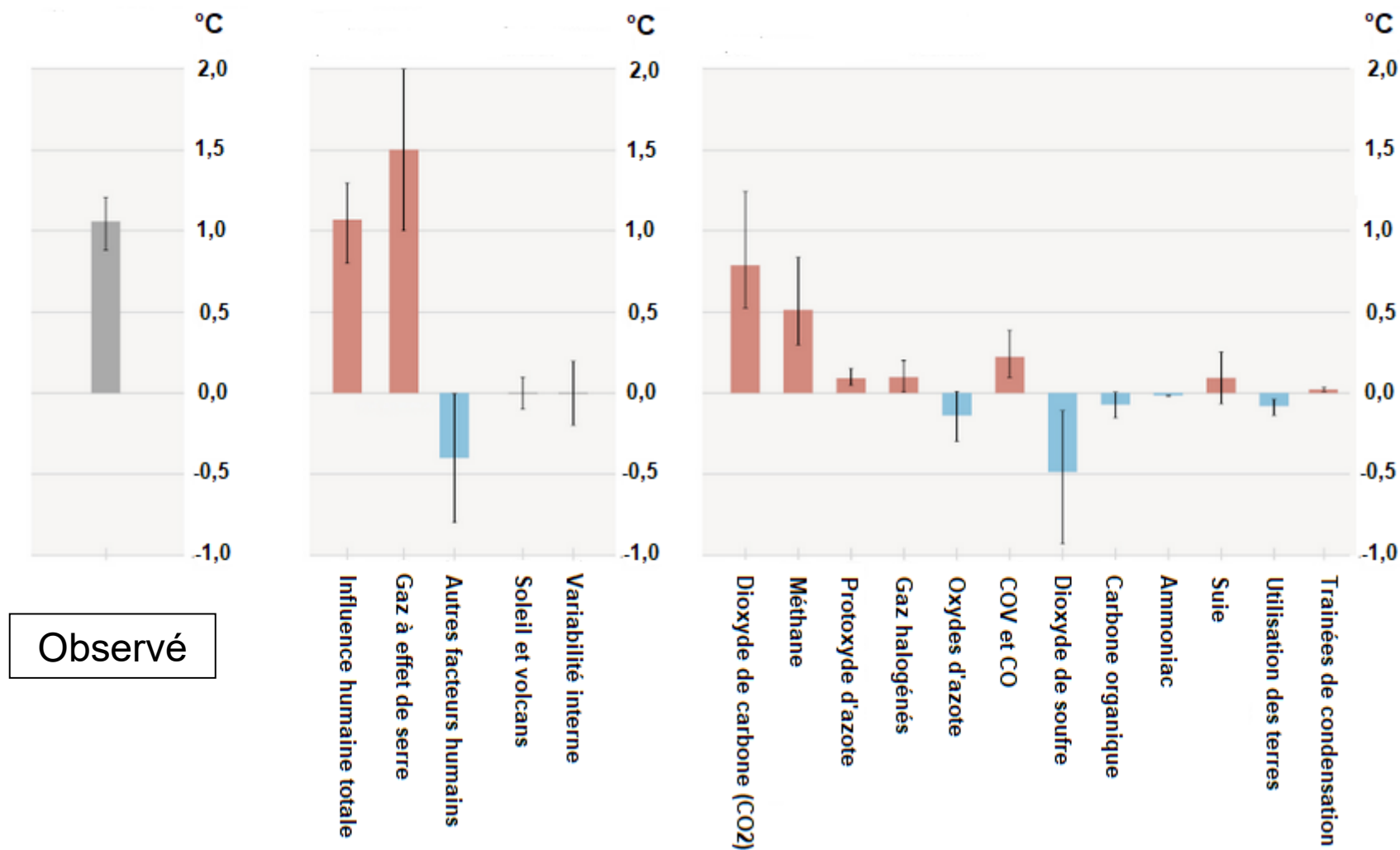
Reconstruction de la température moyenne de l'hémisphère nord: écart à la moyenne 1500-1850



# Forçage radiatif effectif entre 1750 et 2019



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

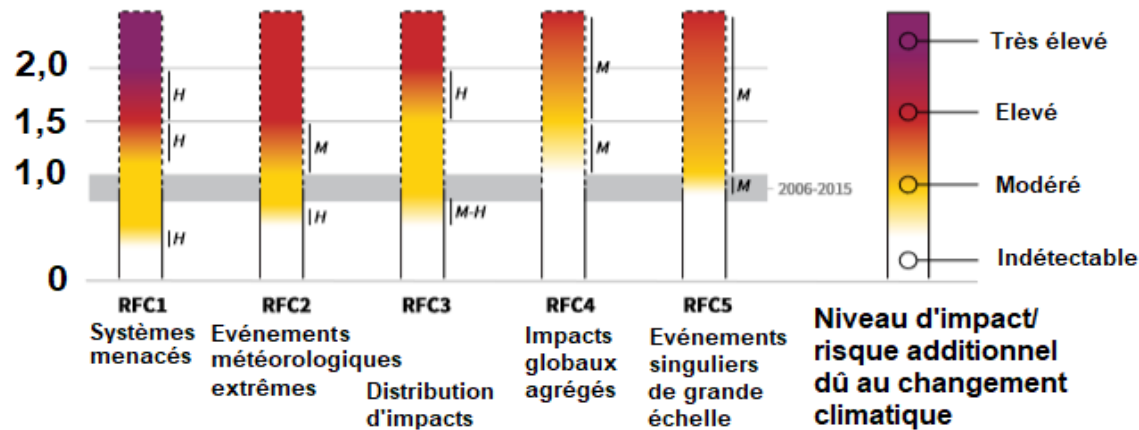


Source : GIEC, 2021

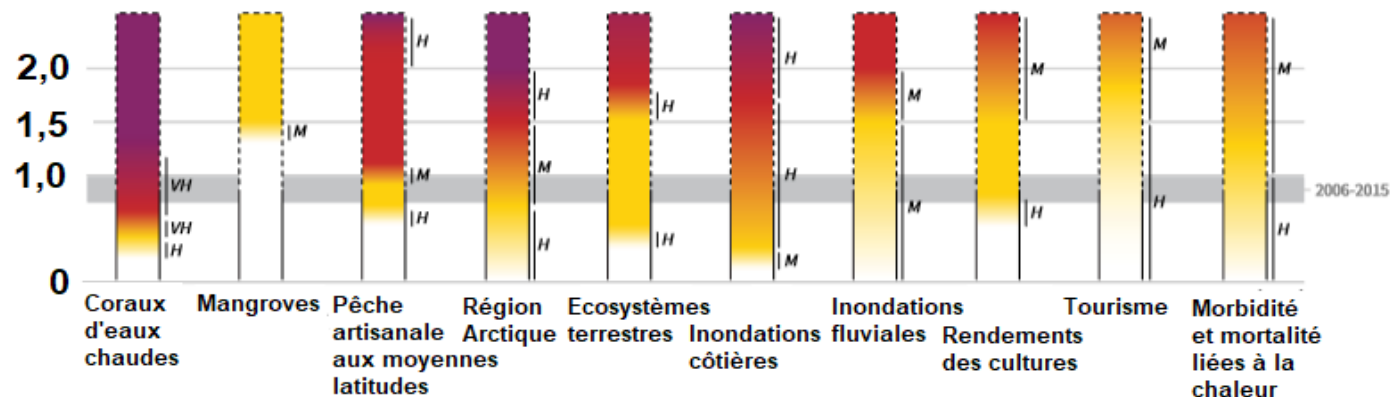


# Impacts du changement climatique : différences selon les niveaux de réchauffement

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 CO<sub>2</sub> 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 GtCO<sub>2</sub>** au cours du XXI<sup>e</sup> siècle.