

# *Quel sera le climat demain ?*

*Jean-Louis Dufresne*

*Laboratoire de Météorologie Dynamique (CNRS, UPMC, ENS, X)*

*Institut Pierre Simon Laplace.*



UPMC  
UNIVERSITÉ PARIS  
SAINT-DENIS



UNIVERSITÉ DE  
VERSAILLES  
ST-QUENTIN-EN-YVELINES



*UTL Essonnes, 6 mars 2018*

# Plan

- I. Qu'est-ce que le climat ?
- II. Naissance de la physique du climat
- III. Comment peut-on prévoir le climat ?
- IV. Les changements climatiques récents et futurs
- V. Faire la différence entre le doute et la tromperie
- VI. Épilogue

# Qu'est ce que le climat ?

## Climat :

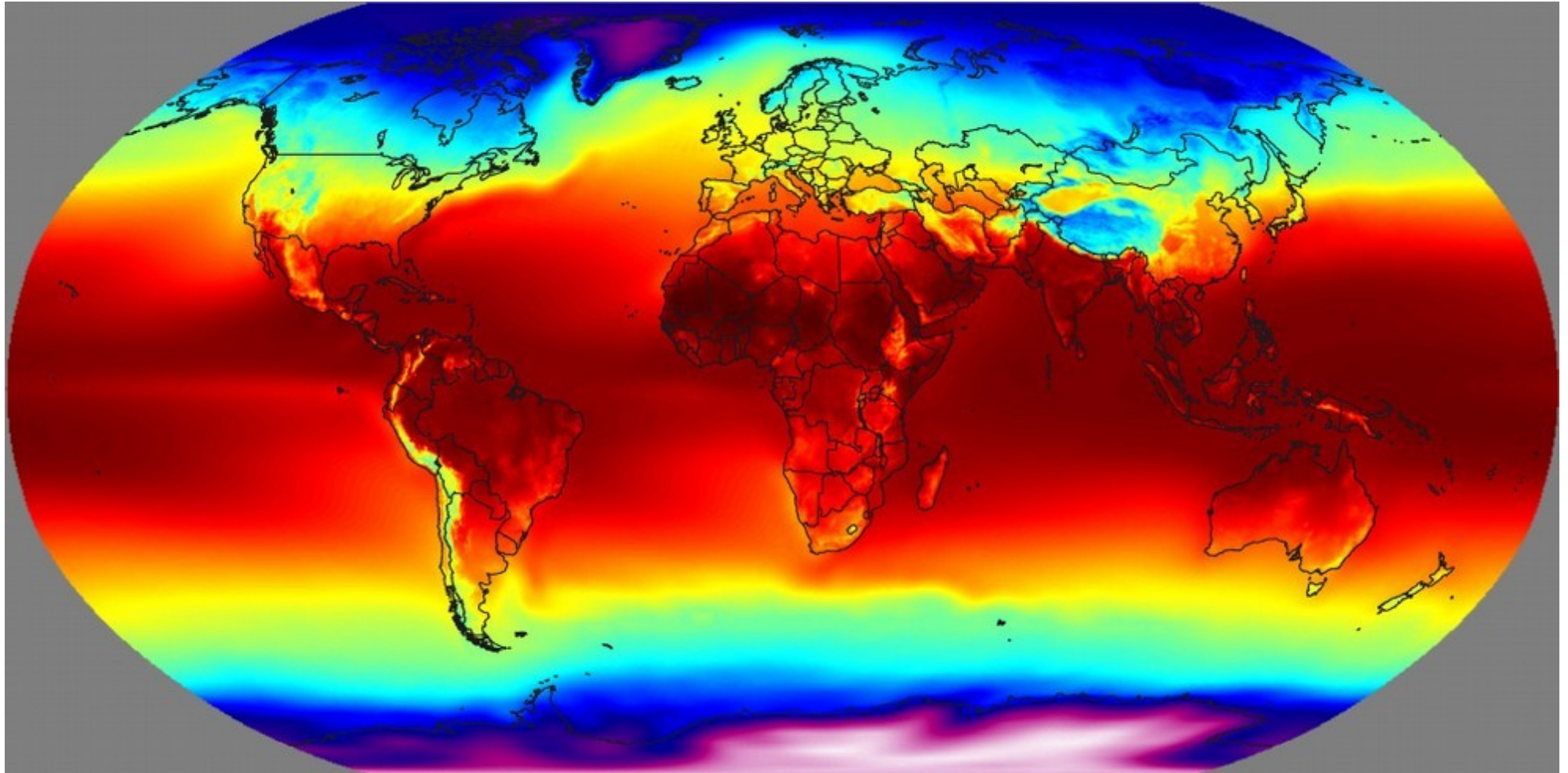
- Caractéristiques statistiques des conditions météorologiques en un lieu donné
- Provient du grec « klima » « inclinaison du ciel » l'inclinaison de la Terre par rapport au Soleil
- En pratique : je pars un mois dans une région : quels vêtements dois-je prendre ?
- Jusqu'à la fin du 19<sup>e</sup> siècle : *la météorologie varie, pas le climat*

**Climatologie** : description des « climats »

**Physique du climat, étude du système climatique** :  
compréhension, mécanisme

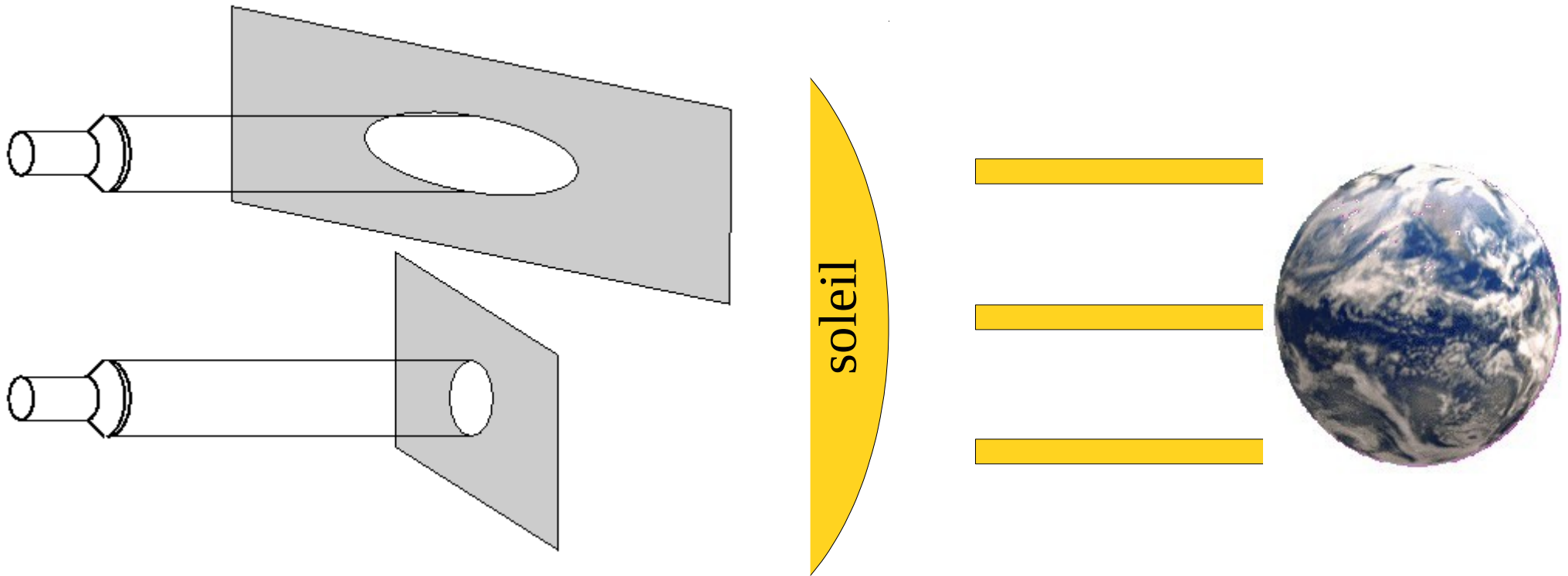
# Qu'est ce que le climat global ?

**moyenne annuelle de la température de surface**



# Qu'est ce que le climat global ?

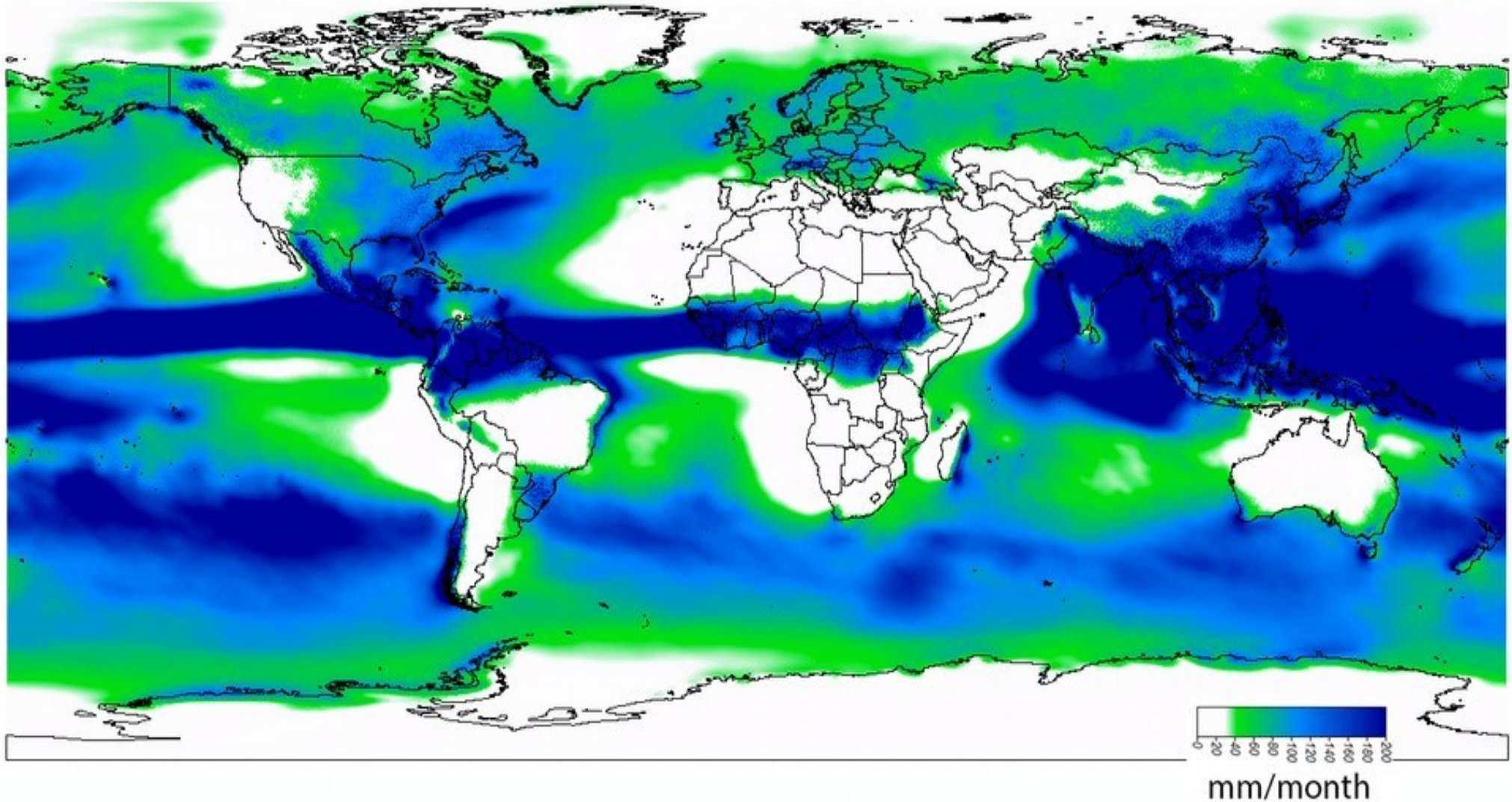
## Le soleil, moteur du climat



**Climat** : Provient du grec « klima » « inclinaison du ciel »  
l'inclinaison de la Terre par rapport au Soleil

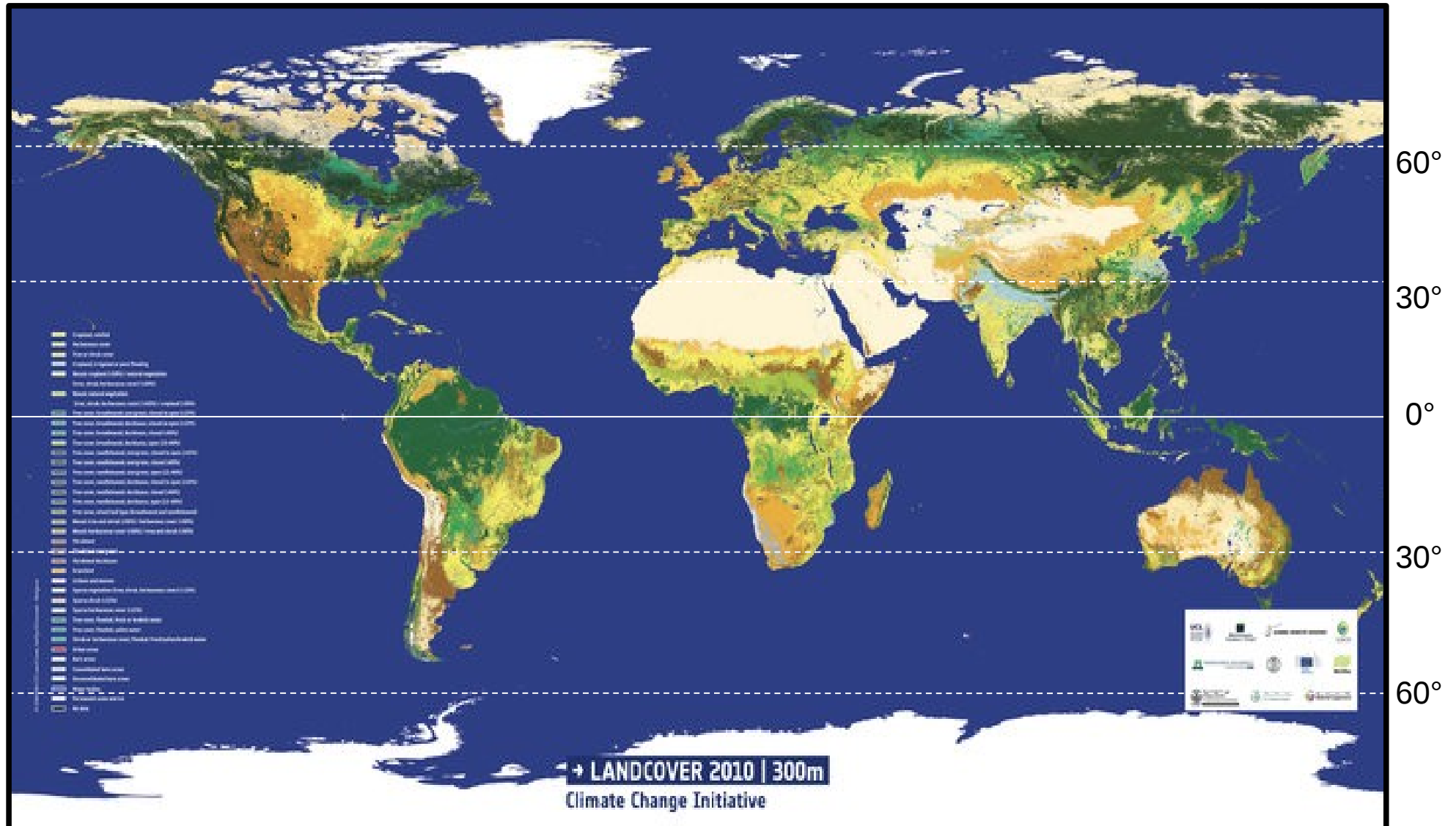
# Qu'est ce que le climat global ?

## Précipitations moyennes en juillet

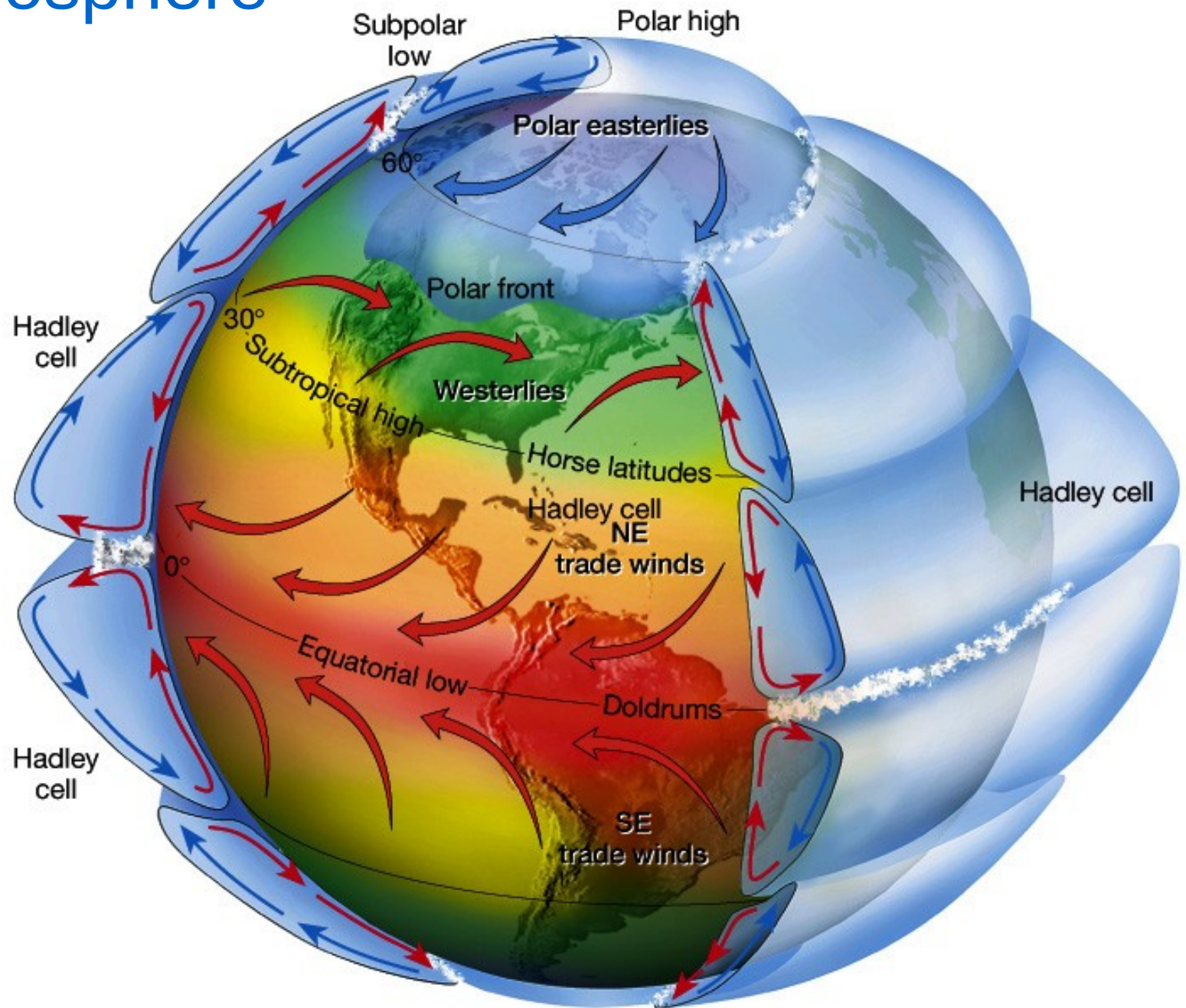


# Qu'est ce que le climat global ?

## Carte de végétation



# Circulation générale de l'atmosphère





# Plan

- I. Qu'est-ce que le climat ?
- II. Naissance de la physique du climat
- III. Comment peut-on prévoir le climat ?
- IV. Les changements climatiques récents et futurs
- V. Faire la différence entre le doute et la tromperie
- VI. Épilogue

# Naissance de la physique du climat

*Mémoire sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaire, J. Fourier, 1824*



**Joseph Fourier**  
(1768-1830)

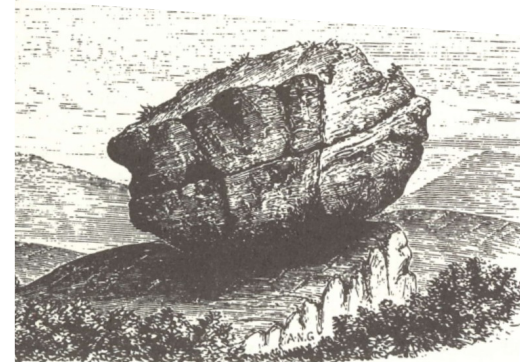
- **La température en un lieu donné** est régie par des phénomènes locaux mais aussi par des **phénomènes globaux**, valable en tous points du globe, **dont il est possible de chercher les lois.**
- Le **bilan d'énergie** pilote la température de surface de la Terre
- Les principaux modes de transferts d'énergie sont le rayonnement solaire, infra-rouge, et la conduction avec le centre de la Terre (négligeable)
- Hypothèse de « **l'effet de serre** » (« *boite chaude* »)
- **La Terre est une planète** comme les autres
- Il pressent l'importance de **changements d'ensoleillement**
- Il envisage néanmoins que le **climat puisse changer du fait des activités humaines**

# La découverte des variations passées

## Hypothèse des périodes glaciaires (1840-1860)



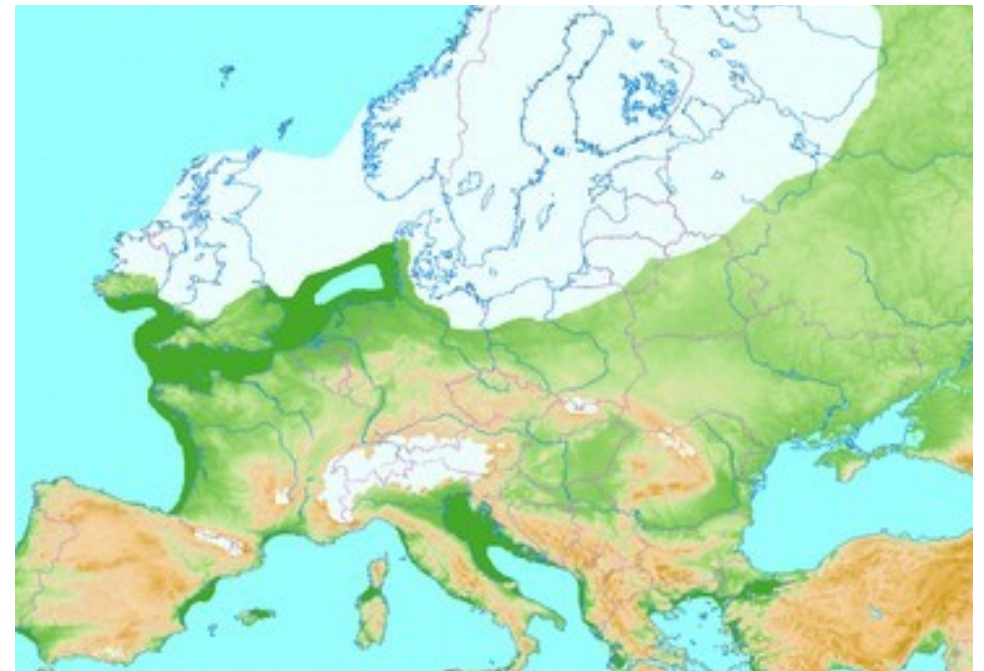
Jean de  
Charpentier



Blocs erratiques



Louis Agassiz



# La découverte des périodes glaciaires

Une période documentée par des peintures



Cosquer



Lascaux



Chauvet

Origine de ces variations : soleil ou CO<sub>2</sub> (1860-1900) ?



James Croll

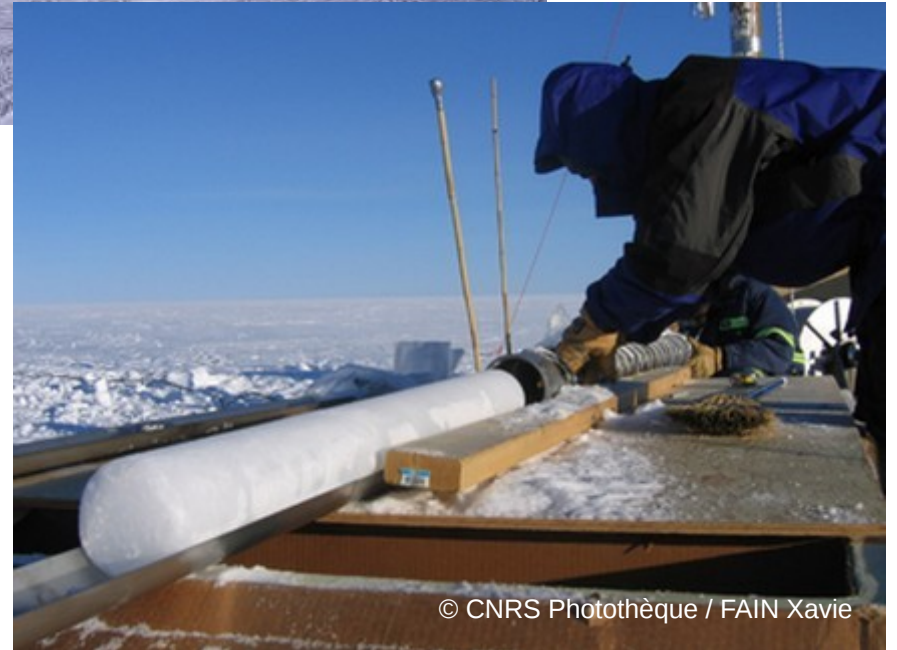


Svante Arrhenius

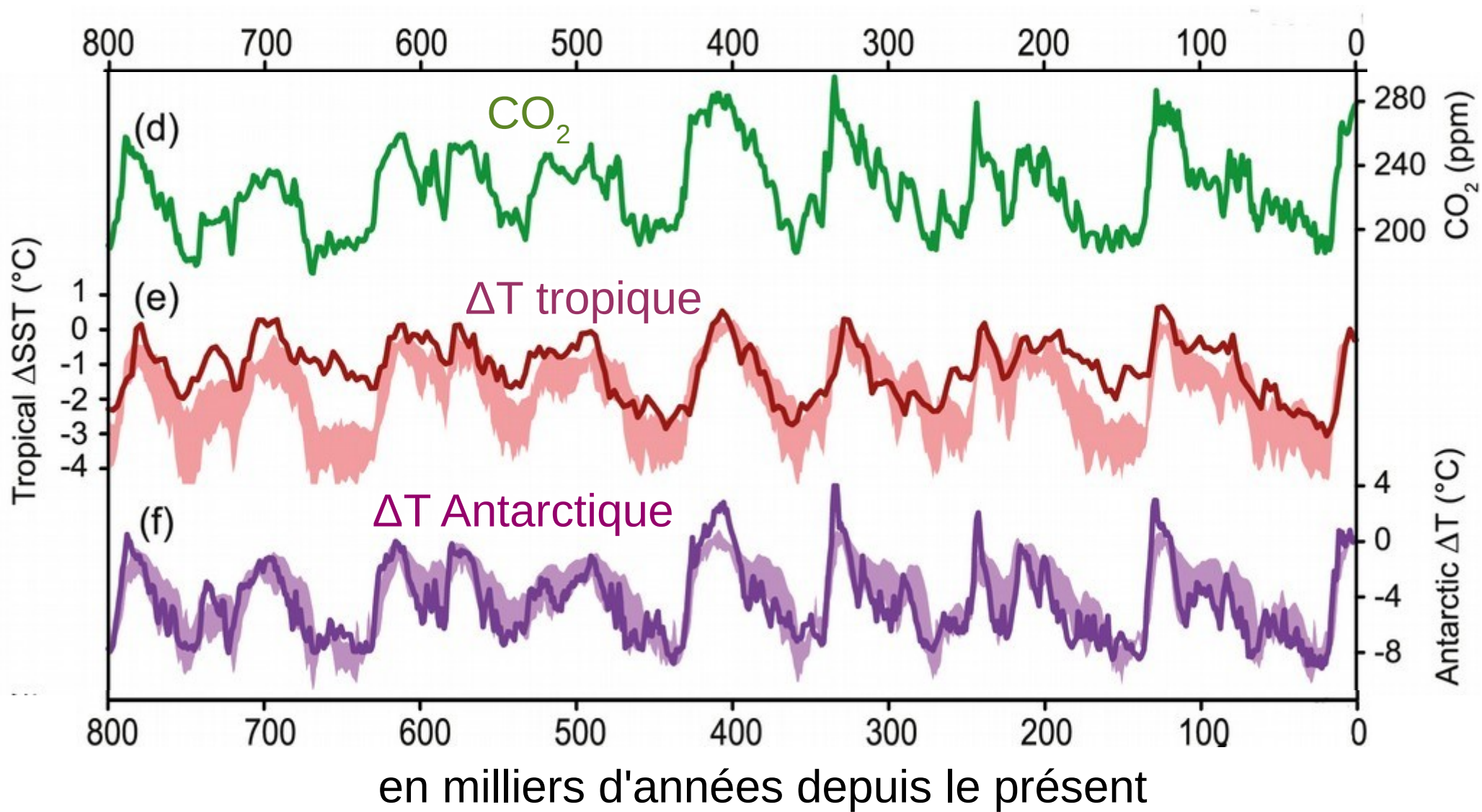
# La découverte des périodes glaciaires



Carottages de glace en  
Antarctique et au Groenland



# La découverte des périodes glaciaires



# Température d'équilibre d'une planète

Quelques lois physiques fondamentales :

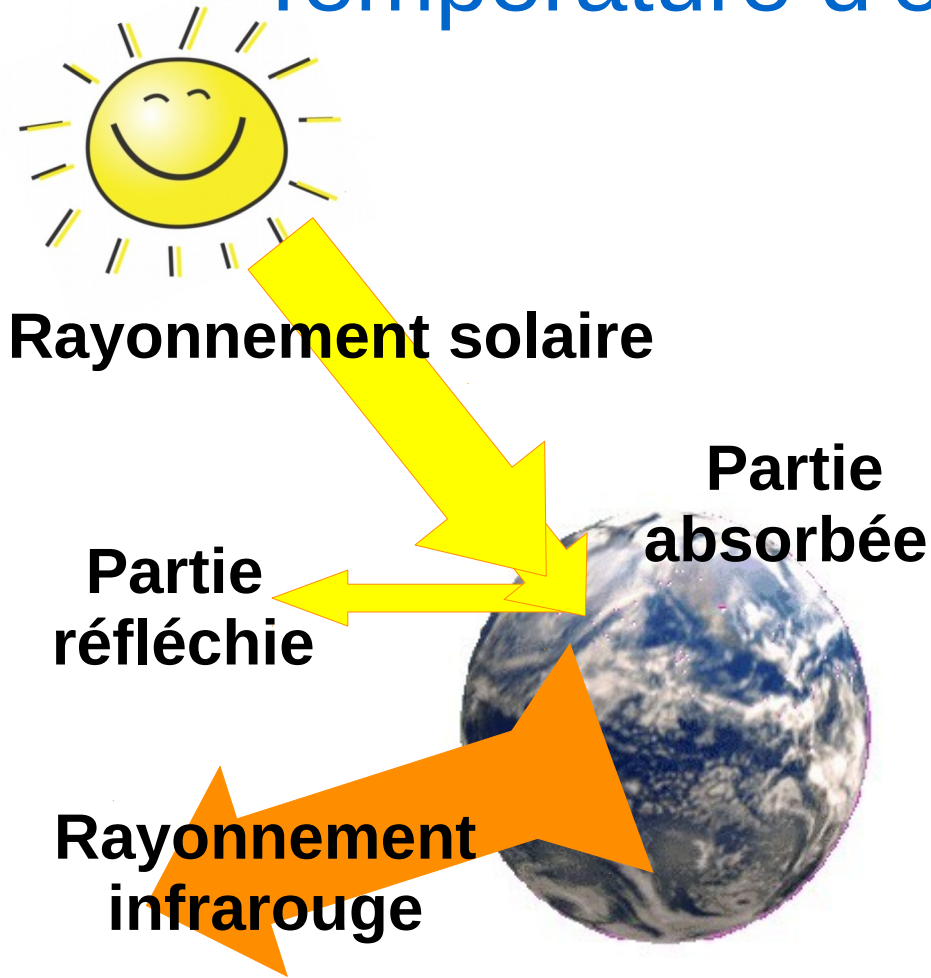
**Tout corps émet un rayonnement**

- Infra-rouge si sa température  $< 500^{\circ}\text{C}$
- Visible + Infra-rouge si température  $> 500^{\circ}\text{C}$

**Plus un corps est chaud, plus il émet du rayonnement**

**A l'équilibre, un corps reçoit autant d'énergie qu'il en perd**

# Température d'équilibre d'une planète



La température de surface moyenne résulte de l'équilibre énergétique :

$$\text{flux infrarouge émis} = \text{flux solaire absorbé}$$

- Si l'atmosphère était transparente au rayonnement infrarouge, la température de la surface serait **de  $-18^{\circ}\text{C}$**
- La température actuelle est **de  $15^{\circ}\text{C}$**
- La différence due à l'effet de serre

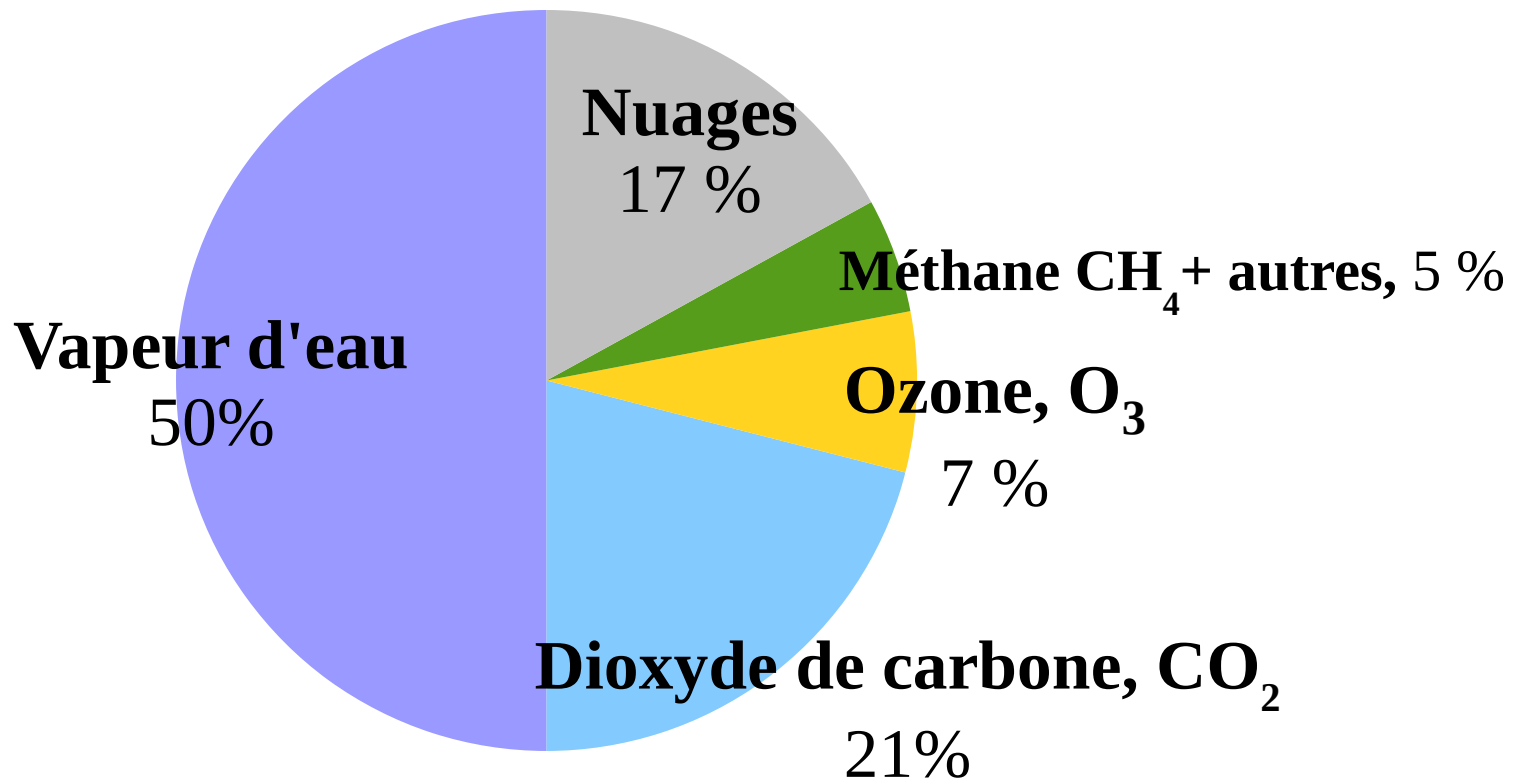


# L'effet de serre sur Terre

**Effet de serre:** différence entre le flux émis par la surface et celui perdu vers l'espace

Sur Terre :  $G = 150 \text{ W m}^{-2}$

**Qui contribue à l'effet de serre ?**



# Plan

I. Qu'est-ce que le climat ?

II. Naissance de la physique du climat

III. Comment peut-on prévoir le climat ?

IV. Les changements climatiques récents et futurs

V. Faire la différence entre le doute et la tromperie

VI. Épilogue

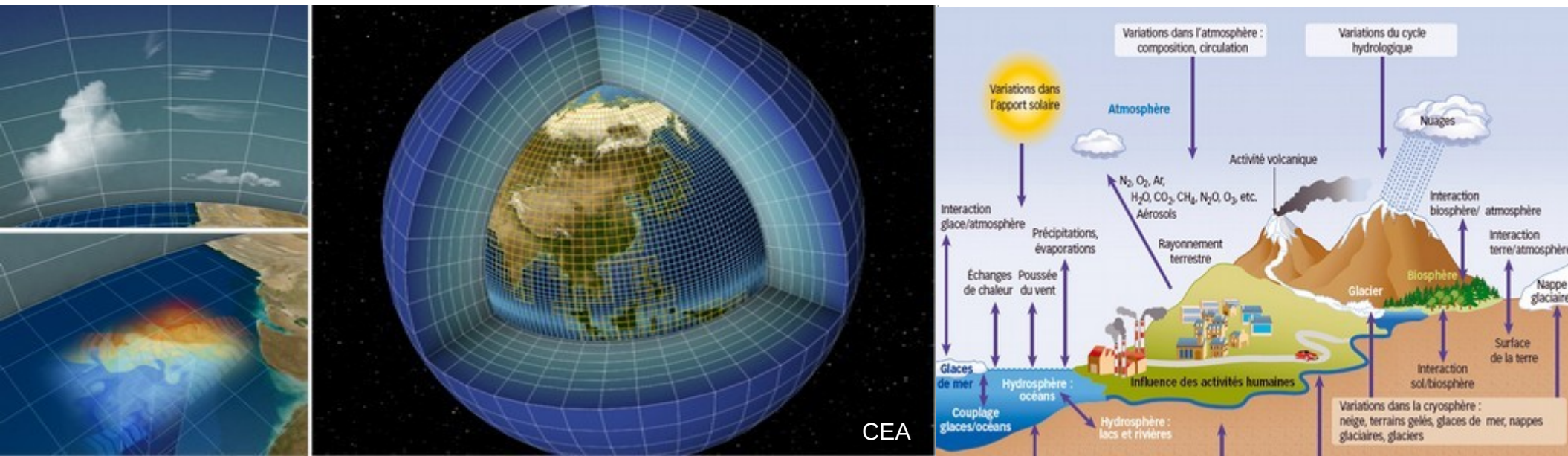
Comment peut-on prévoir le climat dans 100 ans alors que l'on ne peut pas prévoir le temps qu'il fera au-delà de 10 jours ?

Le climat n'est pas le temps qu'il fait à un moment donné, mais les caractéristiques statistiques des conditions météorologiques en un lieu donné.

**La non prévisibilité du temps n'empêche pas la prévisibilité du climat**

Il reste néanmoins des questions ouvertes (bifurcation, etc.)

# Modèle numérique du système climatique



## Modélisation :

- représentation 3D de l'atmosphère, l'océan, la glace de mer et les surfaces continentales
- résolution des équations de la mécanique des fluides, de la thermodynamique et du rayonnement
- approximation des phénomènes sous-mailles

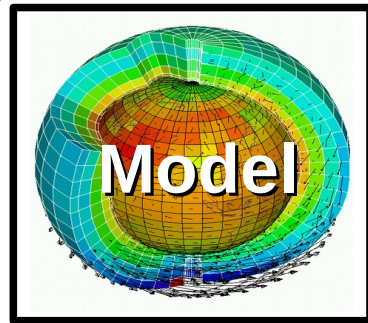
## Système :

- Multi-compartiments
- Multi-processus (physique, biogéochimique..)
- Multi-échelle de temps (quelques minutes à plusieurs millions d'années)

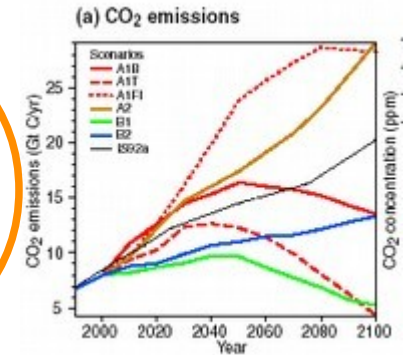
# Simulations climatiques

**Conditions initiales**  
température,  
humidité,  
salinité,  
etc.

**Forçages:**  
ensoleillement,  
gaz à effet de  
serre, etc.



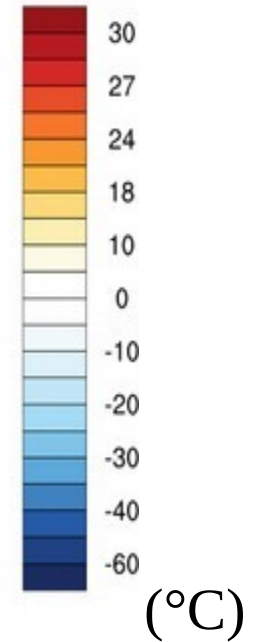
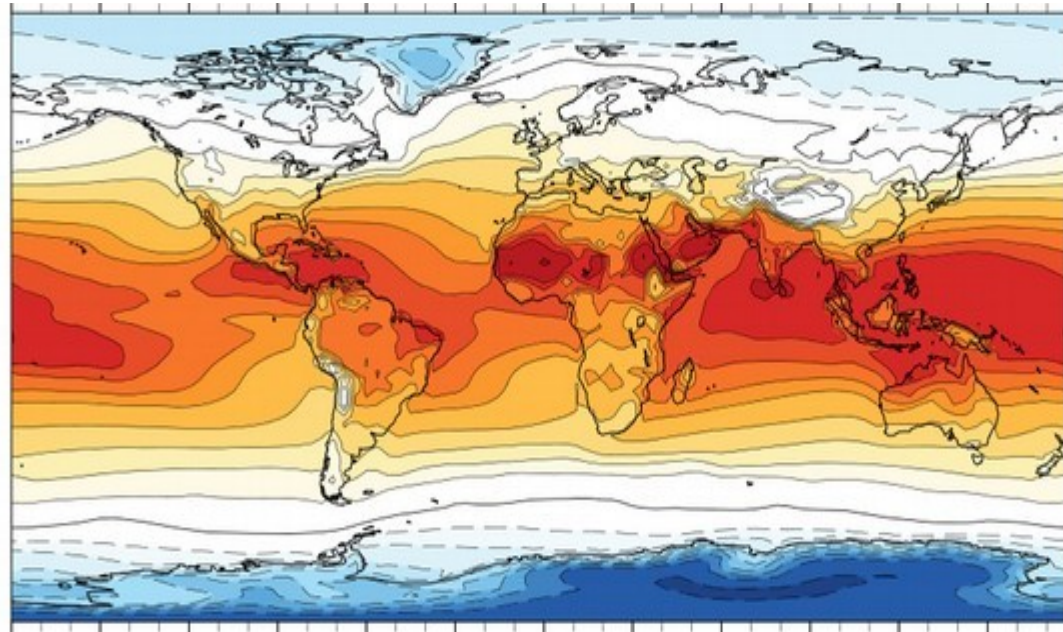
**Résultats**  
température,  
vapeur d'eau,  
vent, courants,  
salinité  
etc.



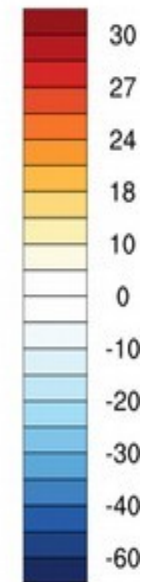
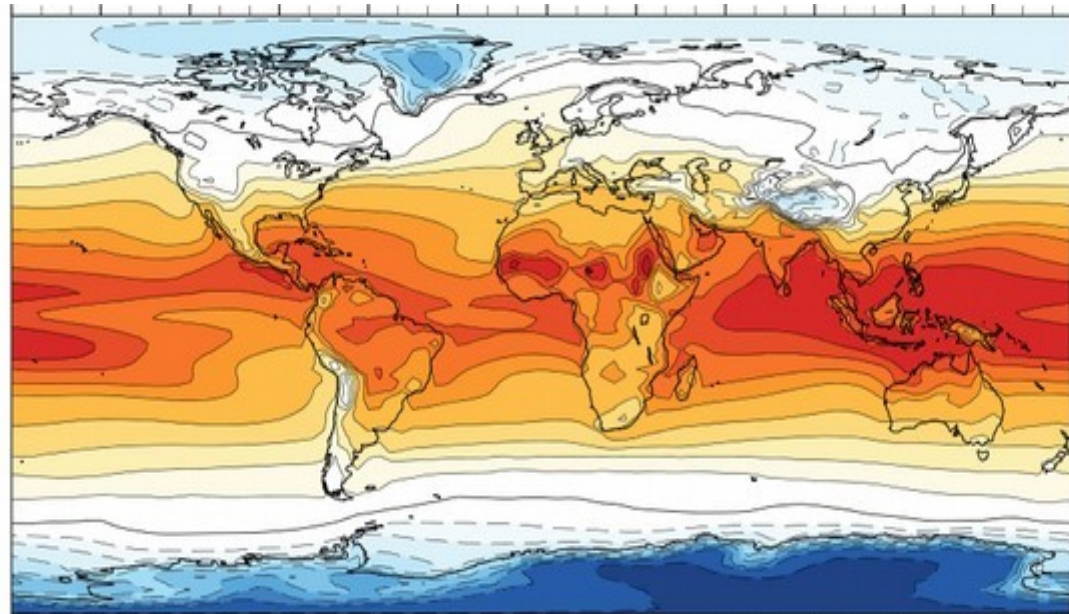
# Comment les modèles simulent le climat d'aujourd'hui ?

## Température de l'air en surface, moyenne annuelle

**Observations**



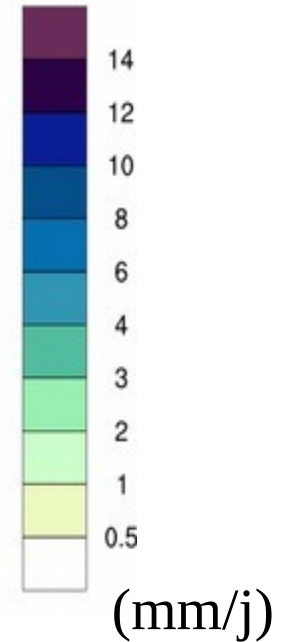
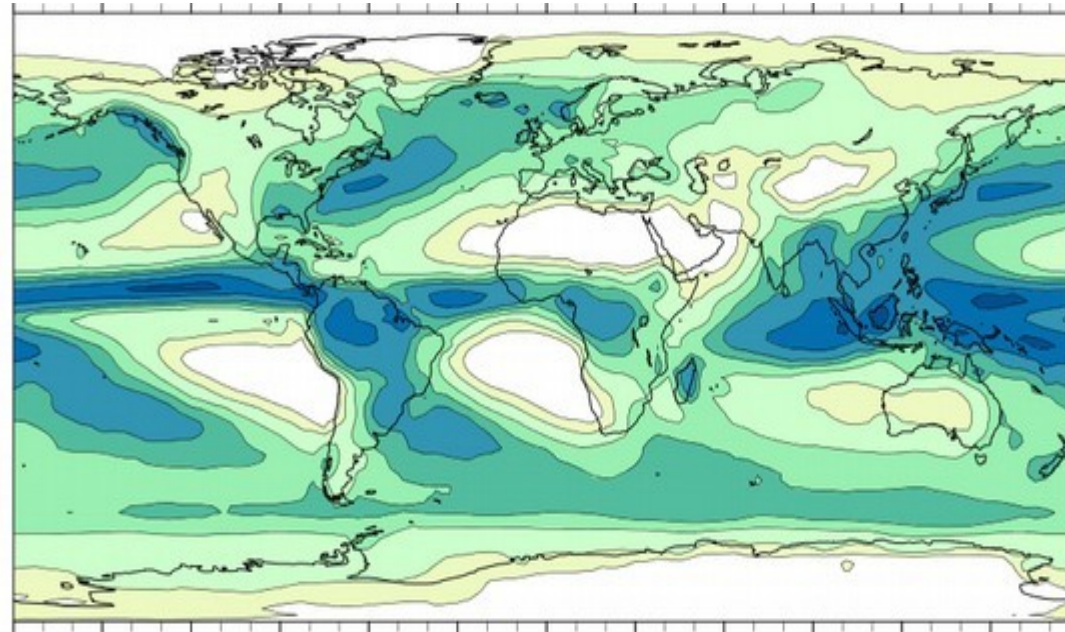
**Modèle  
IPSL**



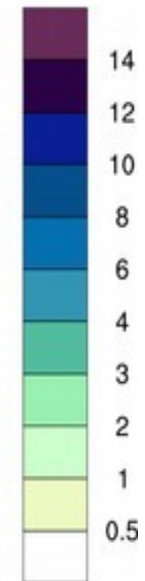
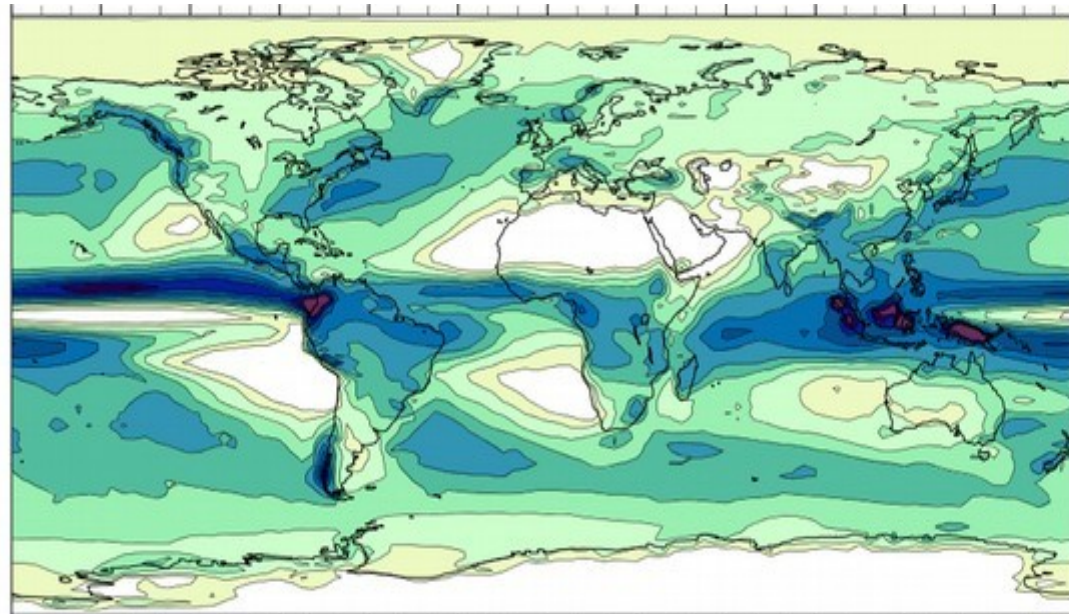
# Comment les modèles simulent le climat d'aujourd'hui ?

## Précipitations (pluie + neige), moyenne annuelle

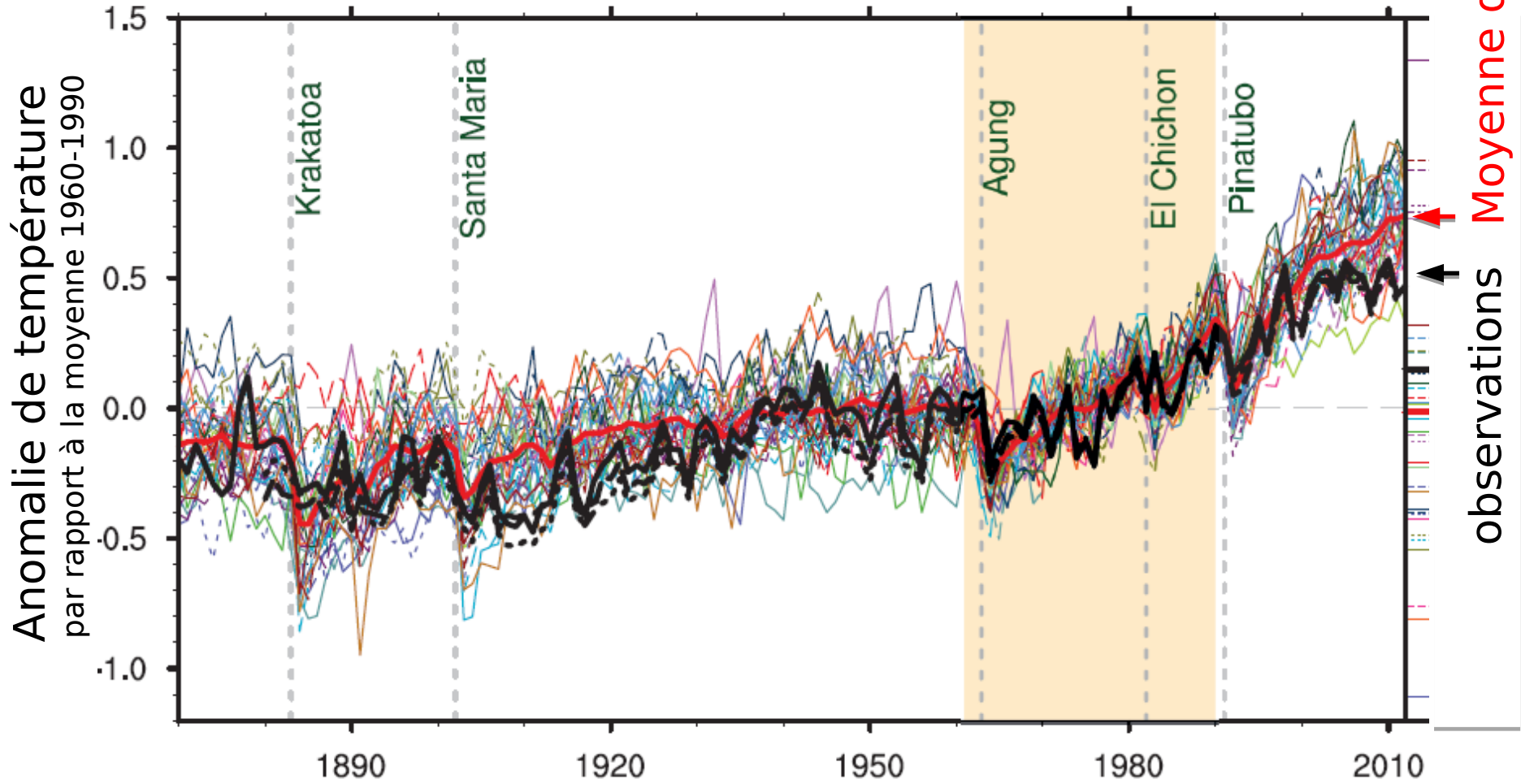
**Observations**



**Modèle  
IPSL**



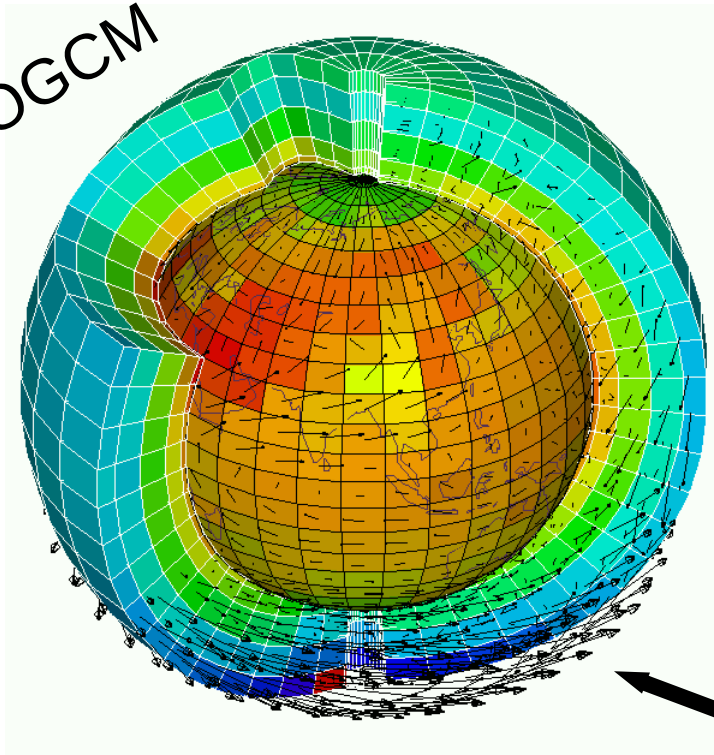
# Simulation de l'évolution récente du climat



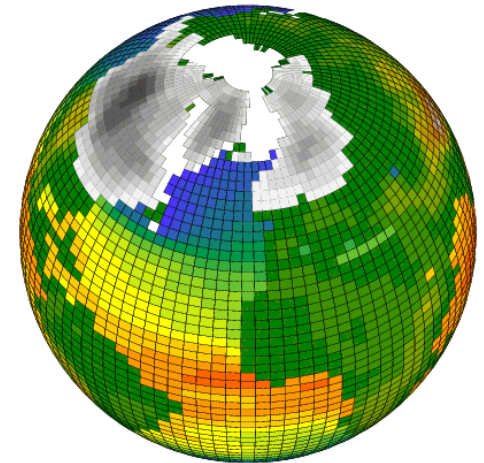


# Simulation du climat du Dernier Maximum Glaciaire

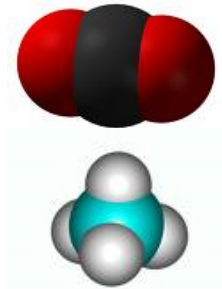
AOGCM



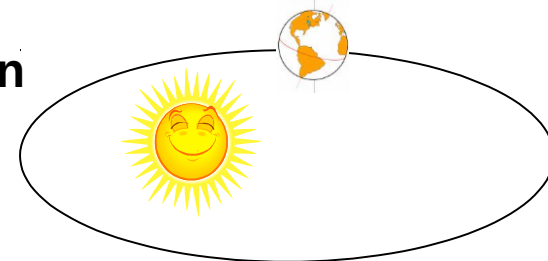
Calottes  
glaciaires



Composition  
atmosphérique  
CO<sub>2</sub>: 185 ppm  
CH<sub>4</sub>: 350 ppb...



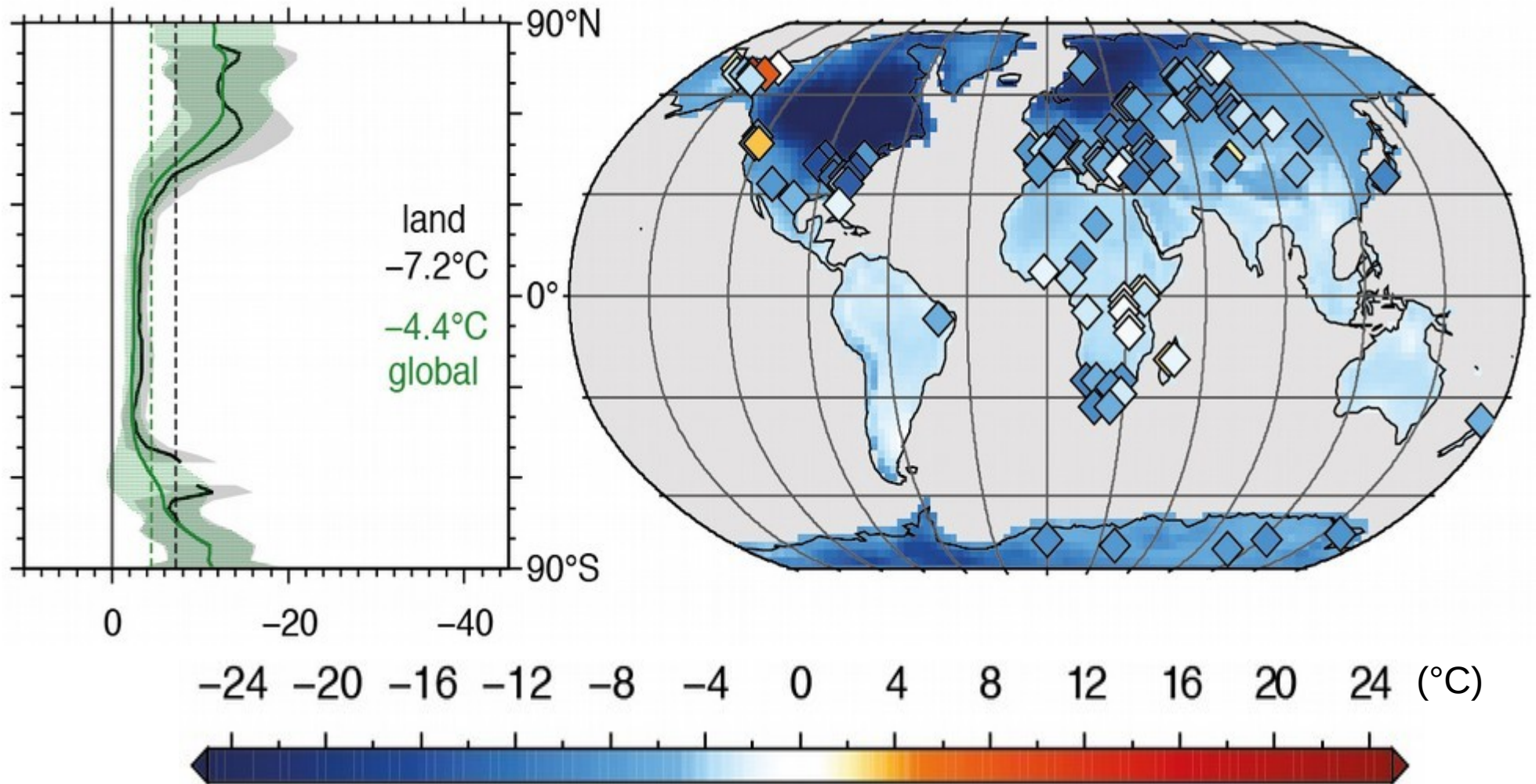
Insolation  
21ky BP



Forçage en gaz à effet de serre ~ climat futur  
Autre forçage majeur: calottes glaciaire

# Simulation du climat du Dernier Maximum Glaciaire

**Changement de température sur les continents** simulée par  
les modèles de climat et estimée d'après les observations

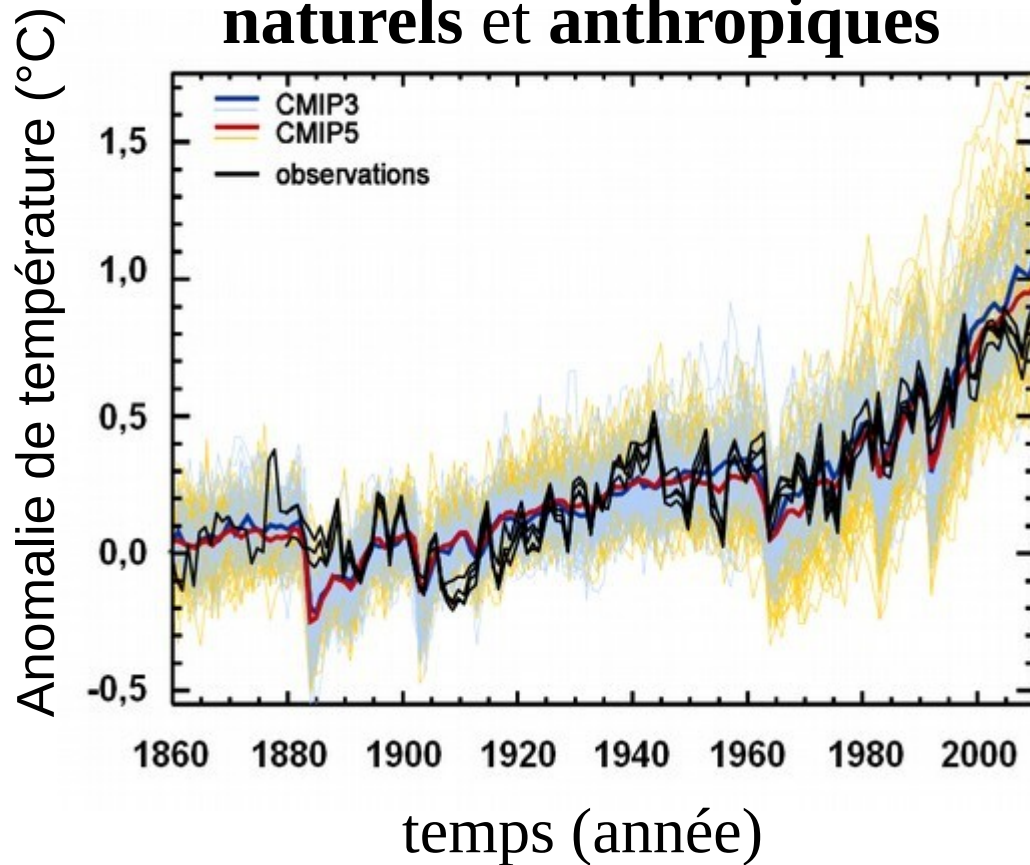


# Plan

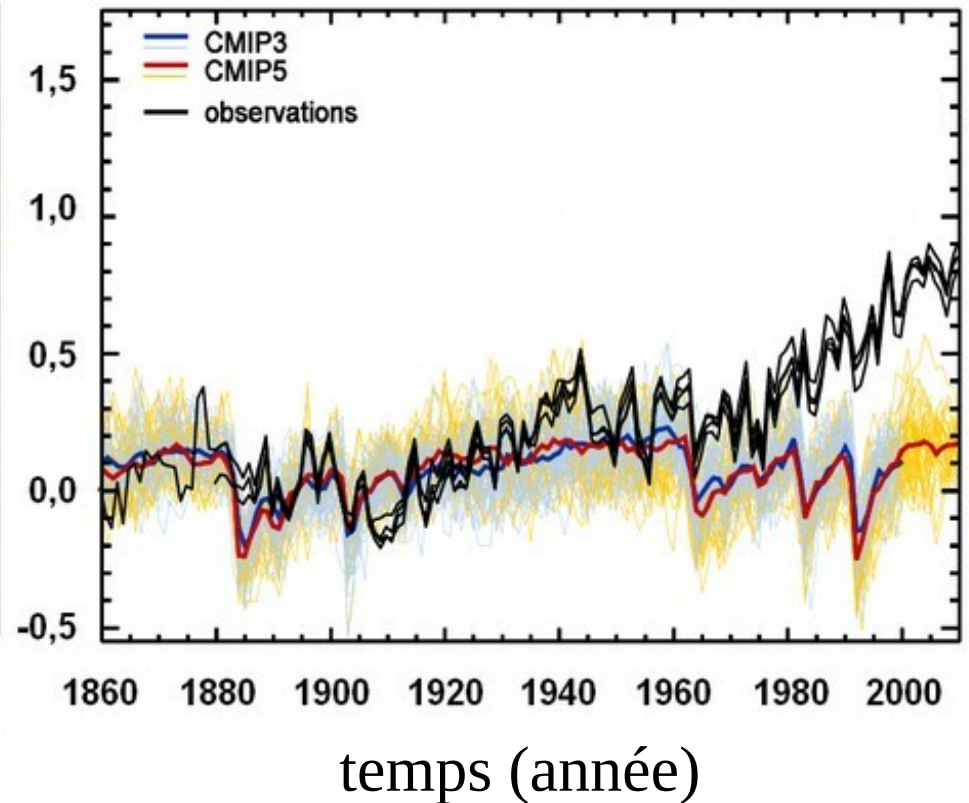
- I. Qu'est-ce que le climat ?
- II. Naissance de la physique du climat
- III. Comment peut-on prévoir le climat ?
- IV. Les changements climatiques récents et futurs
- V. Faire la différence entre le doute et la tromperie
- VI. Épilogue

# Évolution récente de la température de surface : observations et simulations

Simulations avec **forçages naturels et anthropiques**



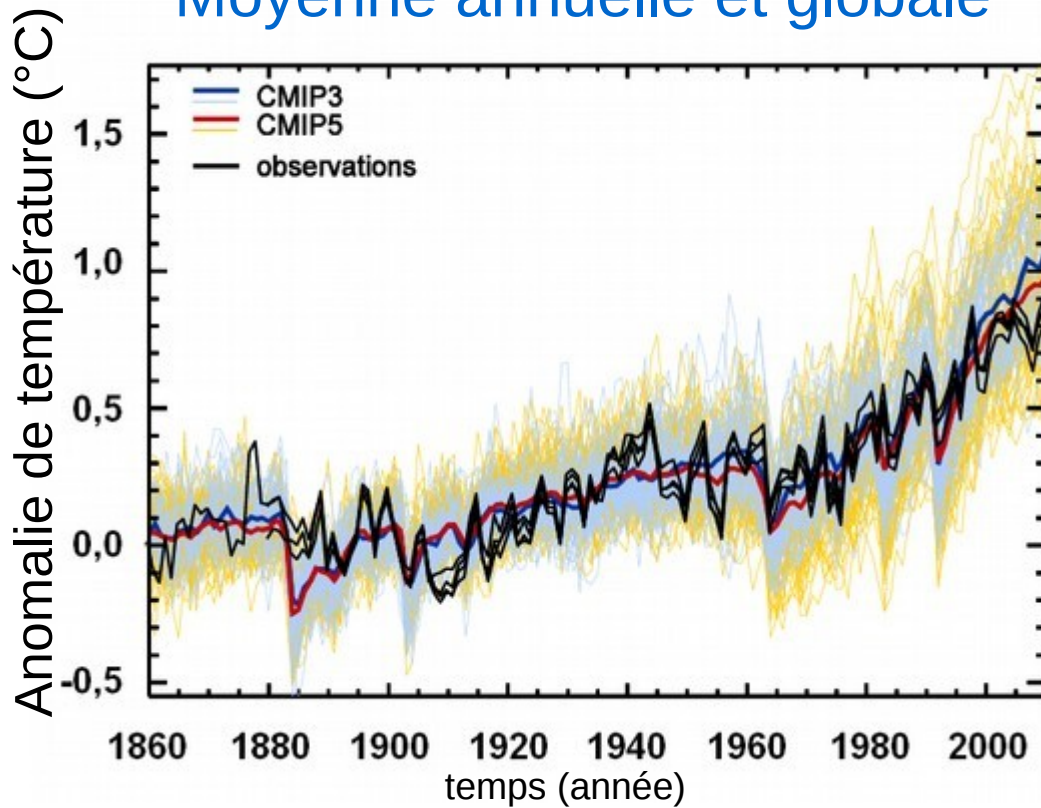
Simulations avec **forçages naturels seulement**



# Évolution récente de la température de surface : observations et simulations

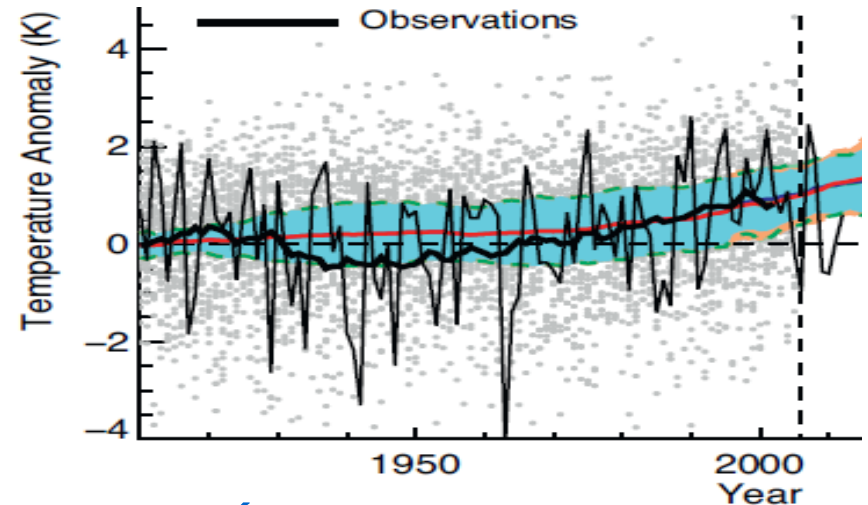
Simulations avec **forçages naturels** et **anthropiques**

Moyenne annuelle et globale

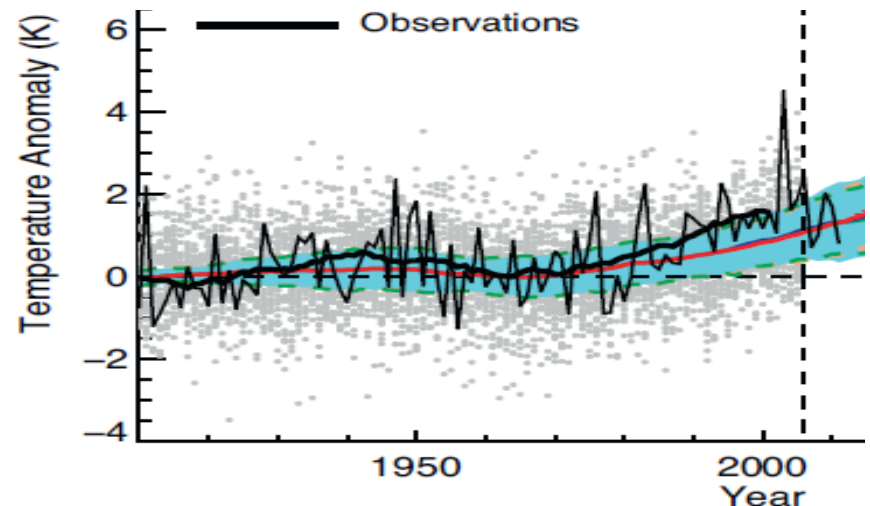


[GIEC, 2013]

Hiver sur la France



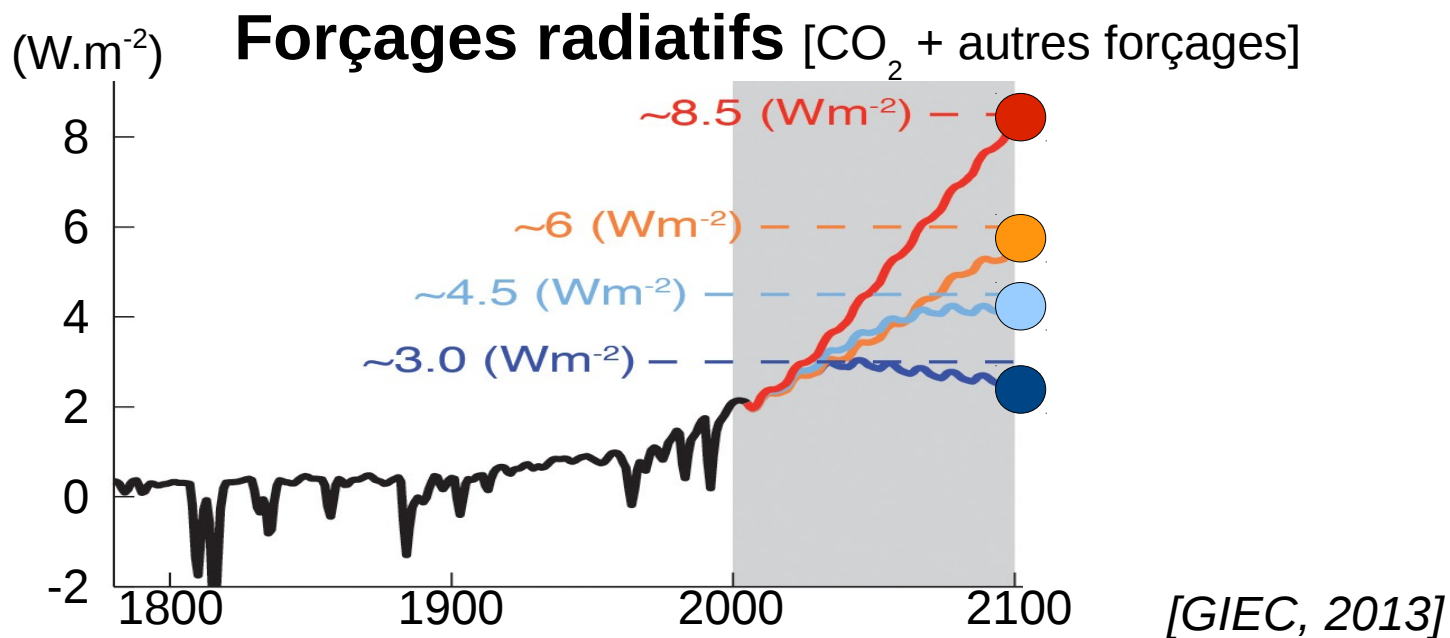
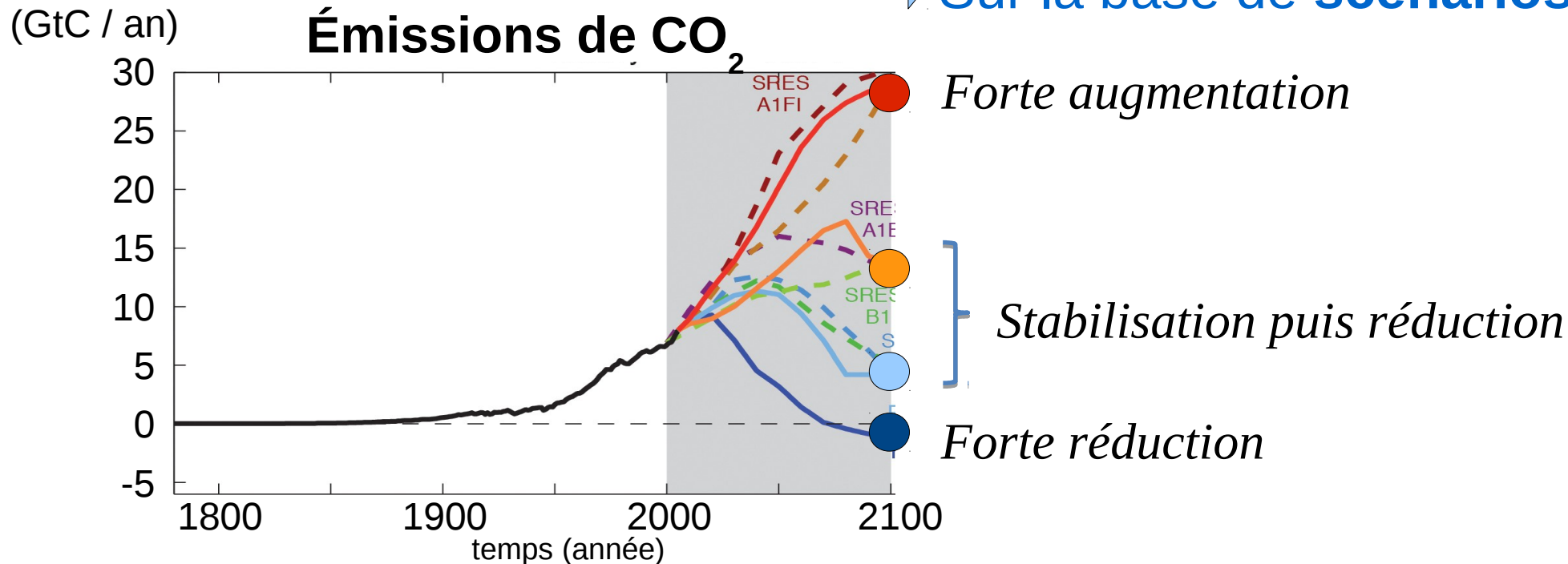
Été sur la France



[Terray et Boé, 2013]

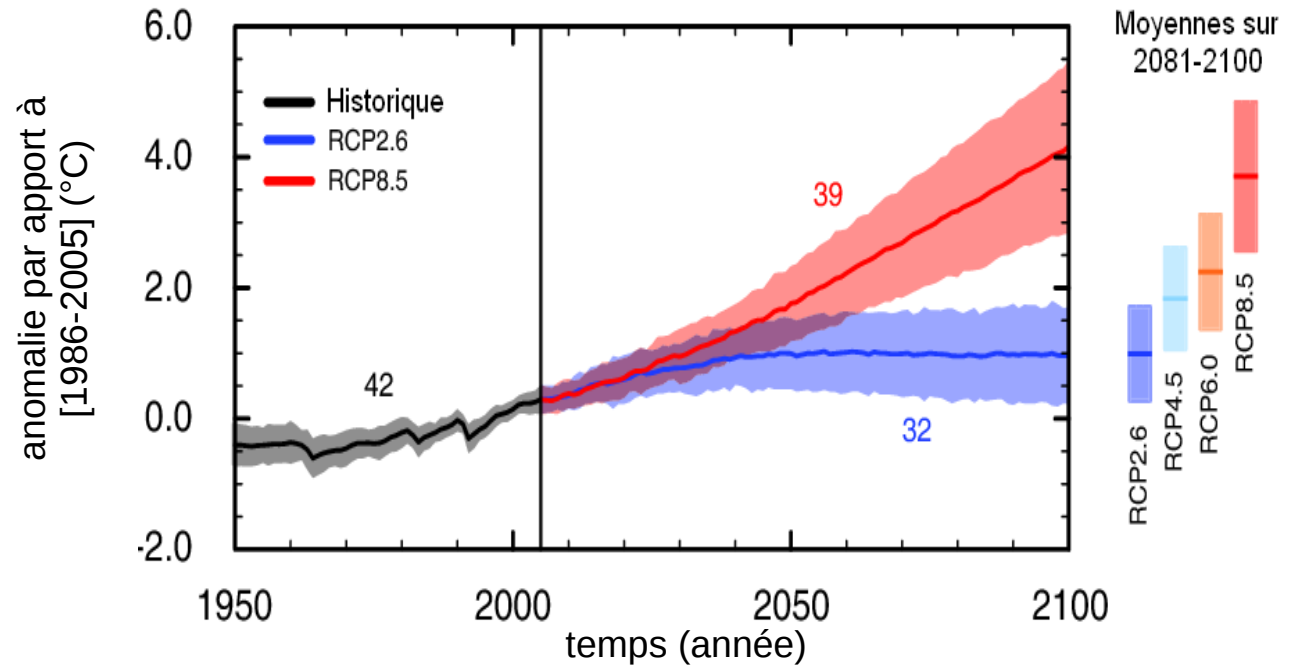
# Projections futures

➔ Sur la base de scénarios



# Température de surface

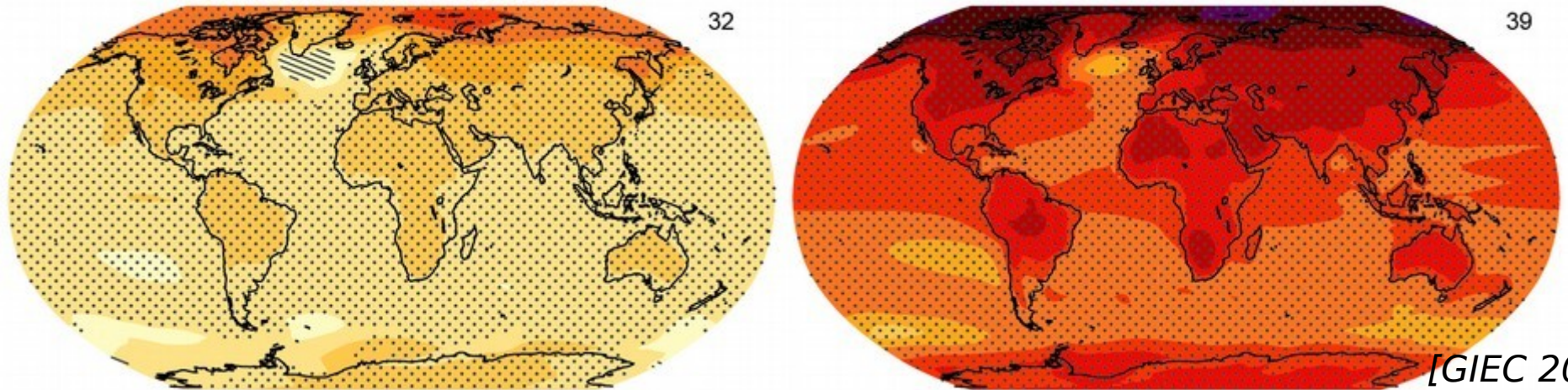
Moyenne globale  
1950 à 2100  
(40 modèles CMIP5)



Différence entre les périodes [1986-2005] et [2081-2100]

**RCP 2.6**

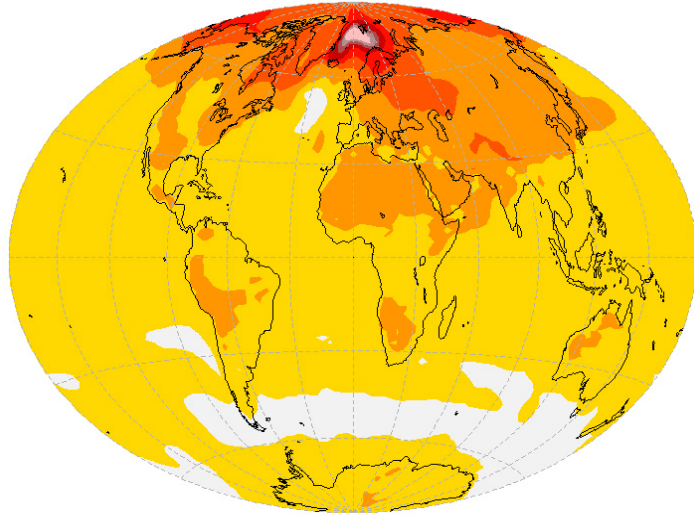
**RCP 8.5**



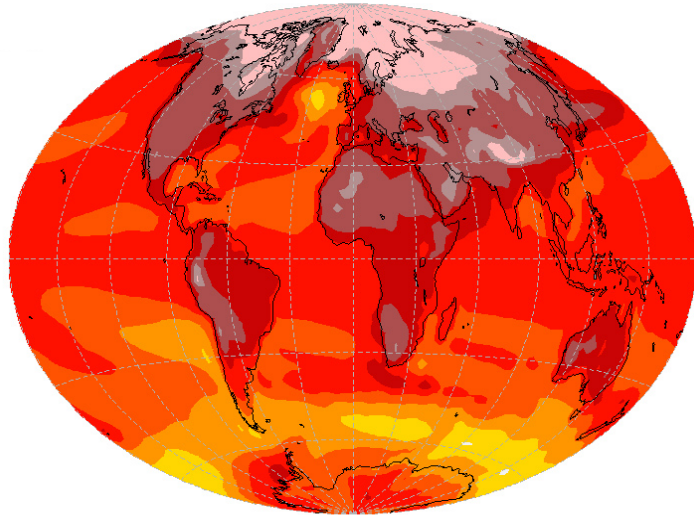
# Changement de la température de surface

Différence entre **2100** et **1990**

**RCP2.6**

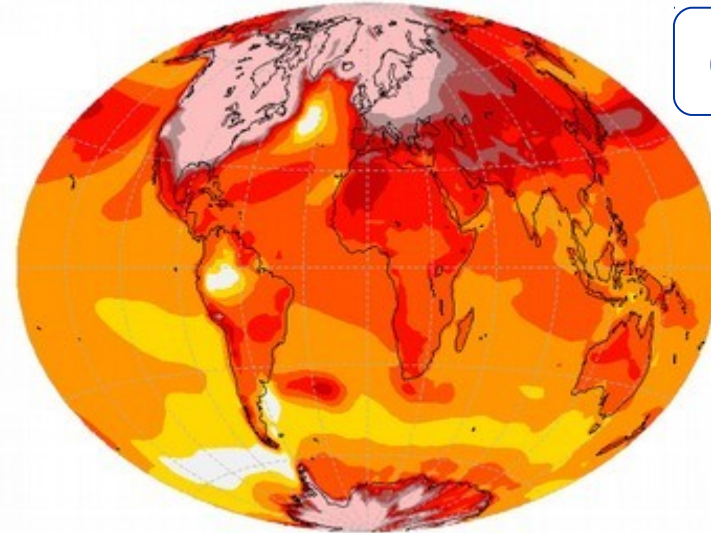


**RCP8.5**

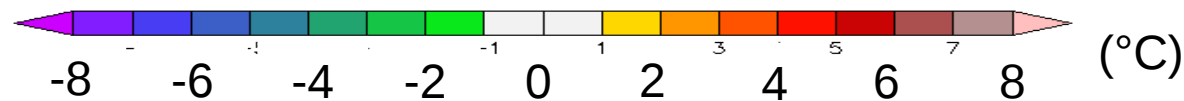


Différence entre la période **actuelle** et celle dernier maximum **glaciaire**

**Glaciaire**



Modèle : IPSL-CM5A-LR

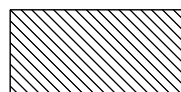
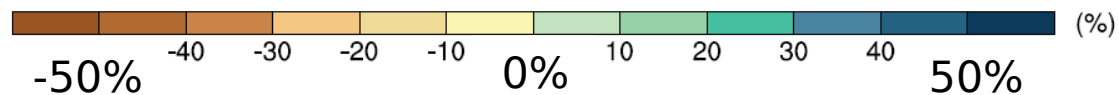
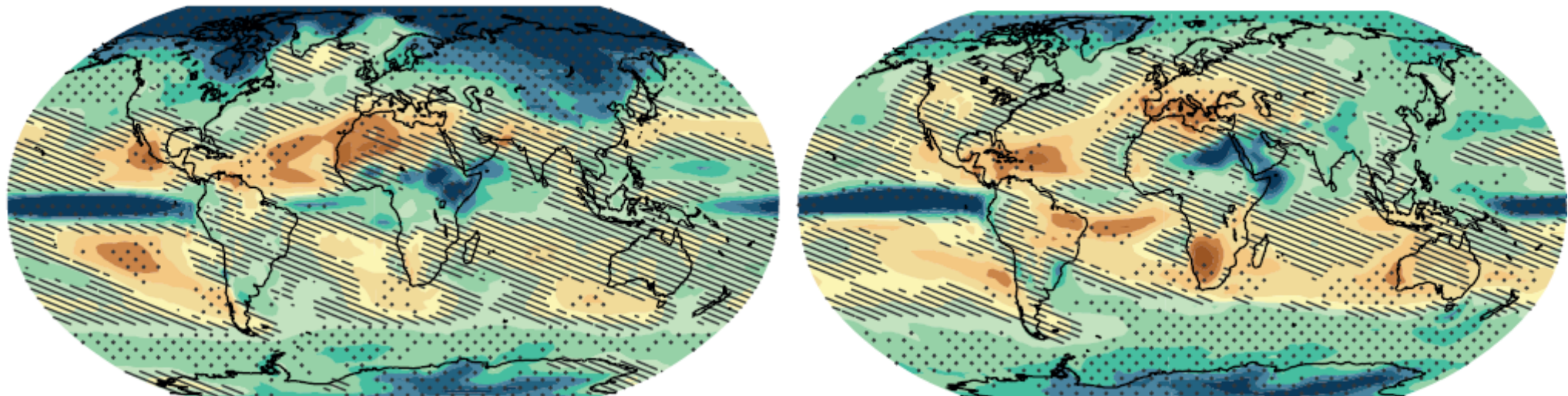




# Distribution géographique et saisonnière du *changement relatif des précipitations* entre 2000 et 2100, scénario RCP8.5

Décembre à février

Juin à septembre



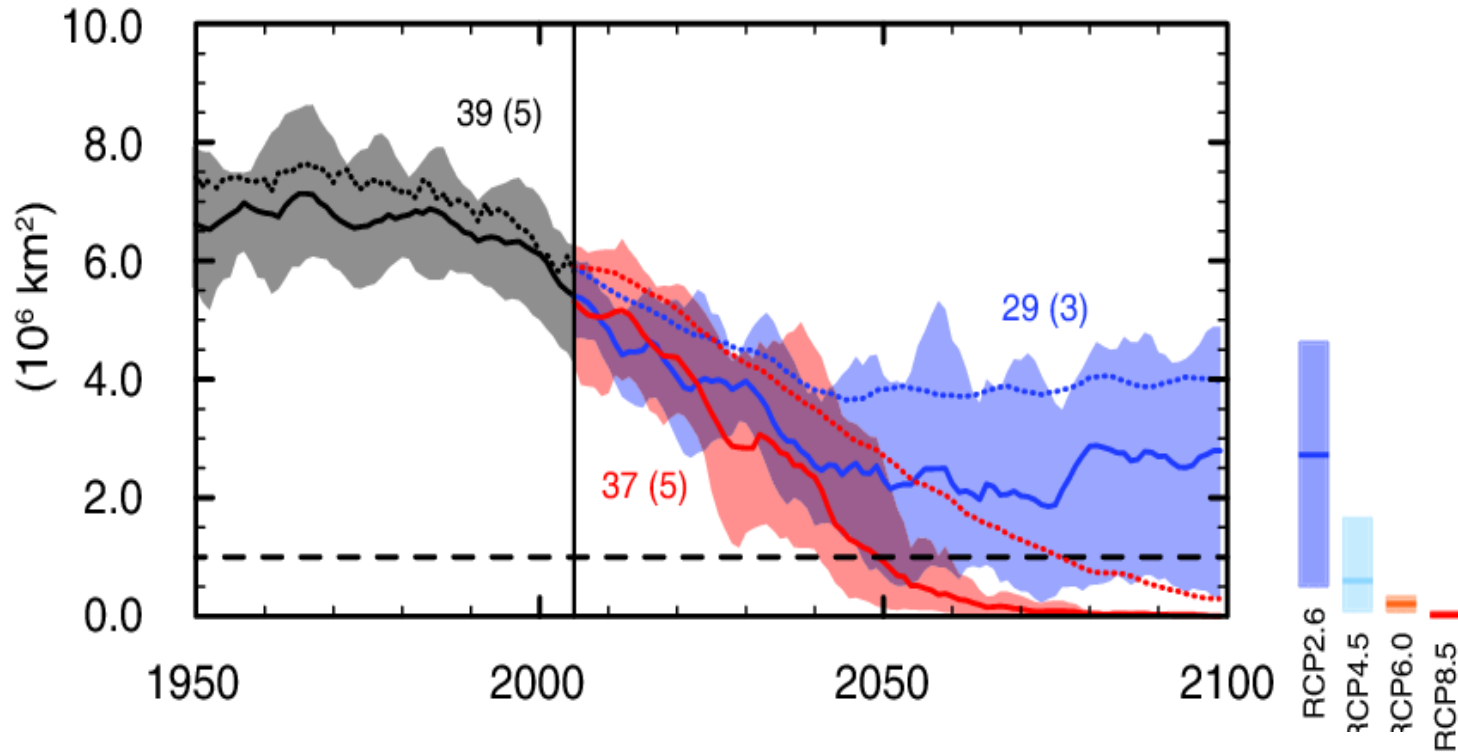
Signal/bruit faible



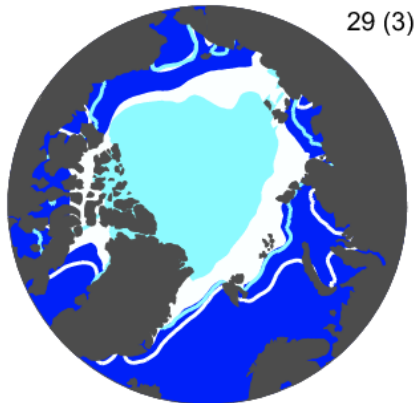
Signal/bruit élevé et modèles en accord

39 modèles CMIP5

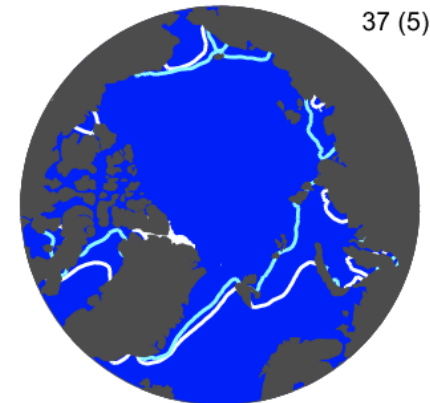
# Changements d'extension de la banquise arctique en septembre



RCP2.6



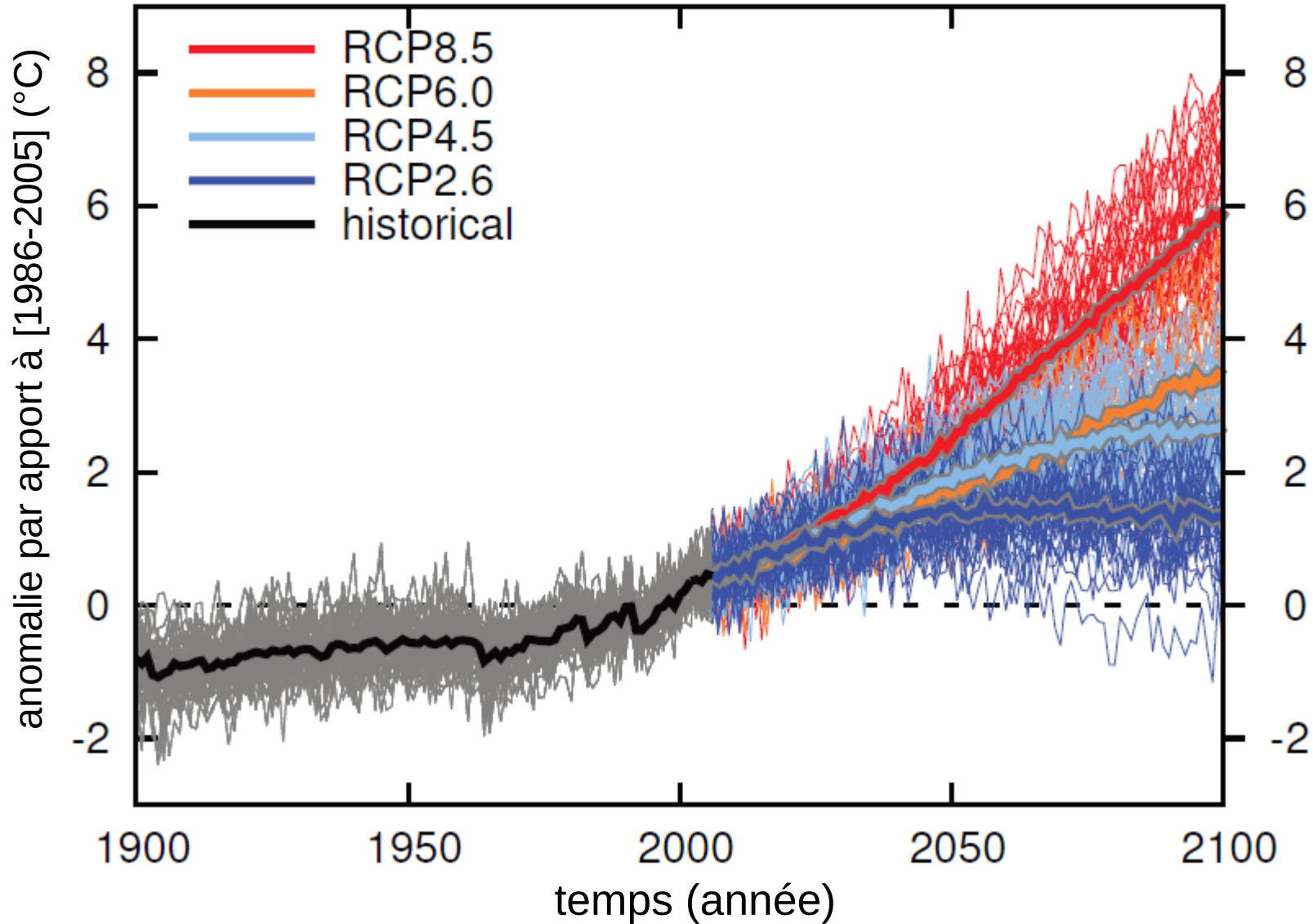
- CMIP5 multi-model average 1986–2005
- CMIP5 multi-model average 2081–2100
- CMIP5 subset average 1986–2005
- CMIP5 subset average 2081–2100



RCP8.5

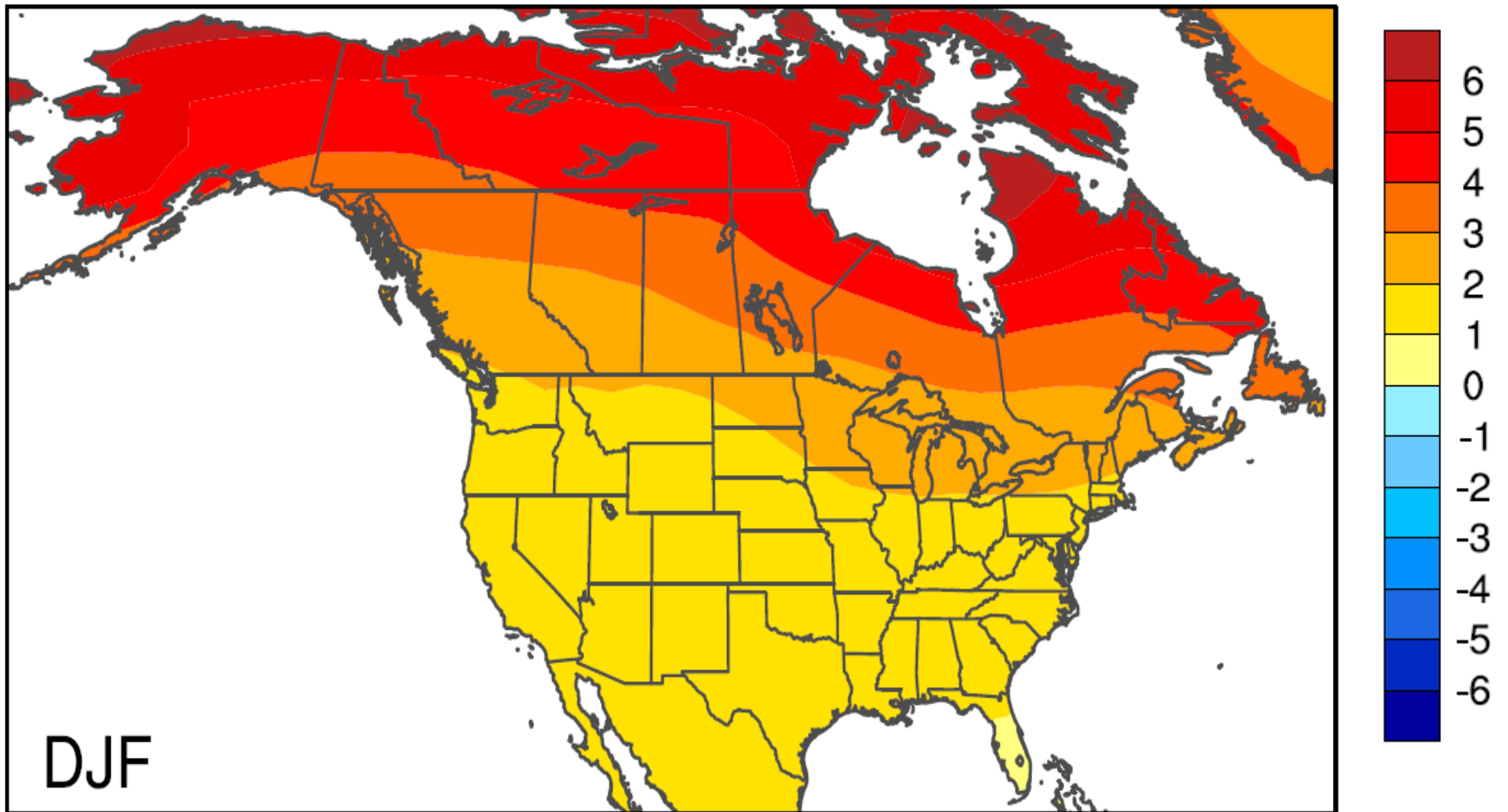
# Changement climatique et variabilité interne

Température moyenne au dessus des continents,  
en hiver boréal (dec.-fev.)



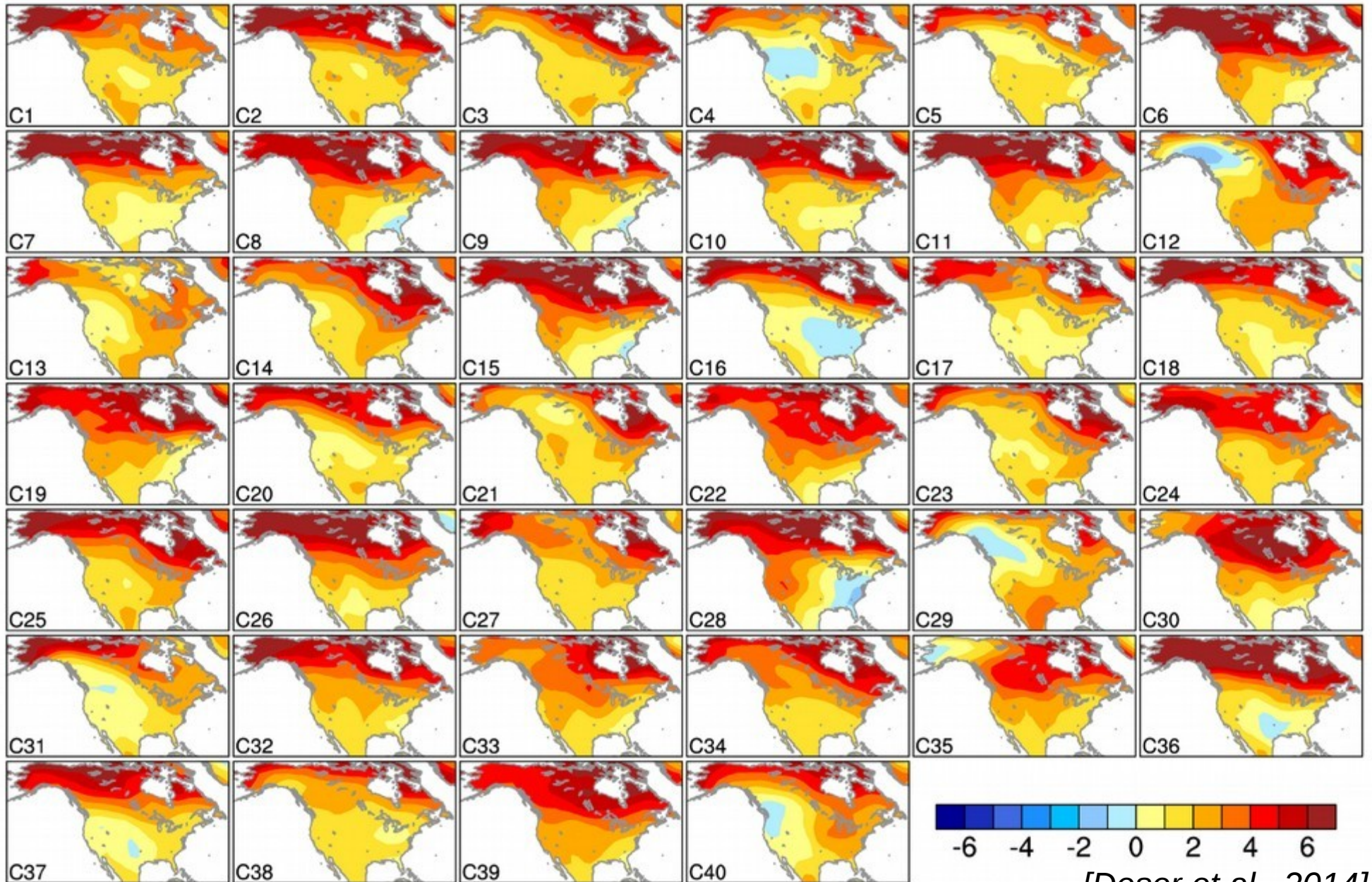
# Changement climatique et variabilité interne

Tendance sur 50 ans de la température hivernale ( $^{\circ}\text{C}/50$  ans)  
pour un scénario « intermédiaire - haut »



# Changement climatique et variabilité interne

Tendance sur 50 ans de la température hivernale ( $^{\circ}\text{C}/50$  ans)



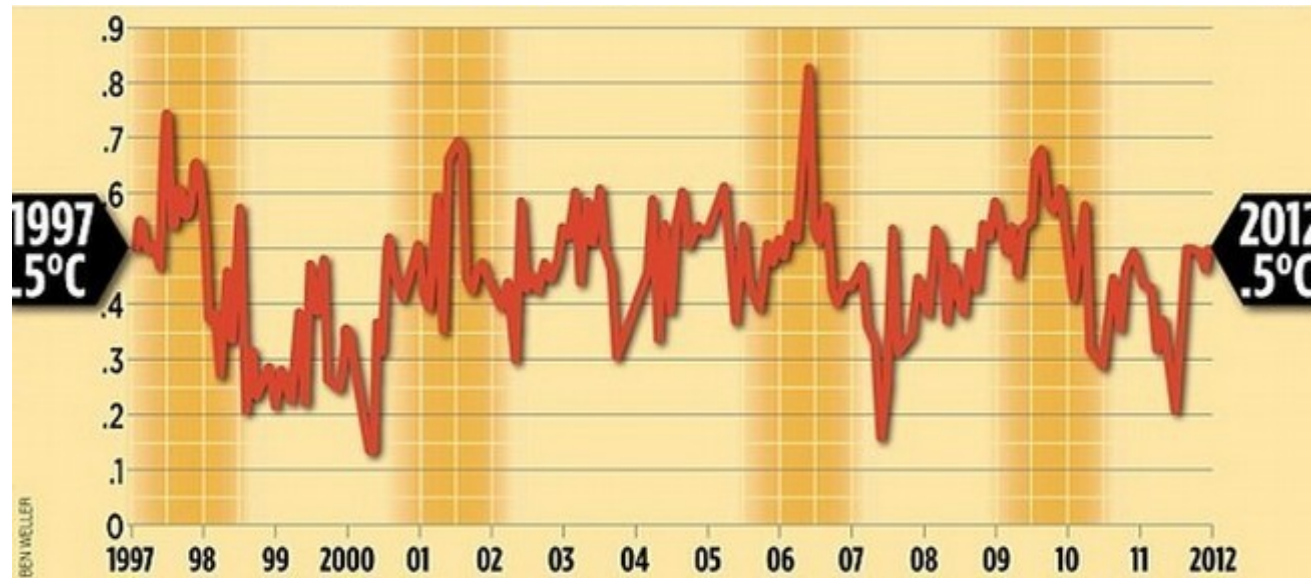
[Deser et al., 2014]

# Plan

- I. Qu'est-ce que le climat ?
- II. Naissance de la physique du climat
- III. Comment peut-on prévoir le climat ?
- IV. Les changements climatiques récents et futurs
- V. Faire la différence entre le doute et la tromperie
- VI. Épilogue

# Doute ou tromperie ?

## Négation du réchauffement climatique

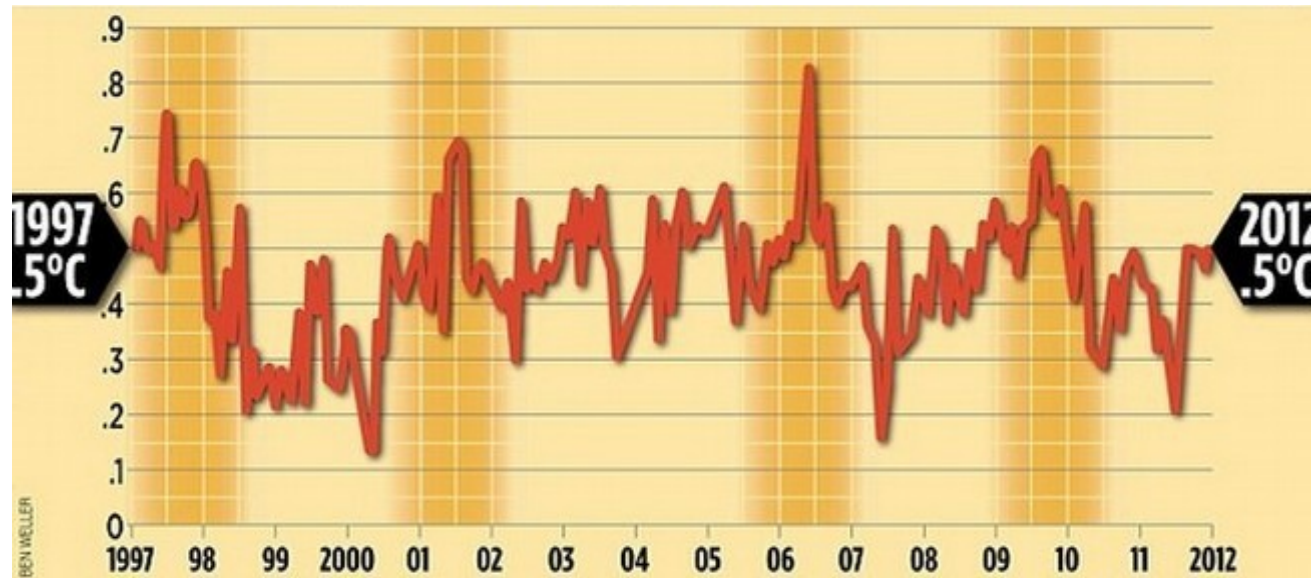


**« Autrement dit, depuis 1997, les variations de températures observées ne permettaient pas de constater de réchauffement climatique »**

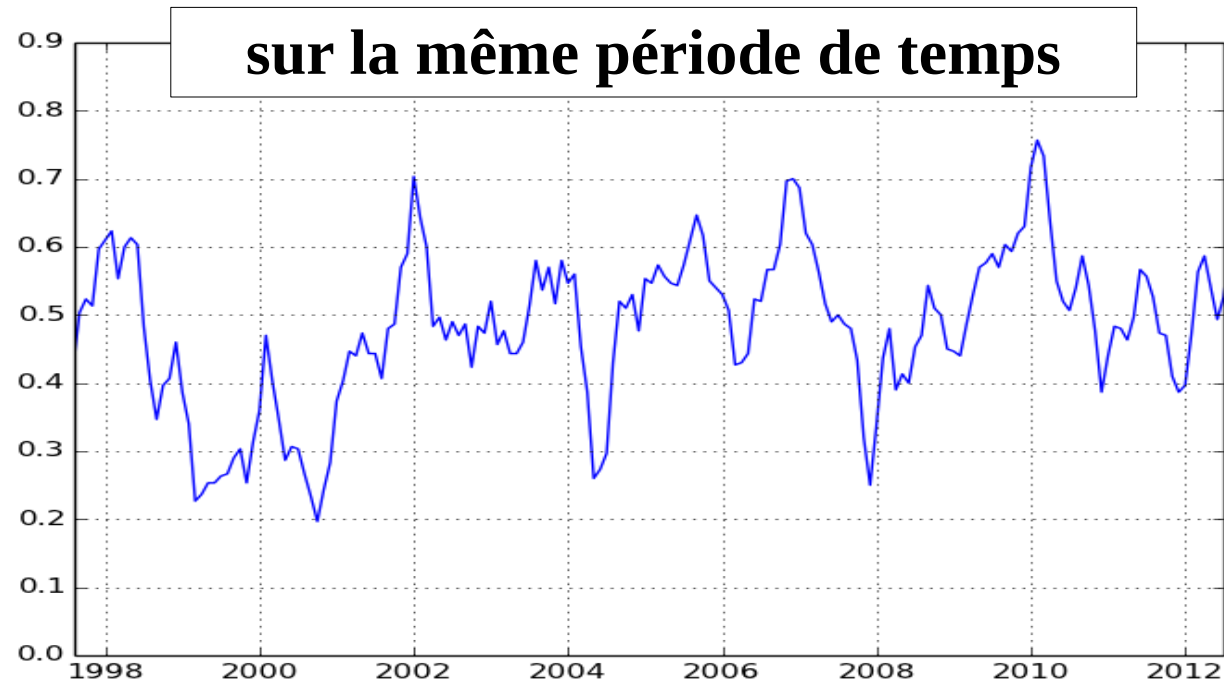
# Doute ou tromperie ?

## Négation du réchauffement climatique

**Résultat montré**



**Résultat** que l'on obtient à partir des données publiques du GISS (NASA)

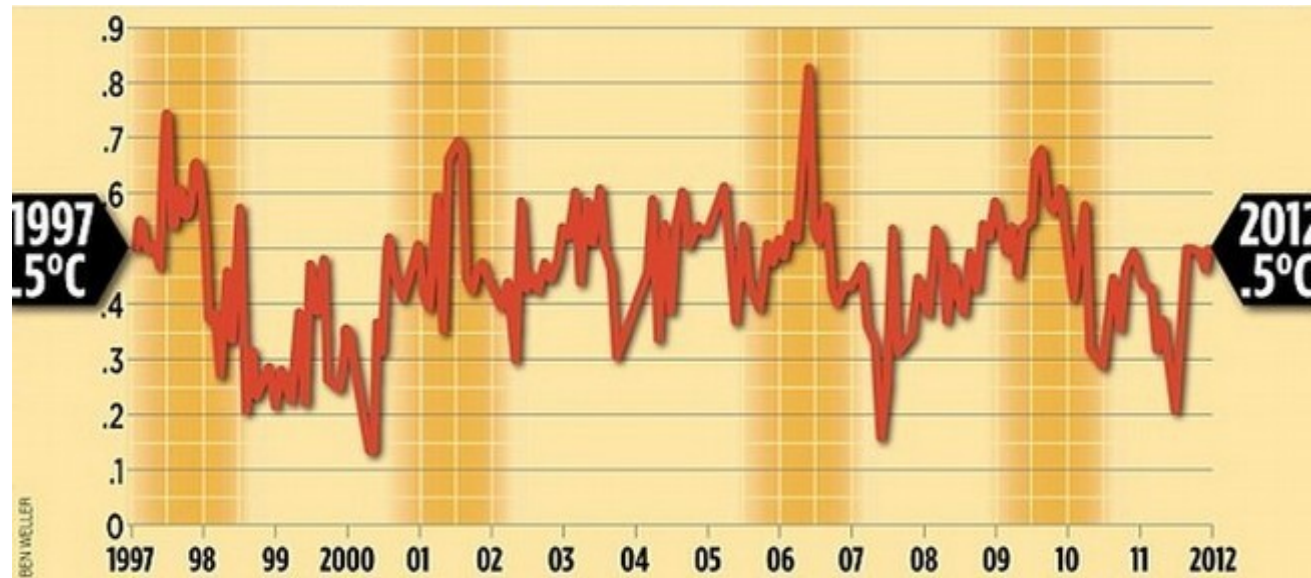




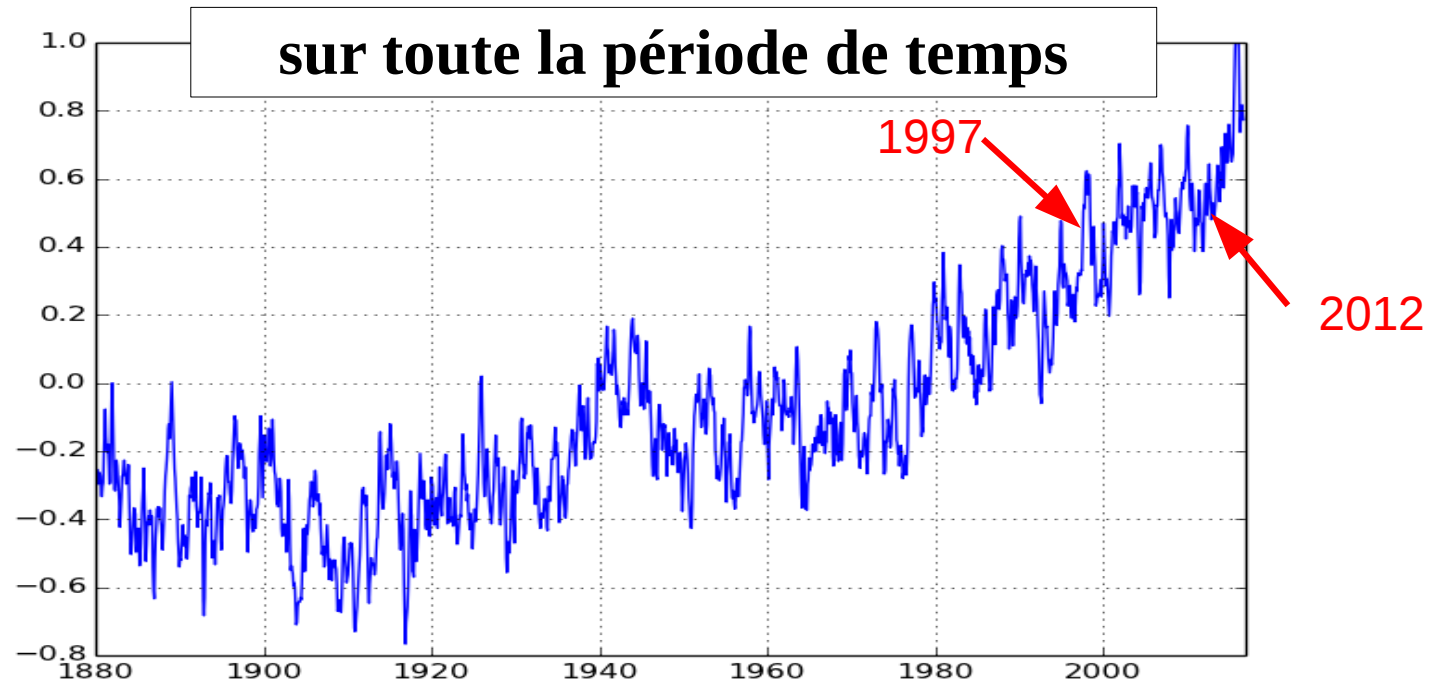
# Doute ou tromperie ?

## Négation du réchauffement climatique

**Résultat montré**



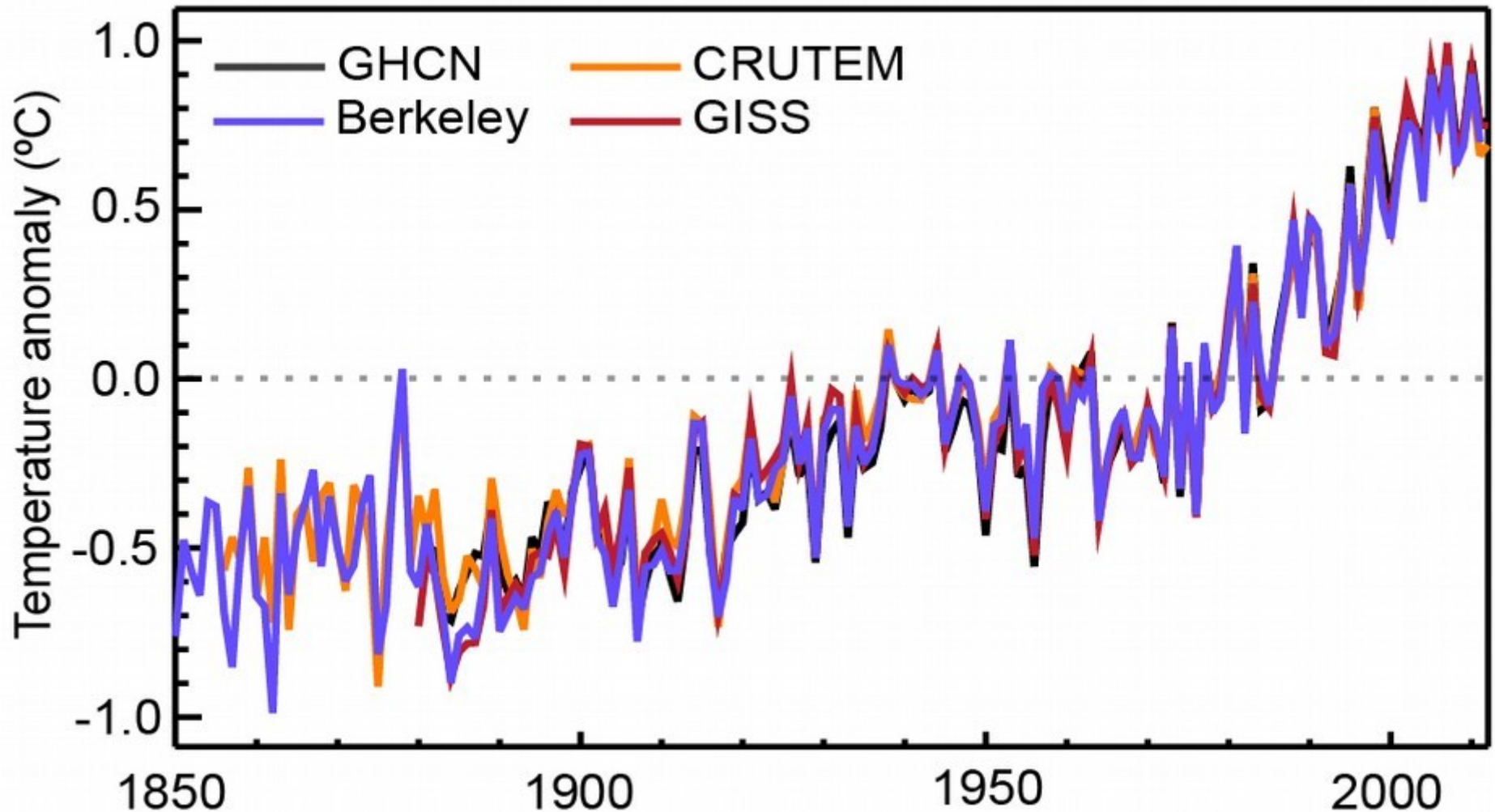
**Résultat** que l'on obtient à partir des données publiques du GISS (NASA)



# Doute ou tromperie ?

## Remise en cause du réchauffement climatique

Des physiciens de Berkeley ont voulu montrer que les physiciens du climat se trompaient... et ont finalement obtenu les mêmes résultats.



# Doute ou tromperie ?

Vers un refroidissement ?



**"Réchauffement global ? Non, nous sommes en voie de refroidissement, revendiquent les scientifiques" [... En Arctique la banquise] *aurait effectivement augmenté de 60% par rapport à la même période l'année passée.***

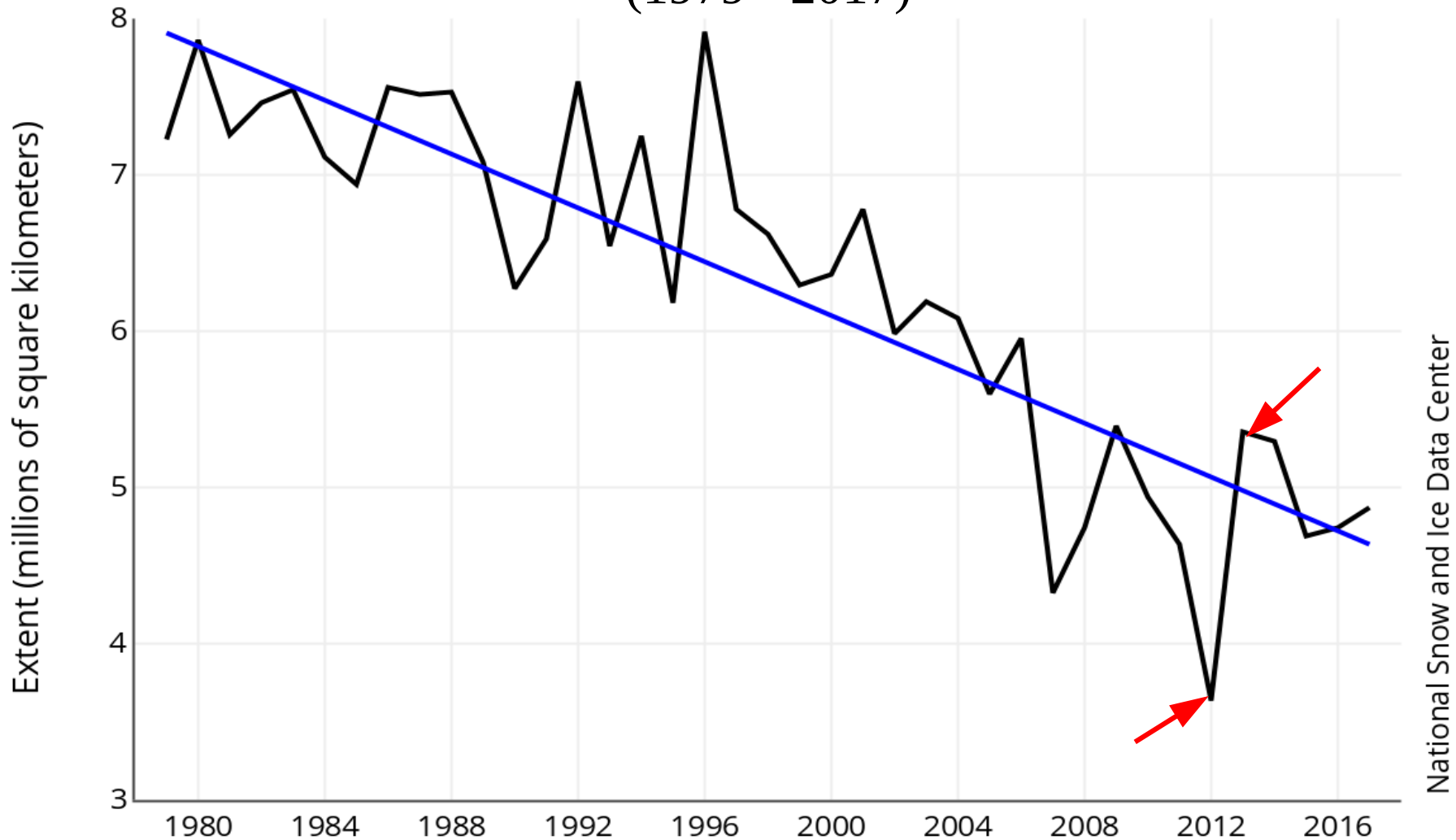
<http://www.gentside.com/r%e9chauffement-climatique/>

[rechauffement-climatique-une-pause-et-le-debut-d-039-un-refroidissement-global\\_art54496.html](http://www.gentside.com/r%e9chauffement-climatique-une-pause-et-le-debut-d-039-un-refroidissement-global_art54496.html)

# Doute ou tromperie ?

Vers un refroidissement ?

Extension de la glace de mer en arctique au mois de septembre  
(1979 - 2017)



# Tous les évènements extrêmes ou catastrophiques ne sont pas dus au changement climatique

**On a encore très peu de certitude** sur l'évolution des évènements extrêmes, même s'il y a des arguments forts pour dire que certains vont augmenter (comme les canicules).

Les médias sont souvent peu nuancés.

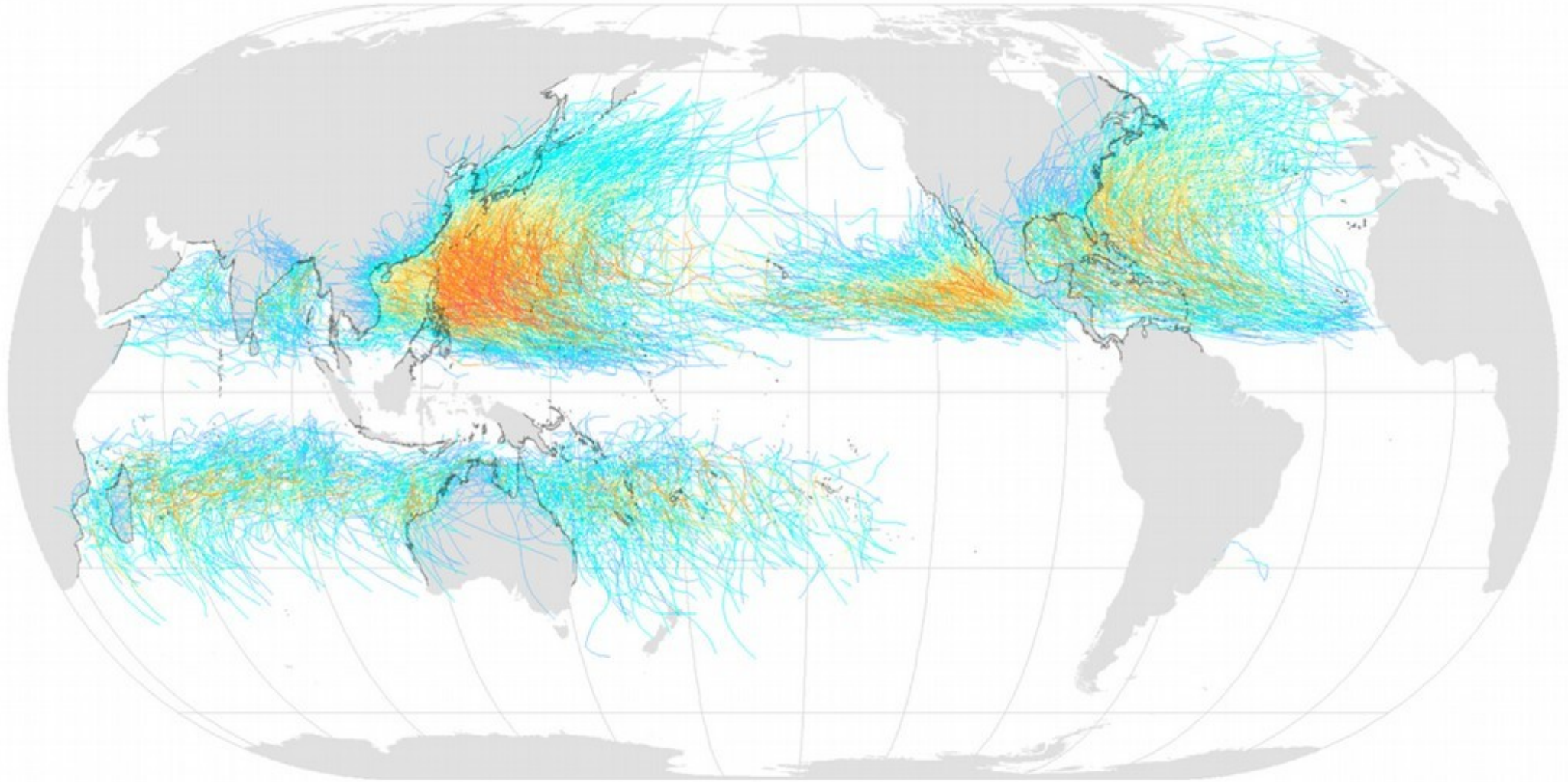
«**Avec le changement climatique, des cyclones plus intenses** » La Tribune, 07/09/2017.

**Réchauffement climatique : "Les cyclones très intenses pourraient augmenter"**, L'Obs, 08/09/2017,

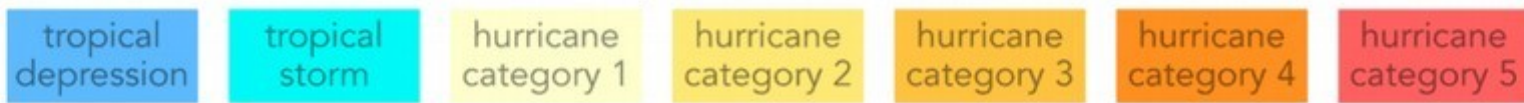
Pourtant le météorologue interviewé ne disait pas ça :

« En aucun cas il n'est une conséquence du réchauffement climatique : **on ne peut attribuer un événement particulier au réchauffement global**. Mais les **projections climatiques actuelles envisagent la possibilité** que la fréquence des cyclones intenses augmente avec le réchauffement. » P. Chauvin, Météo France

# Tropical Cyclones, 1945–2006



Saffir-Simpson Hurricane Scale:



Wikipedia

- Peu de cyclones passent sur des régions habitées
- Pas d'estimation globale fiable avant l'arrivée des satellites

# En conclusion

- Le climat n'est pas immuable, il **a varié dans le passé**, parfois de façon brutale, et le **réchauffement récent est dû aux activités humaines.**
- Les changements climatiques passés ont entraîné des **changements environnementaux majeurs** (niveau des mers, faunes, flores..)
- Les **changements climatiques futurs** dus aux activités humaines pourront être de **grande amplitude** au regard de ceux du passé
- Ces **changements seront radicaux** par rapports à ceux ayant existé depuis 15 000 ans.
- Il n'y a pas eu de variation de la température moyenne de la Terre de plus de 2°C plus durant le dernier million d'années. **On va vers l'inconnu.**
- Le **climat conditionne très fortement** l'environnement naturel, notre environnement et nos sociétés

An aerial photograph of a vast, snow-covered mountain range. The terrain is rugged and covered in thick white snow, with deep valleys and ridges. The sky is a clear, deep blue. In the lower-left quadrant, a faint rainbow is visible, adding a touch of color to the otherwise monochromatic scene. The text "Merci de votre attention" is centered over the middle of the image.

Merci de votre attention