

A hand is shown holding a rectangular object that glows with a dense field of small, bright blue and white points, resembling a star field or a microscopic view of a material. The background is a solid dark blue.

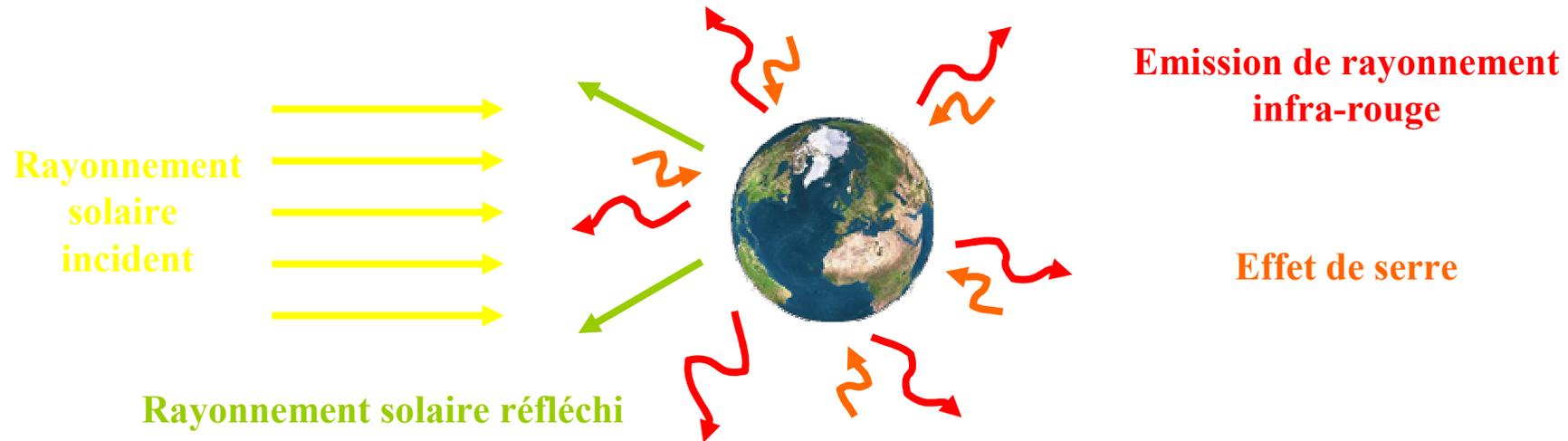
# Le changement climatique

## ... à quelle vitesse ?



**Valérie Masson-Delmotte**  
**Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement**  
**Gif-sur-Yvette, France**

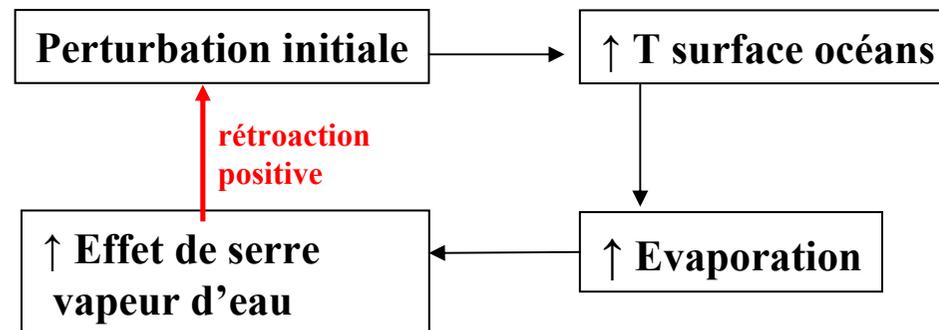
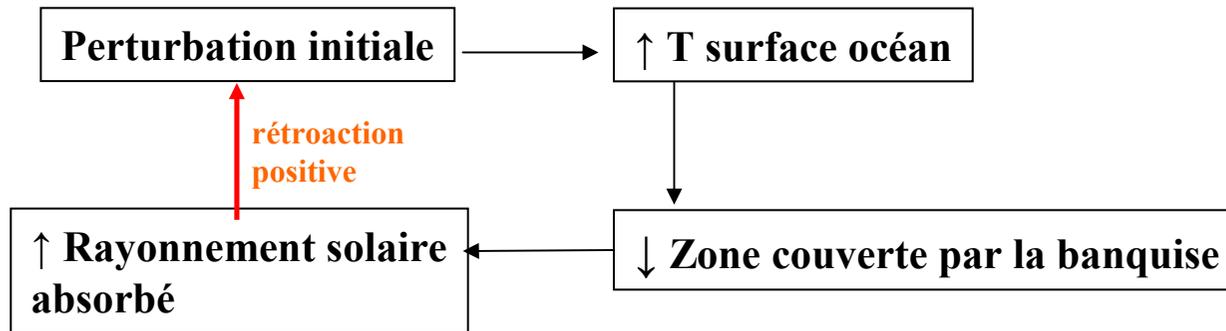
# Qu'est ce qui contrôle la température de notre planète?



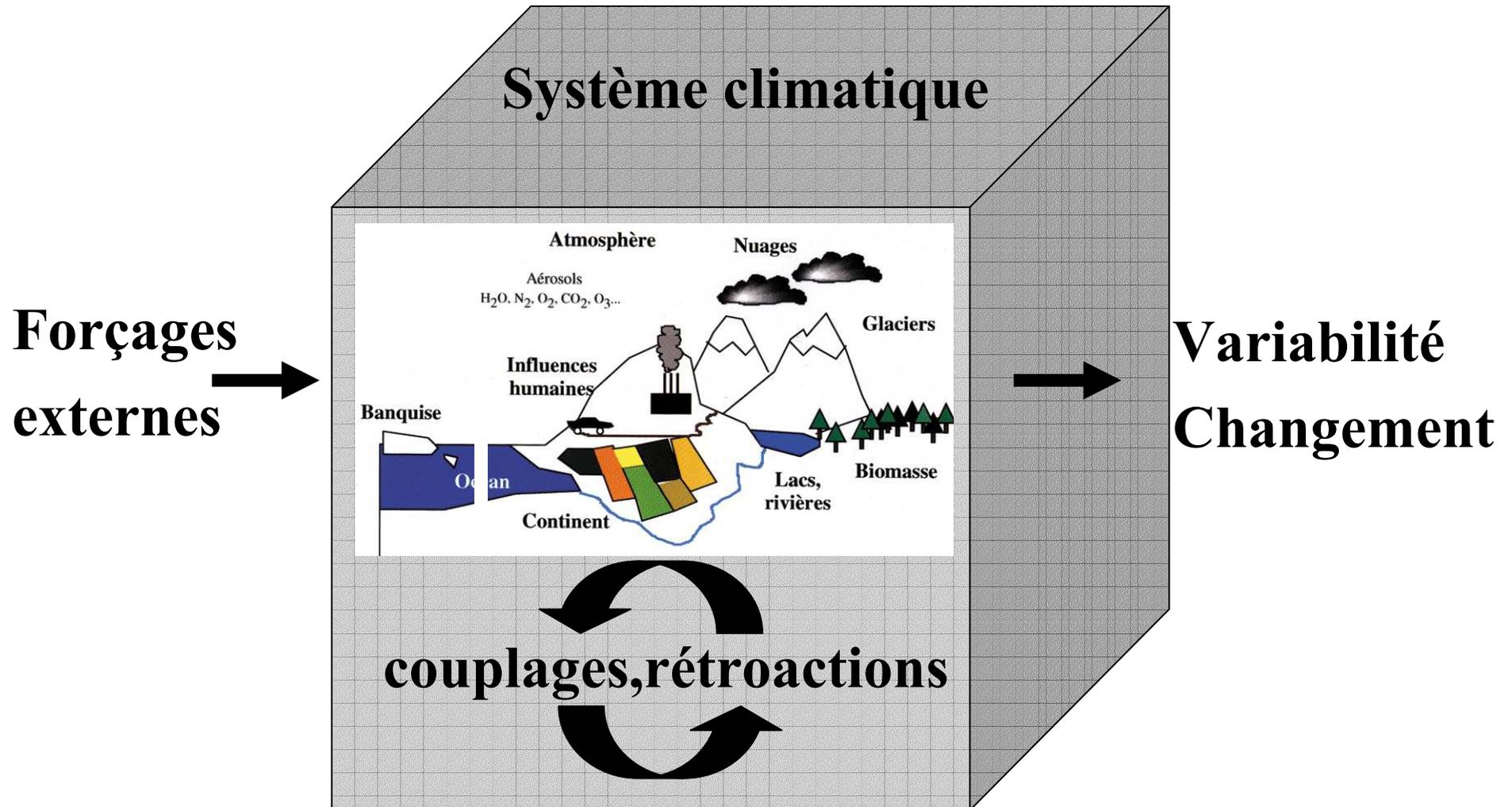
Calcul théorique (**sans atmosphère**) :  
**T = -18°C**

Mesure (**avec atmosphère terrestre**) :  
**T = +14°C**

# Exemples de rétroactions

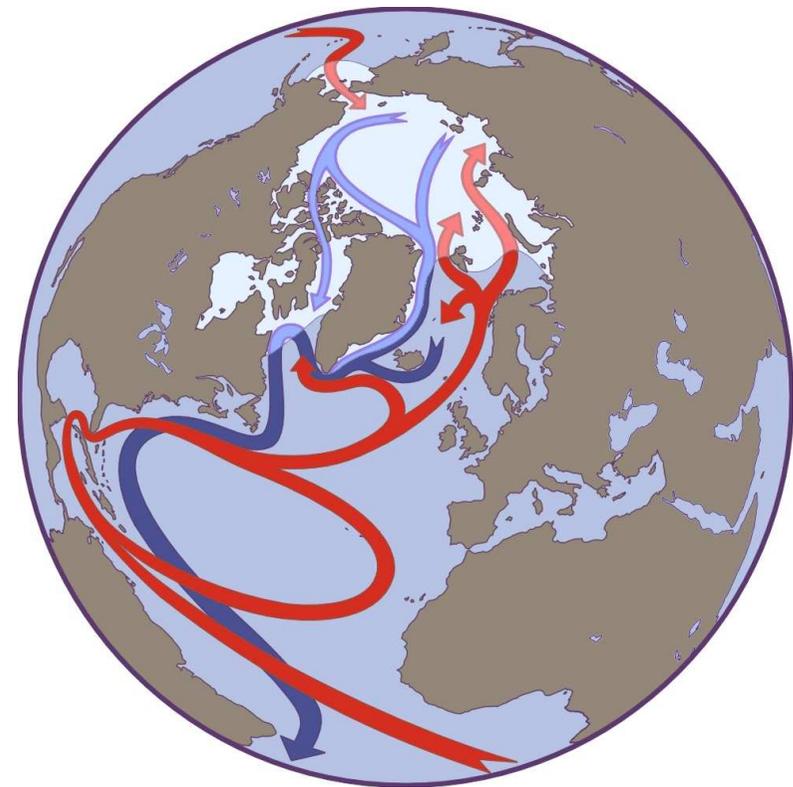
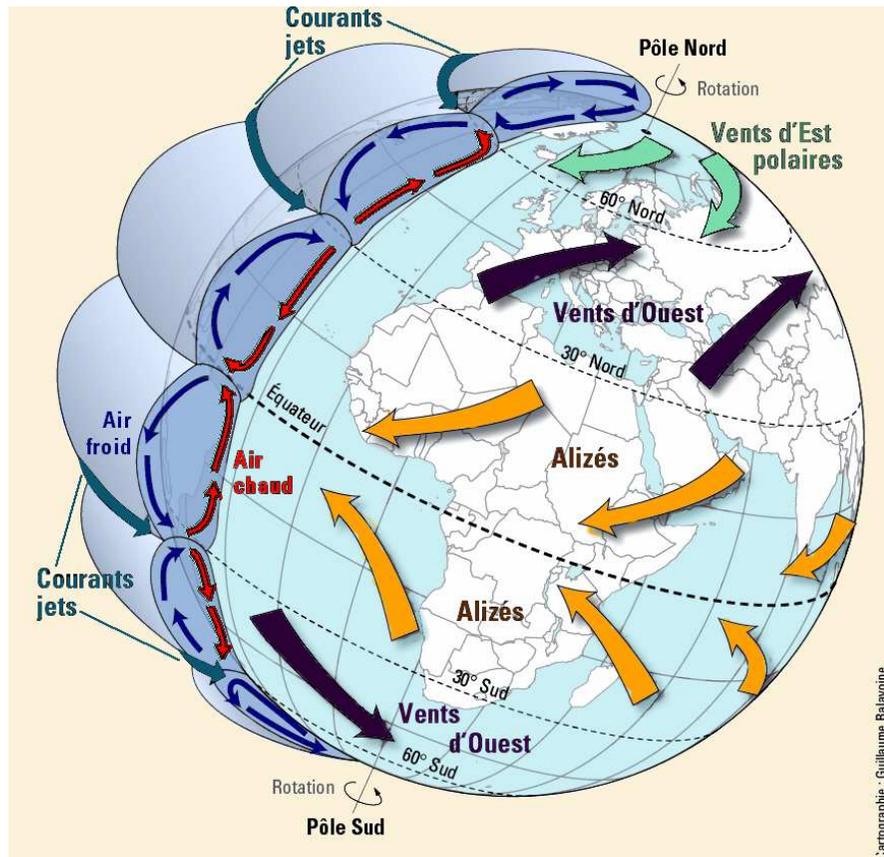


# Physique du climat

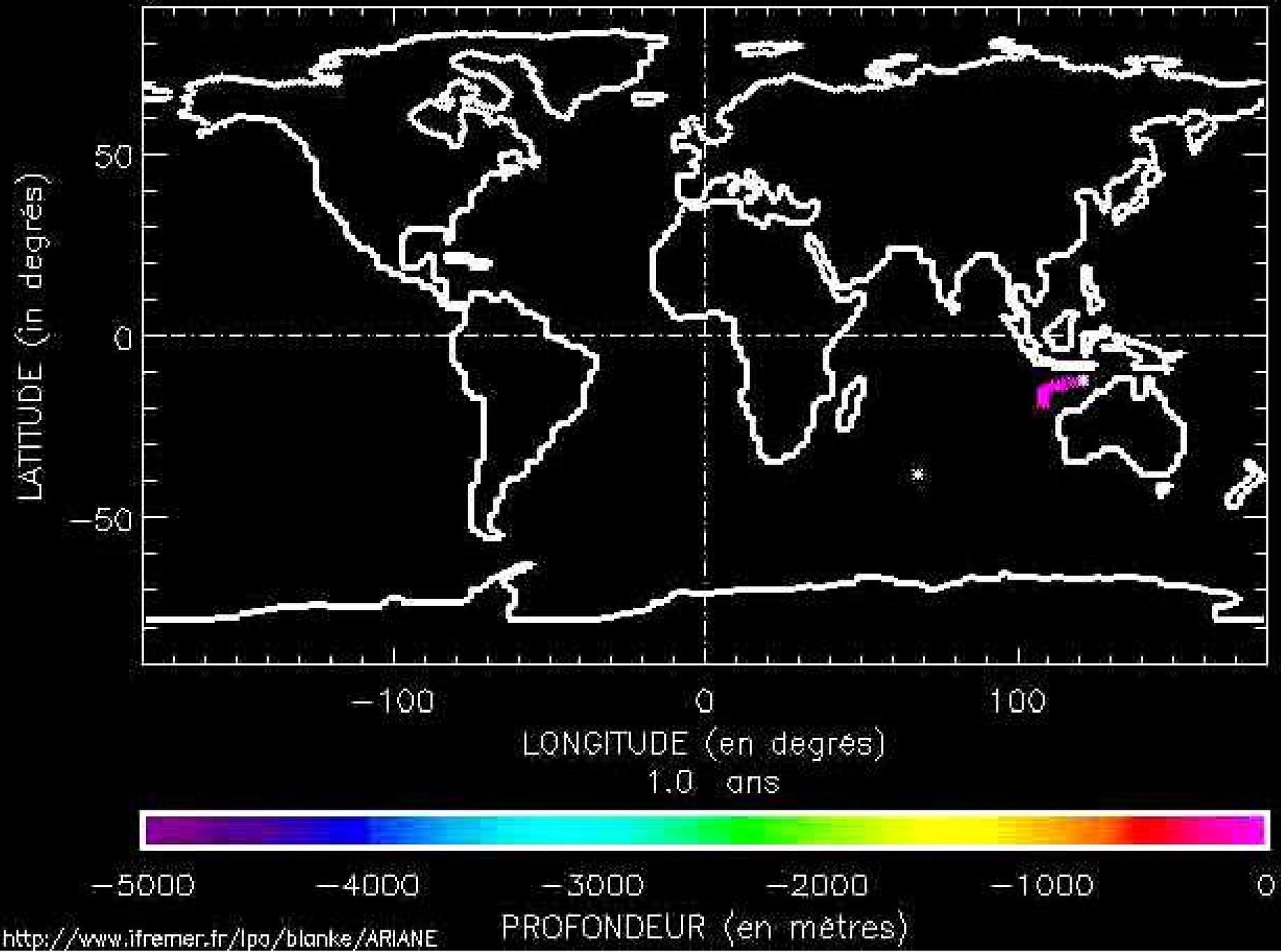


# La machine climatique

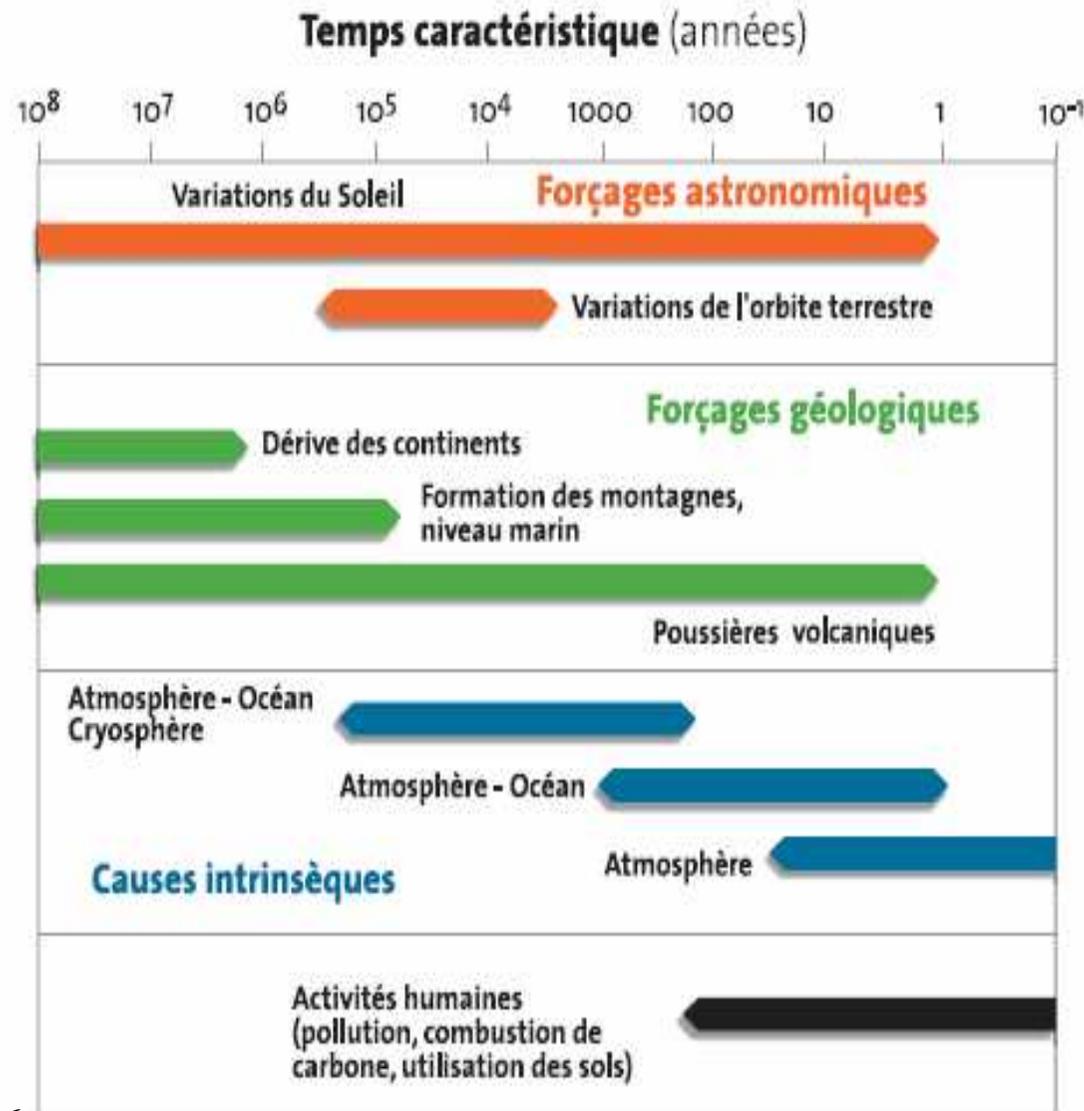
## Transport de chaleur par l'océan et l'atmosphère



# Trajectoires dans un Modèle de Circulation Générale Océanique

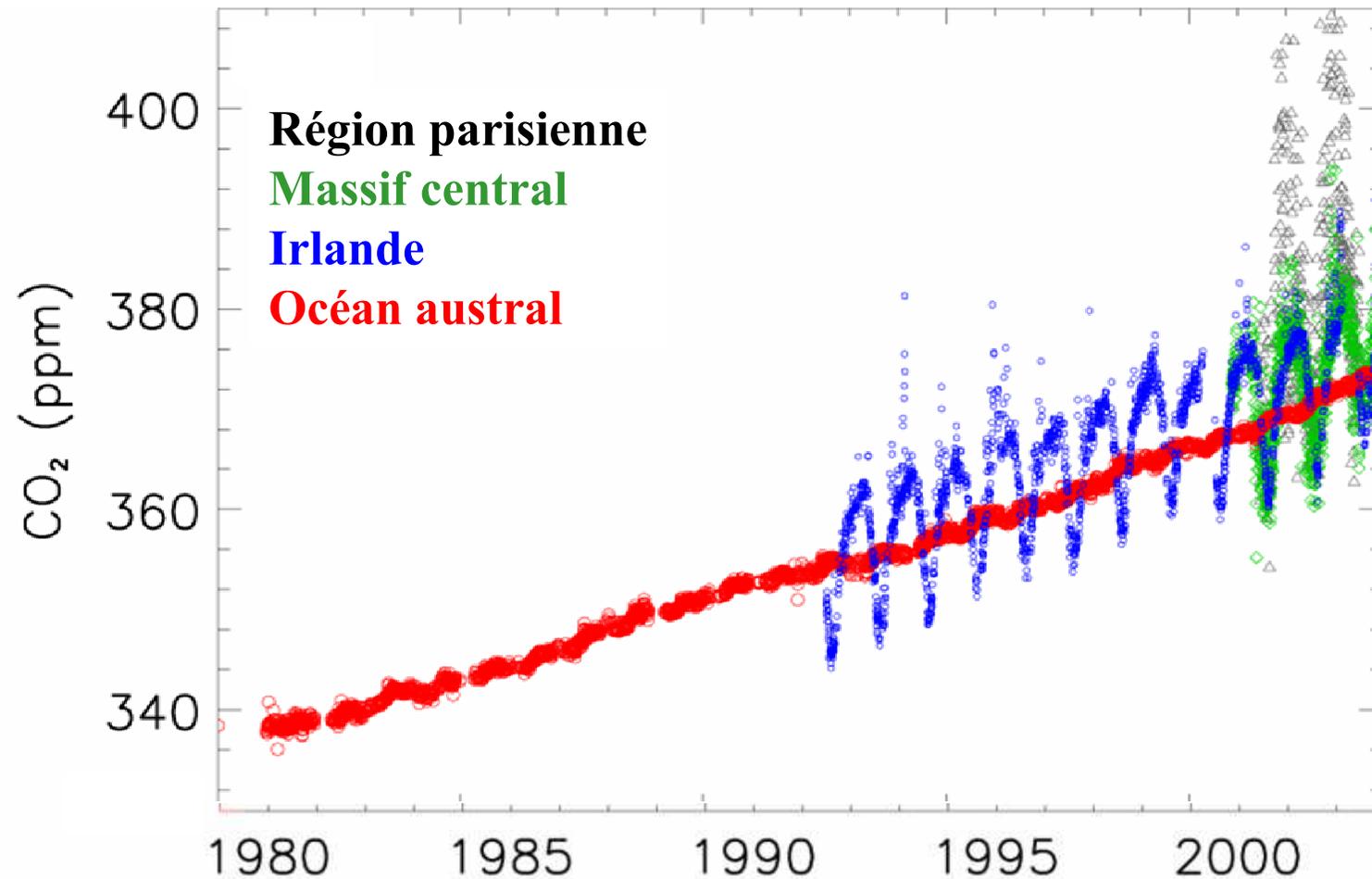


# Constantes de temps



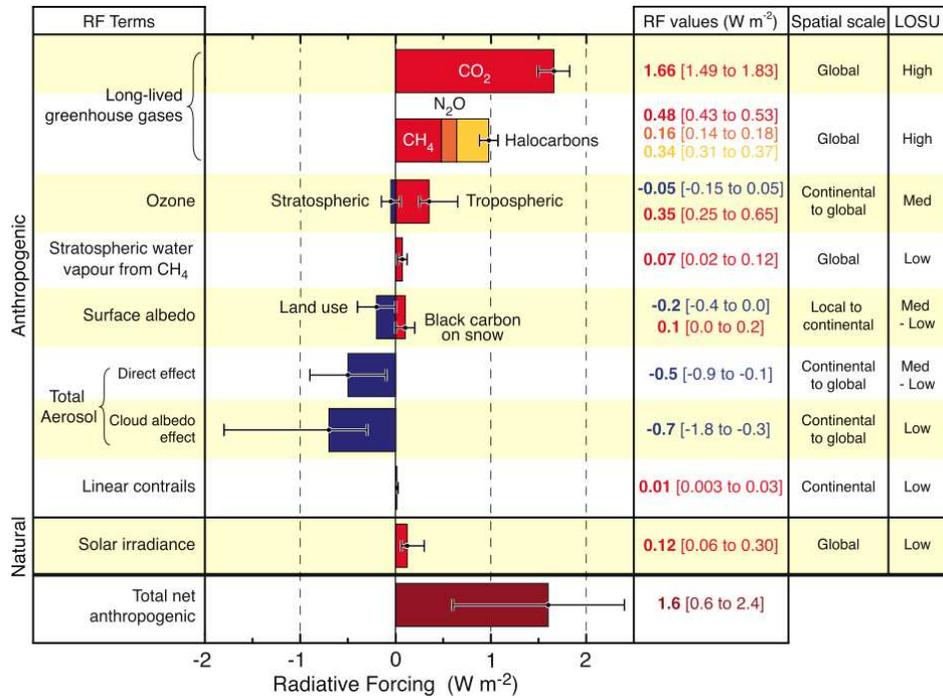
Source : Bard 2006

# Concentrations de dioxyde de carbone

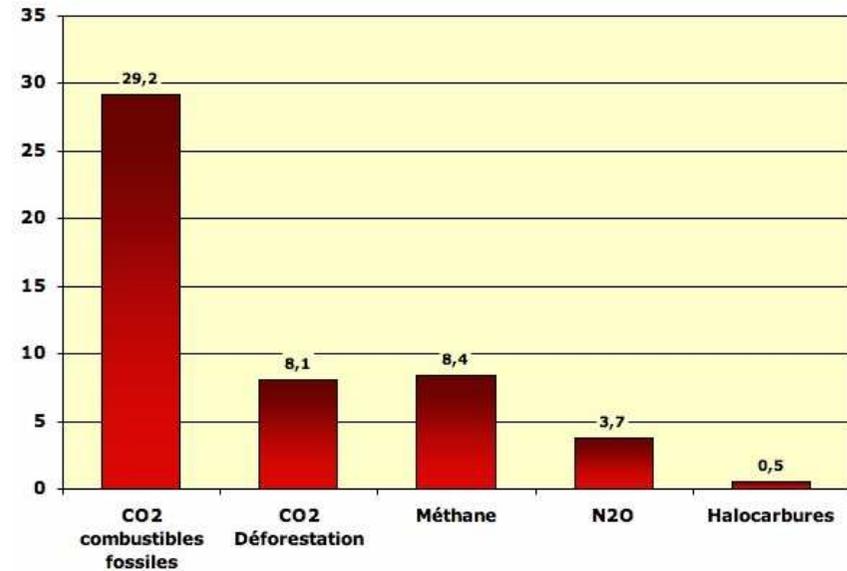


Source : observatoire RAMCES

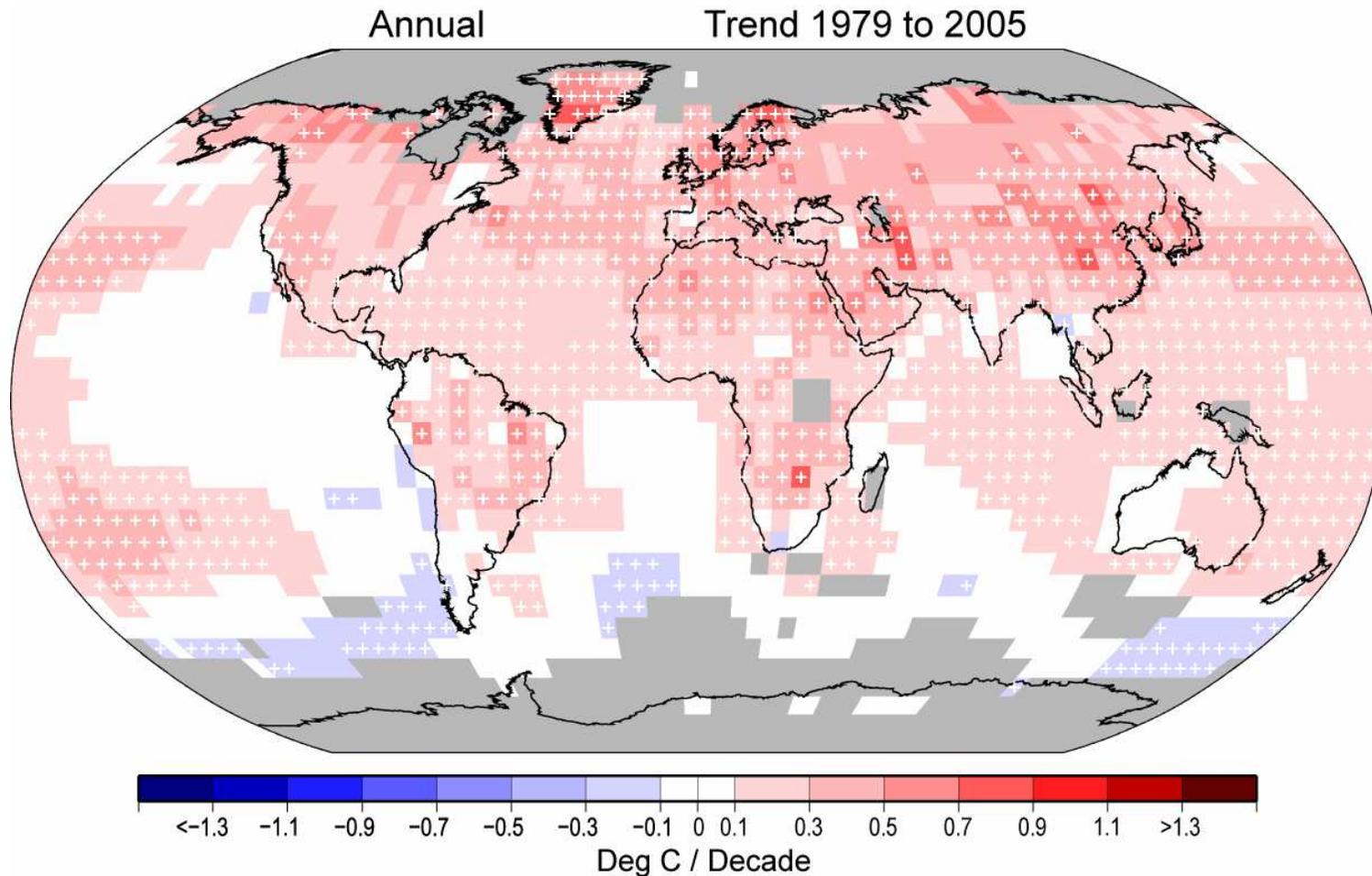
# Forçages radiatifs anthropiques



Rejets de gaz à effet de serre en 2006 (milliards de tonnes équivalent CO<sub>2</sub>) :



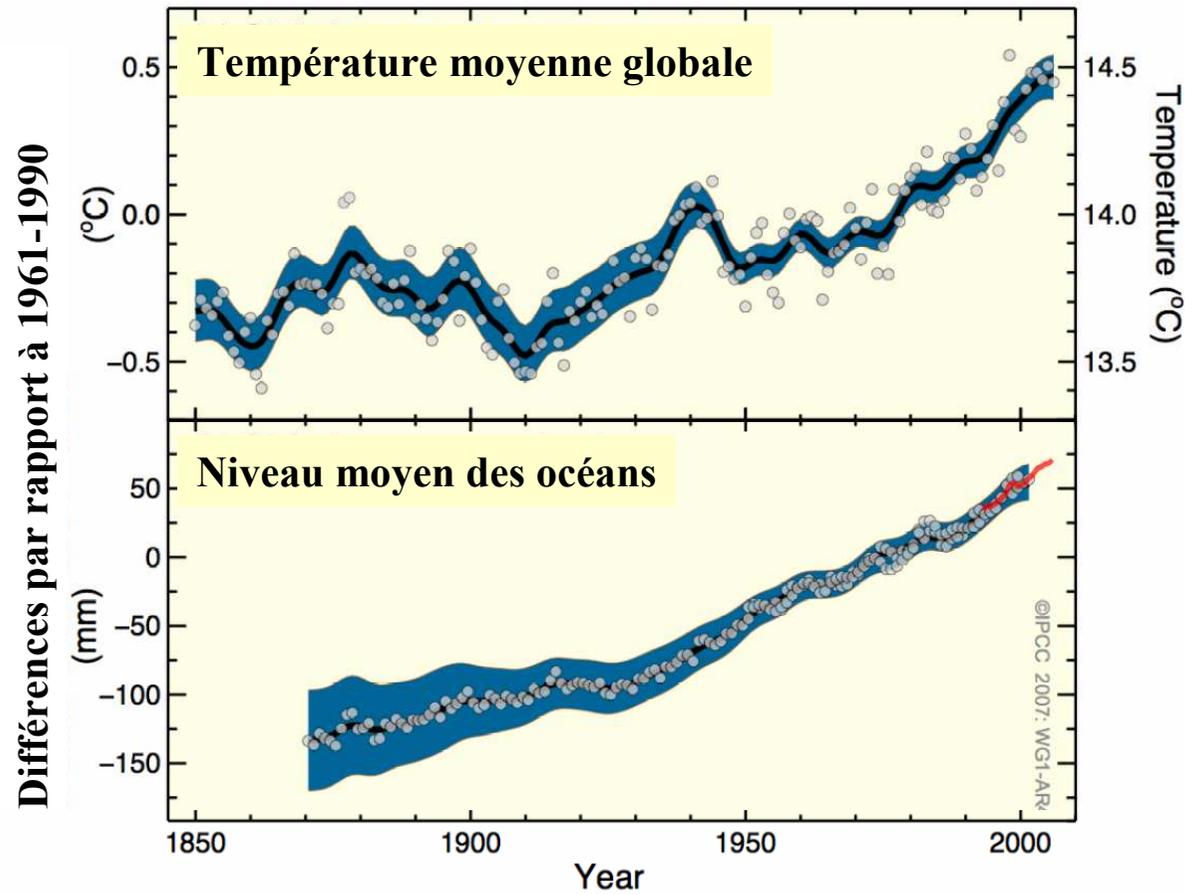
# Température : tendance entre 1979 et 2005



Source : IPCC 2007

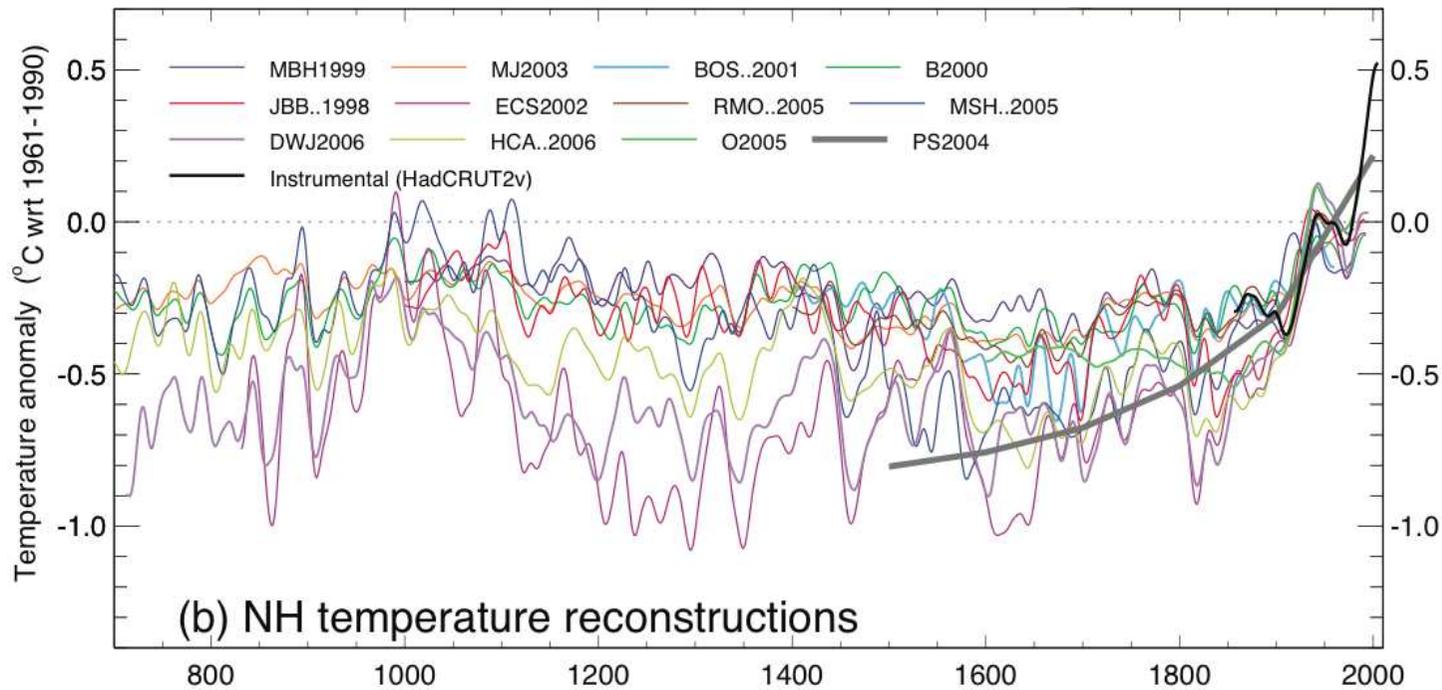
# Le climat change...

## Température moyenne terrestre



Source : IPCC 2007

# Le climat change... au-delà de la variabilité « naturelle »



Source : IPCC 2007

# Le climat change... au-delà de la variabilité « naturelle »

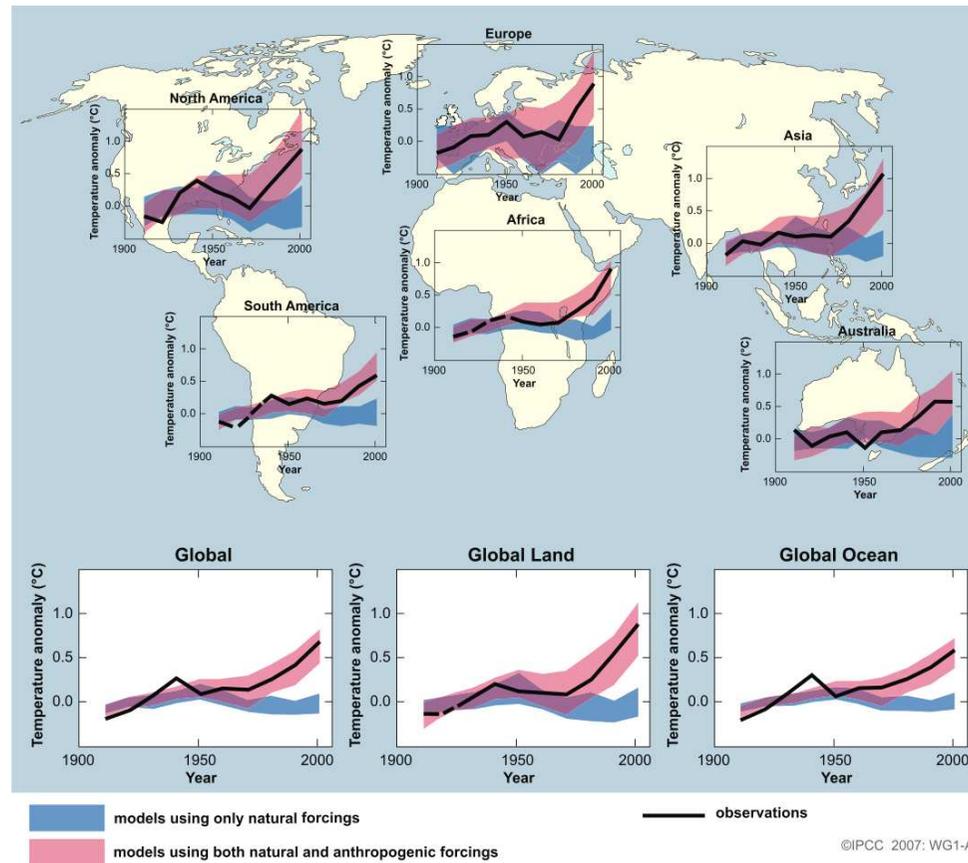


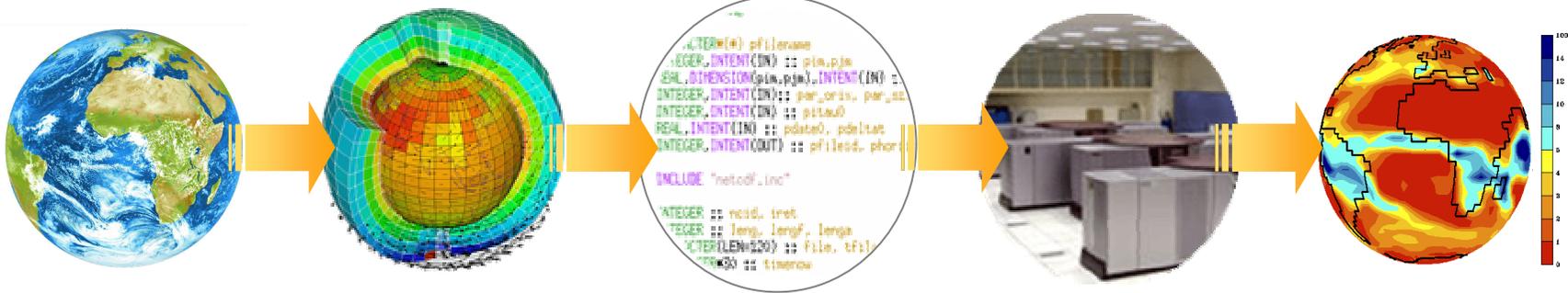
Figure SPM.4

Source : IPCC 2007

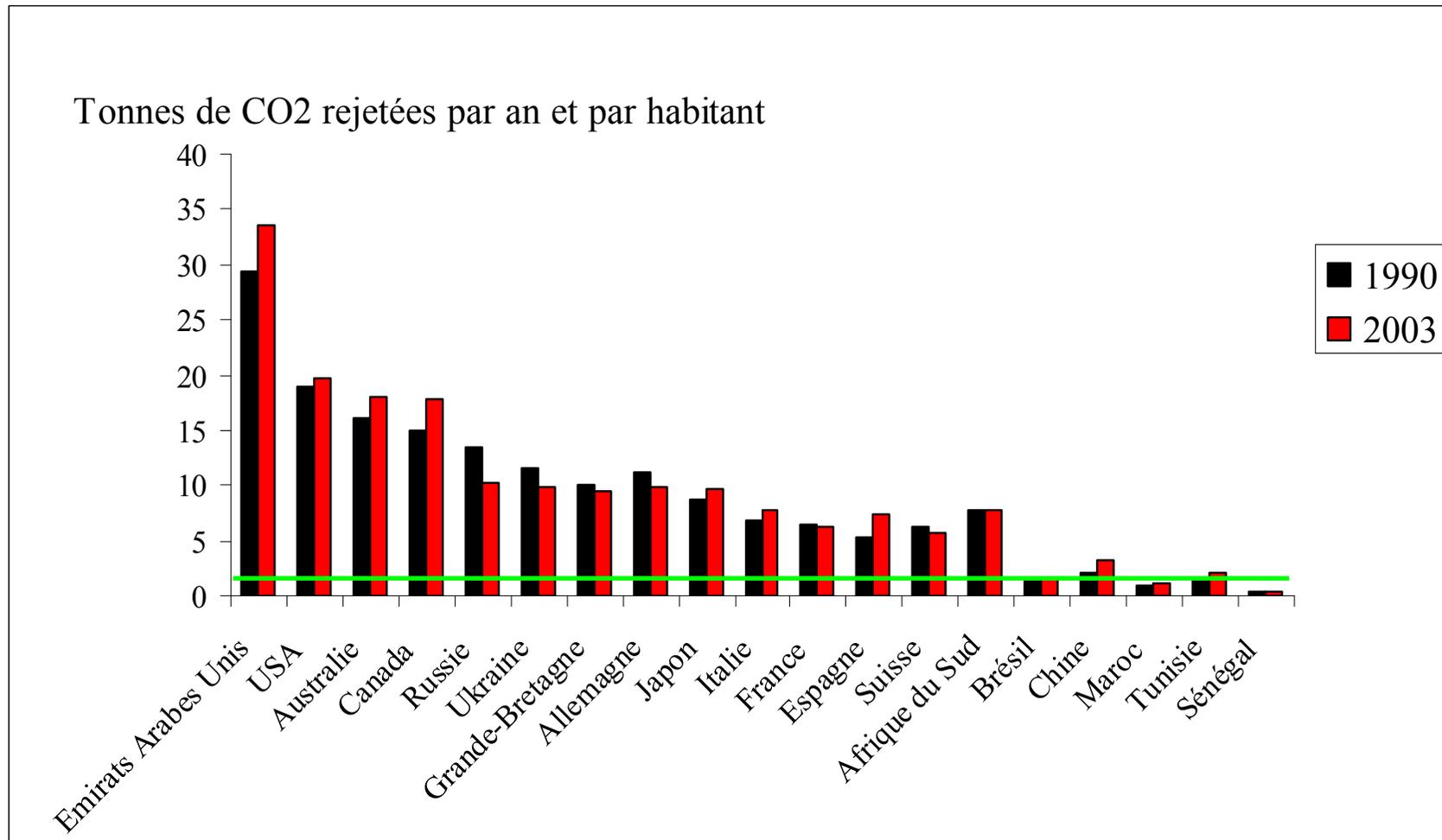
# Changements climatiques en cours

- Un réchauffement sans précédent au cours des derniers 2000 ans pour l'hémisphère nord
- Un réchauffement qui est dû à l'augmentation de l'effet de serre, qui devient dominant par rapport aux facteurs naturels (volcanisme, activité du Soleil)
- Un réchauffement sur la trajectoire « haute » prévue par les premières simulations climatiques conduites dès 1985

# Demain ?



# Rejets de dioxyde de carbone par habitant (tonnes de CO<sub>2</sub>/an)

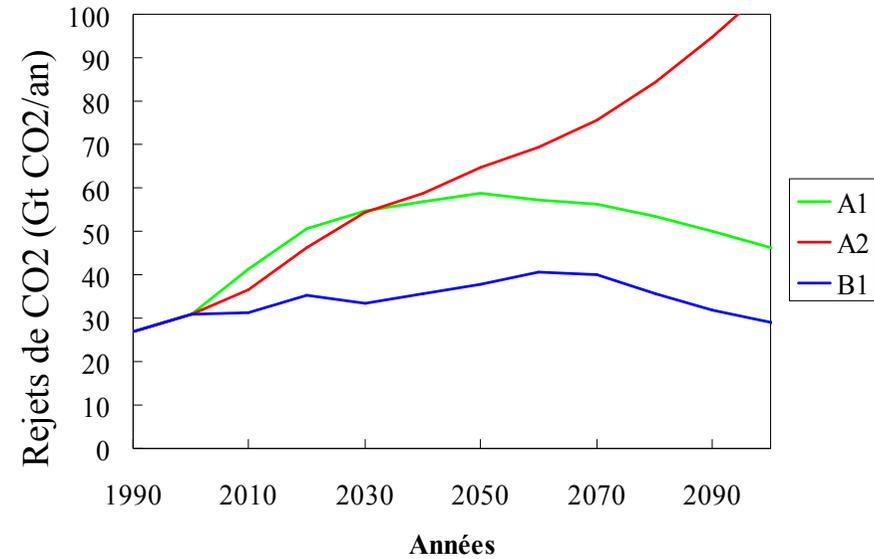


En France : 6 tonnes de CO<sub>2</sub> par personne et par an  
La planète peut en « digérer » 1.5 tonne / habitant

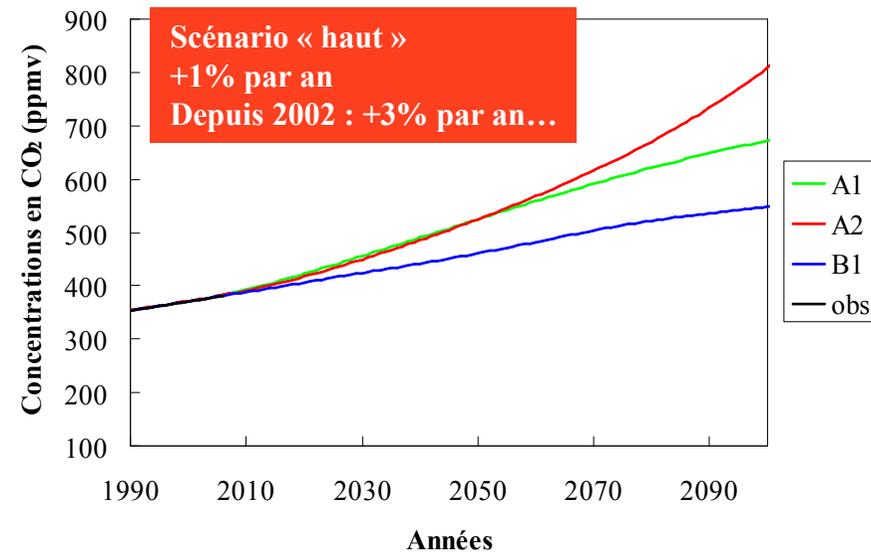
Source : UNEP 2006

# Quelle énergie utiliserons-nous?

Rejets de CO<sub>2</sub>  
(Gt CO<sub>2</sub> / an)

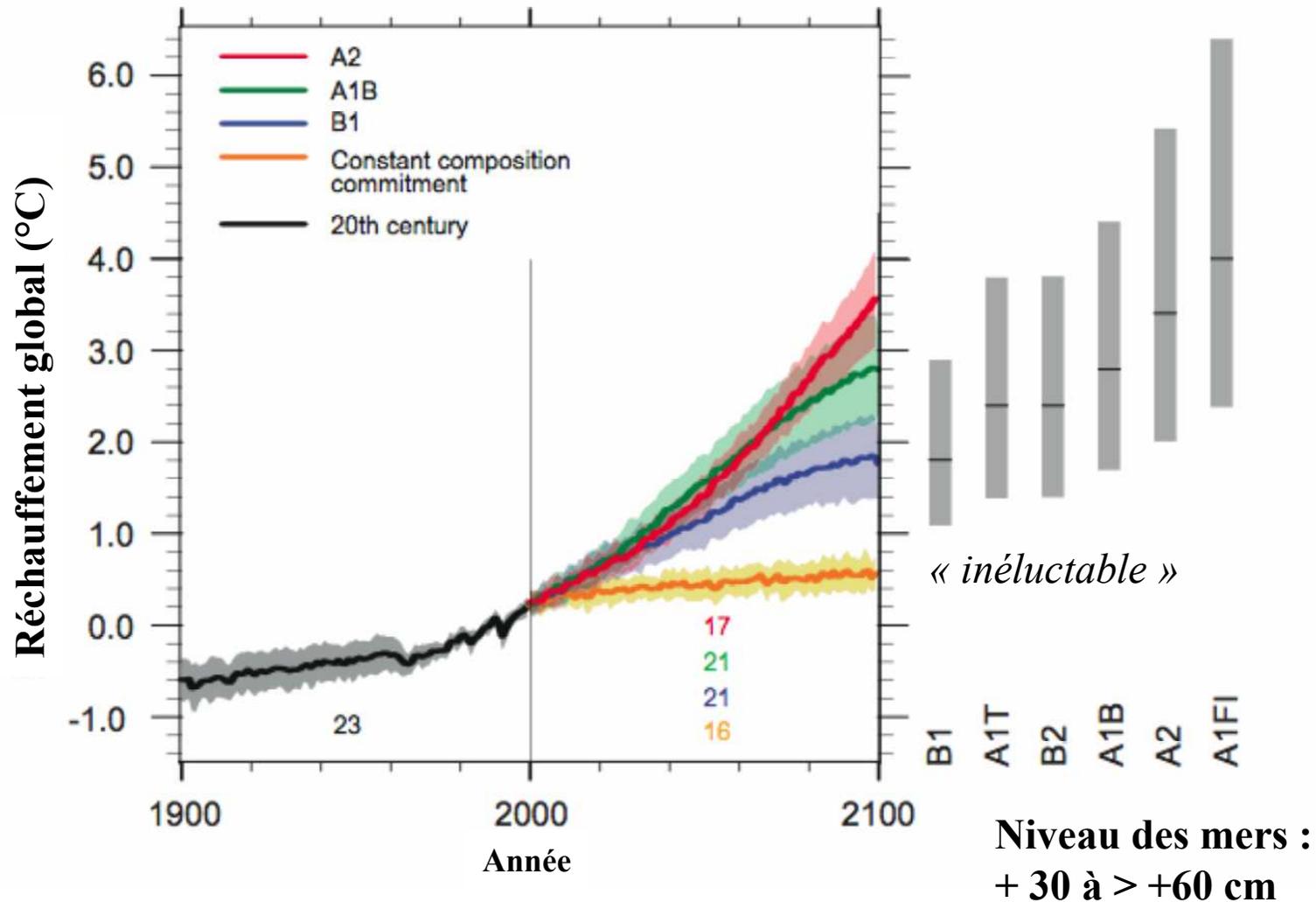


Concentrations de CO<sub>2</sub> dans  
l'atmosphère (ppmv)



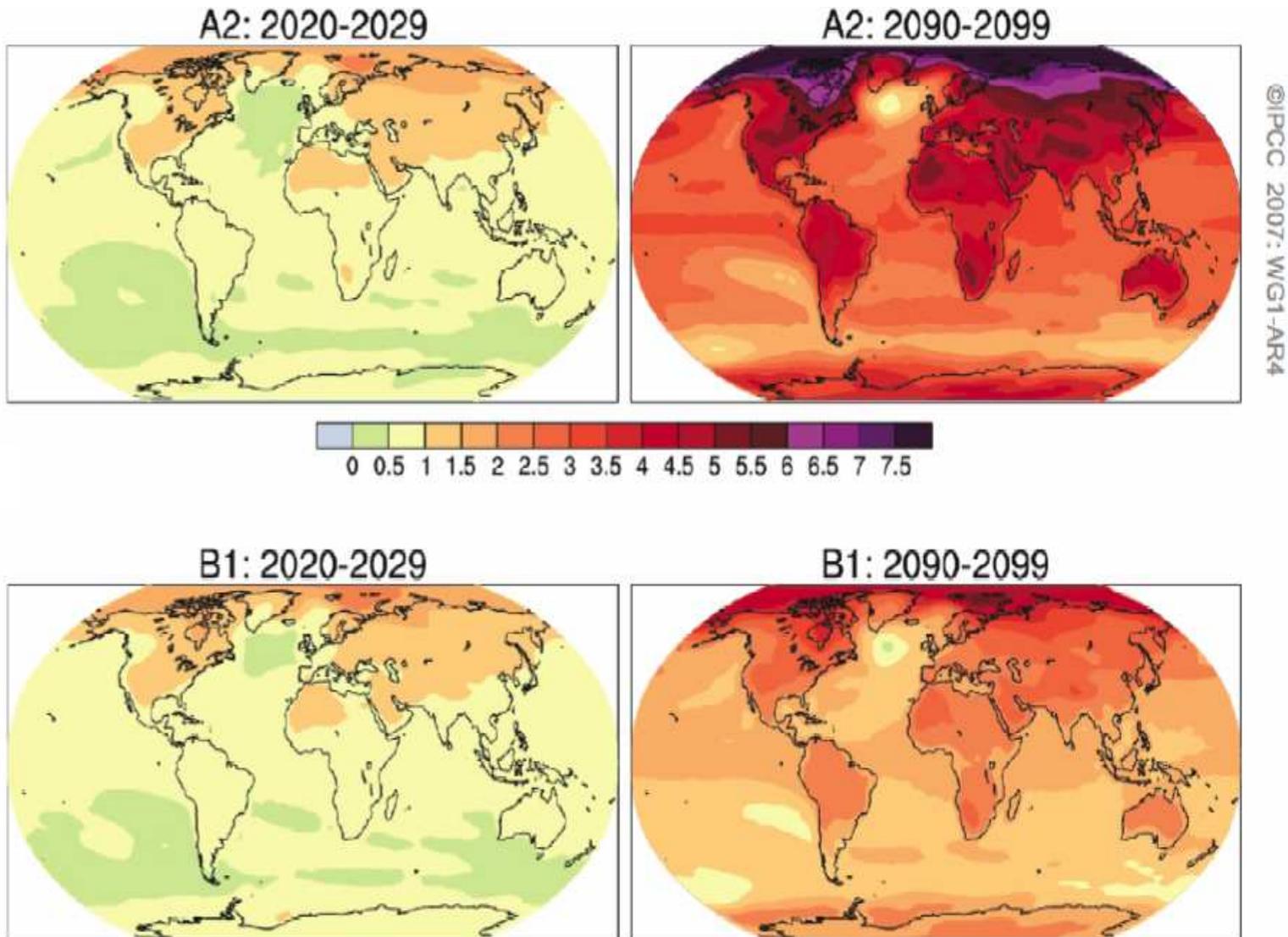
Source : IPCC 2007

# Quel changement de température globale?



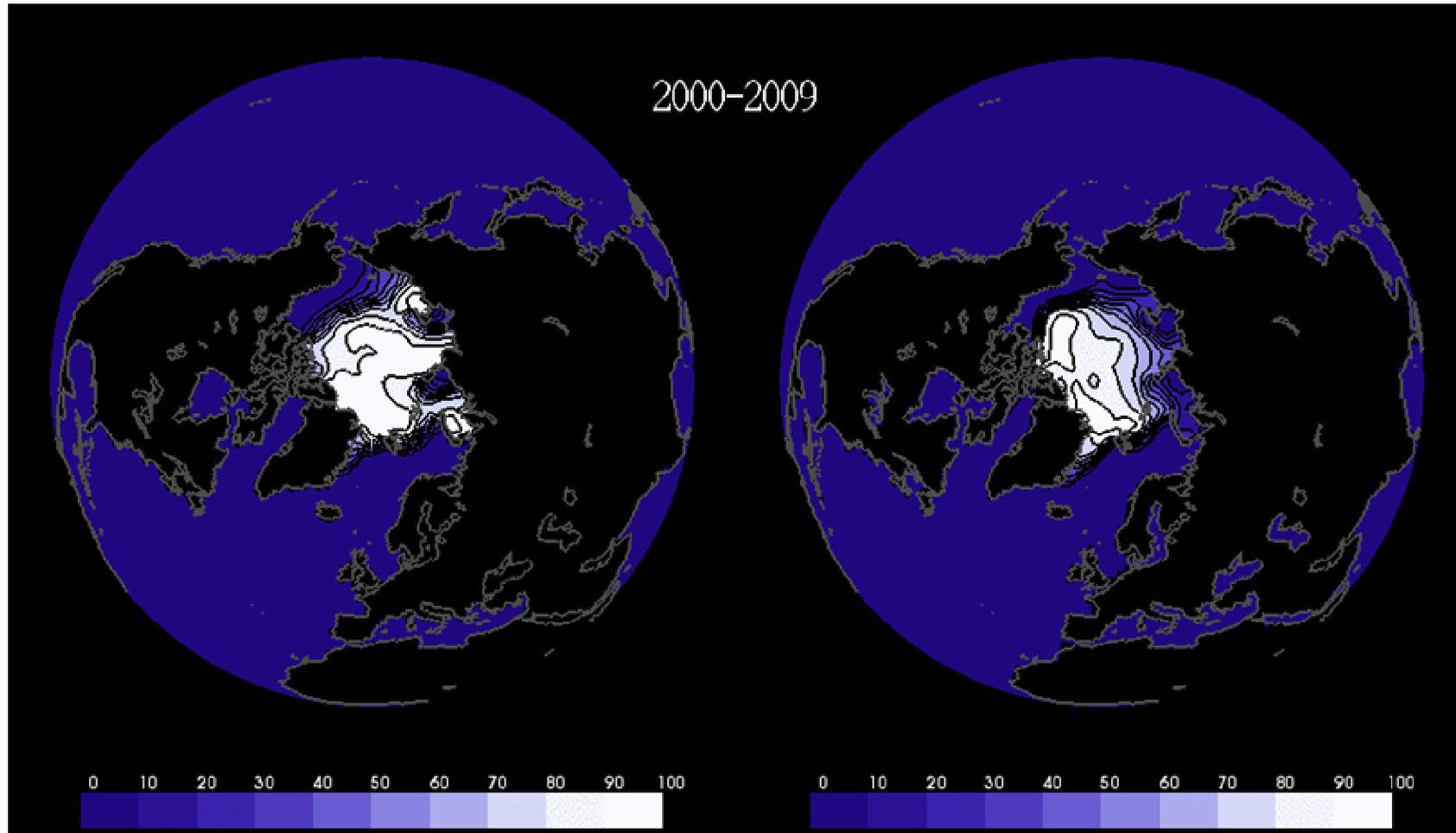
Source : IPCC 2007

# Changements de température de surface



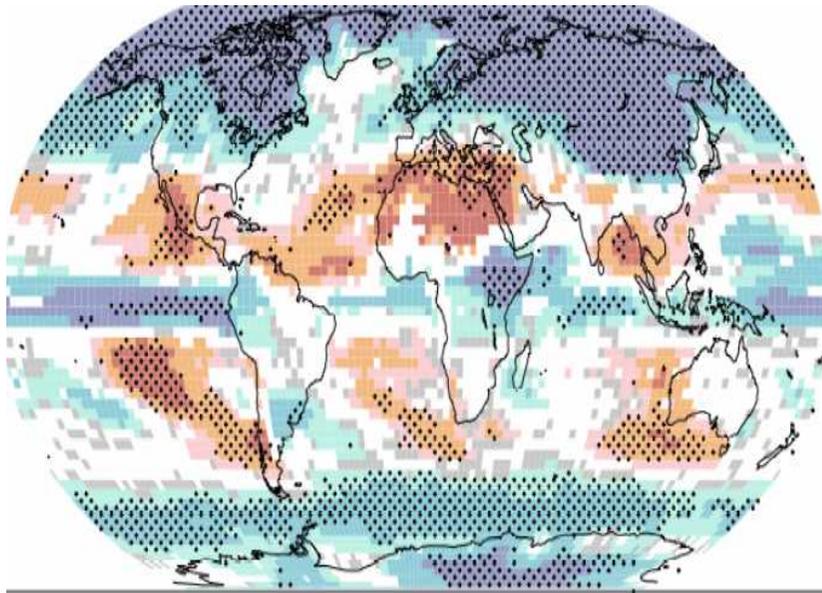
Source : IPCC 2007

# Aspects irréversibles?

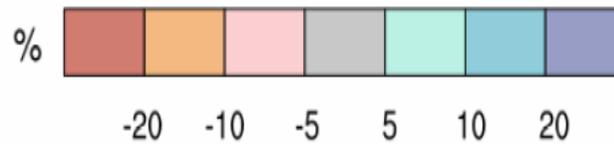
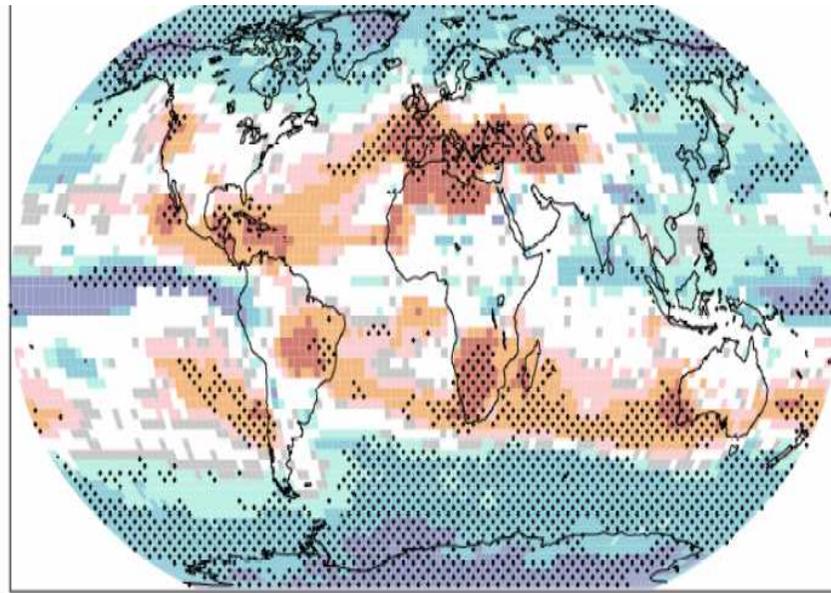


# Changements de précipitations

Décembre-Janvier-Février



Juin-Juillet-Août



Source : IPCC 2007

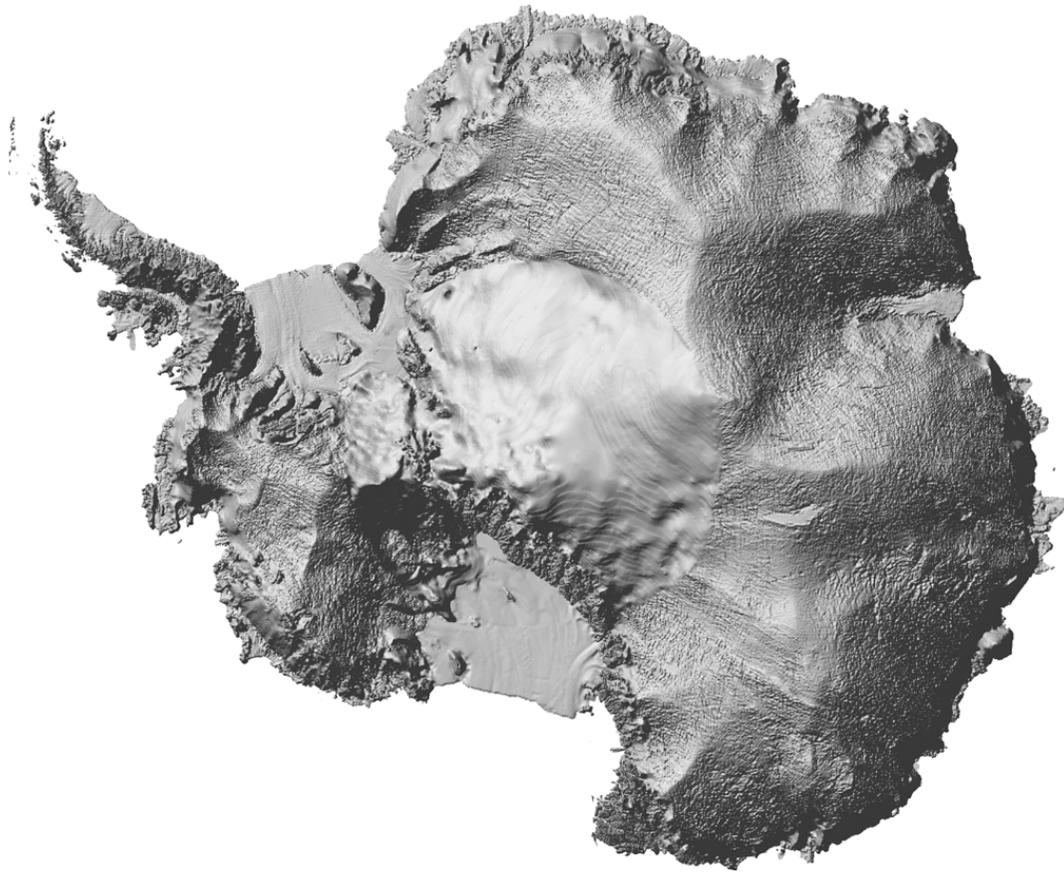
# Impacts

- Evènements extrêmes (vagues de chaleur, sécheresses; très fortes précipitations, inondations)
- Disponibilité saisonnière d'eau (ex : fonte des glaciers)
- Zones côtières (niveau des mers)
- Ecosystèmes, maladies à vecteurs
- Productivité des forêts, des zones agricoles, pêche
- Qualité de l'air (pics d'ozone)

# Changements climatiques futurs

- Notion de changement inéluctable
- Facteurs naturels (volcanisme, activité solaire) non pris en compte
- Rétroactions manquantes (climat / cycle du carbone, permafrost, écoulement rapide des calottes polaires)
- Vitesse actuelle d'augmentation du CO<sub>2</sub> >> projections
- Meilleure cohérence entre les simulations mais impossible d'avoir des conclusions claires pour la variabilité interannuelle (ENSO), les moussons, les tempêtes, les ouragans
- Grandes incertitudes sur le long terme (ex : calottes / niveau des mers).

# Hier



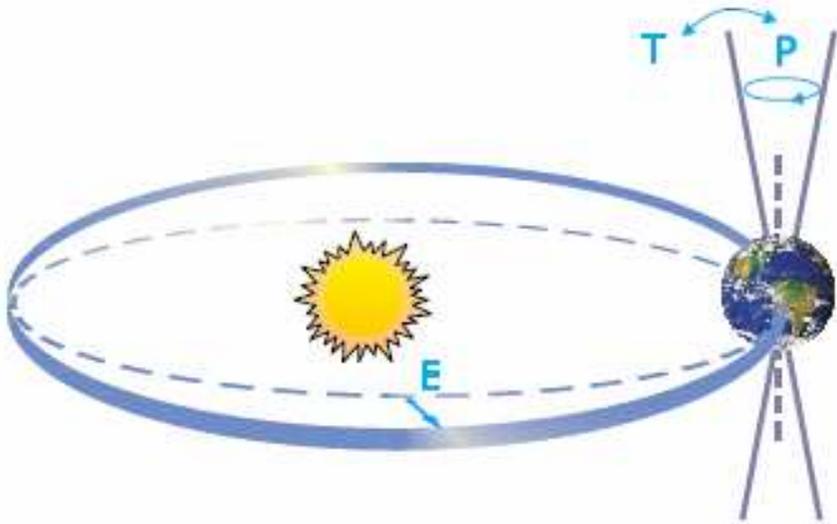
14 millions de km<sup>2</sup>  
57 m de « niveau des mers »



1.7 millions de km<sup>2</sup>  
7 m de « niveau des mers »







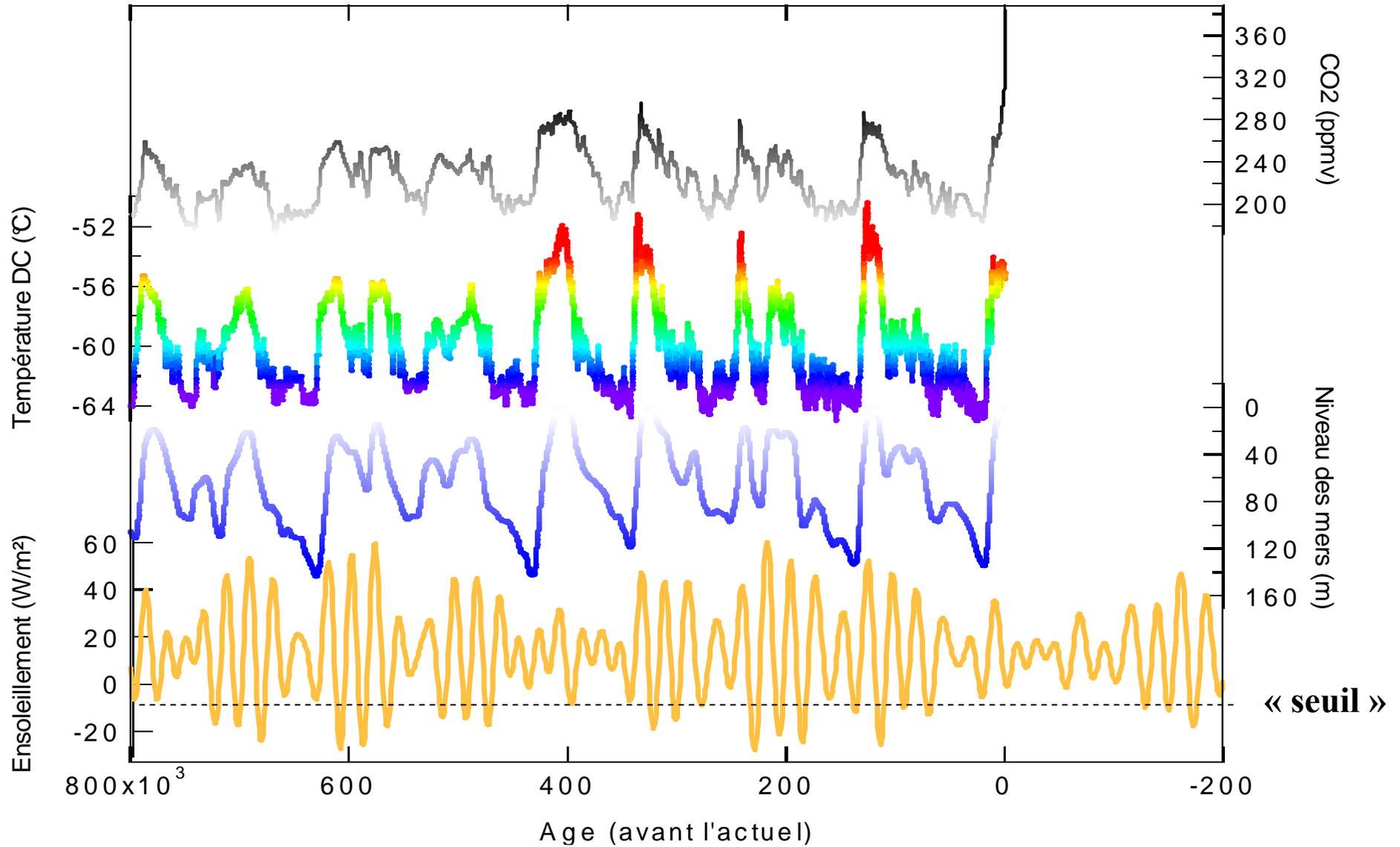
### **Forçage connu (ensoleillement)**

#### **Non linéarités :**

- Calottes
- Circulation océanique
- Cycle du carbone
- Cycle hydrologique



# Forage EPICA Dôme C (Antarctique)

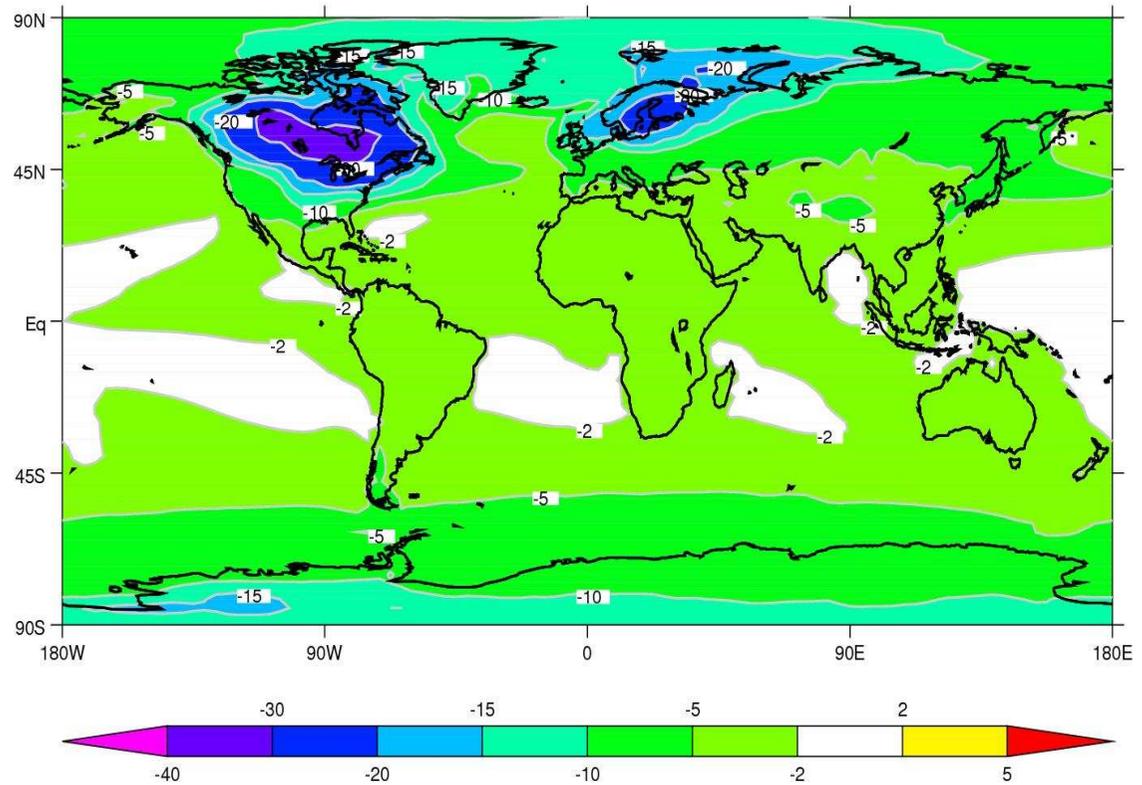


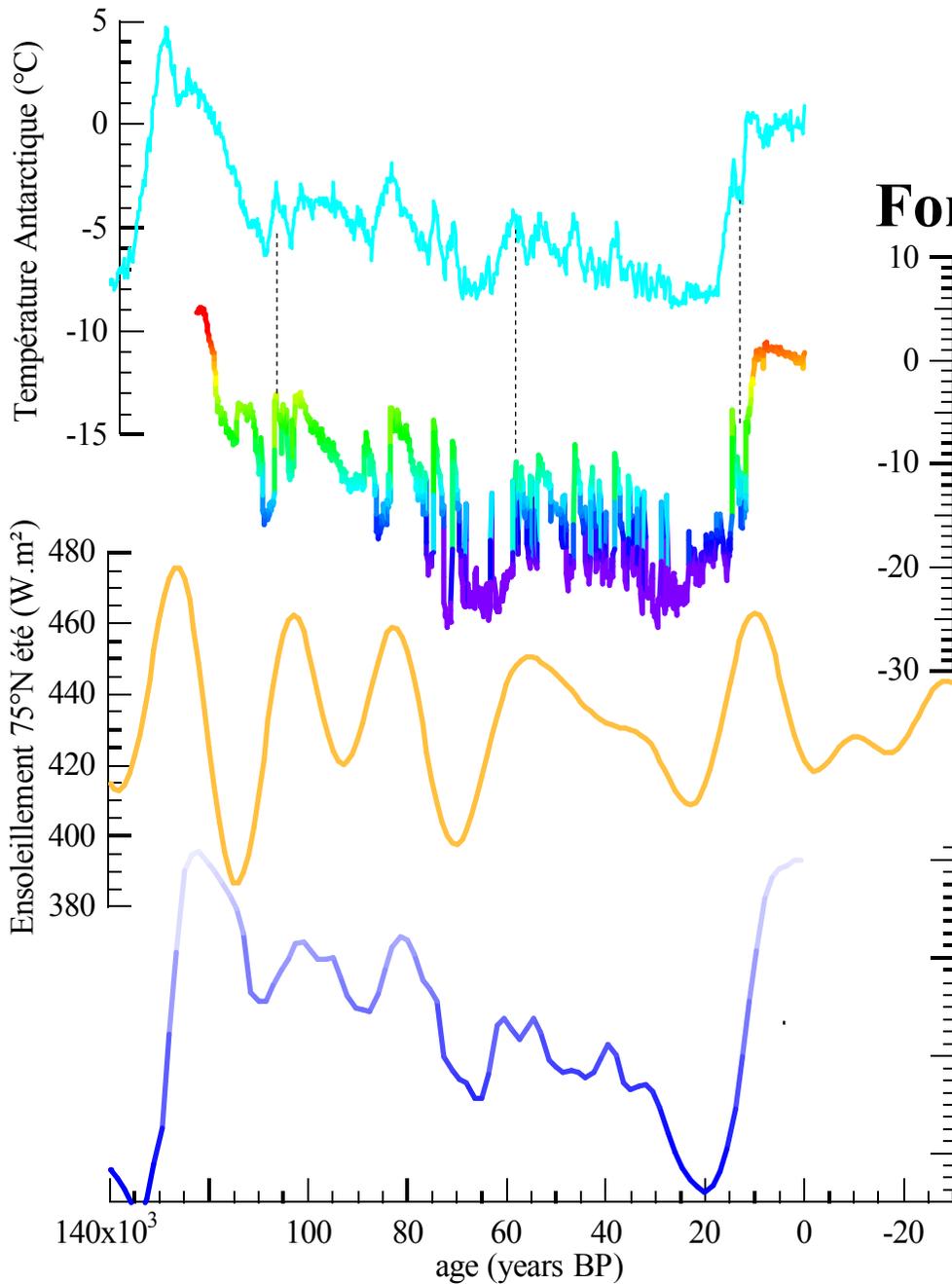
Source : Nature 2007

## Modélisation du climat du Dernier Maximum Glaciaire il y a 21 000 ans

Refroidissement global : 4 à 7°C  
(sous-estimation au Groenland)

50% dû aux variations d'albédo  
50% dû aux gaz à effet de serre

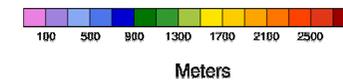
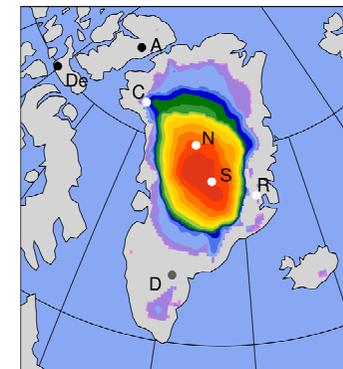




## Forage NorthGRIP (Groenland)

Changements climatiques abrupts  
de la dernière glaciation  
(8° à 16°C en 50-500 ans)

Dernière période chaude :  
+5°C aux deux pôles  
Niveau des océans +4 à +6 mètres  
Déstabilisation des calottes

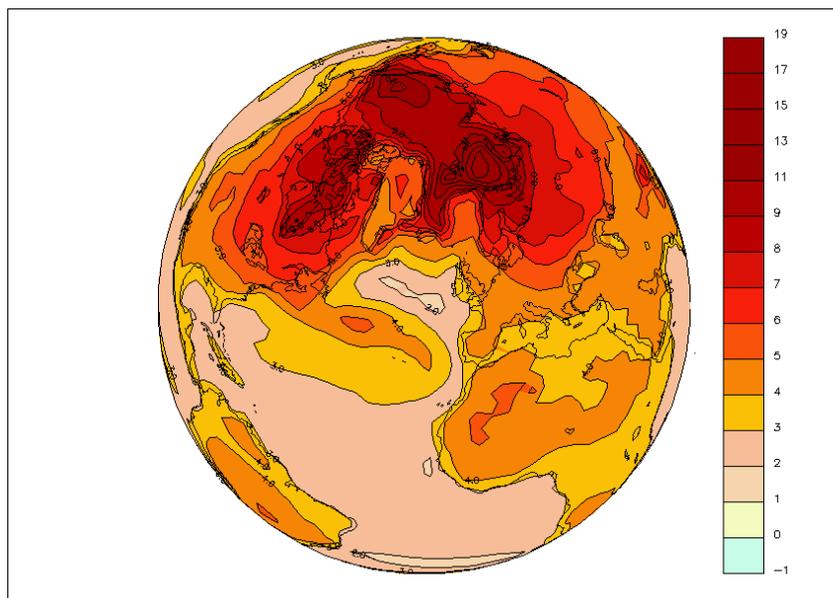


# Climat futur : irréversibilités à long terme?

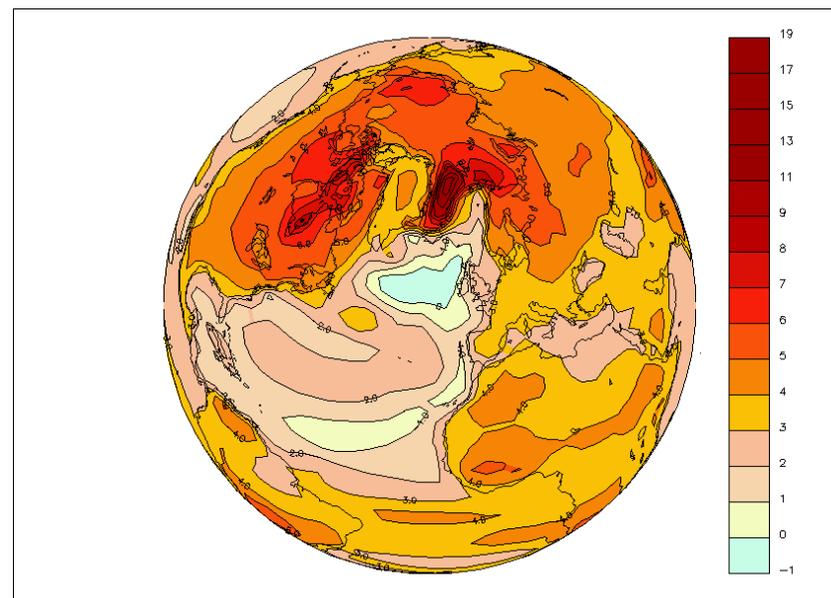
## Effet de la fonte du Groenland sur la circulation océanique et le climat

Doublement de la concentration atmosphérique en CO<sub>2</sub>, pendant 500 ans

Sans fonte du Groenland  
Global : +3.4°C



Avec fonte du Groenland  
Global : +3.1°C



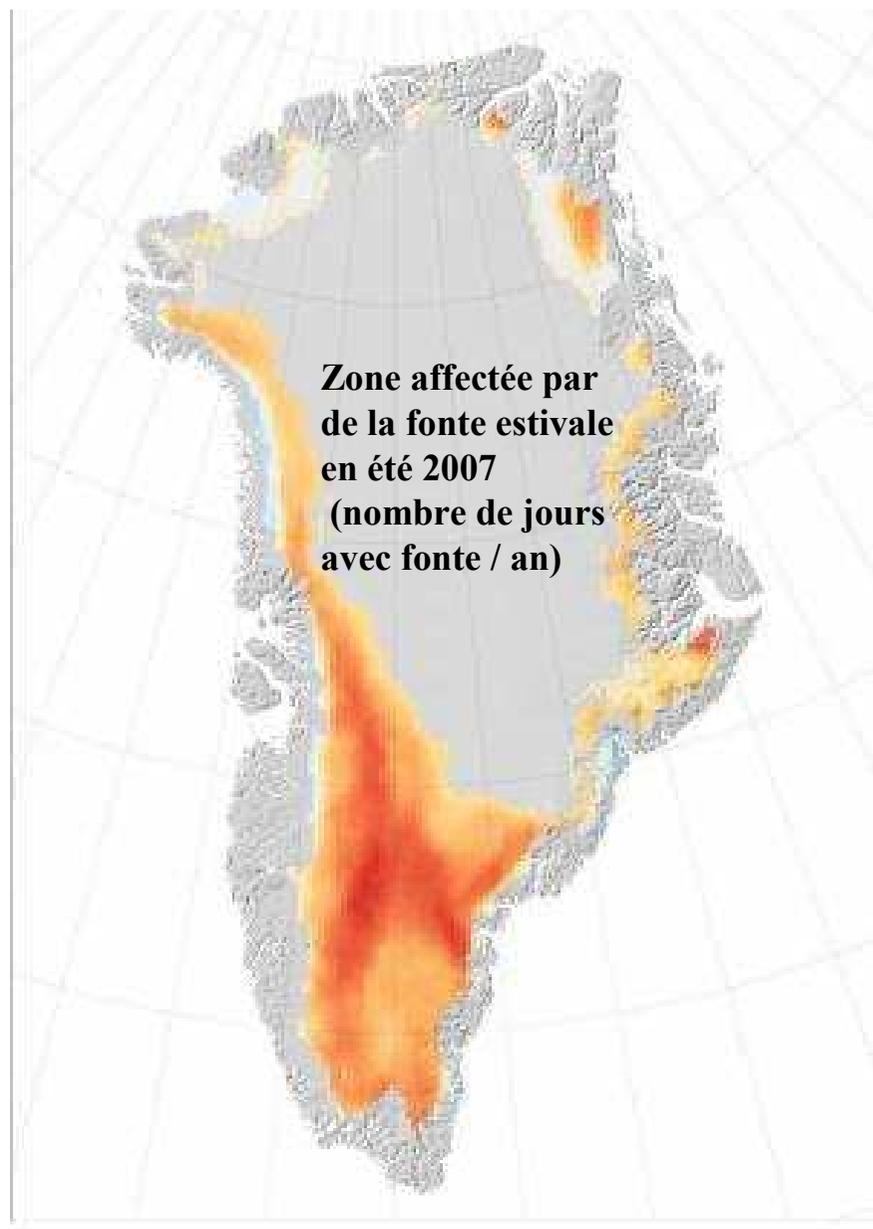
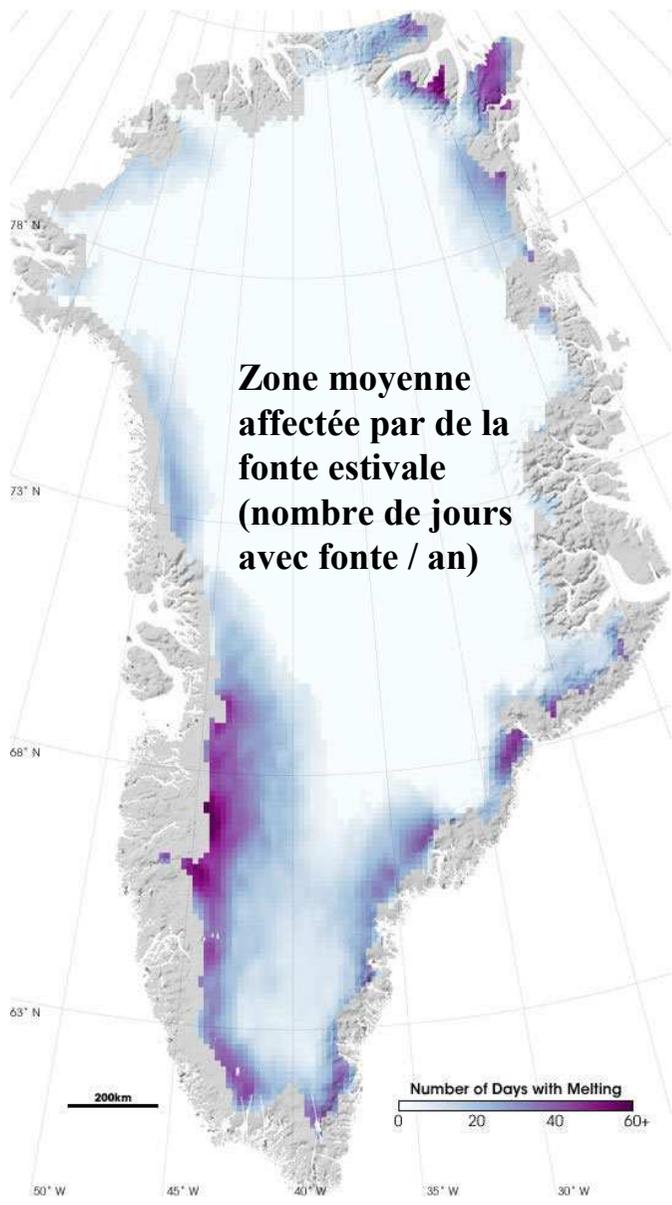
# Changements climatiques passés

- Non linéarités
- Rythmes : le changement climatique du 21<sup>ème</sup> siècle sera abrupt
- Zones vulnérables (ex : amplification polaire)
- Tests des modèles de climat, de calottes de glace
- Pas d'analogie

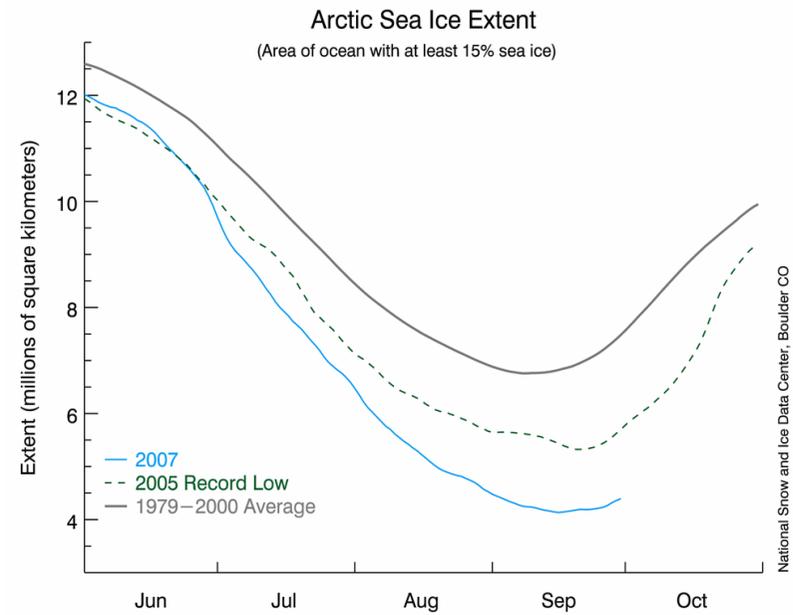
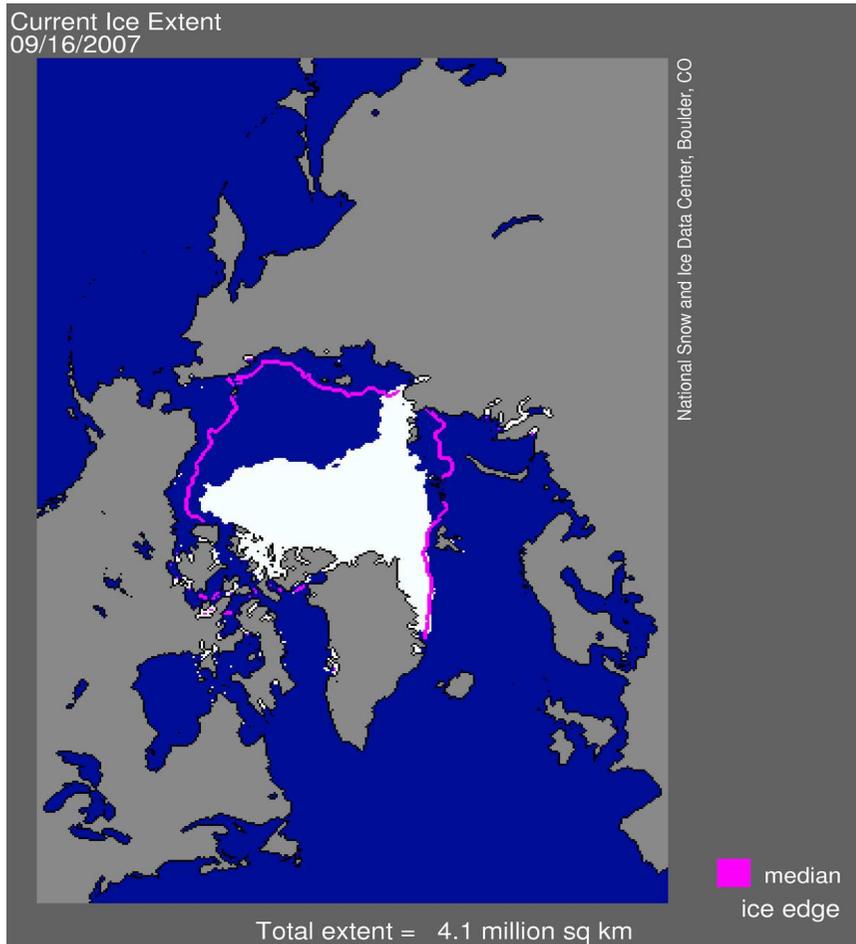
# Focus sur les régions polaires







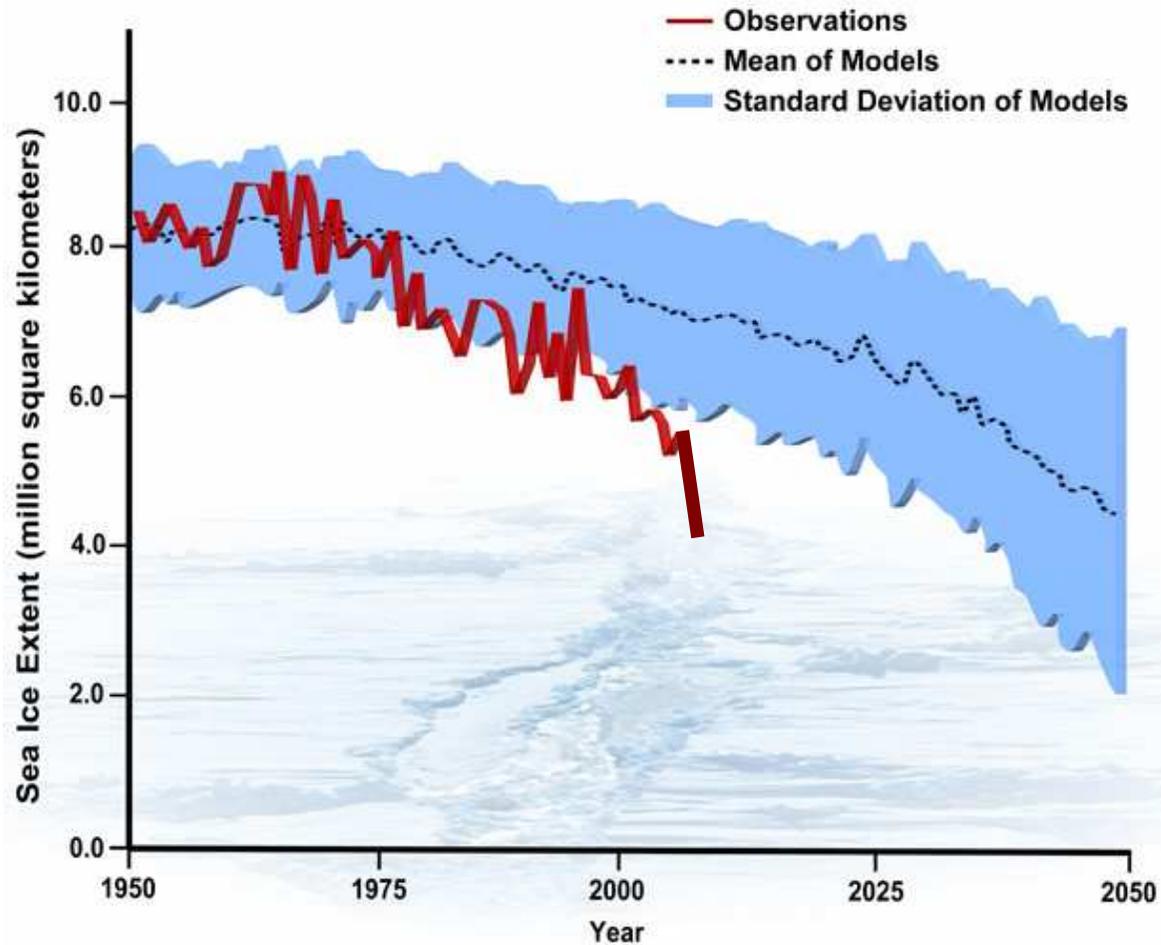
# Y a-t-il un « point de non retour »?



Source : NSIDC

# Le début d'un changement abrupt?

Arctic September Sea Ice Extent:  
Observations and Model Runs



# Nous piloterons l'évolution du climat pendant ... très longtemps!

**2080**

Maximum des émissions de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère

**2200**

Maximum de concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère  
Maximum de réchauffement

**2500**

Acidité maximale des océans  
Baisse lente de la température

**3000**

Montée maximale du niveau des mers (dilatation + fonte des glaces polaires)

**100 000**

Retour aux concentrations naturelles de CO<sub>2</sub> (surplus digéré par l'érosion des continents)  
Retour au rythme naturel du climat

# Les formidables défis du changement climatique

## Défis scientifiques

- Comprendre les mécanismes des changements du climat
- Prévoir le risque climatique à venir et ses impacts

## Défis politiques

- S'adapter
- Limiter l'ampleur du réchauffement

Qu'est ce qu'un changement climatique acceptable?

# Effet de serre, climat et gouvernance : quelques repères

## **Principe du développement durable**

*Assurer le bien-être des hommes d'aujourd'hui sans compromettre celui des hommes de demain*

## **Charte de l'environnement (2005), article 3**

*Toute personne doit [...] prévenir les atteintes qu'elle est susceptible de porter à l'environnement, ou, à défaut, en limiter les conséquences*

## **Protocole de Kyoto (entré en vigueur en 2005)**

*Maîtriser l'augmentation des rejets de gaz à effet de serre*

*Horizon 2008-2012 : -5% par rapport à 1990*

*Pas d'engagement pour USA, Australie, Chine, Inde (>50% des émissions)*

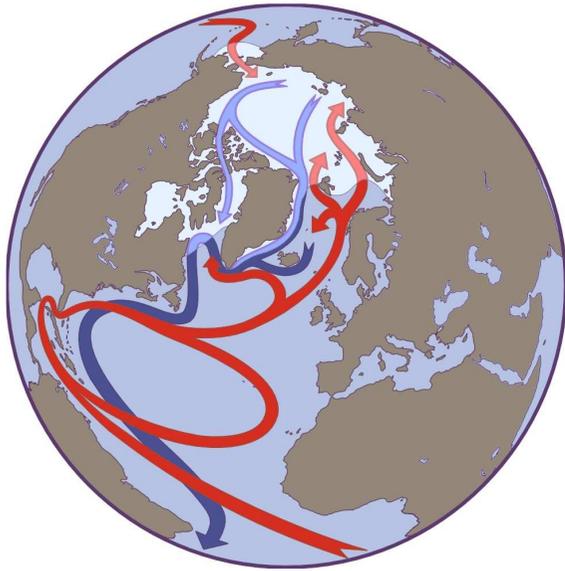
*Mécanismes spécifiques (marché du CO<sub>2</sub>)*

*Europe des 27 : engagement unilatéral pour -20% d'ici 2020*

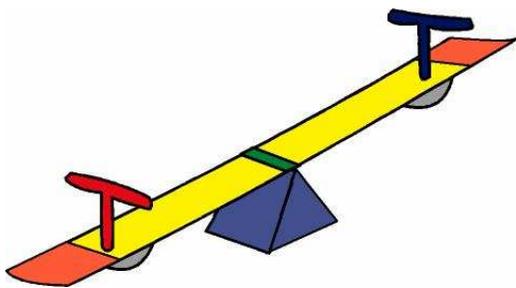
***Actuellement : rejets mondiaux +25% par rapport à 1990***



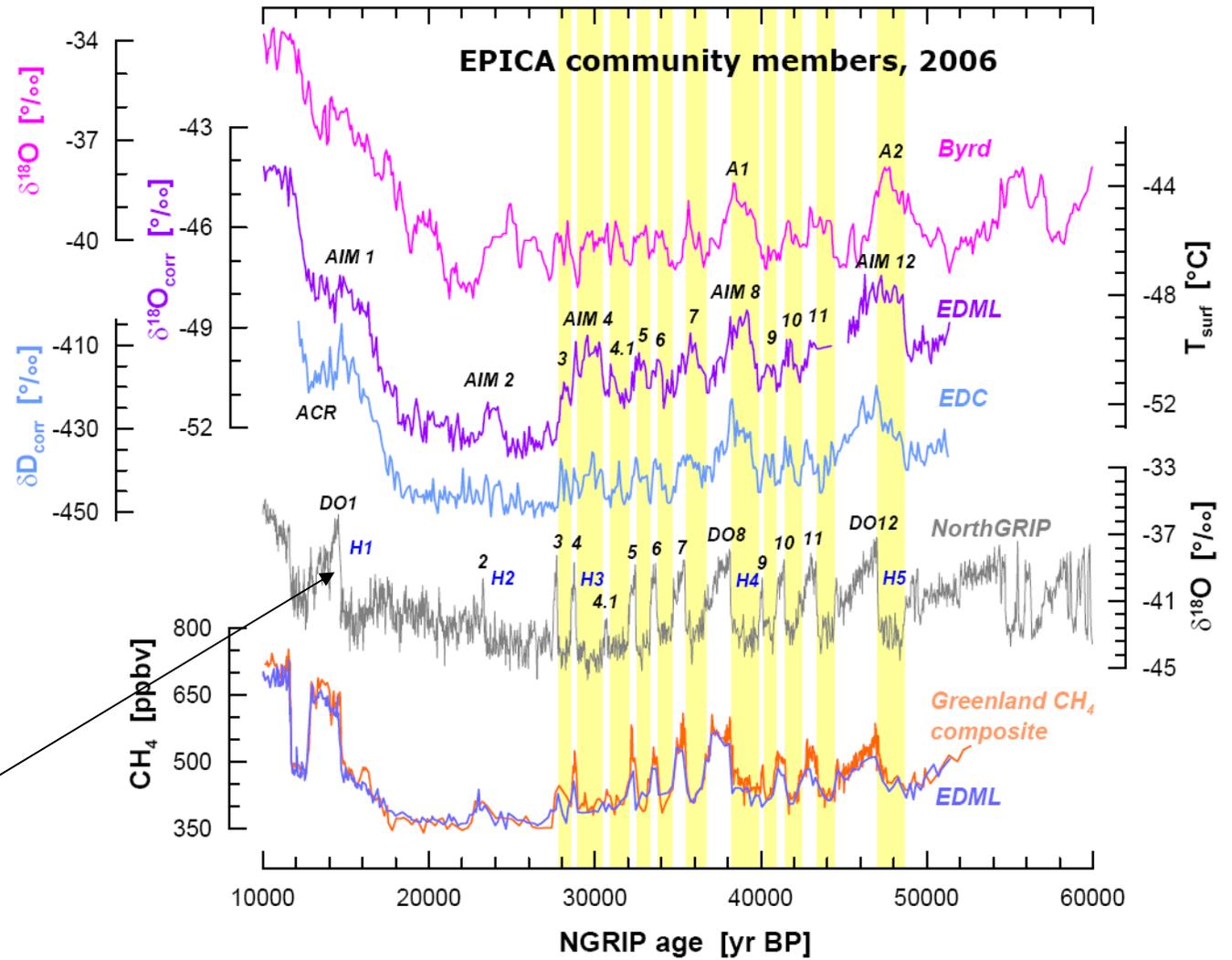




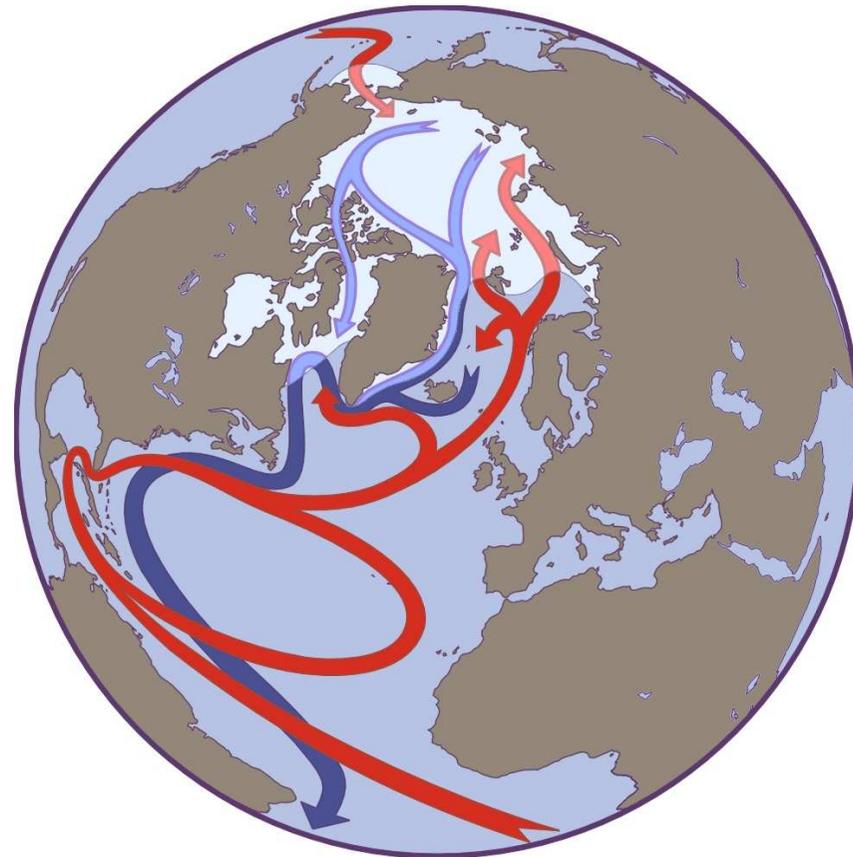
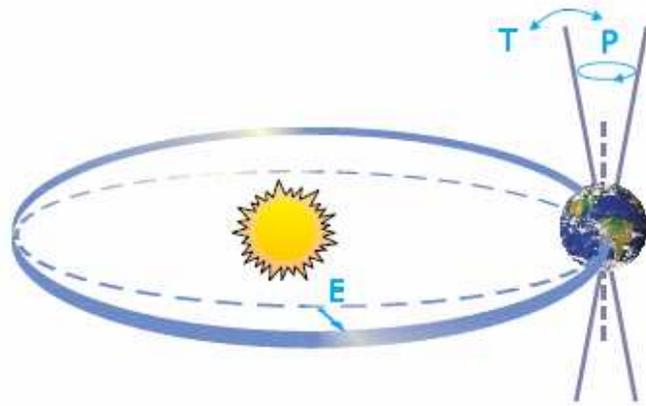
# Bascule nord-sud



Transitions :  
1 à 3 ans!

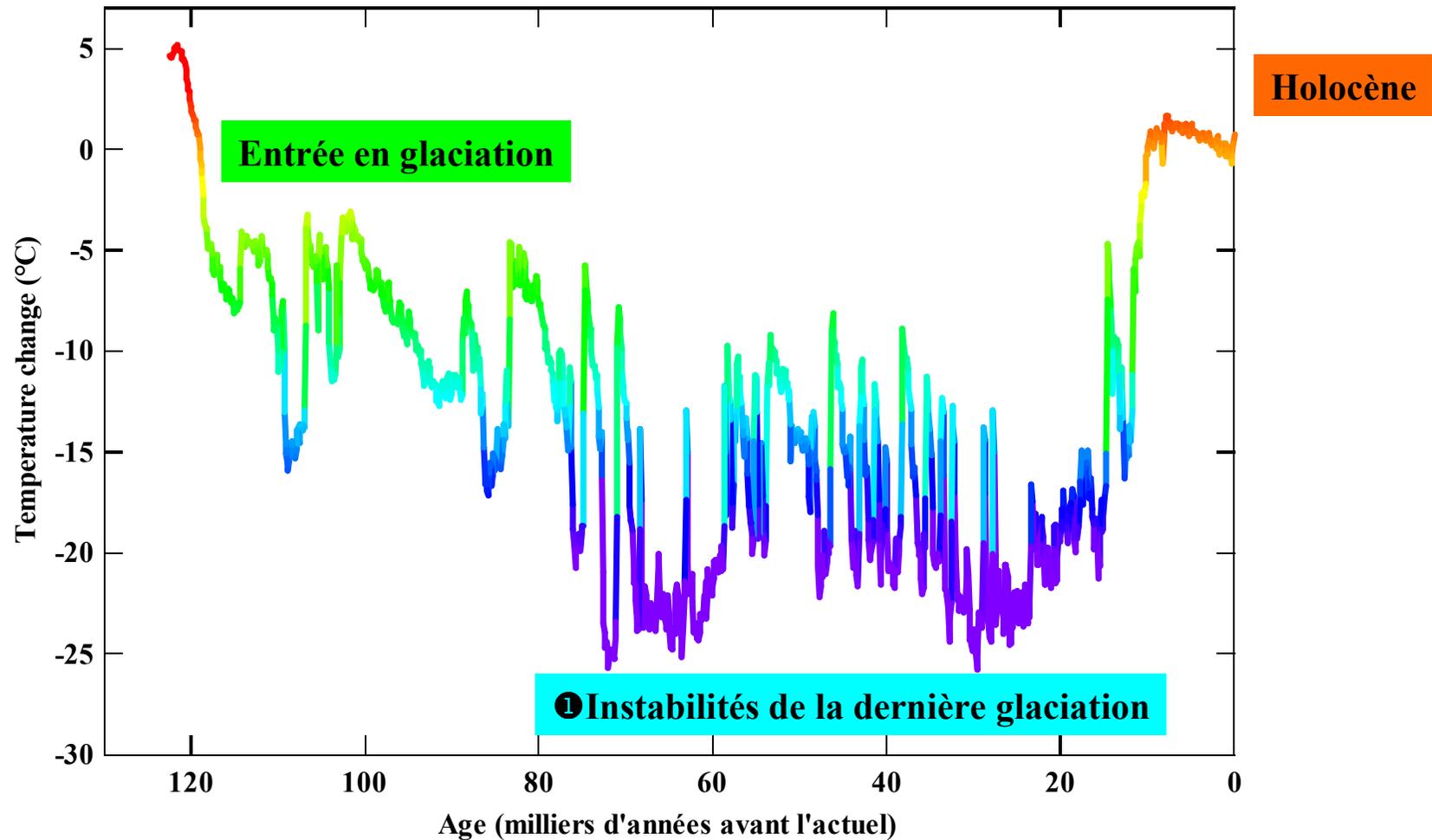


# Forage NorthGRIP, Groenland 123 000 ans d'histoire climatique



# Histoire des températures à NorthGRIP

② Dernier interglaciaire

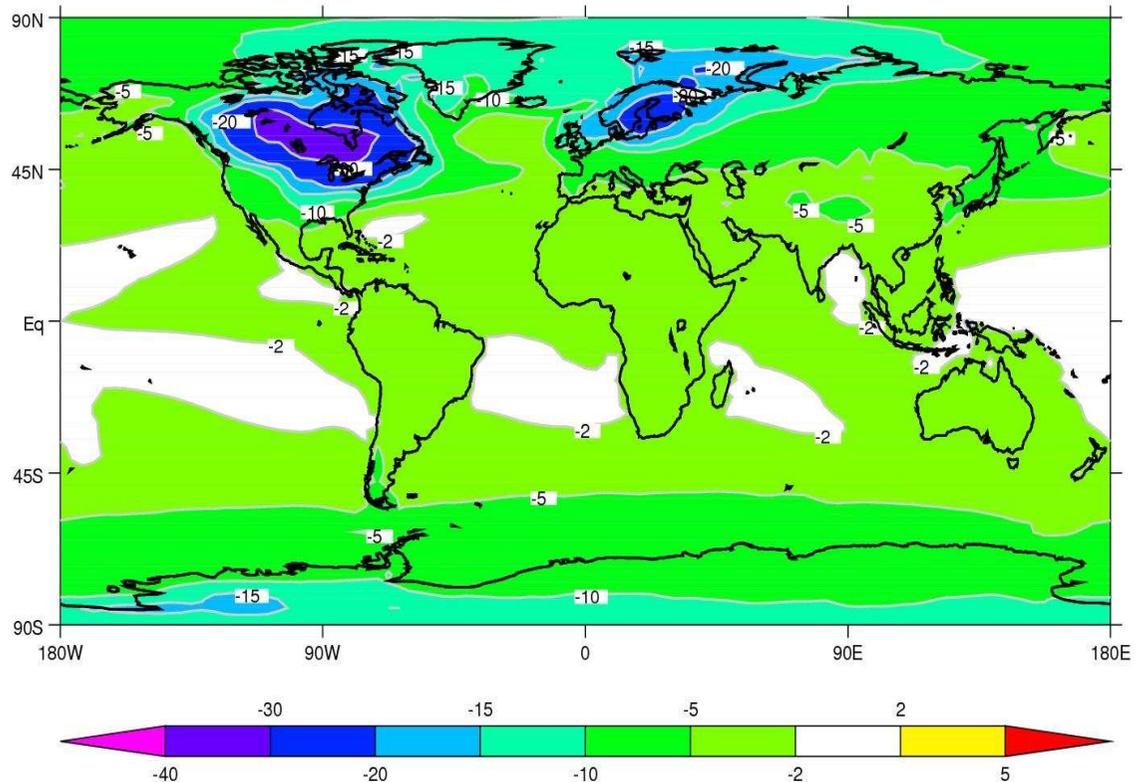


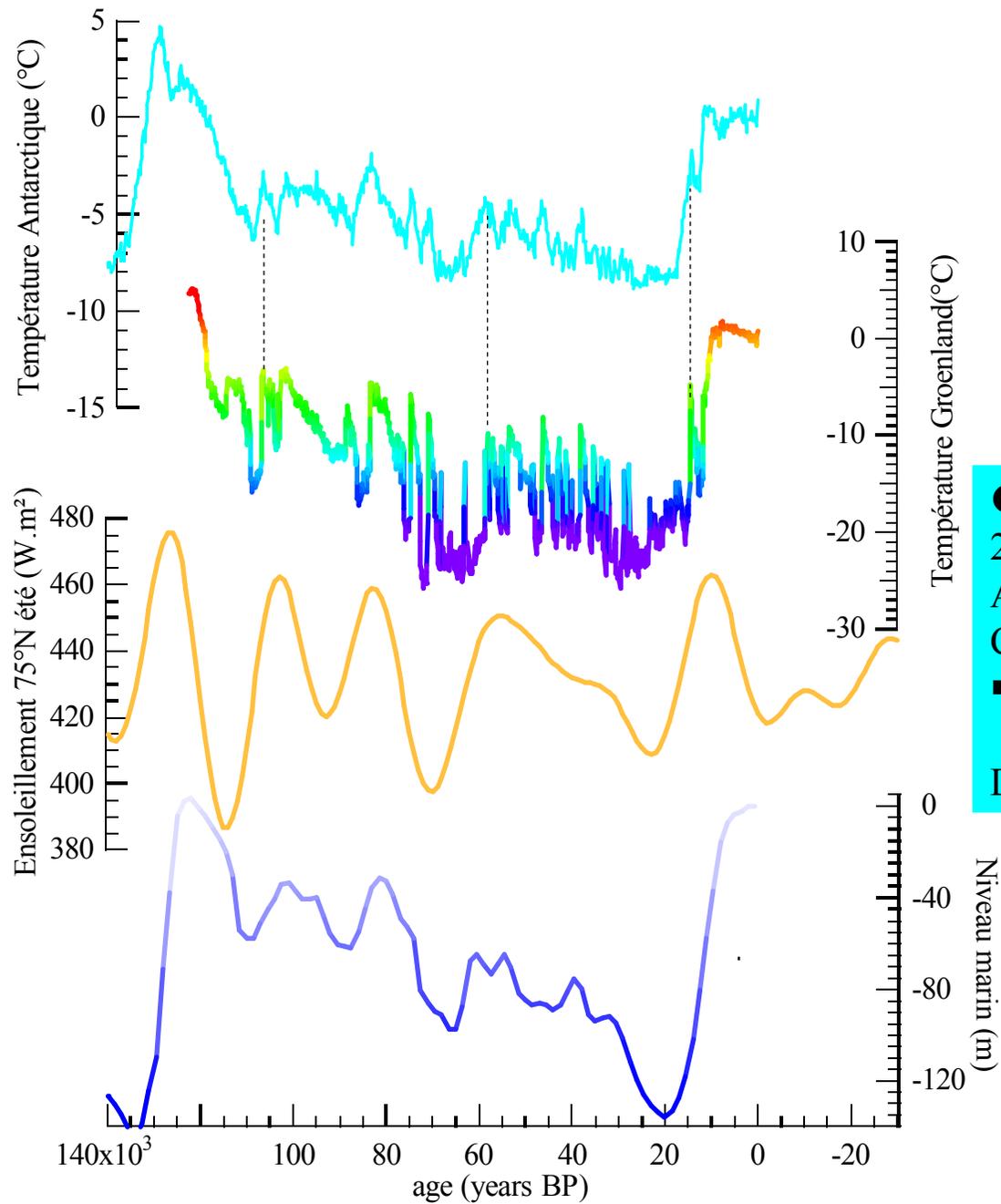


Refroidissement global : 4 à 7°C  
(sous-estimation au Groenland)

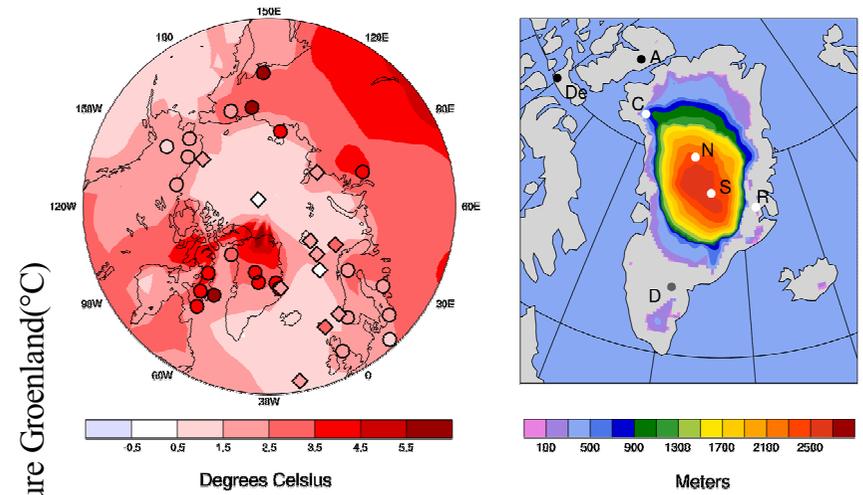
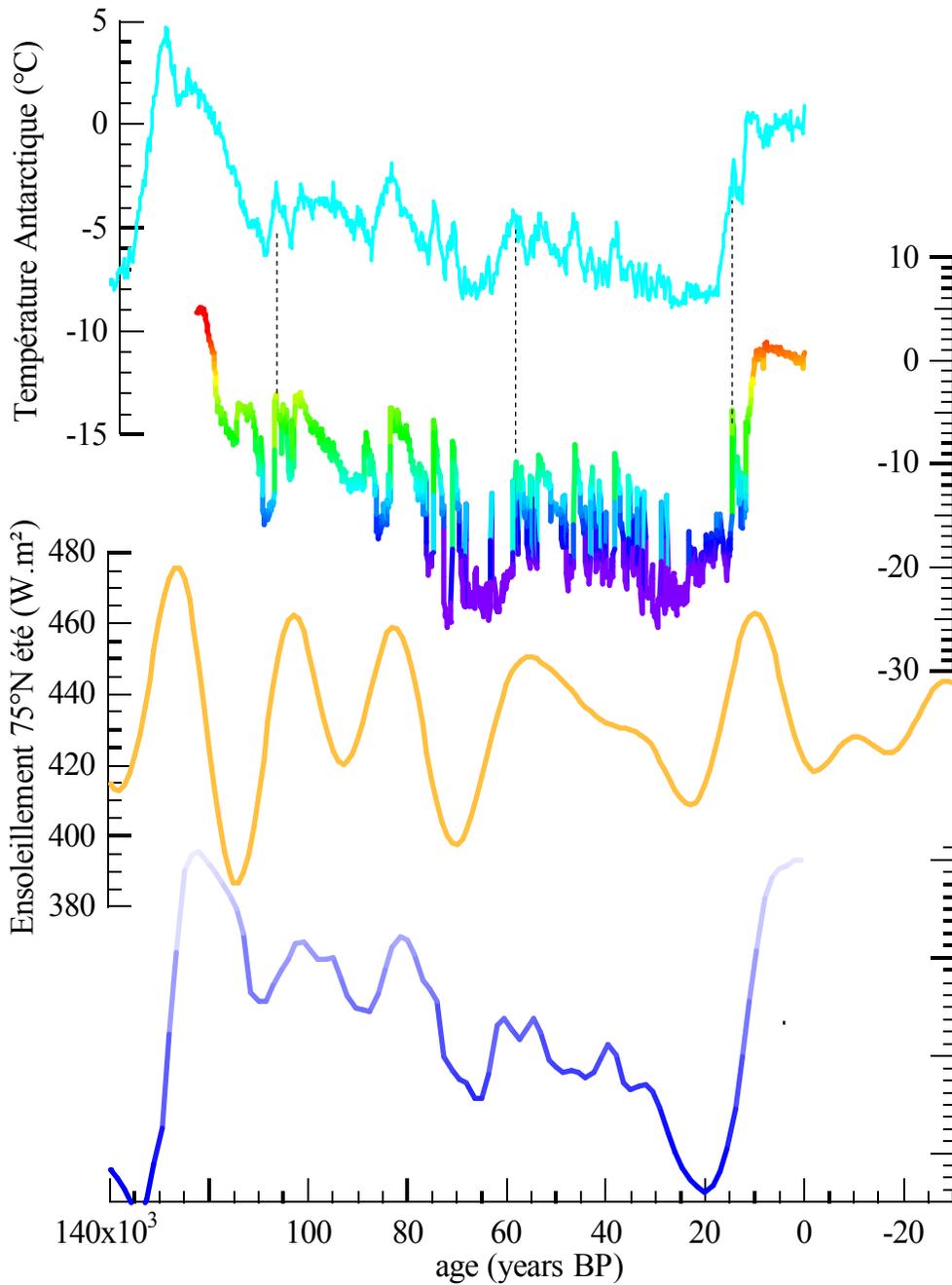
50% dû aux variations d'albédo  
50% dû aux gaz à effet de serre

## Modélisation du climat du Dernier Maximum Glaciaire il y a 21 000 ans





**❶ Instabilités de la dernière glaciation**  
 25 évènements de Dansgaard-Oeschger  
 Amplitude :  $8 \text{ à } 16 \pm 3^\circ\text{C}$  au Groenland  
 Contre-partie en Antarctique  
 ➔ Instabilités circulation thermohaline  
  
 Dernière instabilité : il y a 8200 ans



**② Dernière période interglaciaire**

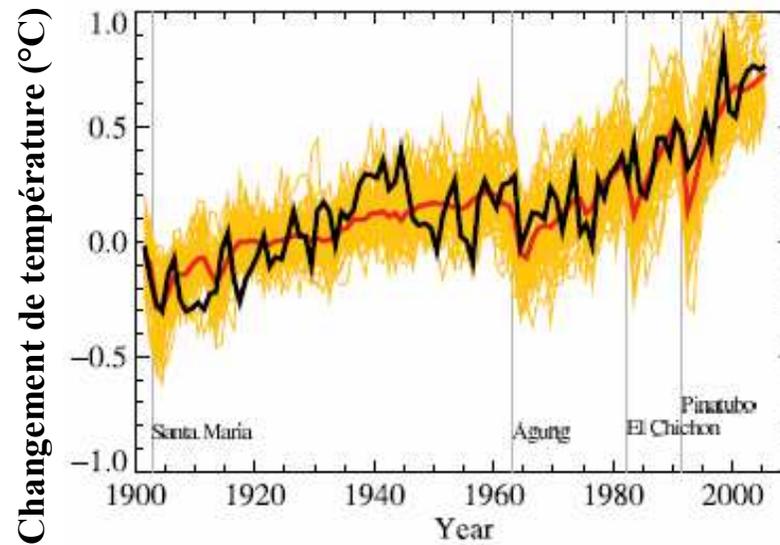
Cause : orbite terrestre

Centre du Groenland ~ inchangé

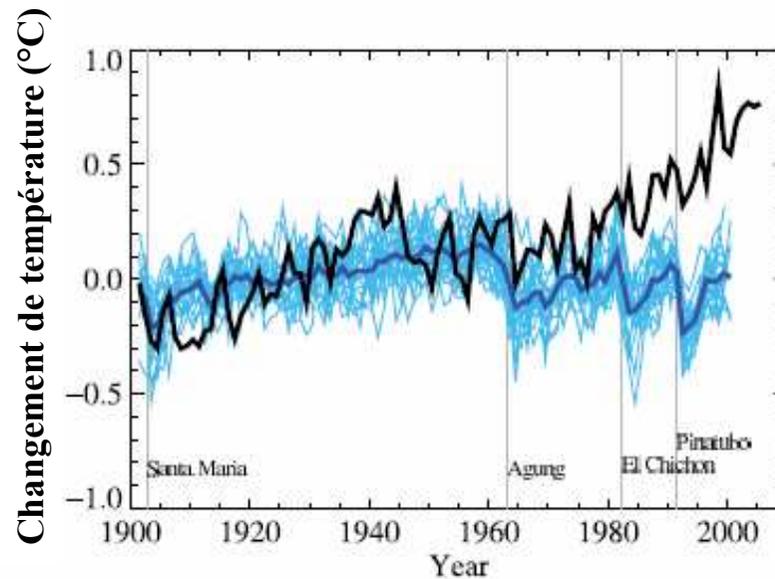
Réchauffement ~5°C

➡ Fonte Groenland : 2-3 m niveau mers (sur 4 à 6 m)

# Relation de cause à conséquence

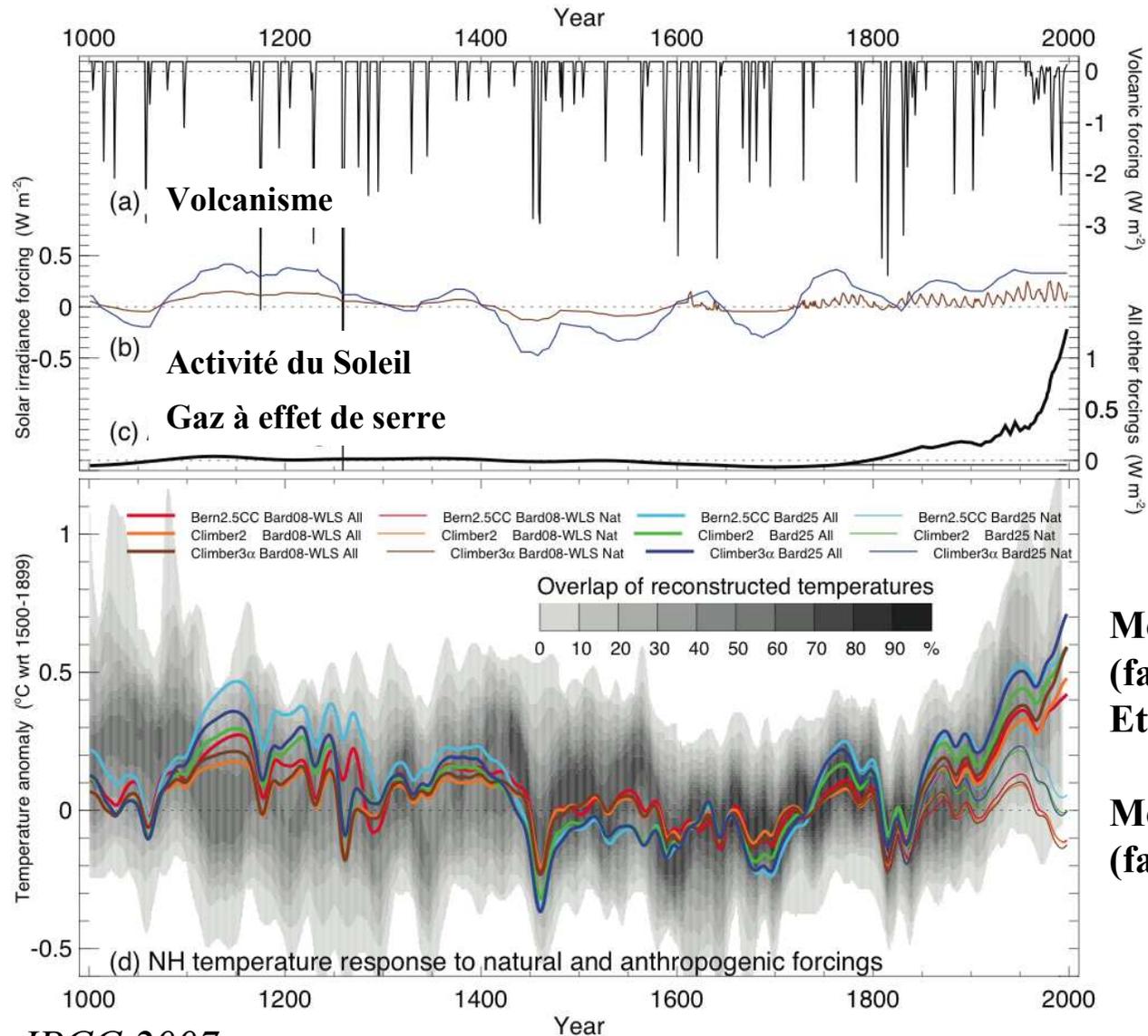


*Facteurs naturels  
et anthropiques*



*Facteurs naturels  
seuls*

# Le climat change... au-delà de la variabilité « naturelle »



**Modélisation  
(facteurs naturels  
Et anthropiques)**

**Modélisation  
(facteurs naturels seuls)**

Source : IPCC 2007