

Changement climatique et extrêmes de température

Julien Cattiaux

Centre National de Recherches Météorologiques
CNRS / Météo-France | Toulouse

julien.cattiaux@meteo.fr

PlantAlliance | Avril 2022

Introduction

Le **climat** est l'ensemble des **météos** possibles en un lieu et un instant donnés.

On définit les **normales** climatiques comme les moyennes statistiques de T, P, V etc.

Les écarts aux normales constituent la **variabilité** météo et les **événements extrêmes**.

Introduction

Le **climat** est l'ensemble des **météos** possibles en un lieu et un instant donnés.

On définit les **normales** climatiques comme les moyennes statistiques de T, P, V etc.

Les écarts aux normales constituent la **variabilité** météo et les **événements extrêmes**.

—

Le climat de la Terre résulte du **bilan d'énergie** entre flux solaire entrant et infra-rouge sortant.

Sans atmosphère il ferait -18 °C en moyenne sur Terre \rightarrow c'est l'**effet de serre**, dû à la présence de certains gaz minoritaires (GES).

On sait **observer** et **modéliser** le climat.

Bilan d'énergie depuis 1750

Le bilan d'énergie est perturbé par :

- l'activité solaire ;

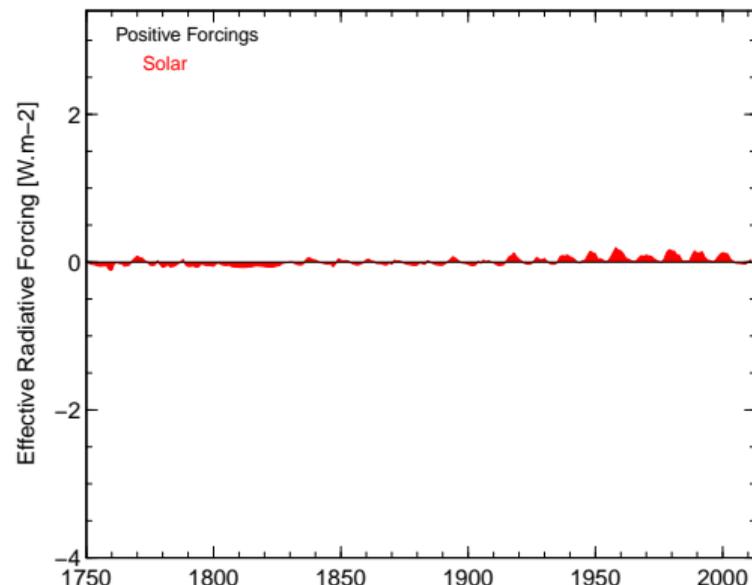


Fig. Évolution récente des forçages radiatifs en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$.
Adapté de l'IPCC AR5 (2013) Figure 8.18.

Bilan d'énergie depuis 1750

Le bilan d'énergie est perturbé par :

- l'activité solaire ;
- les concentrations de GES ;

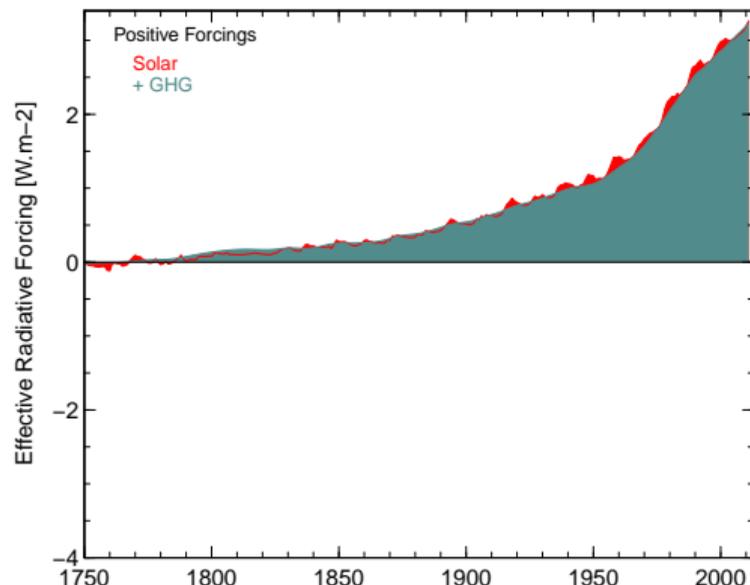


Fig. Évolution récente des forçages radiatifs en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$.
Adapté de l'IPCC AR5 (2013) Figure 8.18.

Bilan d'énergie depuis 1750

Le bilan d'énergie est perturbé par :

- l'activité solaire ;
- les concentrations de GES ;
- les aérosols naturels (e.g. volcans) ;

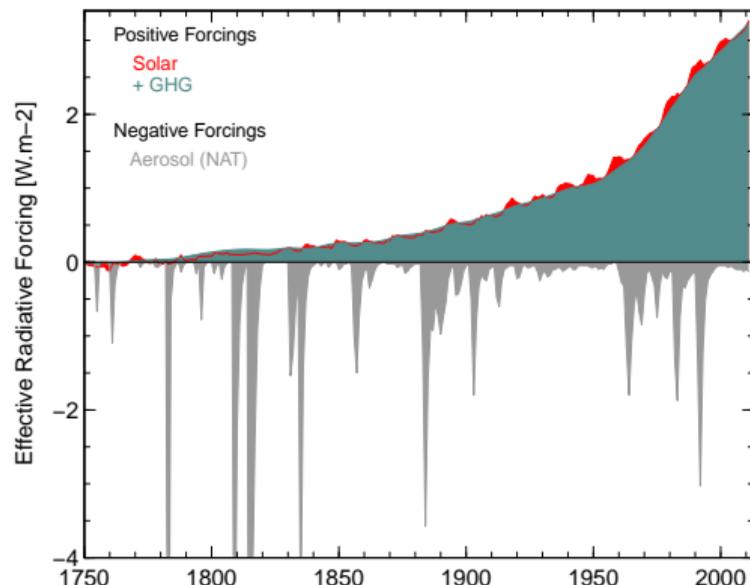


Fig. Évolution récente des forçages radiatifs en $W.m^{-2}$.
Adapté de l'IPCC AR5 (2013) Figure 8.18.

Bilan d'énergie depuis 1750

Le bilan d'énergie est perturbé par :

- l'activité solaire ;
- les concentrations de GES ;
- les aérosols naturels (e.g. volcans) ;
- les aérosols anthropiques (pollution) ;

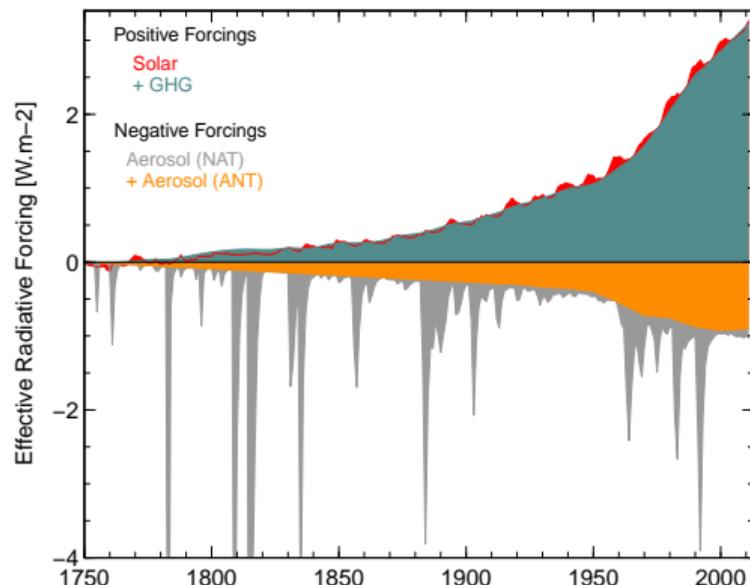


Fig. Évolution récente des forçages radiatifs en $W.m^{-2}$.
Adapté de l'IPCC AR5 (2013) Figure 8.18.

Bilan d'énergie depuis 1750

Le bilan d'énergie est perturbé par :

- l'activité solaire ;
- les concentrations de GES ;
- les aérosols naturels (e.g. volcans) ;
- les aérosols anthropiques (pollution) ;
- l'utilisation des sols ;

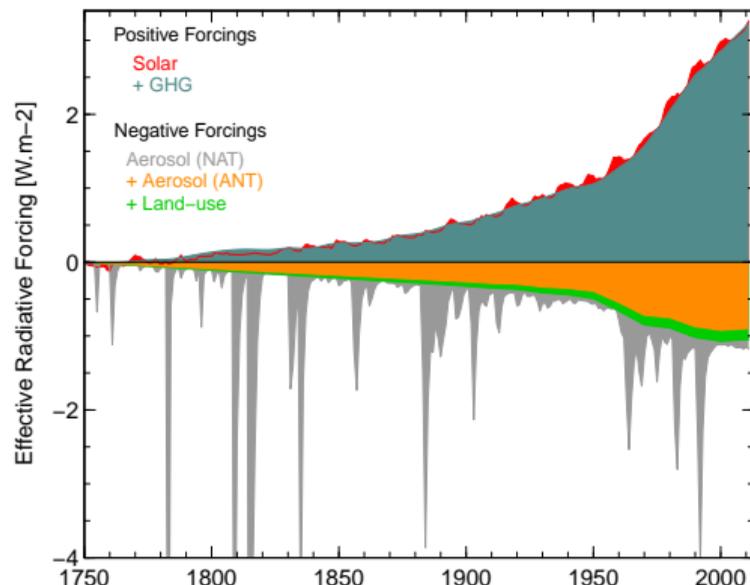


Fig. Évolution récente des forçages radiatifs en $W.m^{-2}$.
Adapté de l'IPCC AR5 (2013) Figure 8.18.

Bilan d'énergie depuis 1750

Le bilan d'énergie est perturbé par :

- l'activité solaire ;
- les concentrations de GES ;
- les aérosols naturels (e.g. volcans) ;
- les aérosols anthropiques (pollution) ;
- l'utilisation des sols ;
- etc.

En 2020, la somme des perturbations vaut $2.7 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.
Cet excès d'énergie est dû aux **activités humaines**.

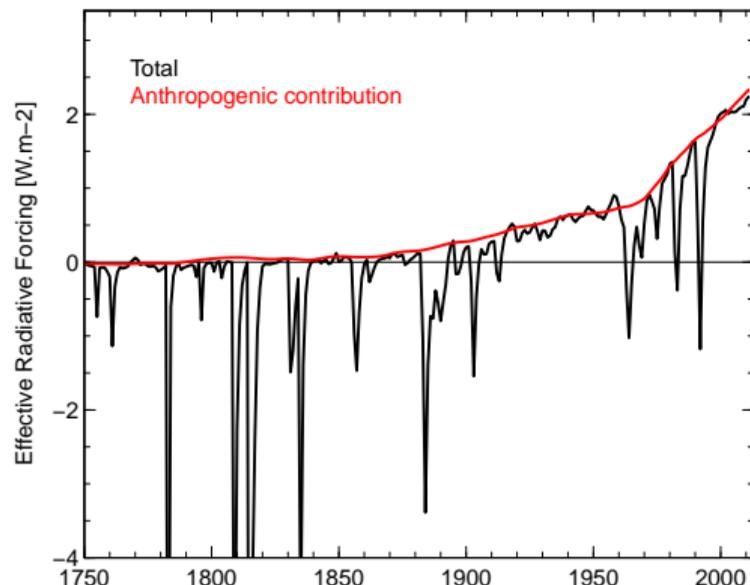


Fig. Évolution récente des forçages radiatifs en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$.
Adapté de l'IPCC AR5 (2013) Figure 8.18.

Conséquence : un réchauffement global

Entre 1850 et 2020, on estime $\Delta T_s = 1.2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Ce réchauffement de long-terme se superpose à la variabilité naturelle.

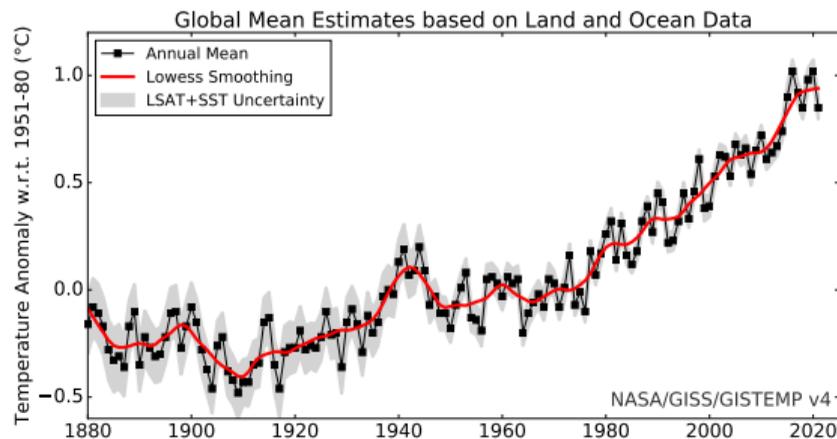


Fig. Évolution récente de la température globale de surface (T_s).
Source : [NASA GISS](#).

Conséquence : un réchauffement global

Entre 1850 et 2020, on estime $\Delta T_s = 1.2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Ce réchauffement de long-terme se superpose à la variabilité naturelle.

Avec les modèles de climat, on peut rejouer le climat de l'ère industrielle **sans** et **avec** les perturbations anthropiques.

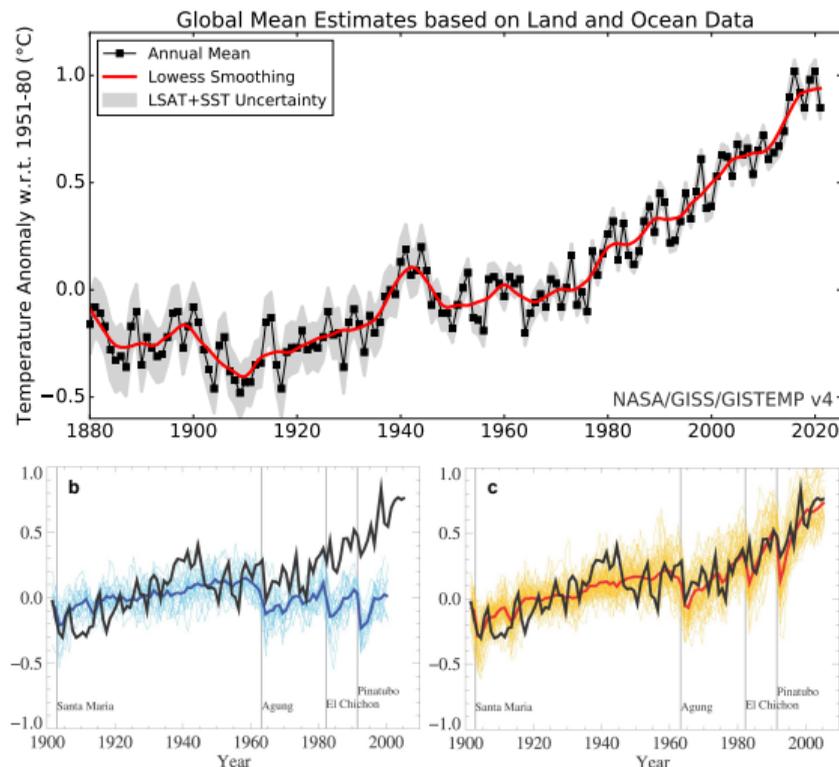


Fig. Évolution récente de la température globale de surface (T_s).
Source : NASA GISS et IPCC AR4 (2007) Figure 9.5.

Le monde d'après

Les projections climatiques futures reposent sur des scénarii socio-économiques.

La composition de l'atmosphère dépend des émissions liées aux activités humaines.

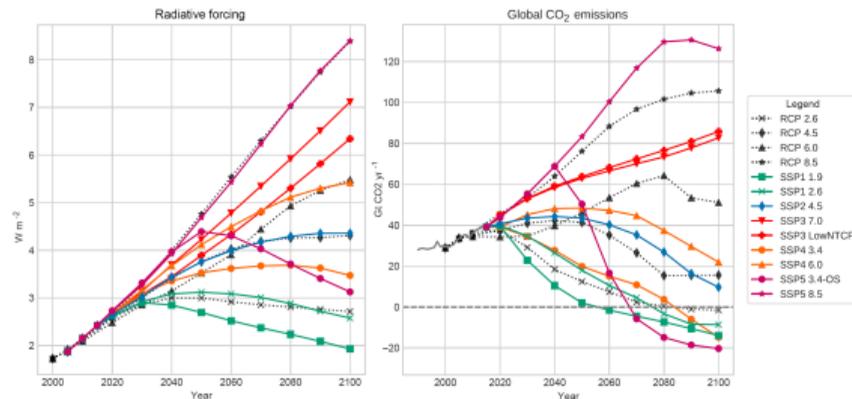


Fig. Scénarios climatiques futurs : forçages et émissions.
Source : Gidden et al. (2019).

Le monde d'après

Les projections climatiques futures reposent sur des scénarii socio-économiques.

La composition de l'atmosphère dépend des émissions liées aux activités humaines.

Selon le scénario, on estime un ΔT_s de 1.5 à 5 °C entre 1850 et 2100.

À scénario donné, incertitude due à la modélisation et à la variabilité interne.

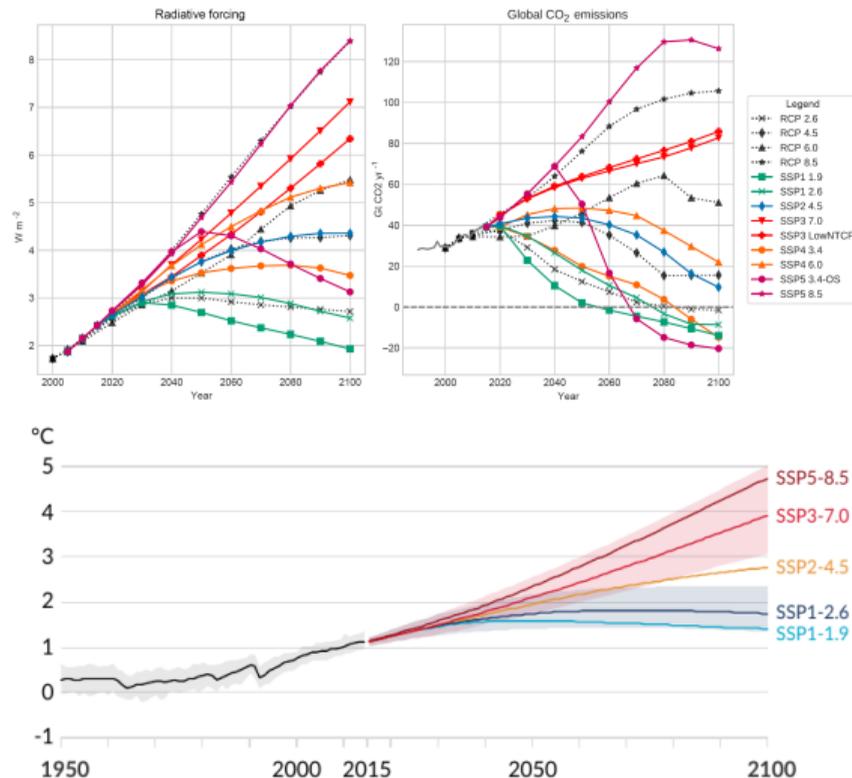


Fig. Scénarios climatiques futurs : forçages, émissions et T_s .
Source : Gidden et al. (2019) et IPCC AR6 (2021) SPM.

Géographie du changement climatique

T : Réchauffement généralisé, et plus fort sur continents et aux hautes latitudes.

P : Intensification du cycle hydrologique actuel, i.e. ↗ des contrastes régionaux / saisonniers.

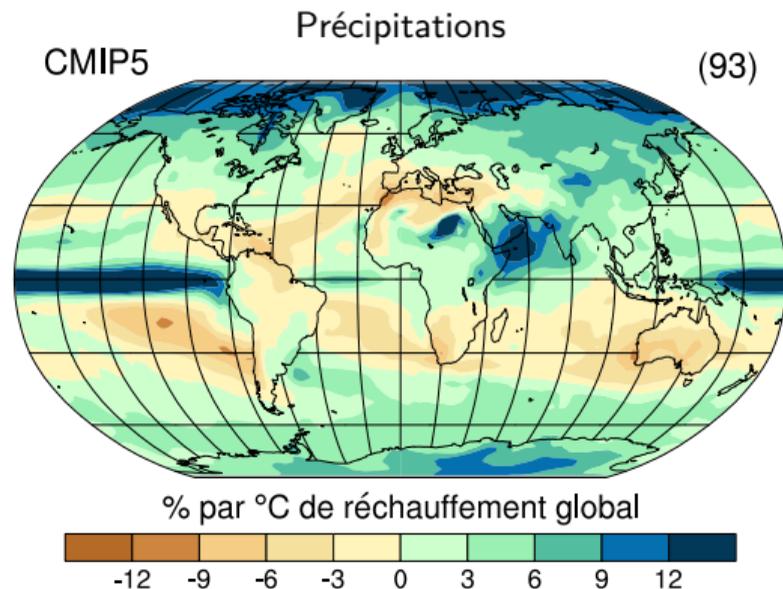
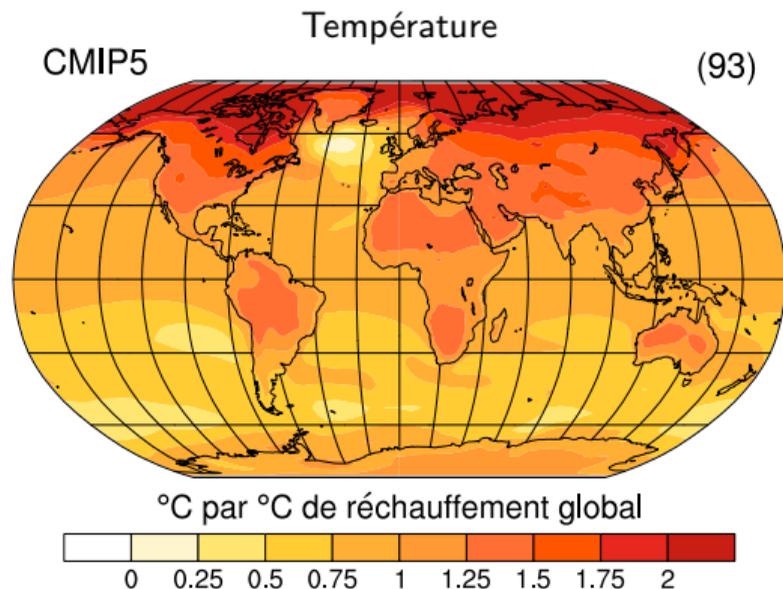


Fig. Patterns des changements de T et P. Source : Boucher et al., *La Météorologie Spécial Climat* (2015).
Voir aussi : l'Atlas Interactif IPCC 2021.

En France

T : Récht environ $1.5\times$ plus fort qu'en global, et plus fort en été. 2020 : 1.8°C. 2100 : 2 à 7°C.

P : Augmentation en hiver et/ou au Nord, diminution en été et/ou au Sud.

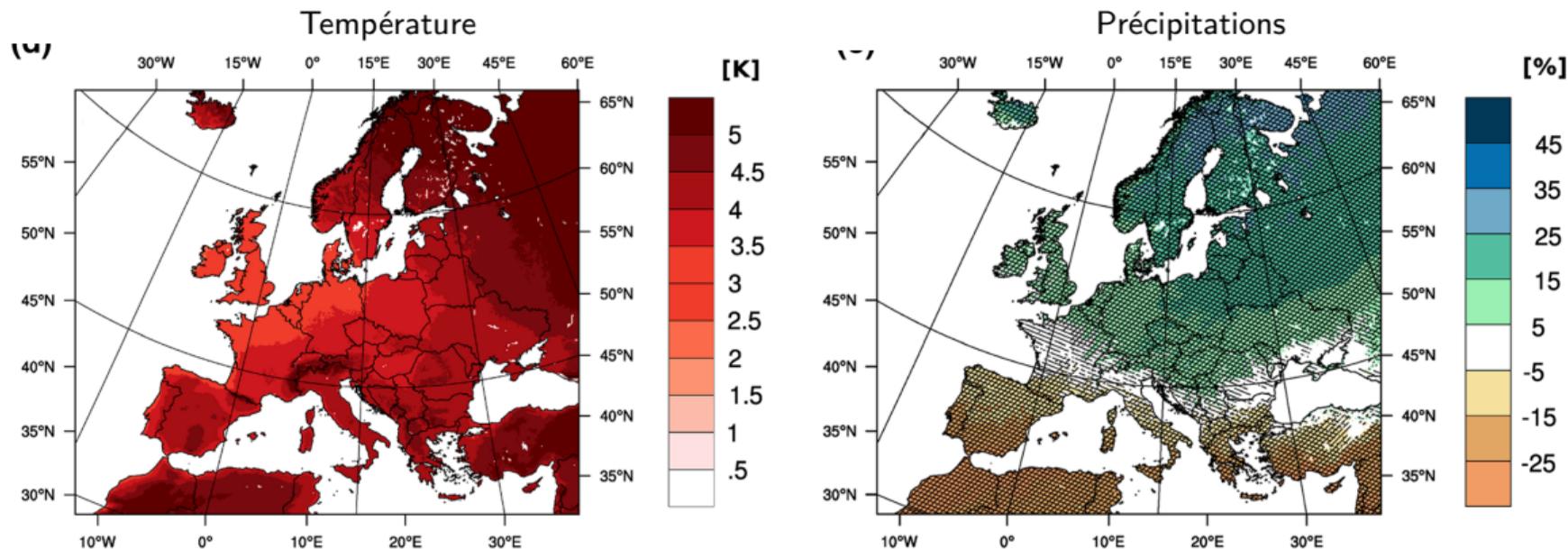


Fig. Changements 2071–2100 vs 1971–2000 en RCP8.5. Source : Jacob et al. (2014).

Voir aussi : l'Atlas Interactif IPCC 2021.

Les événements extrêmes

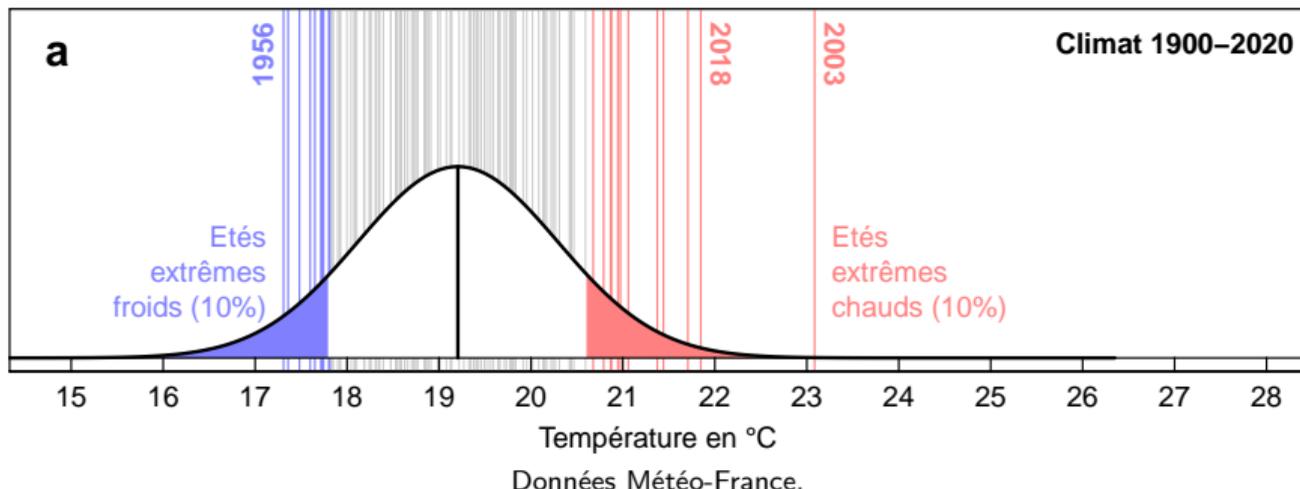
Les événements extrêmes

Le climat est la distribution de probabilité de la météo.

Changer de climat, c'est potentiellement modifier la probabilité de tous les événements météo.

Un décalage vers un climat plus chaud rend les **extrêmes chauds** plus probables (et les extrêmes froids moins probables).

Température moyenne des étés 1900 à 2020 en France



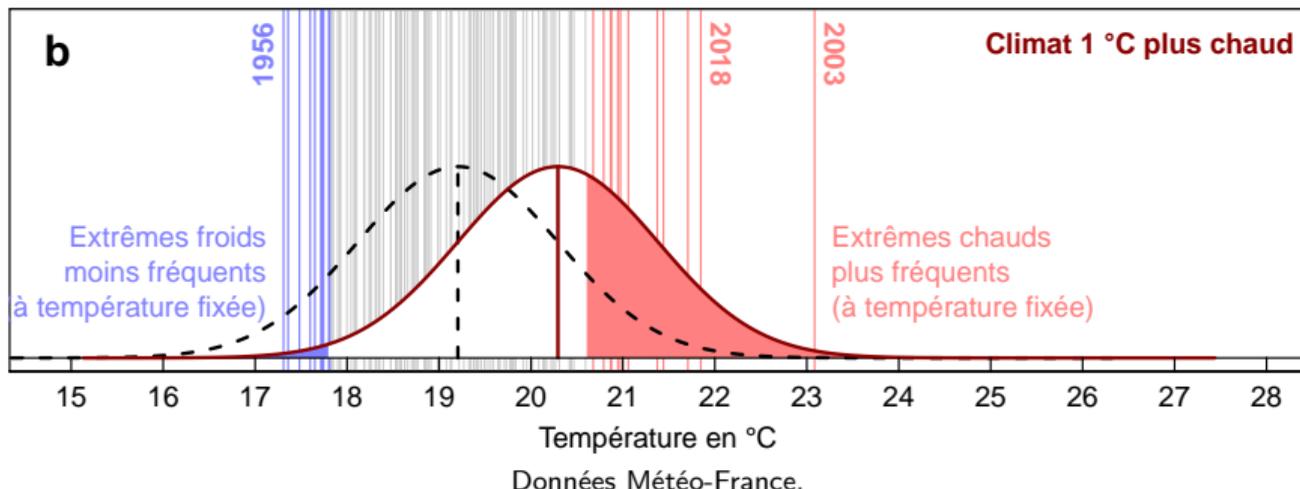
Les événements extrêmes

Le climat est la distribution de probabilité de la météo.

Changer de climat, c'est potentiellement modifier la probabilité de tous les événements météo.

Un décalage vers un climat plus chaud rend les **extrêmes chauds** plus probables (et les extrêmes froids moins probables).

Température moyenne des étés 1900 à 2020 en France



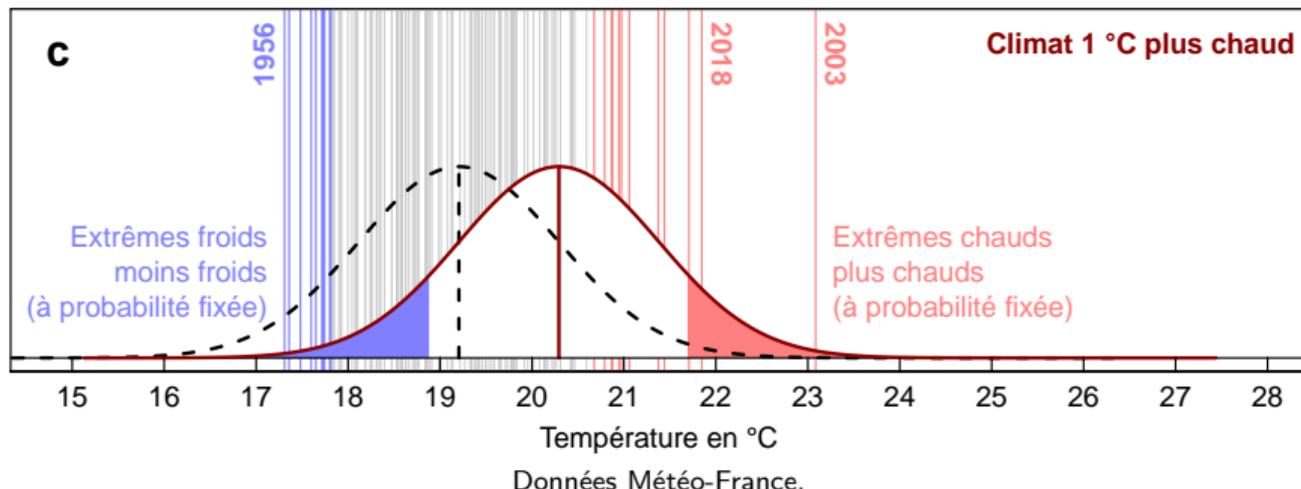
Les événements extrêmes

Le climat est la distribution de probabilité de la météo.

Changer de climat, c'est potentiellement modifier la probabilité de tous les événements météo.

Un décalage vers un climat plus chaud rend les **extrêmes chauds** plus probables (et les extrêmes froids moins probables).

Température moyenne des étés 1900 à 2020 en France



Extrêmes de température en France

On observe déjà une **augmentation** en fréquence / intensité des canicules.

1947–1986 (40 ans) : 7 épisodes
2001–2020 (20 ans) : 20 épisodes.

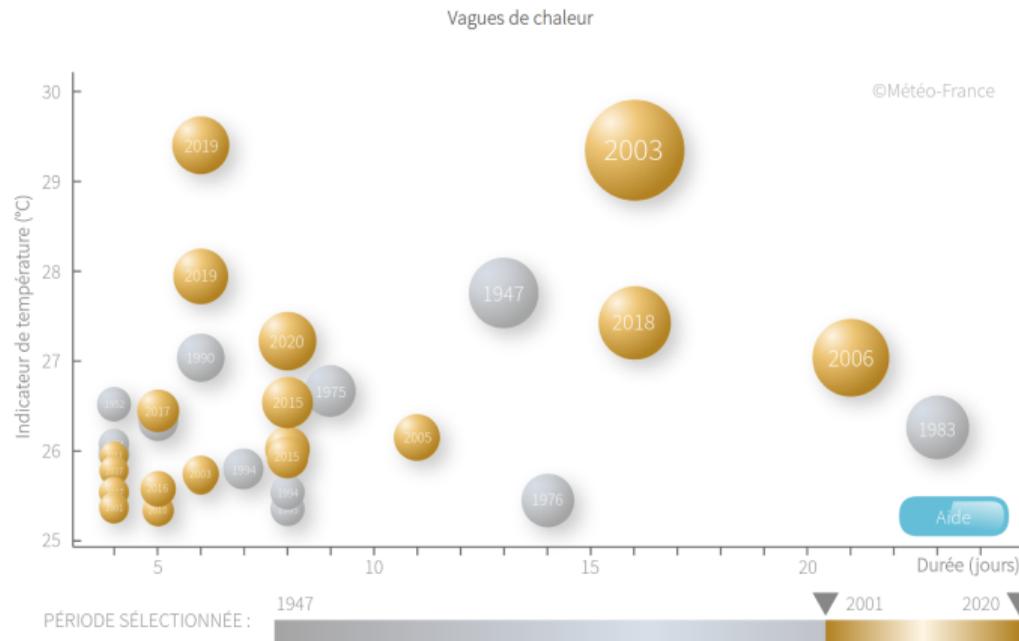


Fig. Épisodes de canicules en France métropolitaine.
Source : outil [ClimatHD](#) de Météo-France.

Extrêmes de température en France

On observe déjà une **augmentation** en fréquence / intensité des canicules.

1947–1986 (40 ans) : 7 épisodes
2001–2020 (20 ans) : 20 épisodes.

Selon le scénario, on projette des événements (bcp) plus forts d'ici 2100.

Vagues de chaleur : simulations pour différents scénarios et différents horizons

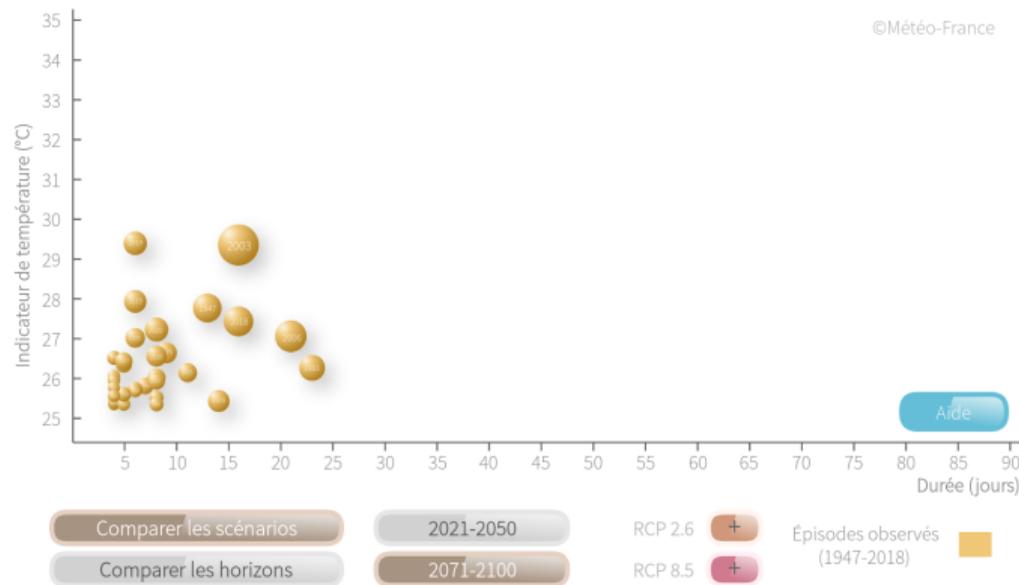


Fig. Épisodes de canicules en France métropolitaine.
Source : outil [ClimatHD](#) de Météo-France.

Extrêmes de température en France

On observe déjà une **augmentation** en fréquence / intensité des canicules.

1947–1986 (40 ans) : 7 épisodes
2001–2020 (20 ans) : 20 épisodes.

Selon le scénario, on projette des événements (bcp) plus forts d'ici 2100.

Vagues de chaleur : simulations pour différents scénarios et différents horizons

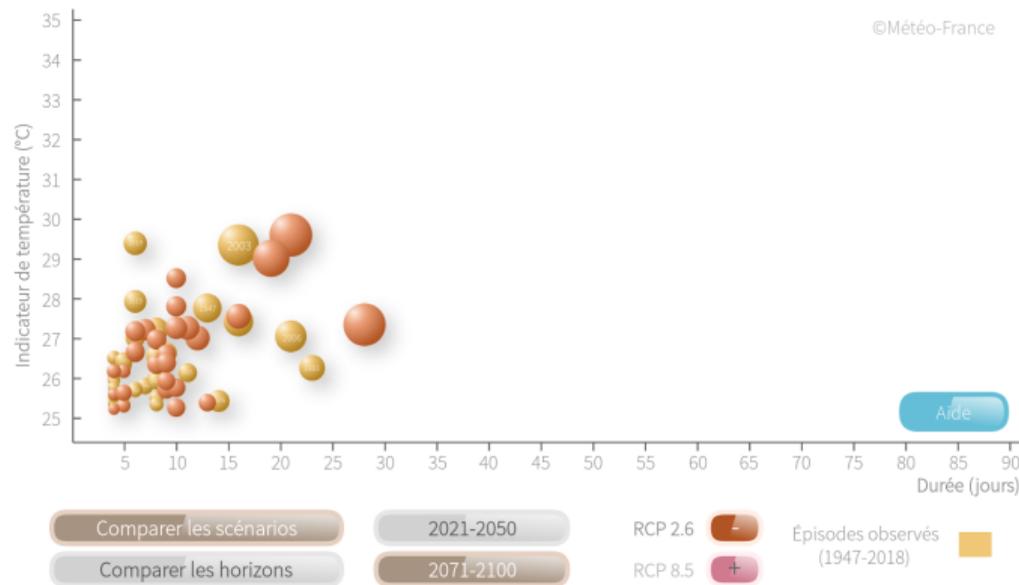


Fig. Épisodes de canicules en France métropolitaine.
Source : outil [ClimatHD](#) de Météo-France.

Extrêmes de température en France

On observe déjà une **augmentation** en fréquence / intensité des canicules.

1947–1986 (40 ans) : 7 épisodes
2001–2020 (20 ans) : 20 épisodes.

Selon le scénario, on projette des événements (bcp) plus forts d'ici 2100.

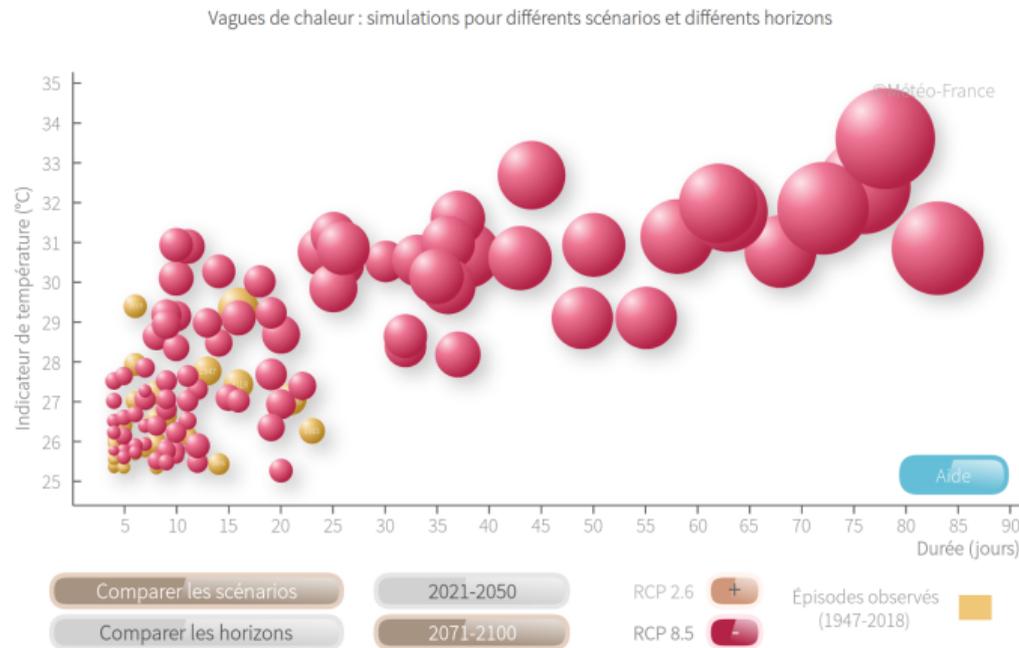


Fig. Épisodes de canicules en France métropolitaine.
Source : outil [ClimatHD](#) de Météo-France.

Extrêmes de température en France

On observe déjà une **augmentation** en fréquence / intensité des canicules.

1947–1986 (40 ans) : 7 épisodes
2001–2020 (20 ans) : 20 épisodes.

Selon le scénario, on projette des événements (bcp) plus forts d'ici 2100.

À l'inverse, diminution observée et projetée des vagues de froid.

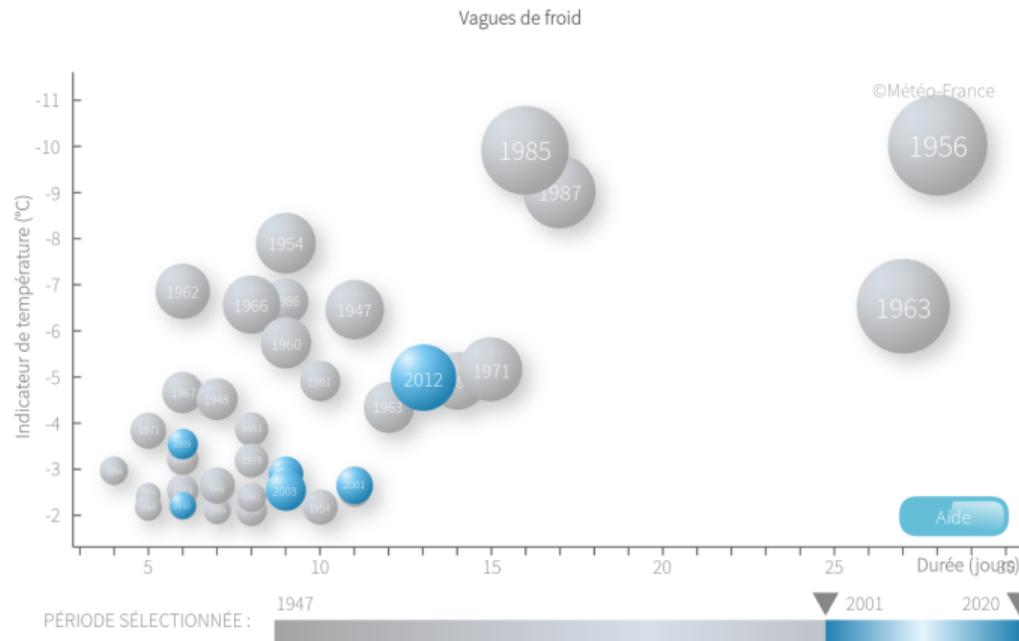


Fig. Épisodes de vagues de froid en France métropolitaine.
Source : outil [ClimatHD](#) de Météo-France.

Extrêmes de température en France

On observe déjà une **augmentation** en fréquence / intensité des canicules.

1947–1986 (40 ans) : 7 épisodes
2001–2020 (20 ans) : 20 épisodes.

Selon le scénario, on projette des événements (bcp) plus forts d'ici 2100.

À l'inverse, diminution observée et projetée des vagues de froid.

Vagues de froid : simulations pour différents scénarios et différents horizons

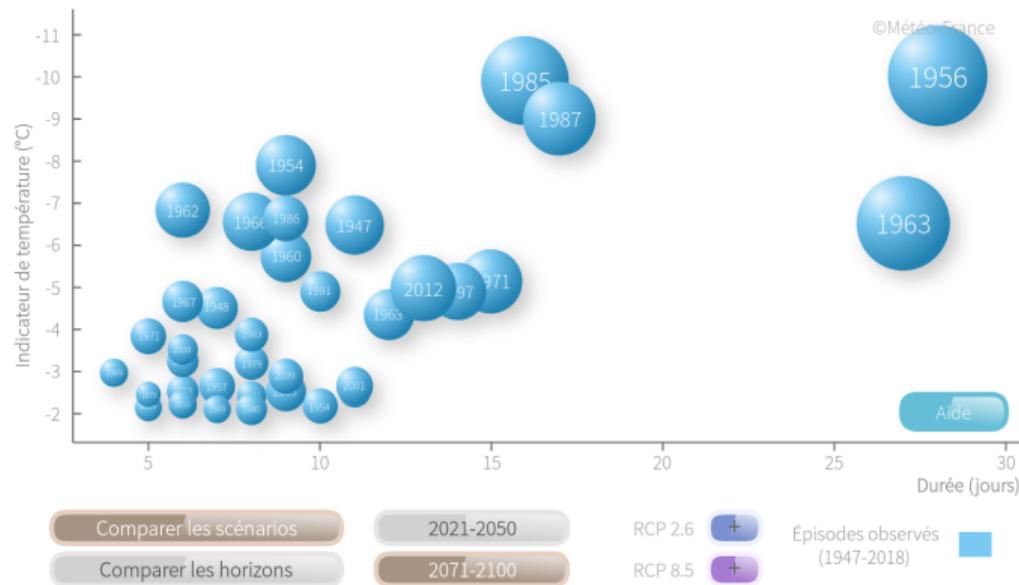


Fig. Épisodes de vagues de froid en France métropolitaine.
Source : outil [ClimatHD](#) de Météo-France.

Extrêmes de température en France

On observe déjà une **augmentation** en fréquence / intensité des canicules.

1947–1986 (40 ans) : 7 épisodes
2001–2020 (20 ans) : 20 épisodes.

Selon le scénario, on projette des événements (bcp) plus forts d'ici 2100.

À l'inverse, diminution observée et projetée des vagues de froid.

Vagues de froid : simulations pour différents scénarios et différents horizons

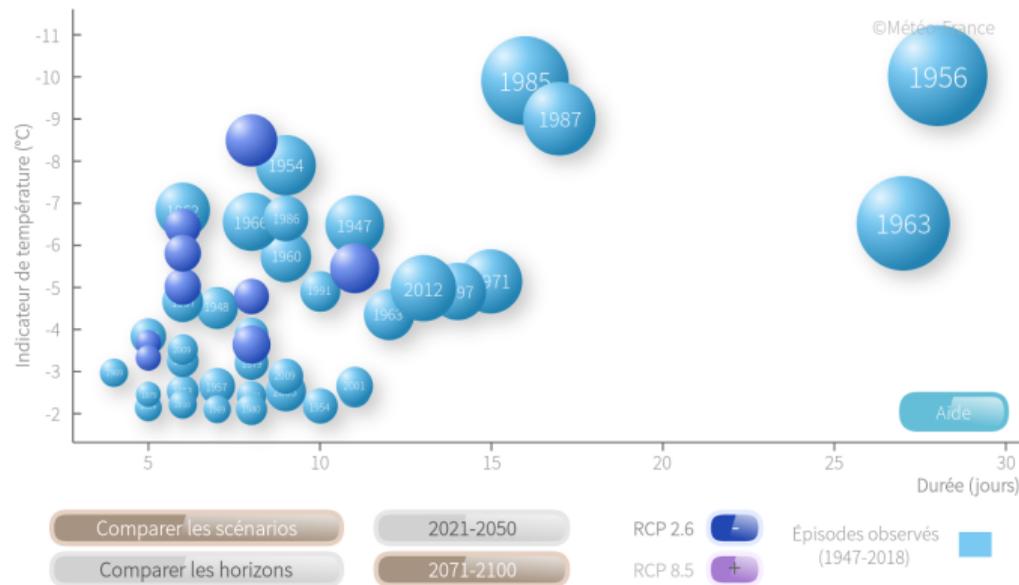


Fig. Épisodes de vagues de froid en France métropolitaine.
Source : outil [ClimatHD](#) de Météo-France.

Extrêmes de température en France

On observe déjà une **augmentation** en fréquence / intensité des canicules.

1947–1986 (40 ans) : 7 épisodes
2001–2020 (20 ans) : 20 épisodes.

Selon le scénario, on projette des événements (bcp) plus forts d'ici 2100.

À l'inverse, diminution observée et projetée des vagues de froid.

Vagues de froid : simulations pour différents scénarios et différents horizons

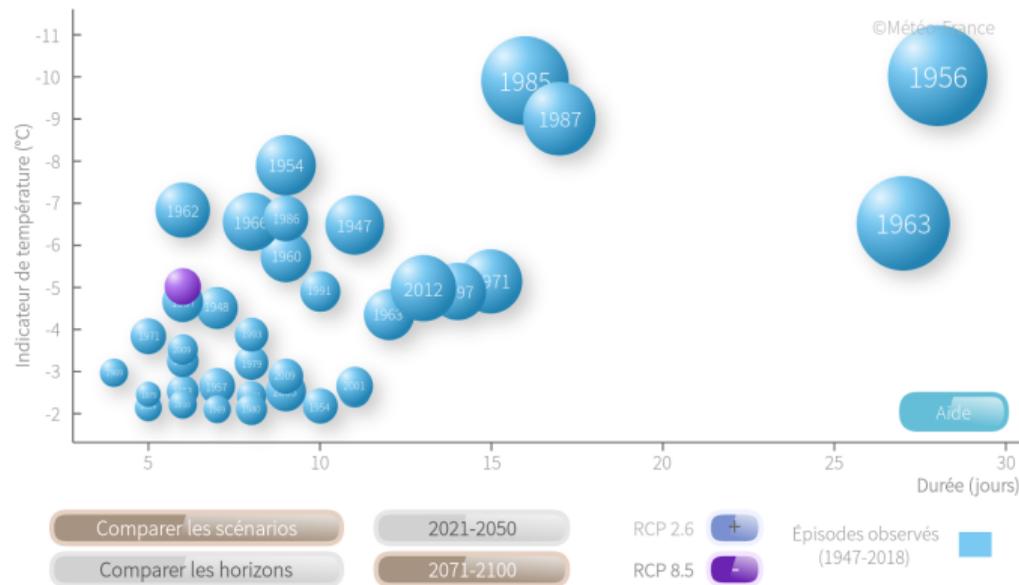
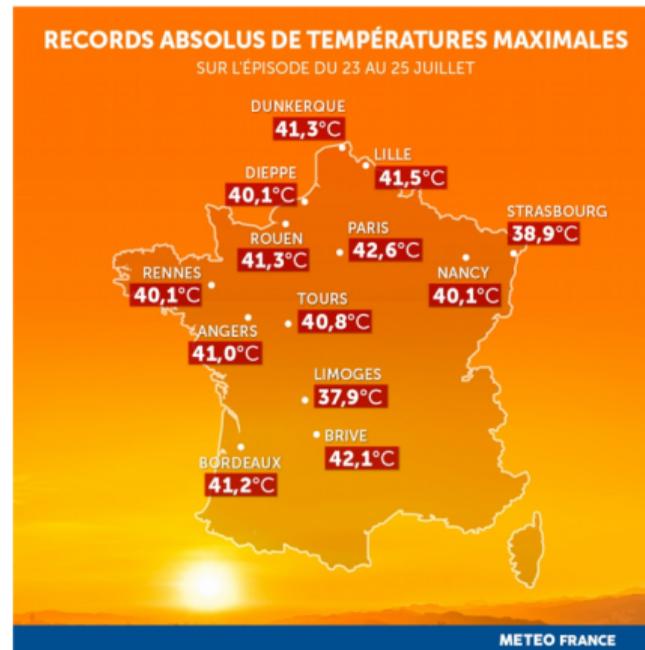


Fig. Épisodes de vagues de froid en France métropolitaine.
Source : outil [ClimatHD](#) de Météo-France.

Peut-on attribuer un événement singulier ?

Exemple de la canicule du 23–25 juillet 2019.



Peut-on attribuer un événement singulier ?

Exemple de la canicule du 23–25 juillet 2019.

On quantifie l'effet du changement climatique sur la probabilité et/ou l'intensité de l'événement.



Peut-on attribuer un événement singulier ?

Exemple de la canicule du 23–25 juillet 2019.

On quantifie l'effet du changement climatique sur la probabilité et/ou l'intensité de l'événement.

En 2019, durée de retour = 1 sur 40 (13 à 150) ans.

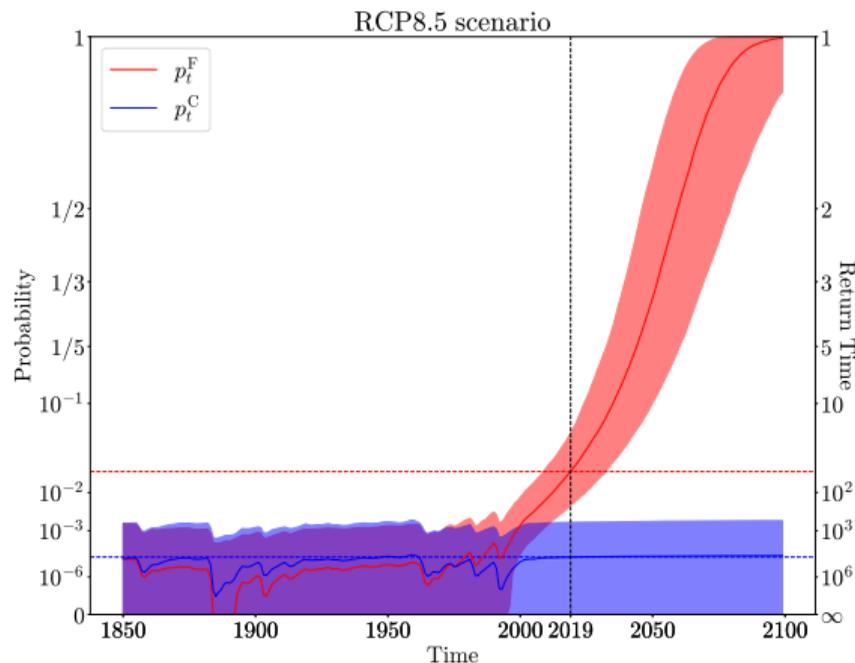


Fig. Durée de retour de l'événement en fonction de l'année.
Source : Robin and Ribes (2020).

Peut-on attribuer un événement singulier ?

Exemple de la canicule du 23–25 juillet 2019.

On quantifie l'effet du changement climatique sur la probabilité et/ou l'intensité de l'événement.

En 2019, durée de retour = 1 sur 40 (13 à 150) ans.

Sans influence humaine, l'événement aurait été $600\times$ (20 à $+\infty$) plus rare ou $2.1 (\pm 0.6) ^\circ\text{C}$ plus froid.

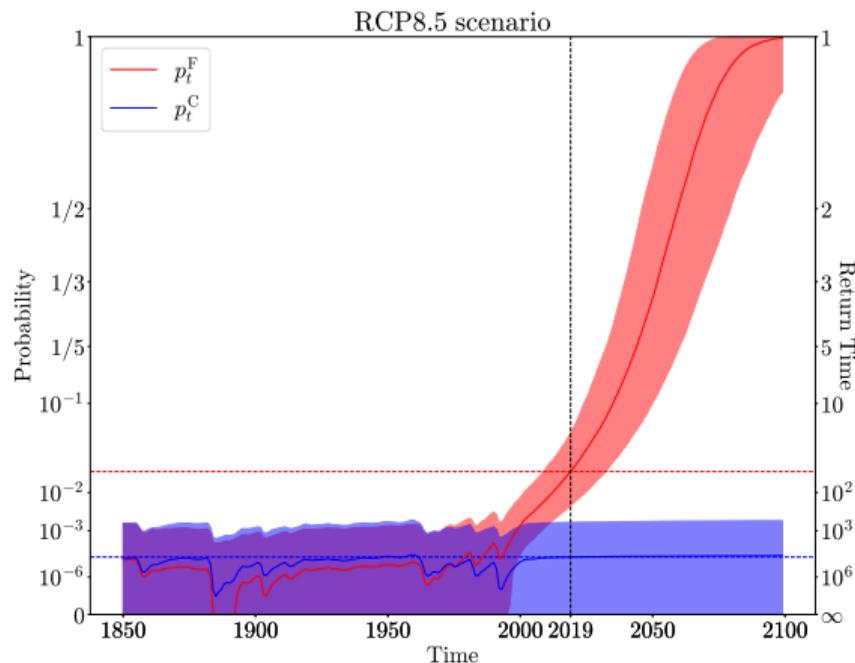


Fig. Durée de retour de l'événement en fonction de l'année.
Source : Robin and Ribes (2020).

Peut-on attribuer un événement singulier ?

Exemple de la canicule du 23–25 juillet 2019.

On quantifie l'effet du changement climatique sur la probabilité et/ou l'intensité de l'événement.

En 2019, durée de retour = 1 sur 40 (13 à 150) ans.

Sans influence humaine, l'événement aurait été $600\times$ (20 à $+\infty$) plus rare ou $2.1 (\pm 0.6) ^\circ\text{C}$ plus froid.

En 2100, en scénario RCP8.5 :

- un événement aussi intense se produit chaque été ;
- un événement aussi rare est $7 (\pm 2) ^\circ\text{C}$ plus chaud.

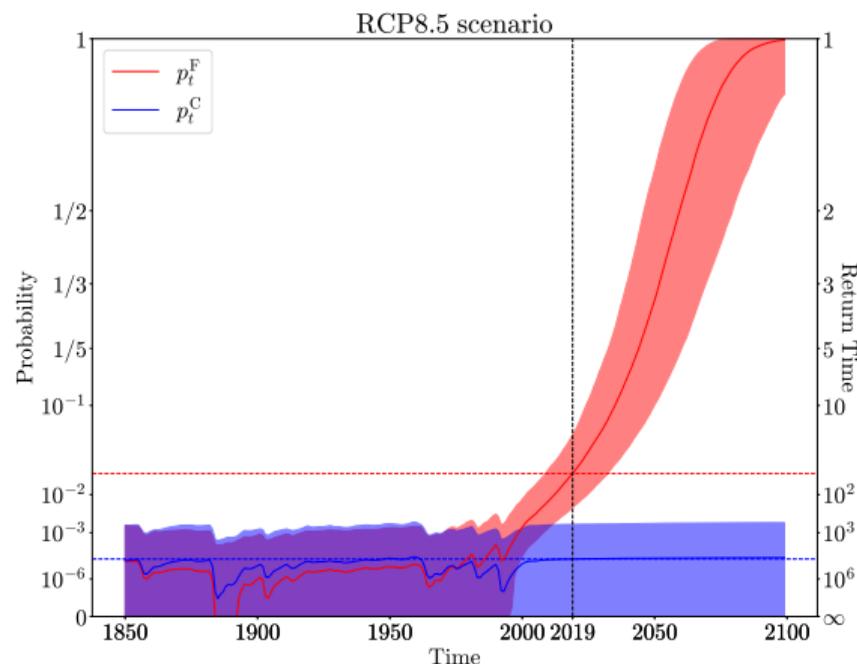


Fig. Durée de retour de l'événement en fonction de l'année.
Source : Robin and Ribes (2020).

Il fait froid : preuve que le climat ne se réchauffe pas ?

Il fait froid : preuve que le climat ne se réchauffe pas ?

Extrêmes froids moins probables ne veut pas dire 'impossibles'.

Il fait froid : preuve que le climat ne se réchauffe pas ?

Extrêmes froids moins probables ne veut pas dire 'impossibles'.

- Probable que les **vagues de froid historiques** ne se reproduisent plus d'ici 2100.
(e.g. proba 80 % pour épisode février 2012 en France, Robin et al. [2021]).
- Des **records** froids ponctuels toujours possibles (moins que records chauds).
- Des **impacts** potentiellement importants pour des froids devenus 'modérés'.

Il fait froid : preuve que le climat ne se réchauffe pas ?

Extrêmes froids moins probables ne veut pas dire 'impossibles'.

- Probable que les **vagues de froid historiques** ne se reproduisent plus d'ici 2100. (e.g. proba 80 % pour épisode février 2012 en France, Robin et al. [2021]).
- Des **records** froids ponctuels toujours possibles (moins que records chauds).
- Des **impacts** potentiellement importants pour des froids devenus 'modérés'.

Ex. Épisode de gelées tardives en France en avril 2021.

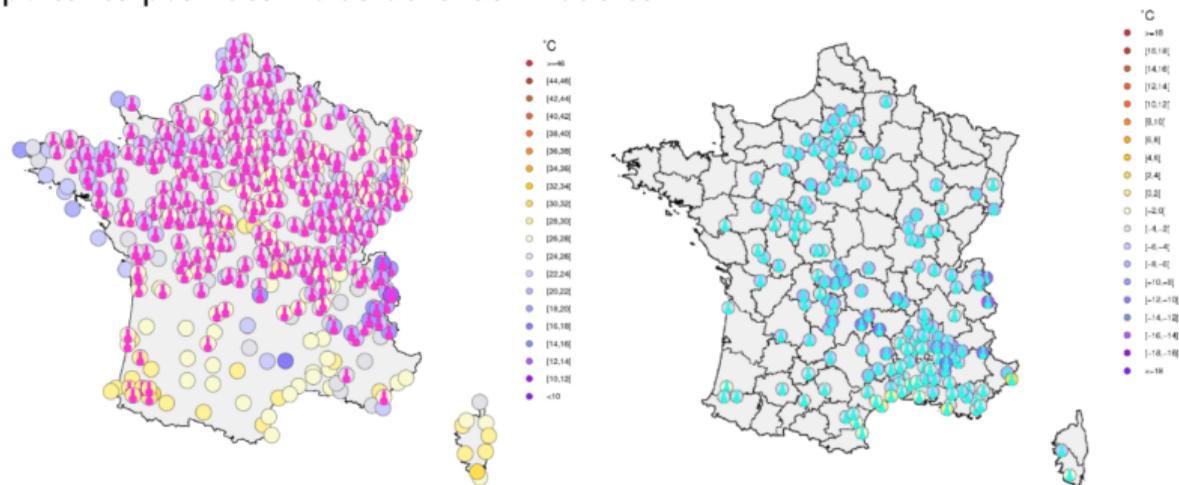


Fig. Stations avec records **chauds** en mars et **froids** en avril 2021 (depuis au moins 20 ans).
Source : Vautard et al. (2021), groupe 'World Weather Attribution'.

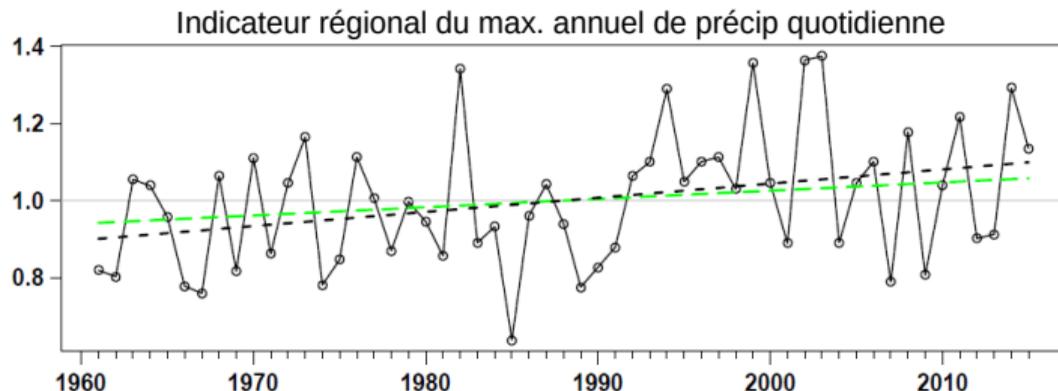
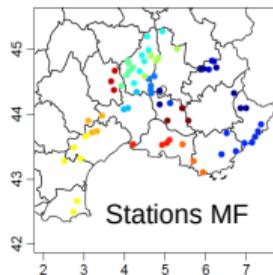
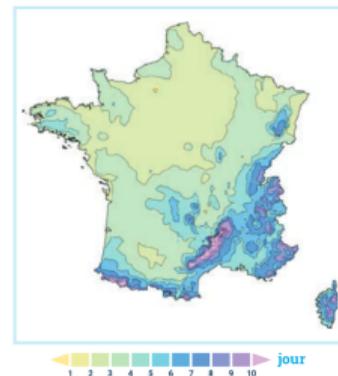
Précipitations intenses en France

Forte hétérogénéité spatiale, petites échelles, importance du relief.

Ex. 99e centile de la P quotidienne en climat actuel. →

Augmentation observée de l'intensité des 'épisodes méditerranéens'.

Environ ~ 15 [± 10] % par °C de réchauffement.



Source : DRIAS (2021) et Ribes et al. (2018).

Sécheresses en France

Augmentation des sécheresses météorologiques (périodes sans pluie).

Ex. En RCP8.5, d'ici 2100, le nombre max. de jours secs consécutifs en été passe de 15 à 22 en moyenne (25 à 35 sur pourtour Méd.).

Augmentation des sécheresses agricoles (déficits d'humidité des sols).

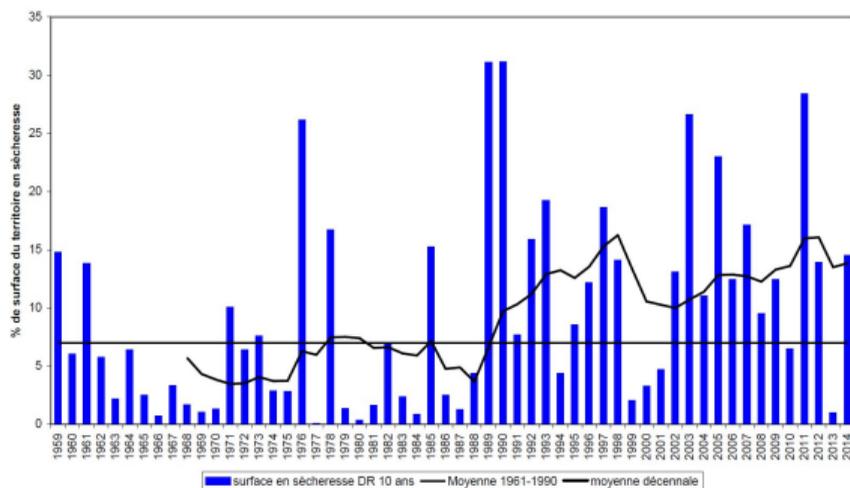


Fig. Pourcentage du territoire métropolitain en sécheresse agricole. Critère : humidité du sol < 10e centile 1961-1990. Source : CLIMSEC (2011) et DRIAS (2021).

Résumé

Résumé

La Terre se réchauffe sous l'action des GES émis par l'Homme.

Résumé

La Terre se réchauffe sous l'action des GES émis par l'Homme.

Le climat futur dépend du scénario socio-économique (choix politique).

À la carte entre $\Delta T_s \sim 4 \text{ }^\circ\text{C}$ (scénario courant) et $\sim 1 \text{ }^\circ\text{C}$ (scénario optimiste).

Résumé

La Terre se réchauffe sous l'action des **GES émis par l'Homme**.

Le climat futur dépend du **scénario socio-économique** (choix politique).

À la carte entre $\Delta T_s \sim 4 \text{ }^\circ\text{C}$ (scénario courant) et $\sim 1 \text{ }^\circ\text{C}$ (scénario optimiste).

En France, réchauffement plus fort qu'en global (surtout en été), augmentation des précipitations en hiver, assèchement des sols en été.

Associé à des changements de probabilité des **événements météo extrêmes**.

Résumé

La Terre se réchauffe sous l'action des **GES émis par l'Homme**.

Le climat futur dépend du **scénario socio-économique** (choix politique).

À la carte entre $\Delta T_s \sim 4 \text{ }^\circ\text{C}$ (scénario courant) et $\sim 1 \text{ }^\circ\text{C}$ (scénario optimiste).

En France, réchauffement plus fort qu'en global (surtout en été), augmentation des précipitations en hiver, assèchement des sols en été.

Associé à des changements de probabilité des **événements météo extrêmes**.

—

Deux remarques :

Résumé

La Terre se réchauffe sous l'action des **GES émis par l'Homme**.

Le climat futur dépend du **scénario socio-économique** (choix politique).

À la carte entre $\Delta T_s \sim 4 \text{ }^\circ\text{C}$ (scénario courant) et $\sim 1 \text{ }^\circ\text{C}$ (scénario optimiste).

En France, réchauffement plus fort qu'en global (surtout en été), augmentation des précipitations en hiver, assèchement des sols en été.

Associé à des changements de probabilité des **événements météo extrêmes**.

—

Deux remarques :

1. Attention aux messages trop simplificateurs :

- une vague de froid ponctuelle ne prouve pas que le climat ne se réchauffe pas ;
 - tout événement météorologique n'est pas 'causé' par le changement climatique ;
- etc..

Résumé

La Terre se réchauffe sous l'action des **GES émis par l'Homme**.

Le climat futur dépend du **scénario socio-économique** (choix politique).

À la carte entre $\Delta T_s \sim 4 \text{ °C}$ (scénario courant) et $\sim 1 \text{ °C}$ (scénario optimiste).

En France, réchauffement plus fort qu'en global (surtout en été), augmentation des précipitations en hiver, assèchement des sols en été.

Associé à des changements de probabilité des **événements météo extrêmes**.

—

Deux remarques :

1. Attention aux messages trop simplificateurs :

- une vague de froid ponctuelle ne prouve pas que le climat ne se réchauffe pas ;
 - tout événement météorologique n'est pas 'causé' par le changement climatique ;
- etc..

2. Il y a bientôt un vote.