

# Événements météorologiques extrêmes et changement climatique

Julien Cattiaux

Centre National de Recherches Météorologiques  
CNRS / Météo-France

[julien.cattiaux@meteo.fr](mailto:julien.cattiaux@meteo.fr)

SNHF | Mai 2021

# Introduction

- ▶ Les événements (météo) extrêmes sont par définition rares . . .

# Introduction

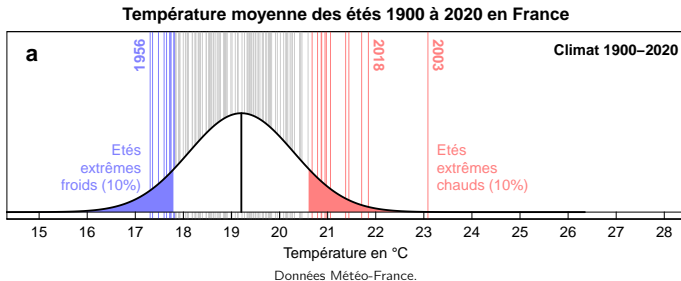
- ▶ Les événements (météo) extrêmes sont par définition rares . . .  
. . . mais on en parle tout le temps.
- Impacts socio-environnementaux,
- lien avec le changement climatique,
- etc.

# Introduction

- ▶ Les événements (météo) extrêmes sont par définition rares ...  
... mais on en parle tout le temps.
  - Impacts socio-environnementaux,
  - lien avec le changement climatique,
  - etc.
- ▶ Les études scientifiques se font par **type d'événement**.
- ▶ Parmi les principales questions posées :
  - qu'attend-on **en théorie** (modélisation) ?
  - qu'observe-t-on **en pratique** (mesures) ?
  - quelle est la part **attribuable** aux activités humaines ?

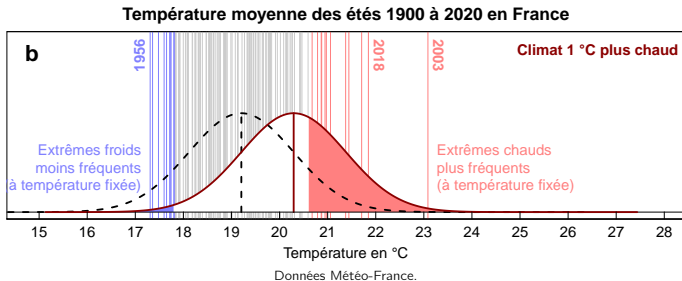
# Météo, climat, extrêmes

- ▶ Le **climat** est la distribution de probabilité de la **météo**.
- ▶ Les **extrêmes** sont aux *extrémités* de la distribution.



# Météo, climat, extrêmes

- ▶ Le **climat** est la distribution de probabilité de la **météo**.
- ▶ Les **extrêmes** sont aux *extrémités* de la distribution.

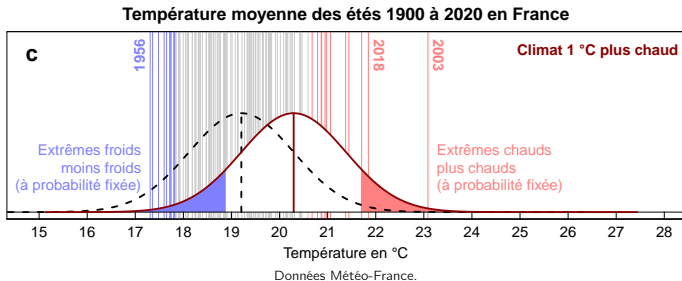


Changer de climat, c'est potentiellement modifier la probabilité de tous les événements météo, y compris celle des extrêmes.

- Exemple.** Un décalage vers un climat + chaud rend les extrêmes **chauds** + probables.
- N.B.** L'effet "décalage" peut être modulé par des changements de forme (variabilité).

# Météo, climat, extrêmes

- ▶ Le **climat** est la distribution de probabilité de la **météo**.
- ▶ Les **extrêmes** sont aux *extrémités* de la distribution.



Changer de climat, c'est potentiellement modifier la probabilité de tous les événements météo, y compris celle des extrêmes.

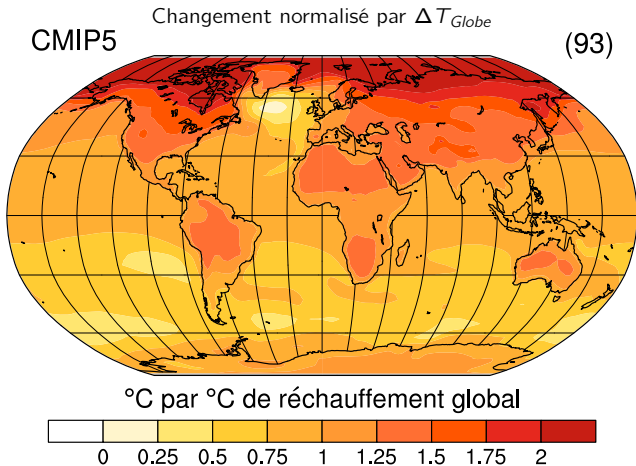
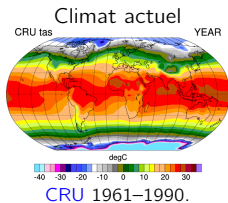
**Exemple.** Un décalage vers un climat + chaud rend les extrêmes **chauds** + probables.

**N.B.** L'effet "décalage" peut être modulé par des changements de forme (variabilité).

# Géographie du réchauffement global

- Plus fort sur continents et aux hautes latitudes.

N.B.  $\Delta T_{Globe} < \Delta T_{France} < \Delta T_{France}^{JJA} < \Delta T_{France}^{90JJA}$ .



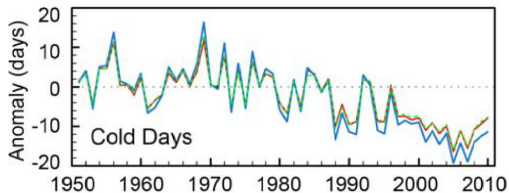
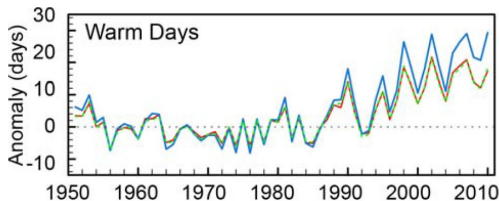
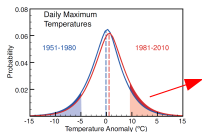
Tracé à partir de 93 projections **CMIP5** (multi-modèle et multi-scénario).  
Source : Boucher et al., *La Météorologie Spécial Climat* (2015).



# Extrêmes de température – Observations

- ▶ Le  $\Delta T_{Globe}$  déjà observé ( $\sim 1$  K) se projette sur les extrêmes.

Exemple. Fréquence des jours avec  $T > T_{90}^{ref}$  (chauds) ou  $T < T_{10}^{ref}$  (froids)



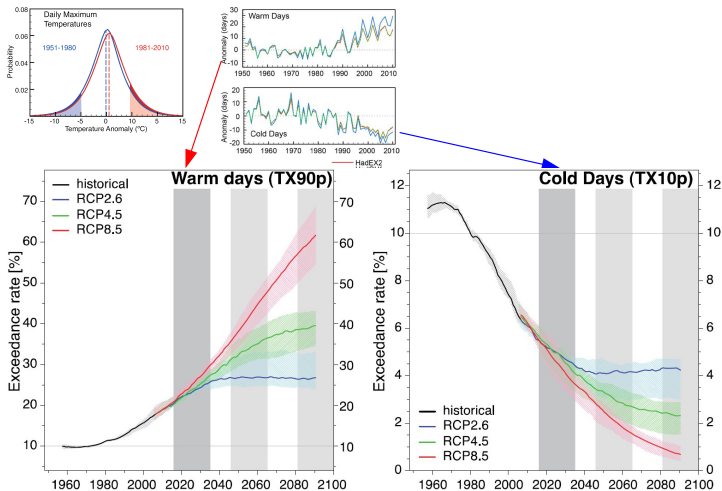
— HadEX2  
— HadGHCND  
— GHCNDEX

Source : IPCC AR5 (2013) FAQ 2.2 Fig. 1 & Fig. 2.32.

# Extrêmes de température – Projections futures

- L'évolution future des extrêmes de T dépend du scénario de GES.

Exemple. Fréquence des jours avec  $T > T_{90}^{ref}$  (chauds) ou  $T < T_{10}^{ref}$  (froids)



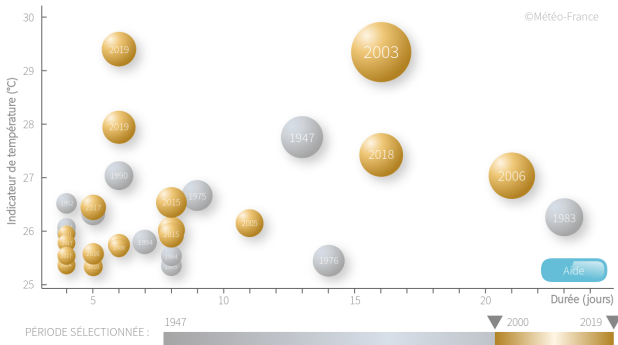
Source : IPCC AR5 (2013) FAQ 2.2 Fig. 1 & Fig. 2.32 & Fig. 11.17.

# En France

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

1947–1986 (40 ans) : 7 épisodes recensés par Météo-France.

2000–2019 (20 ans) : 20 épisodes.



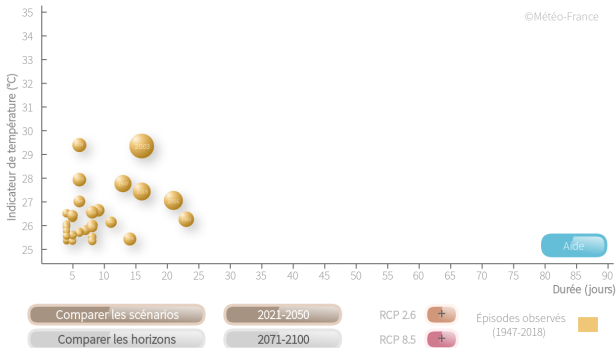
Source : [ClimatHD](#) + dossier canicules [Météo-France](#).

# En France

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

1947–1986 (40 ans) : 7 épisodes recensés par Météo-France.

2000–2019 (20 ans) : 20 épisodes.



Source : [ClimatHD](#) + dossier canicules [Météo-France](#).

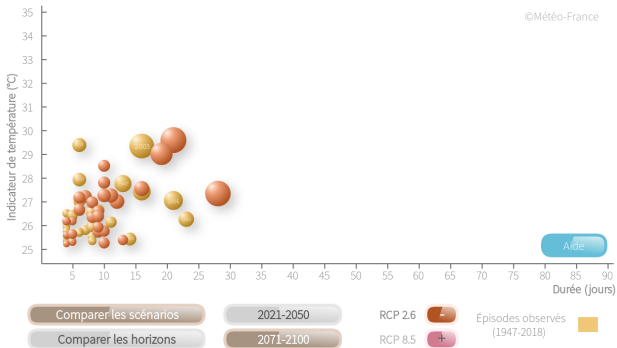
► **Futur** : selon le scénario, des événements (beaucoup) plus forts.

# En France

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

1947–1986 (40 ans) : 7 épisodes recensés par Météo-France.

2000–2019 (20 ans) : 20 épisodes.



Source : [ClimatHD](#) + dossier canicules [Météo-France](#).

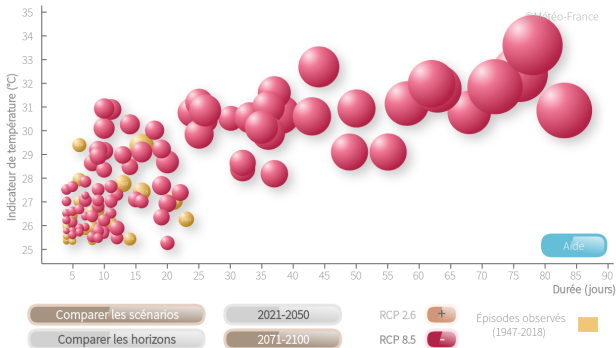
► **Futur** : selon le scénario, des événements (beaucoup) plus forts.

# En France

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

1947–1986 (40 ans) : 7 épisodes recensés par Météo-France.

2000–2019 (20 ans) : 20 épisodes.



Source : [ClimatHD](#) + dossier canicules [Météo-France](#).

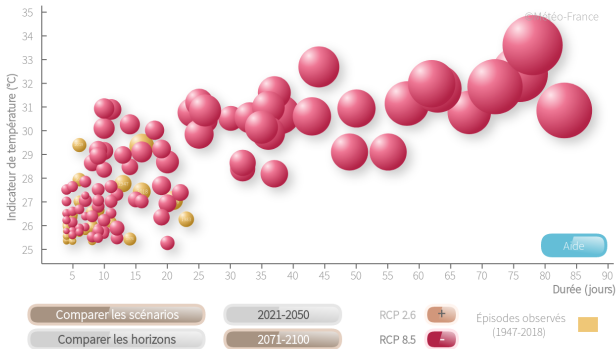
► **Futur** : selon le scénario, des événements (beaucoup) plus forts.

# En France

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

1947–1986 (40 ans) : 7 épisodes recensés par Météo-France.

2000–2019 (20 ans) : 20 épisodes.



Source : [ClimatHD](#) + dossier canicules [Météo-France](#).

► **Futur** : selon le scénario, des événements (beaucoup) plus forts.

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

Canicules récentes = analogues du climat futur ?



# Canicules récentes = analogues du climat futur ?

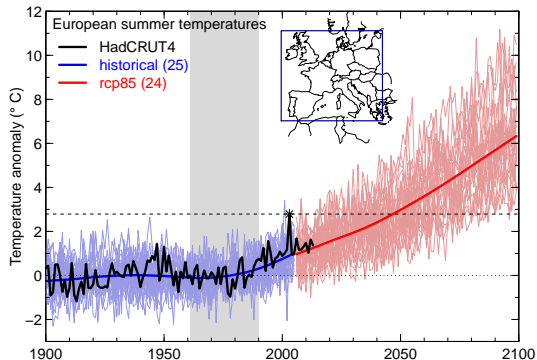
- ▶ Exemple de l'été 2003. La réponse dépend :

# Canicules récentes = analogues du climat futur ?

► Exemple de l'été 2003. La réponse dépend :

1. Du scénario. T moyenne JJA en Europe dans la moyenne d'ici 2050 en RCP8.5

...

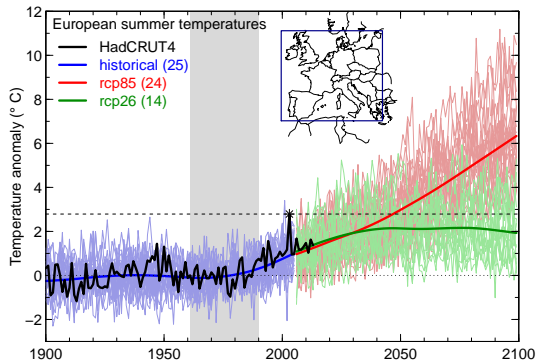


Source : Boucher et al., *La Météorologie Spécial Climat* (2015), Cattiaux and Ribes (2018).

# Canicules récentes = analogues du climat futur ?

► Exemple de l'été 2003. La réponse dépend :

1. Du scénario. T moyenne JJA en Europe dans la moyenne d'ici 2050 en **RCP8.5** ... mais toujours élevée en 2100 en **RCP2.6**.

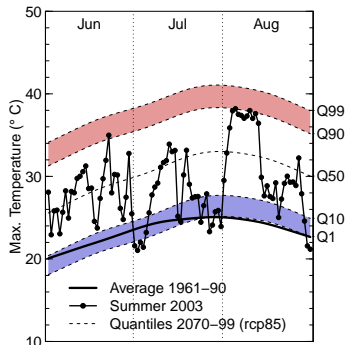
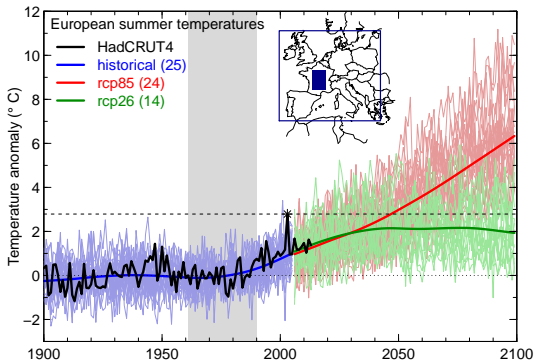


Source : Boucher et al., *La Météorologie Spécial Climat* (2015), Cattiaux and Ribes (2018).

# Canicules récentes = analogues du climat futur ?

► Exemple de l'été 2003. La réponse dépend :

1. Du scénario. T moyenne JJA en Europe dans la moyenne d'ici 2050 en **RCP8.5** ... mais toujours élevée en 2100 en **RCP2.6**.
2. De la définition de l'événement. T quotidiennes de début août en France encore *anormales* en 2100, même en **RCP8.5**.

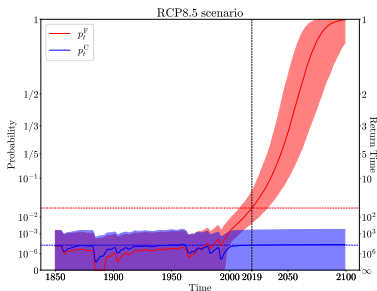
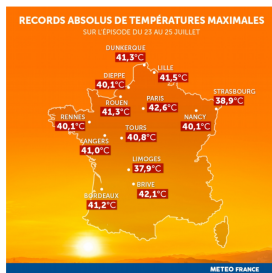


Source : Boucher et al., *La Météorologie Spécial Climat* (2015), Cattiaux and Ribes (2018).

Peut-on attribuer un événement singulier ?

# Peut-on attribuer un événement singulier ?

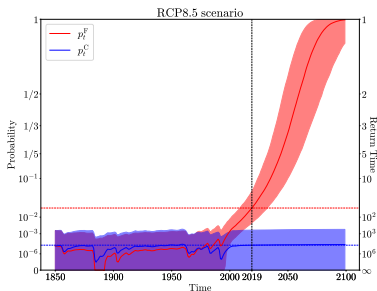
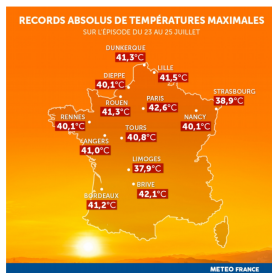
- ▶ Exemple de la canicule 2019, définie ici par  $T_{France}^{3j} > 28.7 \text{ °C}$  :
  - probabilité en climat 'factuel' estimée à  $p \sim \frac{1}{40}$  [ $\frac{1}{13}$  à  $\frac{1}{150}$ ].
  - probabilité 600 [20 à  $+\infty$ ] x plus grande que sans influence humaine.
  - température 2.1 [1.5 à 2.7] °C plus élevée que sans influence humaine.



Source :  
Robin and Ribes (2020),  
Vautard et al. (2020).

# Peut-on attribuer un événement singulier ?

- ▶ Exemple de la canicule 2019, définie ici par  $T_{France}^{3j} > 28.7 \text{ °C}$  :
  - probabilité en climat 'factuel' estimée à  $p \sim \frac{1}{40}$  [ $\frac{1}{13}$  à  $\frac{1}{150}$ ].
  - probabilité 600 [20 à  $+\infty$ ] x plus grande que sans influence humaine.
  - température 2.1 [1.5 à 2.7] °C plus élevée que sans influence humaine.



Source :  
Robin and Ribes (2020),  
Vautard et al. (2020).

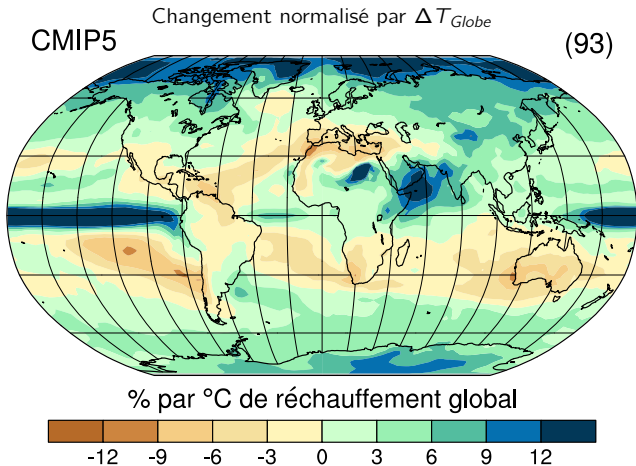
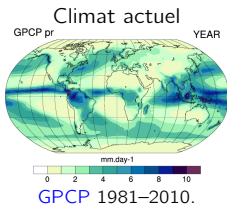
N.B. En 2100, en scénario RCP8.5 :

- un événement aussi intense se produit au moins une fois chaque été ( $p = 1$ ) ;
- un événement aussi rare est 7 [5 à 9] °C plus chaud (approchant 50 °C).

# Géographie des changements de précipitations

► Au premier ordre, *wet get wetter, dry get drier*.

N.B. En France, contrastes nord/sud et été/hiver.



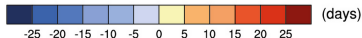
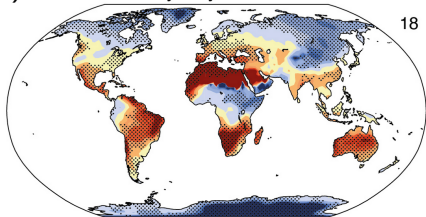
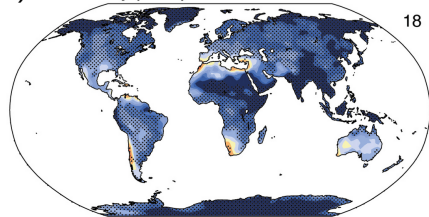
Tracé à partir de 93 projections **CMIP5** (multi-modèle et multi-scénario).  
Source : Boucher et al., *La Météorologie Spécial Climat* (2015).



# Extrêmes hydrologiques

- ▶ Au 1<sup>er</sup> ordre, les extrêmes suivent l'intensification du cycle hydrologique.

a) max. 5 day precip RCP8.5: 2081-2100      b) Consecutive Dry Days RCP8.5: 2081-2100



Source : IPCC AR5 (2013) Figs. 12.26 et 12.27.

- ▶ **Précipitations intenses** : **augmentation** projetée & partiellement observée, empreinte anthropique détectée sur certains événements.
- ▶ **Sécheresses météorologiques** : **augmentation** projetée dans certaines régions (dont Europe méridionale), mais pas de signal observé.

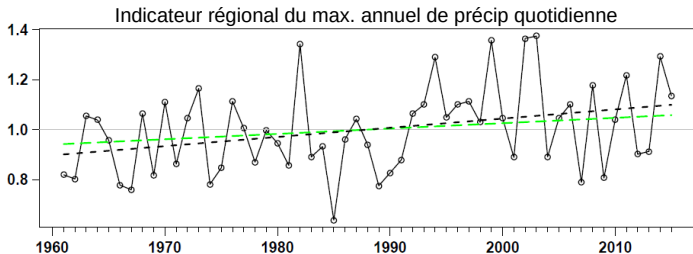
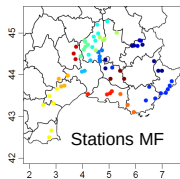
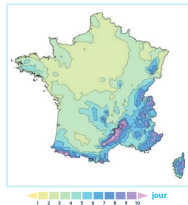
# Précipitations intenses en France

- ▶ Forte hétérogénéité spatiale, petites échelles, relief.

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

- ▶ **Augmentation** observée des événements extrêmes dans le sud-est de la France.

- Tendence :  $\sim 22$  [8 à 36] % depuis 1960, pour  $\Delta T \sim 1.5$  K.
- Cohérent avec le **taux de Clausius-Clapeyron**.



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

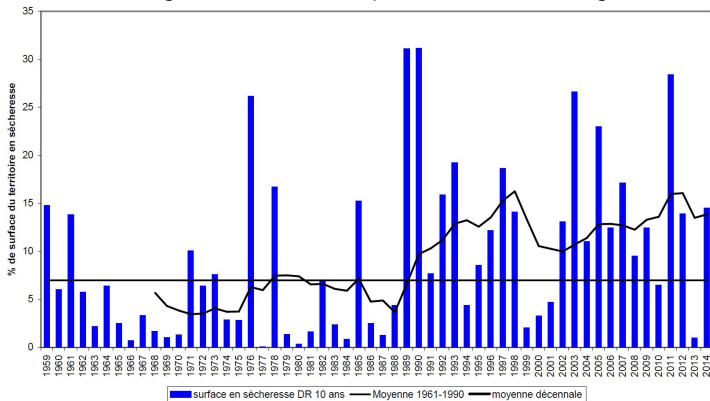
# Sécheresses en France

- **Augmentation** des sécheresses météorologiques (période sans pluie).

Exemple. En RCP8.5, le nombre maximal de jours secs consécutifs en été passe de 15 à 22 en moyenne (25 à 35 sur pourtour Méd.).

- **Augmentation** des sécheresses agricoles (humidité des sols).

Pourcentage du territoire métropolitain en sécheresse agricole



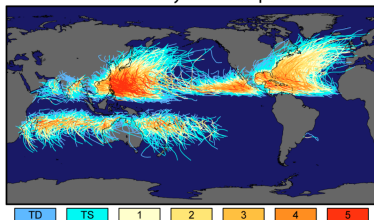
Critère = humidité du sol < 10e centile (1961-1990). Source : CLIMSEC (2011) et DRIAS (2021).

# Cyclones et tempêtes

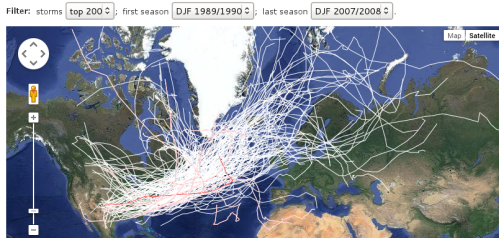
- ▶ **Cyclones tropicaux** : se forment sous certaines conditions atmosphériques et océaniques, puis puisent leur énergie de la surface océanique.
- ▶ **Tempêtes extra-tropicales** : phénomènes essentiellement atmosphériques.

—  
On les détecte via des algorithmes de *tracking* et on étudie leur trajectoire, fréquence, intensité, etc.

Tracks and Intensity of All Tropical Storms



Saffir-Simpson Hurricane Intensity Scale  
Source : [NASA Earth Observatory](#).

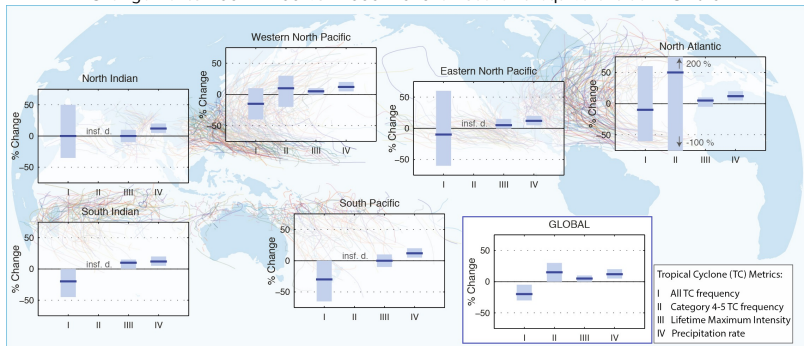


Source : [Atlas](#) de l'Université de Reading.

# Cyclones tropicaux

- ▶ Dans les projections climatiques (modélisation) :
  - **Diminution** probable de la fréquence globale des cyclones (I).
  - **Augmentation** probable de la fréquence des cyclones les plus forts (II, III).
  - **Augmentation** probable des phénomènes associés : précipitations, surcôtes (IV).
  - **Extension vers les pôles** du 'terrain de jeu' des cyclones.
- ▶ Mais pas de tendance observée à l'heure actuelle.  
Forte variabilité, hétérogénéité des observations, etc.

Changements 2081–2100 vs. 2000–2019 en scénario équivalent au RCP6.0.

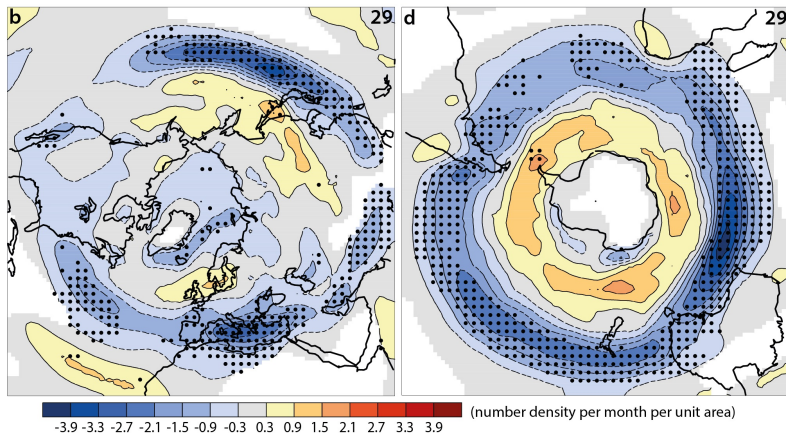


Adapté de l'IPCC AR5 (2013) Fig. 14.17.

# Tempêtes extra-tropicales

- ▶ **Décalage probable vers les pôles**, en lien avec les courants-jets.  
Signal partiellement observé à échelle globale.
- ▶ Pas de tendance observée en France à l'heure actuelle.

Changements de fréquence de tempêtes en scénario RCP8.5.



2081–2100 vs. 1986–2005. Adapté de l'IPCC AR5 (2013) Fig. 12.20.

# Résumé

Le changement climatique modifie (déjà) les probabilités associées aux aléas météorologiques.

Certains phénomènes extrêmes sont rendus plus fréquents et/ou intenses (canicules, pluies intenses, sécheresses), d'autres moins (vagues de froid).

Pour d'autres, le message scientifique est plus compliqué (cyclones) voire incertain (tempêtes).

—

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.