

# Événements météorologiques extrêmes et changement climatique

Julien Cattiaux

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

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

SCoT Nord-Toulousain | Septembre 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.

► Parmi les principales questions scientifiques posées :

- quelle évolution attend-on **en théorie** (modélisation) ?
- qu'observe-t-on **en pratique** (mesures) ?
- que peut-on **attribuer** aux activités humaines ?

**N.B.** Limitation aux événements relativement 'bien' observés et/ou modélisés.

# Changement climatique actuel

## Principe physique

L'effet de serre additionnel causé par les activités humaines déséquilibre le bilan d'énergie du système climatique  $\implies$  le système se réchauffe.

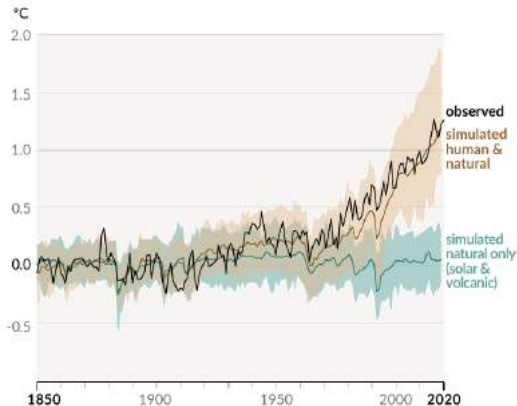
# Changement climatique actuel

## Principe physique

L'effet de serre additionnel causé par les activités humaines déséquilibre le bilan d'énergie du système climatique  $\implies$  le système se réchauffe.

Exemple : Élévation de la température de surface en moyenne globale.

La décennie 2011–2020 a été 1.1 ( $\pm 0.1$ ) K plus chaude que la référence 1850–1900.



Source : IPCC AR6 (2021) SPM.

# Changement climatique actuel

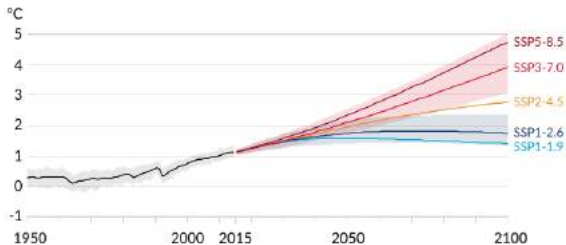
## Principe physique

L'effet de serre additionnel causé par les activités humaines déséquilibre le bilan d'énergie du système climatique  $\implies$  le système se réchauffe.

Exemple : Élévation de la température de surface en moyenne globale.

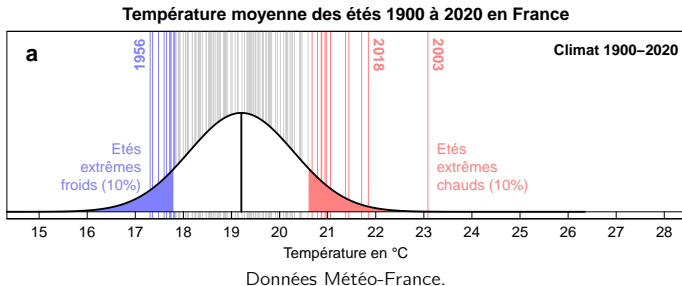
La décennie 2011–2020 a été  $1.1 (\pm 0.1)$  K plus chaude que la référence 1850–1900.

Pour 2081–2100, entre  $+1.4 (\pm 0.4)$  et  $+4.4 (\pm 1.2)$  K selon le scénario sociétal.



# Météo, climat, extrêmes

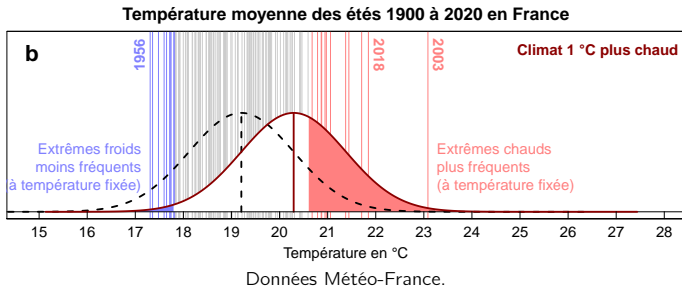
- Le **climat** est la distribution de probabilité de la **météo**.
- La *moyenne* de la distribution est appelée la **normale**.
- Les *queues* de la distribution contiennent les **événements extrêmes**.





# Météo, climat, extrêmes

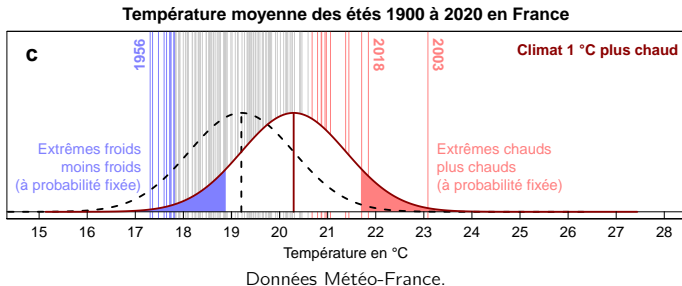
- Le **climat** est la distribution de probabilité de la **météo**.
  - La *moyenne* de la distribution est appelée la **normale**.
  - Les *queues* de la distribution contiennent les **événements extrêmes**.



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

# Météo, climat, extrêmes

- Le **climat** est la distribution de probabilité de la **météo**.
  - La *moyenne* de la distribution est appelée la **normale**.
  - Les *queues* de la distribution contiennent les **événements extrêmes**.



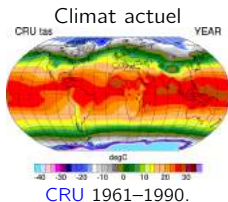
Changer de climat, c'est potentiellement modifier la probabilité de tous les événements météo, y compris celle des extrêmes.

Extrêmes de température

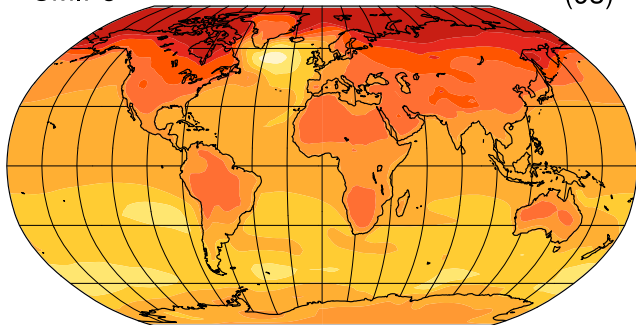
# Géographie du réchauffement global

- Plus fort sur continents et aux hautes latitudes.

N.B. Facteur 1 (hiver) à 1.5 (été) en France.



CMIP5 Changement normalisé (93)



°C par °C de réchauffement global

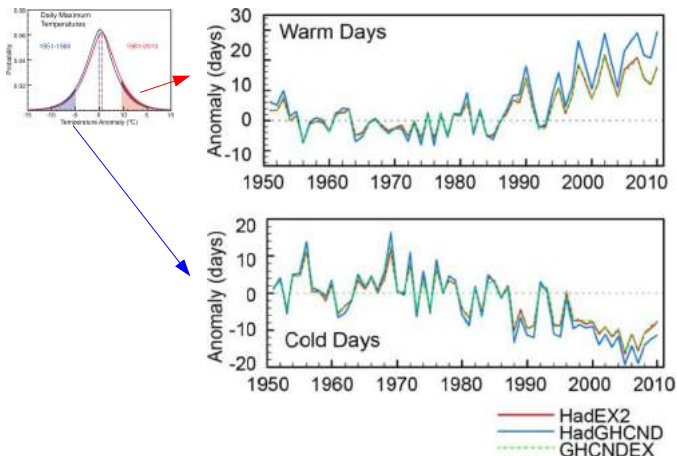


Source : Boucher et al., *La Météorologie Spécial Climat* (2015).

# Extrêmes de température – En global

- Le réchauffement déjà observé se projette sur les extrêmes.

Exemple : Comptage des jours chauds ou froids à seuils de T fixes.

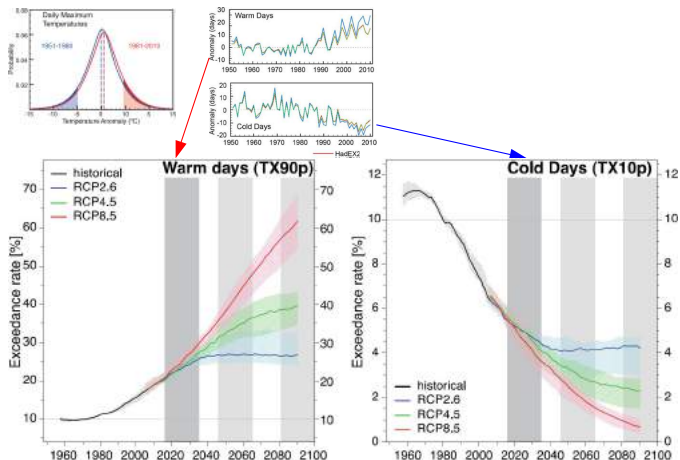


Source : IPCC AR5 (2013).

# Extrêmes de température – En global

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

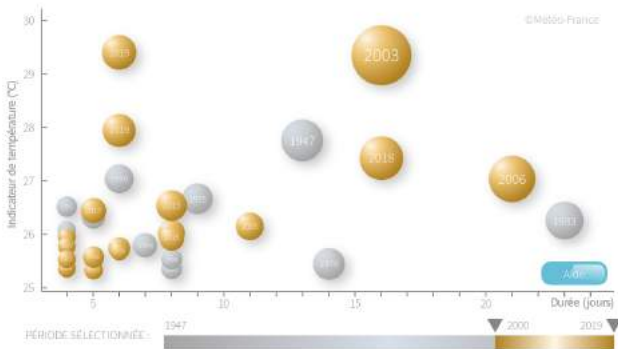
Exemple : Comptage des jours **chauds** ou **froids** à seuils de T fixes.



Source : IPCC AR5 (2013).

# En France

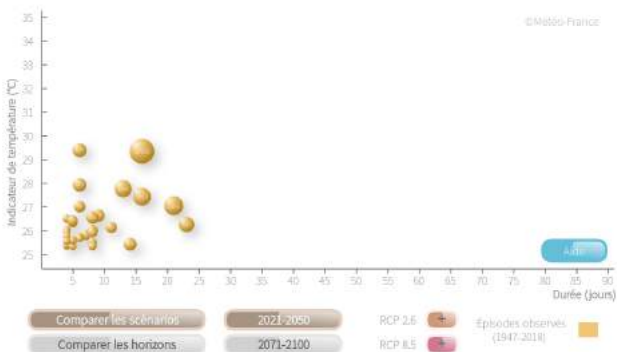
- On observe déjà une **augmentation** en fréquence / intensité des canicules.  
1947–1986 (40 ans) : 7 épisodes — 2000–2019 (20 ans) : 20 épisodes.



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

# En France

- ▶ On observe déjà une **augmentation** en fréquence / intensité des canicules. 1947–1986 (40 ans) : 7 épisodes — 2000–2019 (20 ans) : 20 épisodes.



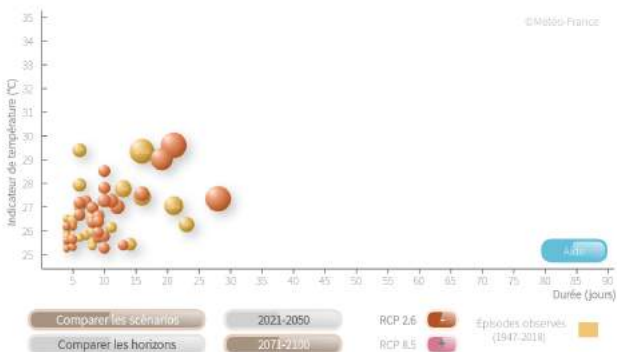
Source : [ClimatHD](#) + dossier canicules [Météo-France](#).

- ▶ **Futur** : selon le scénario, des événements (beaucoup) plus forts. N.B. À l'inverse, **diminution** observée et projetée des vagues de froid.



# En France

- On observe déjà une **augmentation** en fréquence / intensité des canicules. 1947–1986 (40 ans) : 7 épisodes — 2000–2019 (20 ans) : 20 épisodes.

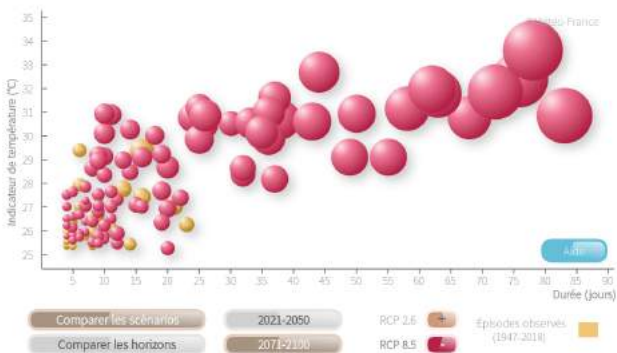


Source : [ClimatHD](#) + dossier canicules [Météo-France](#).

- **Futur** : selon le scénario, des événements (beaucoup) plus forts. N.B. À l'inverse, **diminution** observée et projetée des vagues de froid.

# En France

- On observe déjà une **augmentation** en fréquence / intensité des canicules. 1947–1986 (40 ans) : 7 épisodes — 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 ?

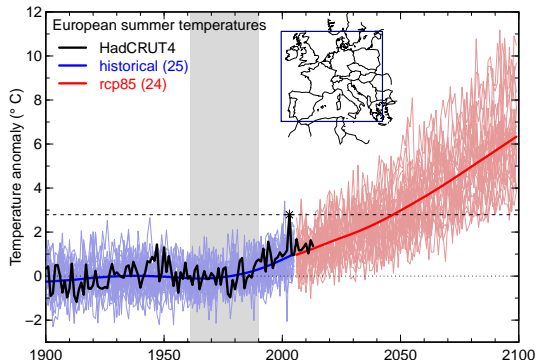
La réponse dépend du scénario et de la définition de l'événement.

# Canicules récentes : analogues du climat futur ?

La réponse dépend du scénario et de la définition de l'événement.

Exemple de l'été 2003 :

- T saisonnière Europe *typique* de 2050 en RCP8.5



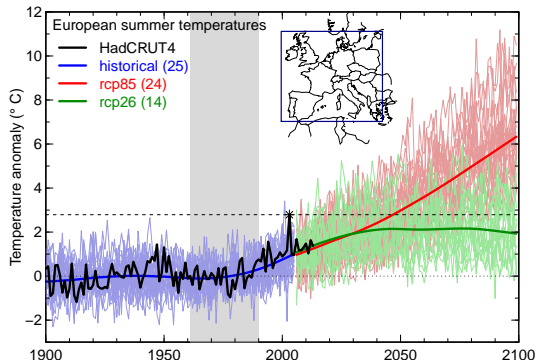
Source : Boucher et al., *La Météorologie Spécial Climat* (2015), Cattiaux and Ribes (2018).

# Canicules récentes : analogues du climat futur ?

La réponse dépend du scénario et de la définition de l'événement.

Exemple de l'été 2003 :

- T saisonnière Europe *typique* de 2050 en RCP8.5 , mais élevée en RCP2.6.



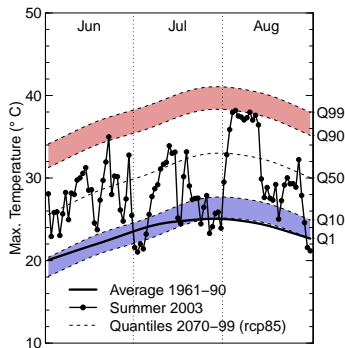
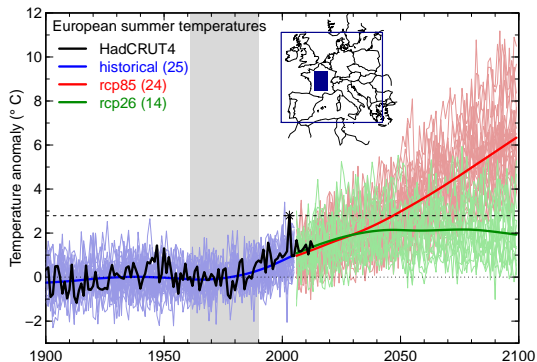
Source : Boucher et al., *La Météorologie Spécial Climat* (2015), Cattiaux and Ribes (2018).

# Canicules récentes : analogues du climat futur ?

La réponse dépend du scénario et de la définition de l'événement.

Exemple de l'été 2003 :

- T saisonnière Europe *typique* de 2050 en RCP8.5 , mais élevée en RCP2.6.
- T quotidiennes France août 2003 encore *anormales* en 2100, même en RCP8.5.



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

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'.

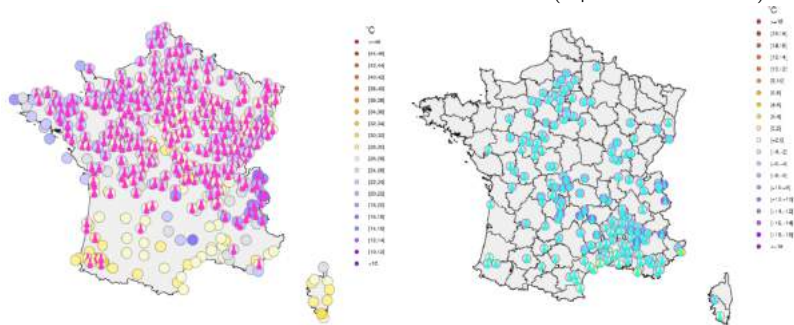
# Il fait froid : preuve que le climat ne se réchauffe pas ?

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'.

**Exemple** : épisode de gelées tardives en France en avril 2021.

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'.

Peut-on attribuer un événement singulier ?

## Peut-on attribuer un événement singulier ?

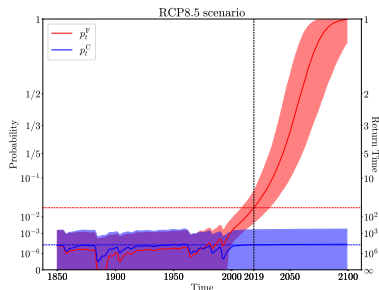
On quantifie l'effet du CC sur la probabilité ou l'intensité de l'événement.

# Peut-on attribuer un événement singulier ?

On quantifie l'effet du CC sur la probabilité ou l'intensité de l'événement.

Exemple de la canicule du 23–25 juillet 2019 :

- probabilité en climat 'factuel' (durée de retour) estimée à  $p \sim \frac{1}{40}$  ( $\frac{1}{13}$  à  $\frac{1}{150}$ ) .
- probabilité  $600\times$  (20 à  $+\infty$ ) plus grande que sans influence humaine.
- température  $2.1 (\pm 0.6) ^\circ\text{C}$  plus élevée que sans influence humaine.



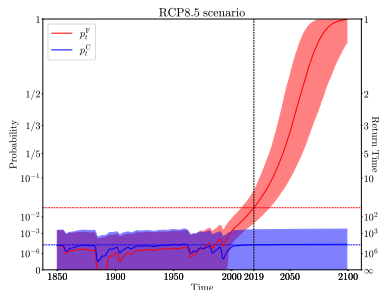
Source :  
Robin and Ribes (2020),  
Vautard et al. (2020).

# Peut-on attribuer un événement singulier ?

On quantifie l'effet du CC sur la probabilité ou l'intensité de l'événement.

Exemple de la canicule du 23–25 juillet 2019 :

- probabilité en climat 'factuel' (durée de retour) estimée à  $p \sim \frac{1}{40}$  ( $\frac{1}{13}$  à  $\frac{1}{150}$ ) .
- probabilité  $600\times$  (20 à  $+\infty$ ) plus grande que sans influence humaine.
- température  $2.1 (\pm 0.6)^\circ\text{C}$  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  $7 (\pm 2)^\circ\text{C}$  plus chaud (approchant  $50^\circ\text{C}$ ).

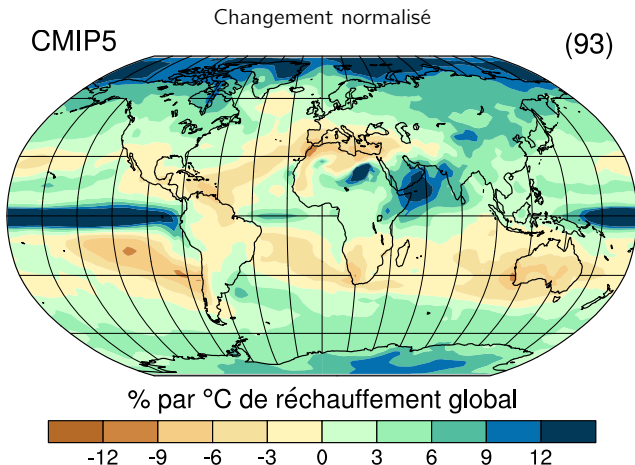
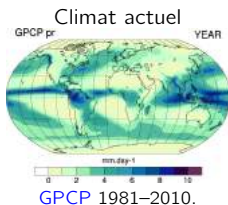
Extrêmes hydrologiques



# Géographie des changements de précipitations

► Au premier ordre, **intensification** du cycle hydrologique actuel.

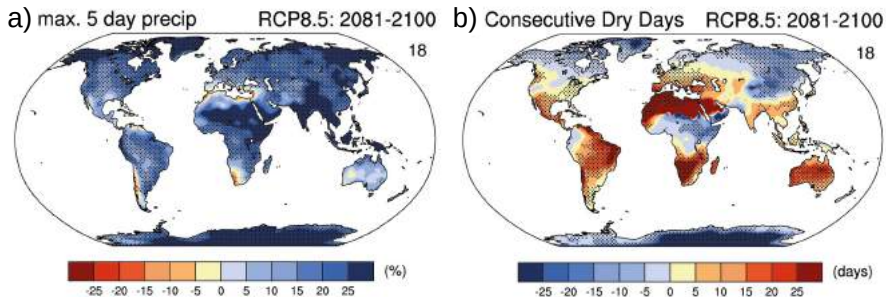
N.B. En France, contrastes nord/sud et été/hiver.



Source : Boucher et al., *La Météorologie Spécial Climat* (2015).

# Extrêmes hydrologiques – En global

- ▶ **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.



Source : IPCC AR5 (2013).

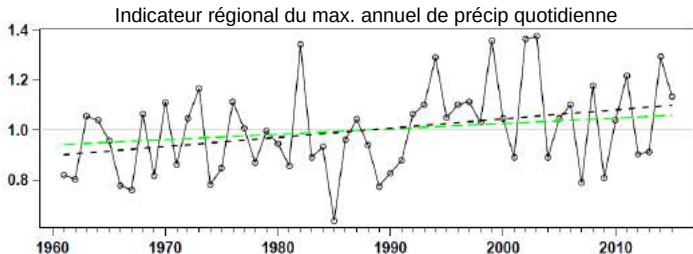
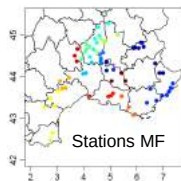
# Précipitations intenses en France

- ▶ Forte hétérogénéité spatiale, petites échelles, relief.

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

- ▶ **Augmentation** observée des 'épisodes méditerranéens'.

- Tendance :  $\sim 15 [\pm 10] \%$  par K de réchauffement.
- Cohérent avec le **taux de Clausius-Clapeyron**.



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

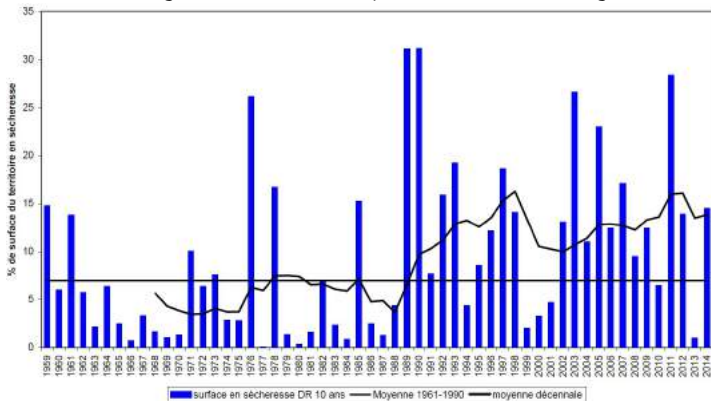
# Sécheresses en France

- **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).

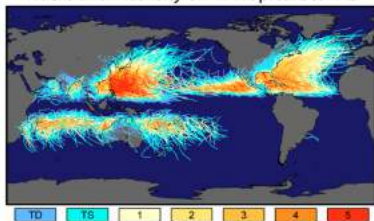
Extrêmes de circulation atmosphérique

# Quels phénomènes ?

- ▶ **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



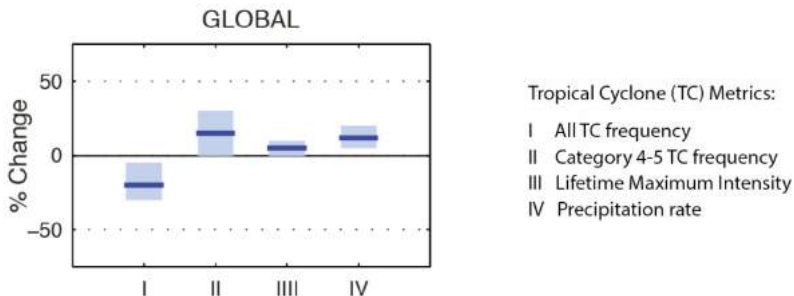
Saffir-Simpson Hurricane Intensity Scale  
Source : [NASA Earth Observatory](#).



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 (IV), surcôtes.
  - **Extension vers les pôles** du 'terrain de jeu' des cyclones.
- ▶ Pas de tendance observée à l'heure actuelle.  
Forte variabilité, hétérogénéité des observations, etc.

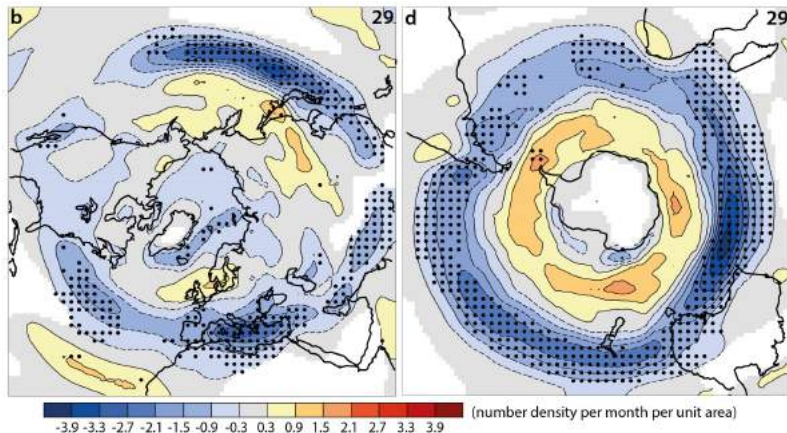


2081–2100 vs. 2000–2019 en RCP6.0. Source : IPCC AR5 (2013).

# Tempêtes extra-tropicales

- ▶ **Décalage probable vers les pôles**, en lien avec la circulation générale.  
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 en RCP8.5. Source : IPCC AR5 (2013).



# 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), incertain (tempêtes), voire inexistant (phénomènes non abordés ici).

—

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.