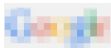
A satellite image of Earth from space, showing a large, swirling storm system over the Pacific Ocean. The storm has a distinct eye and is surrounded by dense, white clouds. The Earth's surface is visible in shades of blue and green, with some yellowish-brown areas indicating land or vegetation. The overall scene is set against the blackness of space.

# Quel sens donner aux événements extrêmes dans le contexte du changement climatique ?

Julien Cattiaux  
CNRM-GAME | CNRS/Météo-France

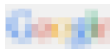
Journée Scientifique de Météo & Climat  
*La perception du changement climatique*  
3 décembre 2013

# Une première réponse ?



Appuyez sur Entrée pour lancer la recherche.

# Une première réponse ?





Appuyez sur Entrée pour lancer la recherche.

- ▶ [France 24](#), 27/09/2013, interview d'un climatologue :

*“Il y a clairement une multiplication des événements extrêmes”, note ce climatologue. [...] le réchauffement de l’atmosphère dû aux émissions de gaz à effet de serre fournit l’énergie nécessaire au déclenchement de ces événements. Pour lui, même les ouragans de type Sandy [...] proviennent du réchauffement climatique.”*

- ▶ [Le Nouvel Obs](#), 29/09/2013, tribune d'un mathématicien :

*“la température de la Terre n’augmente plus depuis quinze ans [...] Les répliques de la canicule de 2003 se font attendre. Sandy n’est pas Katrina. L’activité cyclonique est à un niveau particulièrement bas ces dernières années.”*

# Spoiler

- 1 Événements extrêmes : de la météo au climat
- 2 Le changement climatique
- 3 Changement climatique et extrêmes de température
- 4 Que peut-on dire des autres extrêmes ?



# Spoiler

- 1 Événements extrêmes : de la météo au climat
- 2 Le changement climatique
- 3 Changement climatique et extrêmes de température
- 4 Que peut-on dire des autres extrêmes ?

# Stp, dessine-moi un extrême

*En France, depuis 15 ans...*

Août 2003



Avril 2011



Juin 2013



Décembre 2009



Décembre 1999



Février 2010

# Stp, dessine-moi un extrême

Dans le monde, en 2012...

USA



Mexique



Pékin



Genève



USA Atl.



Groënland

# Stp, dessine-moi un extrême

Dans le monde, en 2012...

USA



Mexique



Pékin



Genève



USA Atl.



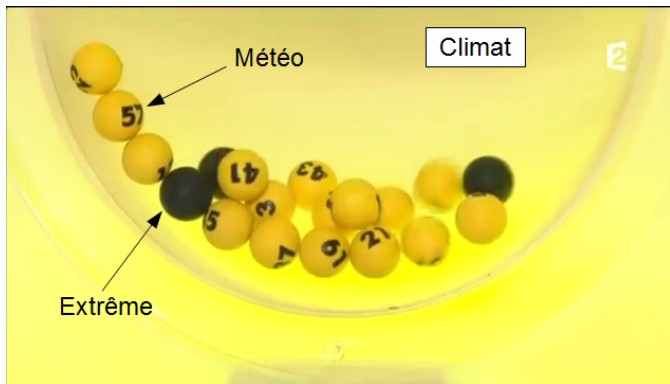
Groënland

- Événements **localisés** (espace et temps), **rares**, et à forts **impacts**.

# Climat, météo, extrêmes



# Climat, météo, extrêmes



**Climat** : ensemble des possibles. **Météo** : une réalisation. **Extrême** : une réalisation *rare*.

► Un extrême est *météorologique*.

# Climat, météo, extrêmes



**Climat** : ensemble des possibles. **Météo** : une réalisation. **Extrême** : une réalisation *rare*.

► Un extrême est *météorologique*.

# Climat, météo, extrêmes

**Climat** : ensemble des possibles. **Météo** : une réalisation. **Extrême** : une réalisation *rare*.

- ▶ Un extrême est *météorologique*.
- ▶ Observer la météo & **les** extrêmes sur une durée renseigne sur le *climat*.



# Décrire les extrêmes en sciences du climat

## ► Statistique

Temps de retour, dépassements de seuil, records, théorie des valeurs extrêmes.

## ► Physique

Processus impliqués (précurseurs, déclencheurs, amplificateurs).

## ► Études de cas

Compréhension d'événements singuliers.



Plaquette [Missterre](#).

### EXPLAINING EXTREME EVENTS OF 2011 FROM A CLIMATE PERSPECTIVE

Thomas C. Peterson, Phil A. Scott and Shmuel Mullen, Editors

Using a variety of methodologies, an overview review of the progress and an explanation from a climate perspective.

#### INTRODUCTION

Phil A. Scott—Met Office Hadley Centre, Sharn Hall, Exeter, Devon, UK; Thomas C. Peterson—NOAA National Centers for Environmental Prediction, Silver Spring, Maryland, USA; Shmuel Mullen—NOAA Office of Public Awareness, Boston, Massachusetts, USA

Every year the Bulletin of the American Meteorological Society publishes an annual report on the state of the climate. It covers the highlights of the year and the progress of the science. This report does a similar job of describing the state of the climate and the progress of the science. It does not address the historical perspective, but it does address the current state of the science. One of the reasons for this is that the

report is intended to be a guide to the progress of the science. It is not intended to be a guide to the progress of the science. It is not intended to be a guide to the progress of the science. It is not intended to be a guide to the progress of the science.

Other reports, such as those by the

### EXPLAINING EXTREME EVENTS OF 2012 FROM A CLIMATE PERSPECTIVE



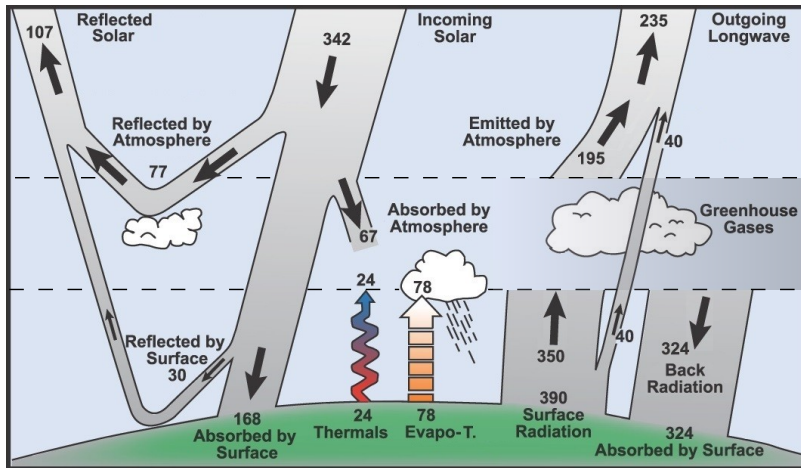
Numéros spéciaux [BAMS](#).

# Plan

- 1 Événements extrêmes : de la météo au climat
- 2 Le changement climatique
- 3 Changement climatique et extrêmes de température
- 4 Que peut-on dire des autres extrêmes ?

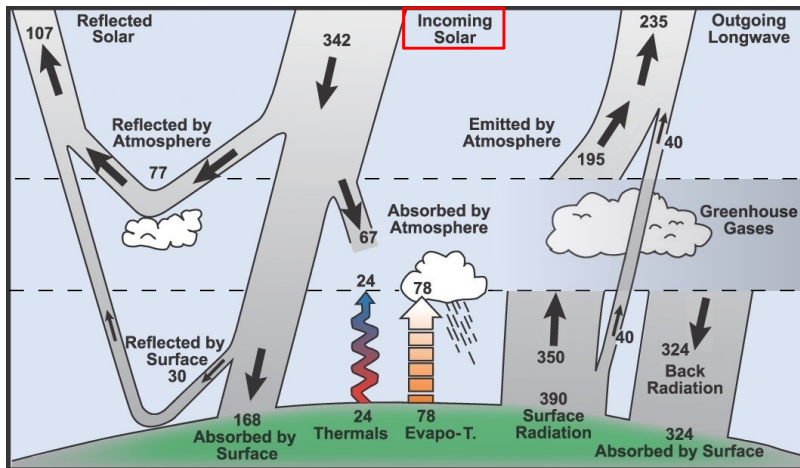
# Bilan énergétique du système {Terre}

# Bilan énergétique du système {Terre}



Adapté de l'IPCC AR4 (2007) FAQ 1.1 Fig. 1.

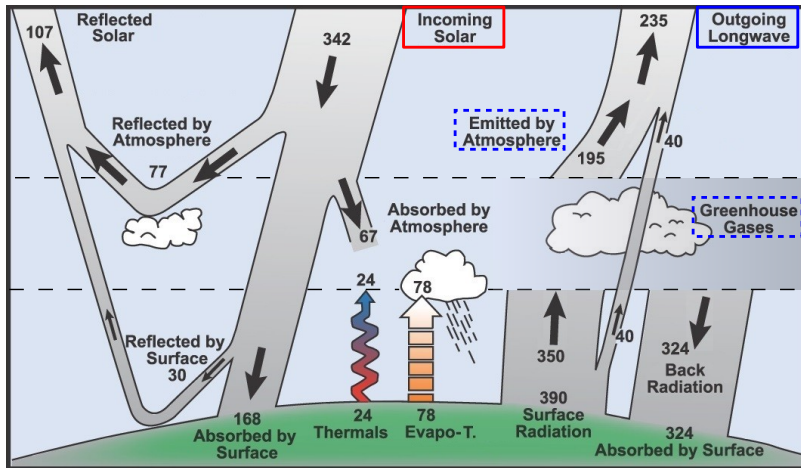
# Bilan énergétique du système {Terre}



Adapté de l'IPCC AR4 (2007) FAQ 1.1 Fig. 1.

Activité solaire

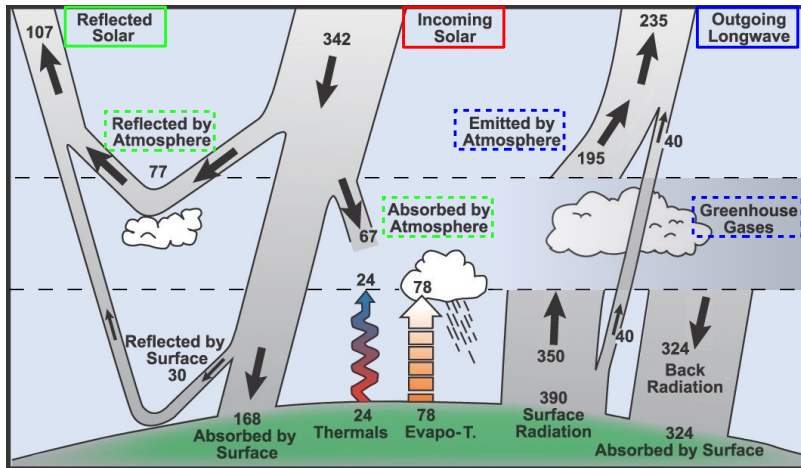
# Bilan énergétique du système {Terre}



Adapté de l'IPCC AR4 (2007) FAQ 1.1 Fig. 1.

Activité solaire – Gaz à effet de serre

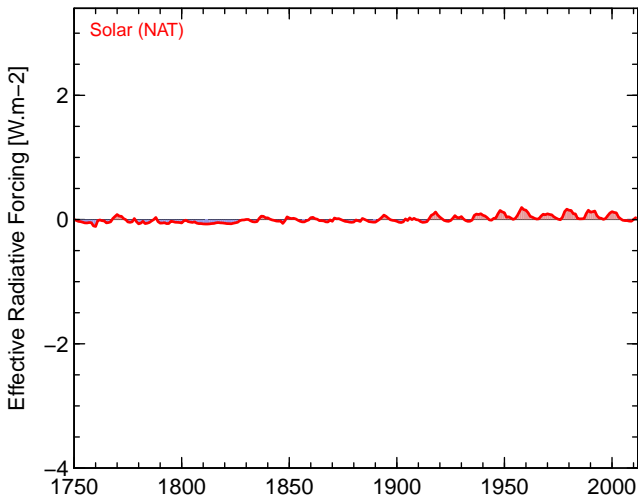
# Bilan énergétique du système {Terre}



Adapté de l'IPCC AR4 (2007) FAQ 1.1 Fig. 1.

Activité solaire – Gaz à effet de serre – Aérosols

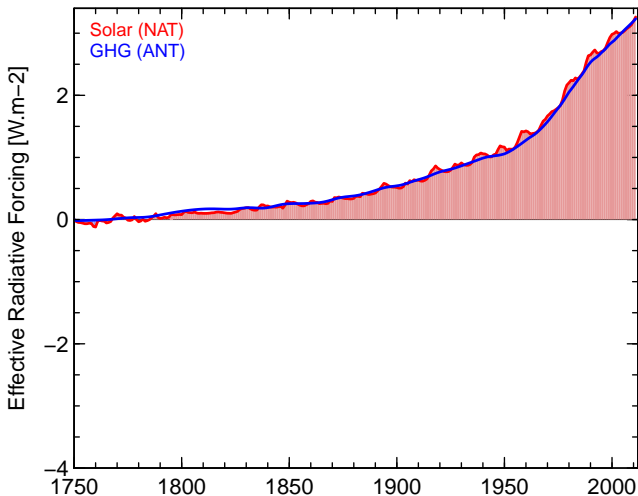
# Forçages externes et déséquilibre énergétique



Données : F.M. Bréon (LSCE, communication personnelle).

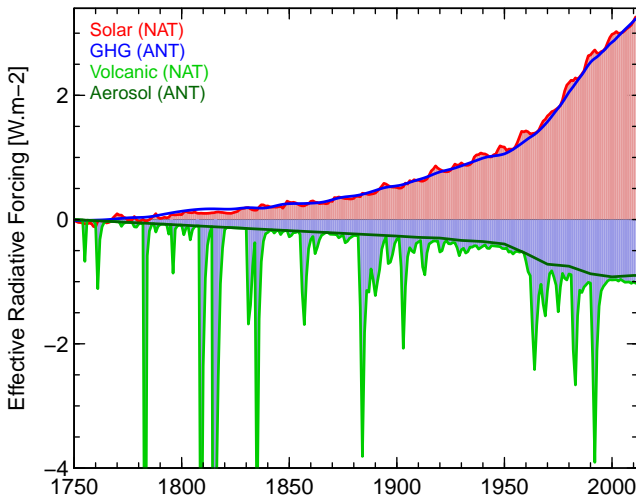


# Forçages externes et déséquilibre énergétique



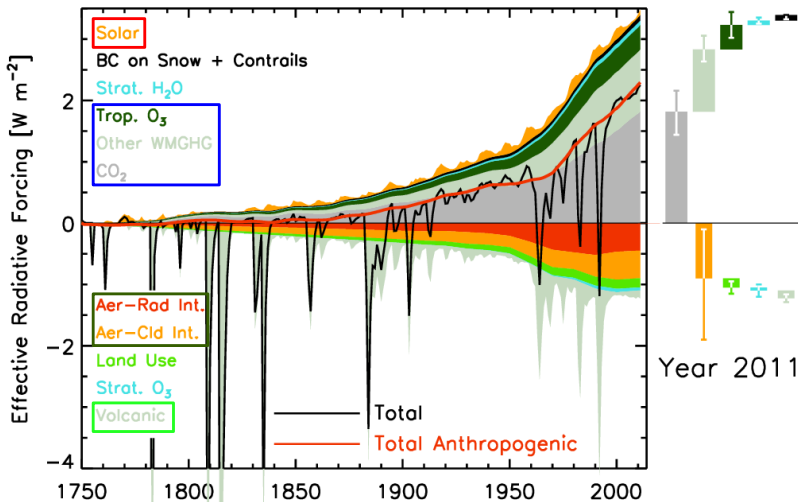
Données : F.M. Bréon (LSCE, communication personnelle).

# Forçages externes et déséquilibre énergétique



Données : F.M. Bréon (LSCE, communication personnelle).

# Forçages externes et déséquilibre énergétique



Source : IPCC AR5 (2013) Fig. 8.18.

# Où va cet excès d'énergie ?

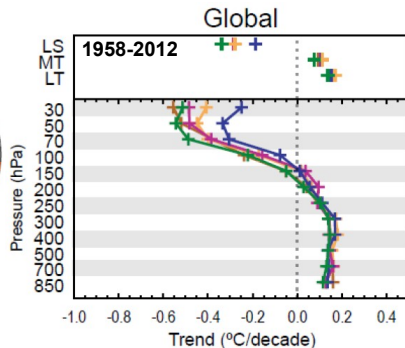
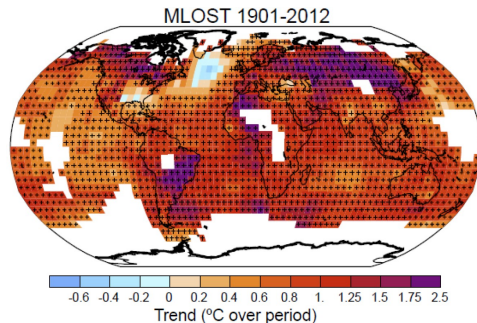
# Où va cet excès d'énergie ?

↔ {Océans}<sub>93%</sub> + {Cryosphère}<sub>3%</sub> + {Continents}<sub>3%</sub> + {Atmosphère}<sub>1%</sub>



# Global ne signifie pas uniforme !

- ▶ Exemple de la structure **horizontale** et **verticale** du réchauffement.



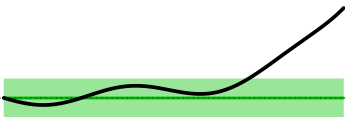
Source : IPCC AR5 (2013) Figs. 2.21 et 2.24.

# Comment attribuer ces changements ?

- Utilisation de **modèles** de climat, avec sélection des forçages.

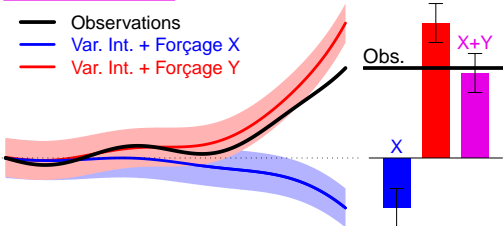
## Détection

- Observations
- Variabilité Interne



## Attribution

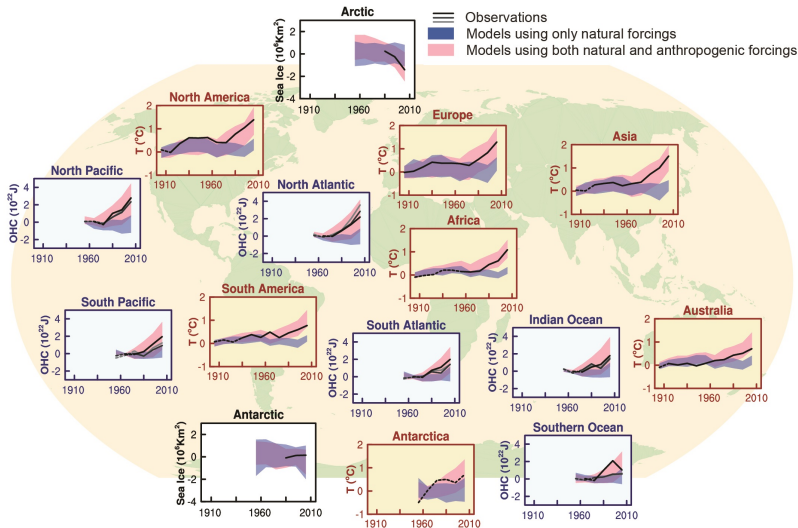
- Observations
- Var. Int. + Forçage X
- Var. Int. + Forçage Y



... et donc ?



# Comment attribuer ces changements ?



Source : IPCC AR5 (2013) Fig. SPM6.

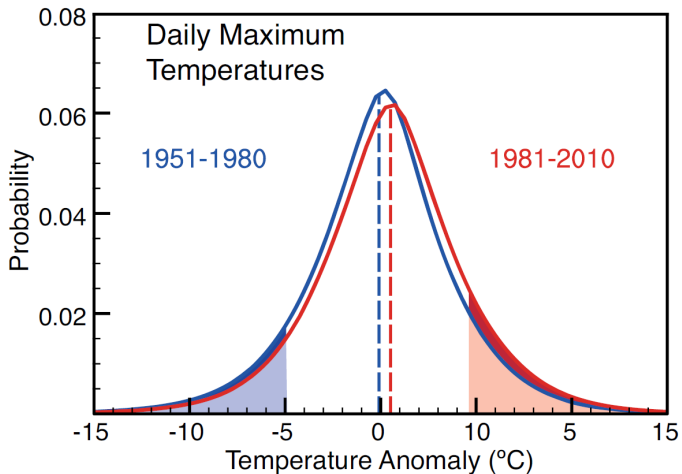




# Plan

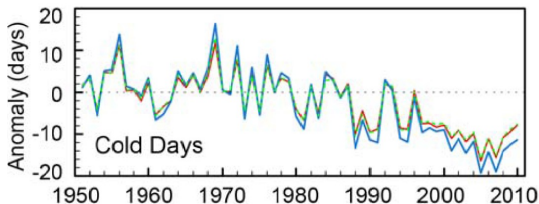
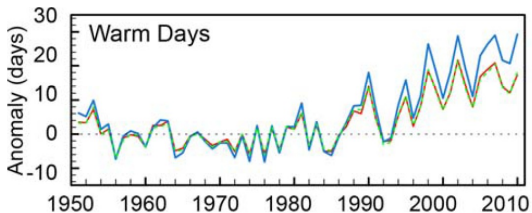
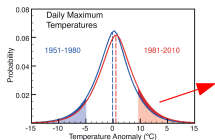
- 1 Événements extrêmes : de la météo au climat
- 2 Le changement climatique
- 3 Changement climatique et extrêmes de température
- 4 Que peut-on dire des autres extrêmes ?

# À l'échelle globale



Source : IPCC [AR5](#) (2013) FAQ 2.2 Fig. 1.

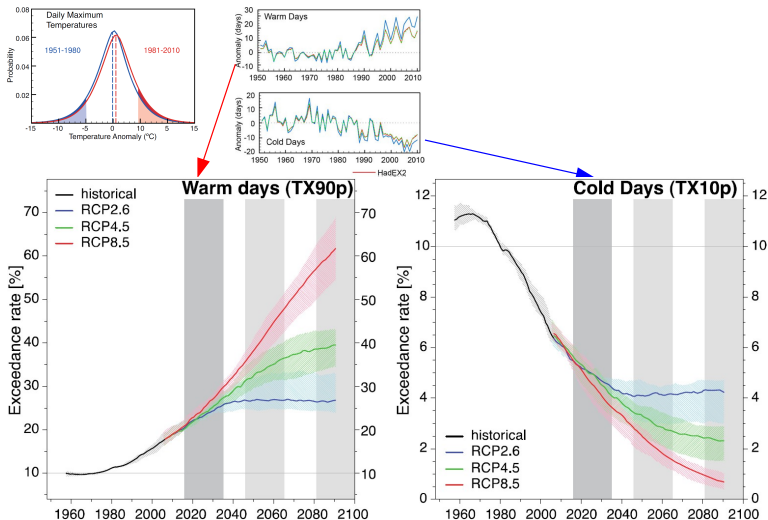
# À l'échelle globale



— HadEX2  
— HadGHCND  
- - - GHCNDEX

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

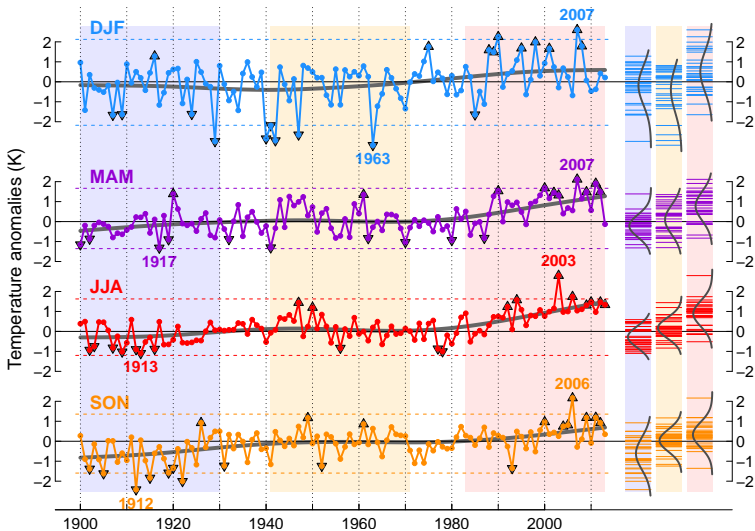
# À l'échelle globale



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

# Plus près de chez nous

- Tous les **records chauds** saisonniers battus depuis 10 ans.



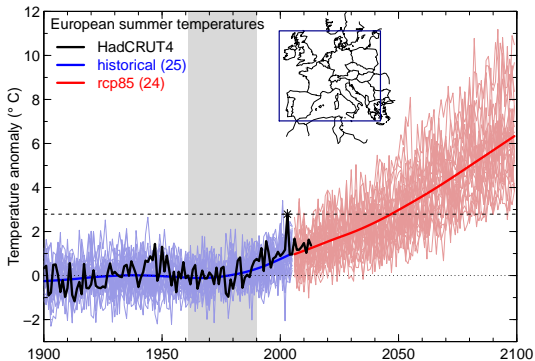
Adapté de  
Cattiaux (2010).  
Données :  
HadCRUT4.



# Placer un événement dans une perspective climatique

## ► Exemple de l'**été 2003**.

- ◇ Une moyenne saisonnière Europe dans la moyenne d'ici [2050]<sub>8.5</sub>.

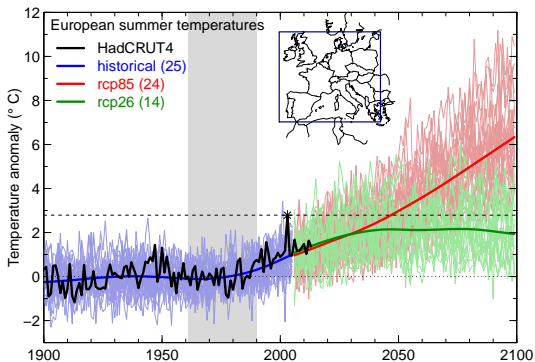


Adapté de Stott et al. (2004) Fig. 1

# Placer un événement dans une perspective climatique

## ► Exemple de l'**été 2003**.

- ◇ Une moyenne saisonnière Europe dans la moyenne d'ici [2050]<sub>8.5</sub>.

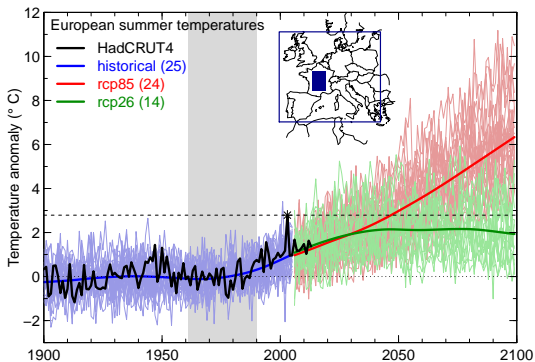


Adapté de Stott et al. (2004) Fig. 1

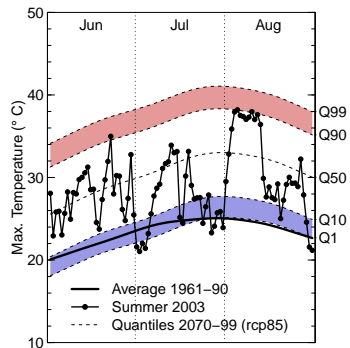
# Placer un événement dans une perspective climatique

## ► Exemple de l'**été 2003**.

- ◇ Une moyenne saisonnière Europe dans la moyenne d'ici [2050]<sub>8.5</sub>.
- ◇ Certaines températures quotidiennes France encore *anormales* en [2100]<sub>8.5</sub>.



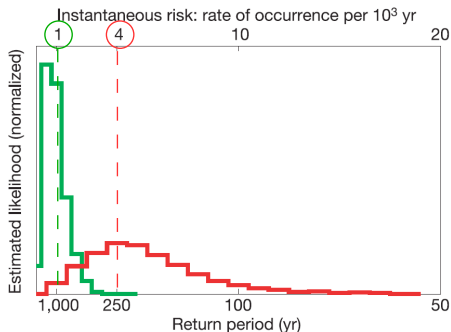
Adapté de Stott et al. (2004) Fig. 1 et de Beniston (2007) Fig. 3.



# Lier un événement au changement climatique – 1/2

## ► Estimation du changement de **probabilité d'occurrence**.

Exemple : proba été 2003 multipliée par 4 [2–10] par facteurs anthropiques.

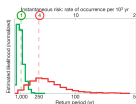


Source : Stott et al. (2004) Fig. 3a.

# Lier un événement au changement climatique – 1/2

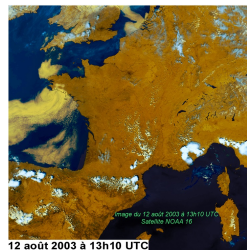
- ▶ Estimation du changement de **probabilité d'occurrence**.

Exemple : proba été 2003 multipliée par 4 [2–10] par facteurs anthropiques.



- ▶ Étude des **processus physiques** impliqués dans l'événement.

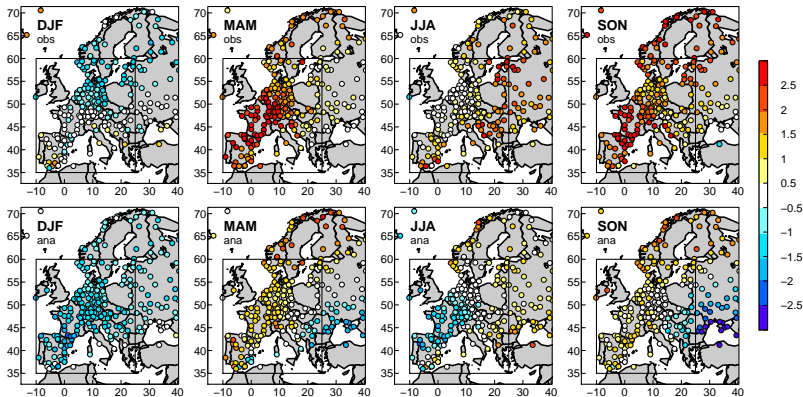
Blocages anticycloniques persistants et conditions de surface.



Copyright Météo-France

# Lier un événement au changement climatique – 2/2

- Pas de **tendance** détectée dans les occurrences de blocage. . .
- . . . mais de plus en plus chaud à circulations **analogues**.



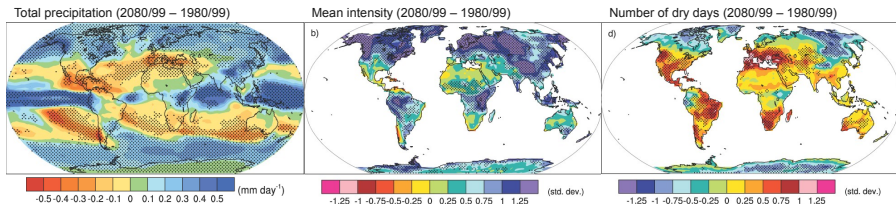
Exemple de l'année 2011, Cattiaux and Yiou (2012).

# Plan

- 1 Événements extrêmes : de la météo au climat
- 2 Le changement climatique
- 3 Changement climatique et extrêmes de température
- 4 Que peut-on dire des autres extrêmes ?

# Une intensification du cycle hydrologique

- Plus chaud, plus de vapeur d'eau ! (Clausius-Clapeyron).

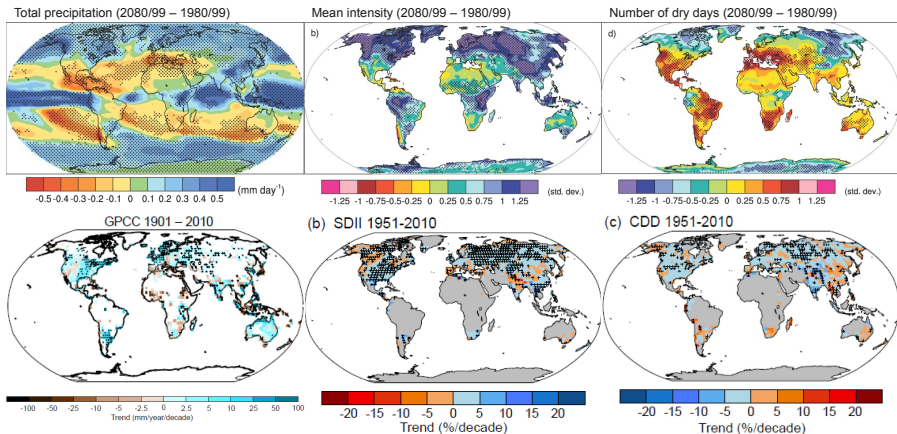


Source : IPCC [AR4](#) (2007) Figs. 10.12 et 10.18



# Une intensification du cycle hydrologique

- Plus chaud, plus de vapeur d'eau ! (Clausius-Clapeyron).



Source : IPCC AR4 (2007) Figs. 10.12 et 10.18 et IPCC AR5 Figs. 2.29 et 2.33.

# Quelles conséquences sur les extrêmes hydrologiques ?

## ▶ **Précipitations intenses** :

- ◇ Augmentation générale projetée, et partiellement observée (*probable*).
- ◇ Influence anthropique *détectée* sur certains événements (Pall et al. (2011)).
- ◇ Pas de signal clair sur les crues, incertitudes liées à l'aménagement.

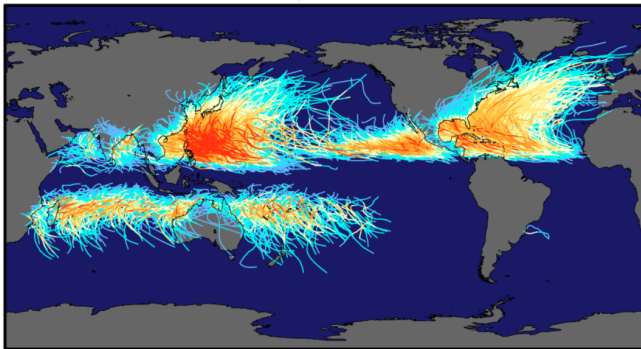
## ▶ **Sécheresses** :

- ◇ Augmentation *probable* dans certaines régions (dont Europe méridionale).
- ◇ Pas de signal *détecté* dans les observations (Dai et al. (2011 vs. 2004)).

# Cyclones tropicaux

- ▶ Se forment sous certaines conditions **thermiques** et **dynamiques**.

## Tracks and Intensity of All Tropical Storms



Saffir-Simpson Hurricane Intensity Scale

Source : NASA Earth Observatory, infos [ici](#).

# Cyclones tropicaux et changement climatique

## ▶ À quoi peut-on s'attendre ?

- ◇ Fréquence globale *probablement* à la baisse ou constante.
- ◇ Augmentation *probable* des vents max dans certains bassins.
- ◇ Augmentation *probable* des précipitations associées.
- + Augmentation des surcôtes liée à l'élévation du niveau marin.  
Exemple : proba inondations Sandy multipliée par 2 (Sweet et al. (2012)).

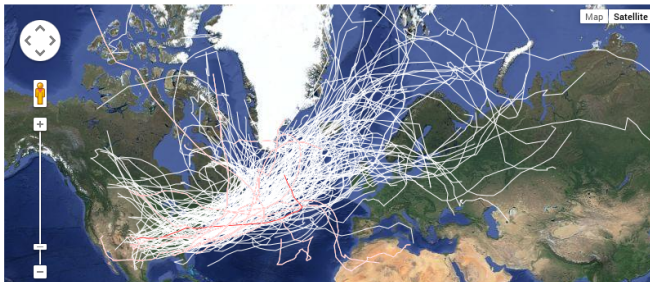
## ▶ Pas de tendance détectée.

*Forte variabilité, hétérogénéité des observations, insuffisances des modèles.*

# Un mot sur les tempêtes

- Origine principalement **atmosphérique**.

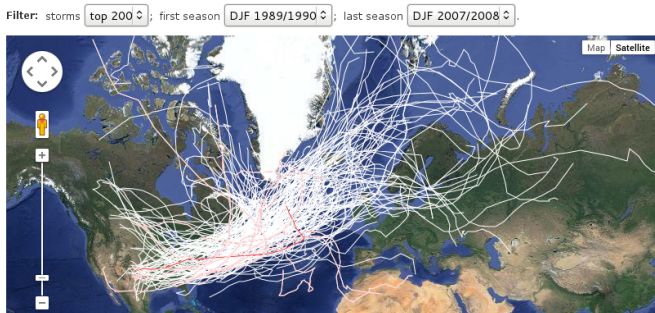
Filter: storms  ; first season  ; last season .



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

# Un mot sur les tempêtes

- ▶ Origine principalement **atmosphérique**.



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

- ▶ **Quelles tendances ?**

- ◇ Décalage vers les pôles, observé et projeté (*probable*)...
- ◇ ... mais pas d'*attribution* formelle aux forçages anthropiques.

# En résumé

# En résumé

- ▶ Un extrême est **météorologique**, les extrêmes renseignent sur le **climat**.  
*Le climat est la distribution de probabilité de la météo (= du temps).*
- ▶ Le **changement climatique** actuel résulte d'un déséquilibre énergétique.  
*L'augmentation des concentrations de GES en est la contribution majeure.*
- ▶ Pour chaque variable, réponses aux **forçages** se superposent à **variabilité interne**.  
*L'évolution récente du système est incompatible avec les causes naturelles seules.*
- 
- ▶ Le changement climatique modifie-t-il les **extrêmes** ?  
*Signaux clairs pour certains (e.g. température), plus complexes pour d'autres (e.g. cyclones).*
- ▶ Peut-on imputer un **événement** au changement climatique ?  
*Non. Mais on peut estimer comment sa probabilité d'occurrence a été modifiée.*



A vast field of snow globes is set up in a snowy outdoor area. The snow globes are arranged in rows, stretching far into the distance. Each globe is a different size and contains a unique scene, often featuring a snowman or winter-themed characters. The background shows a line of trees and a building under a clear sky. The word "Merci" is centered in the middle of the field.

Merci

Manifestation contre le réchauffement climatique

