

# Climat : Hier, aujourd'hui, demain

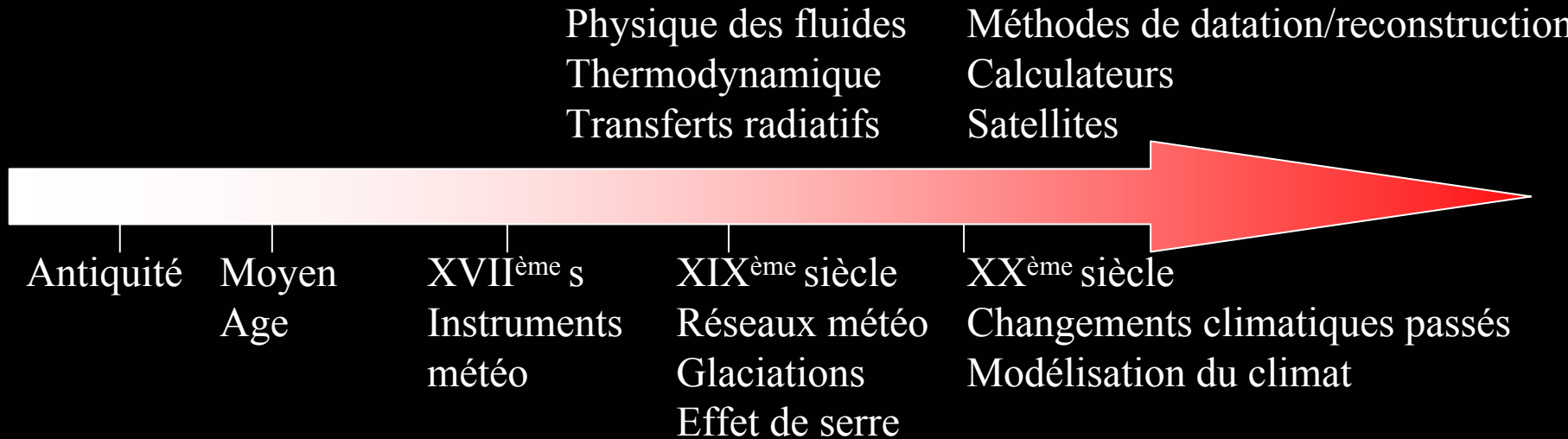
Valérie Masson-Delmotte

[valerie.masson@cea.fr](mailto:valerie.masson@cea.fr)



*Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (Gif-sur-Yvette)  
Institut Pierre Simon Laplace  
CEA-CNRS-UVSQ*

# Petite histoire des sciences du climat



« De même que l'hiver prend place dans les saisons de l'année, ainsi, dans quelque grande période de temps, il survient un grand hiver [...]. Comparés à notre propre existence, ces phénomènes passent inaperçus... »

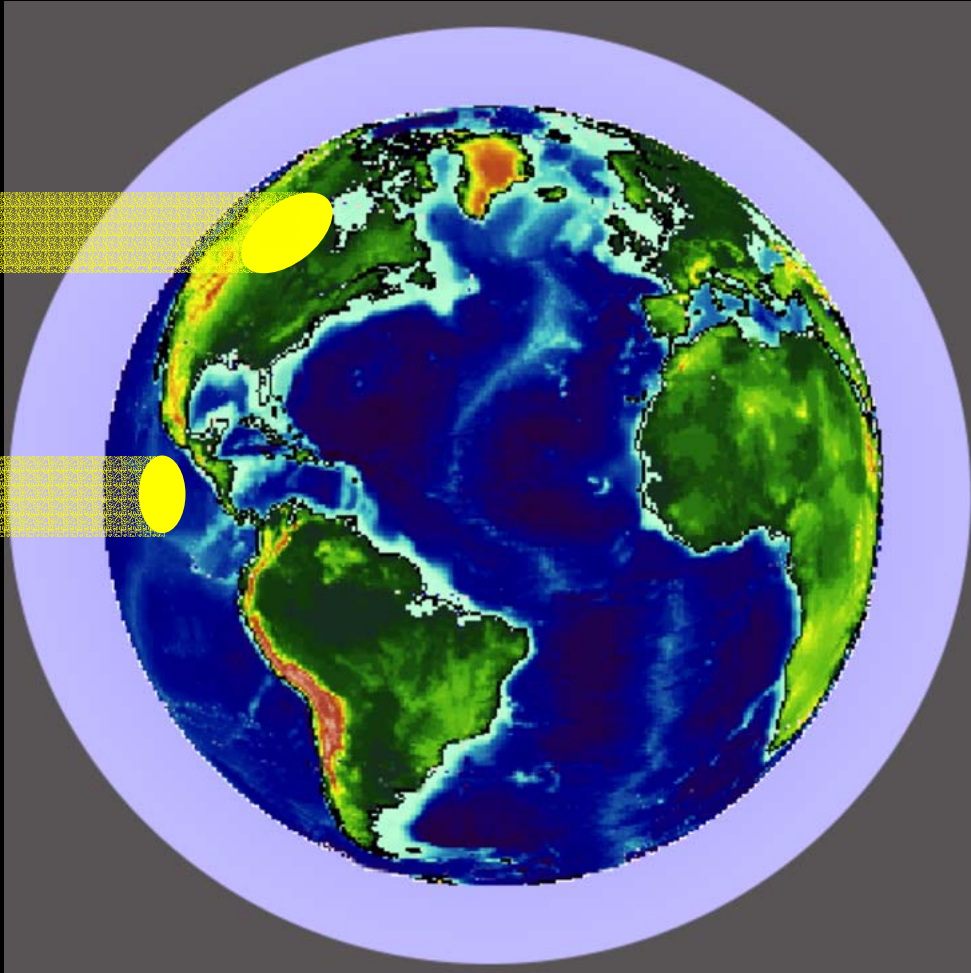
Aristote, Grèce, 340 av. J.C. (Les Météorologiques)

# Préambule

La machine climatique

# Le moteur du climat : énergie solaire

342 W/m<sup>2</sup>

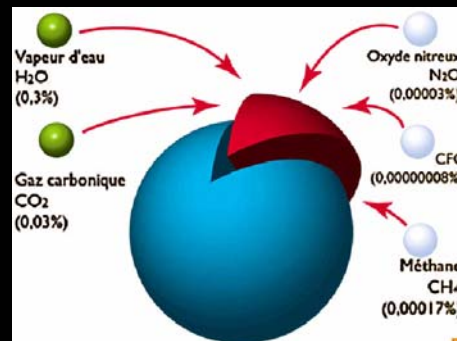


# La température de la Terre



① Effet « miroir »  
(albédo)

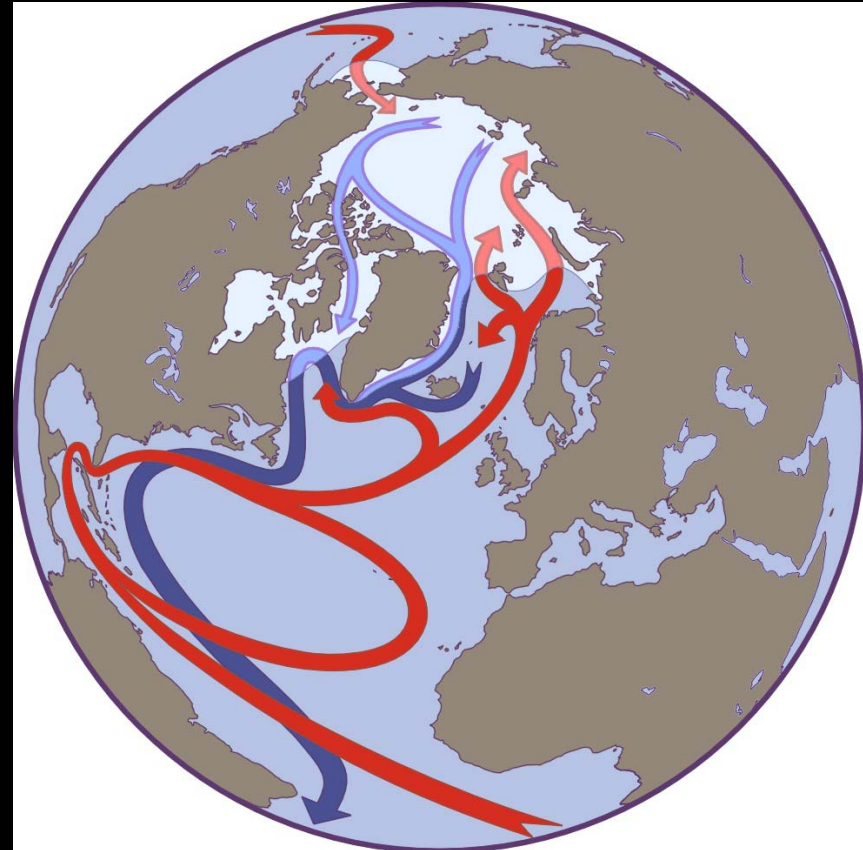
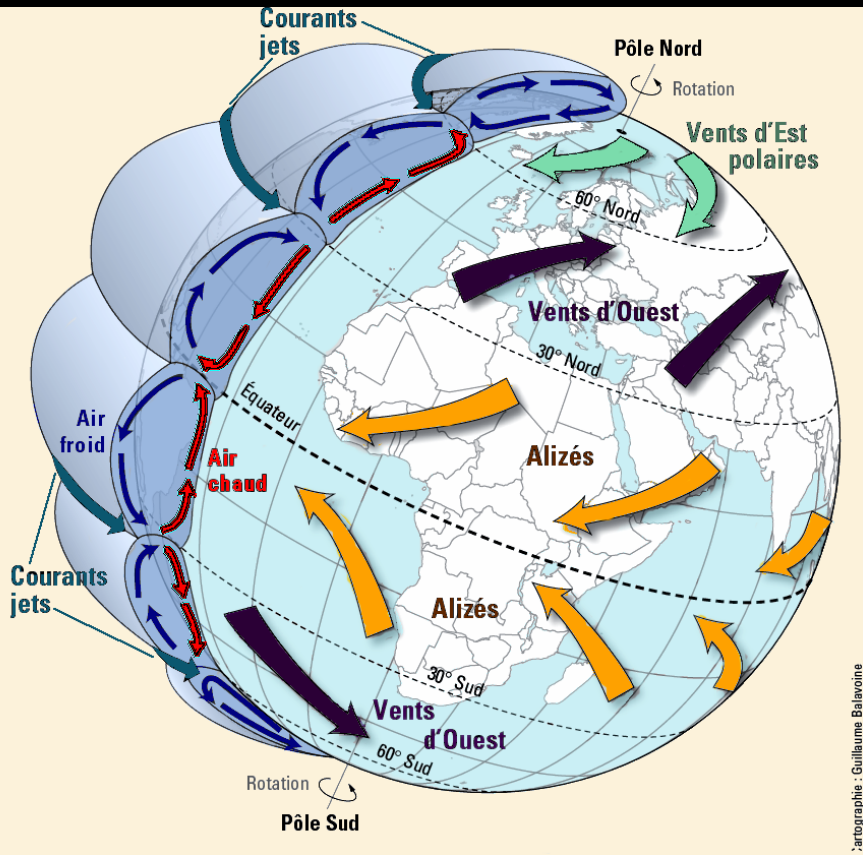
Refroidissement de la surface



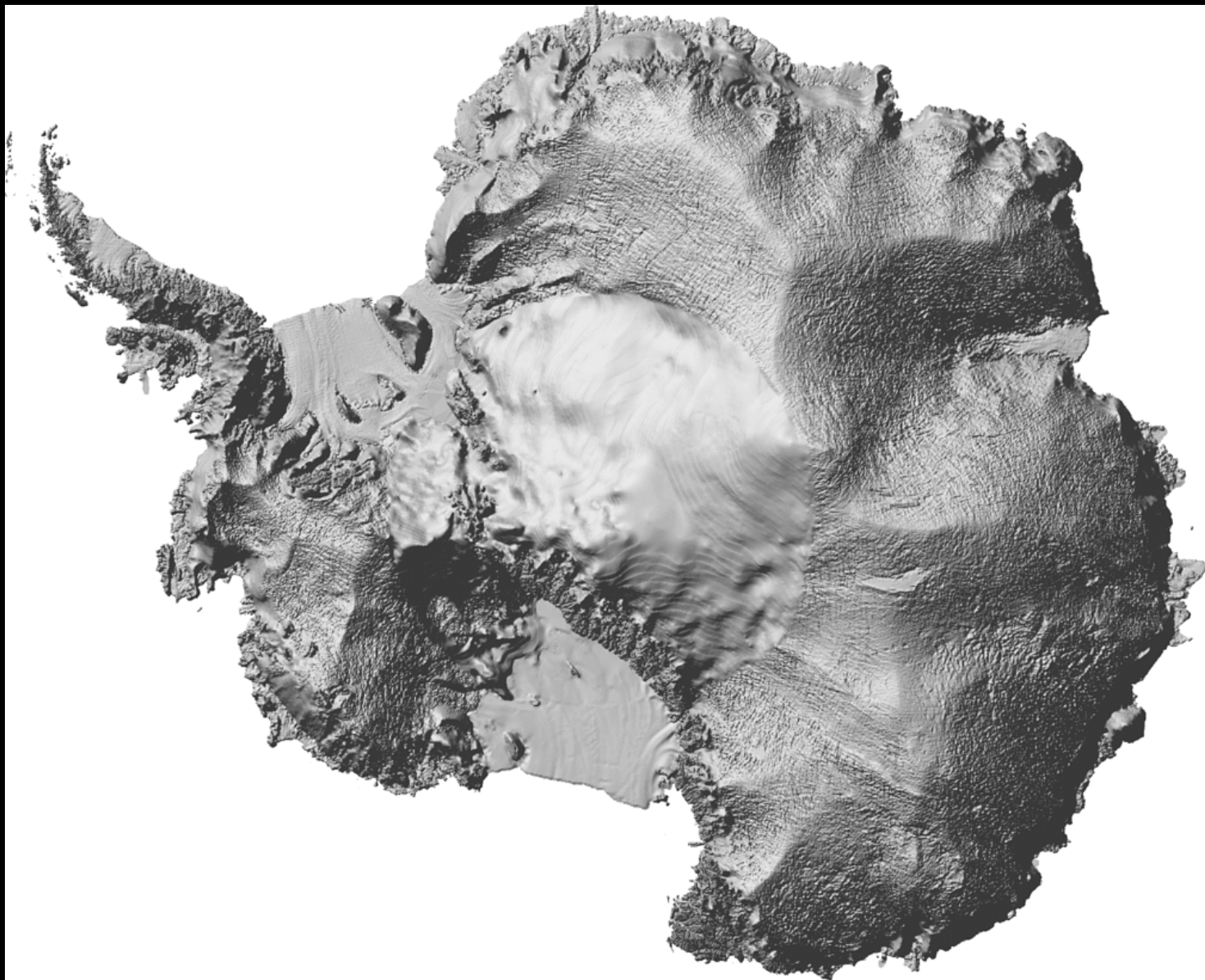
② Effet de serre

Chauffage de l'atmosphère  
et de la surface

# L'océan et l'atmosphère transportent de la chaleur de l'équateur vers les pôles



Les glaces de l'Antarctique :  
machines à remonter le climat...





**EPICA Kohnen Station**

Jan. 2006  
2774 m  
250 000 years?

**Dome F**

Jan. 2006  
3029 m  
700 000 years?

**Vostok**

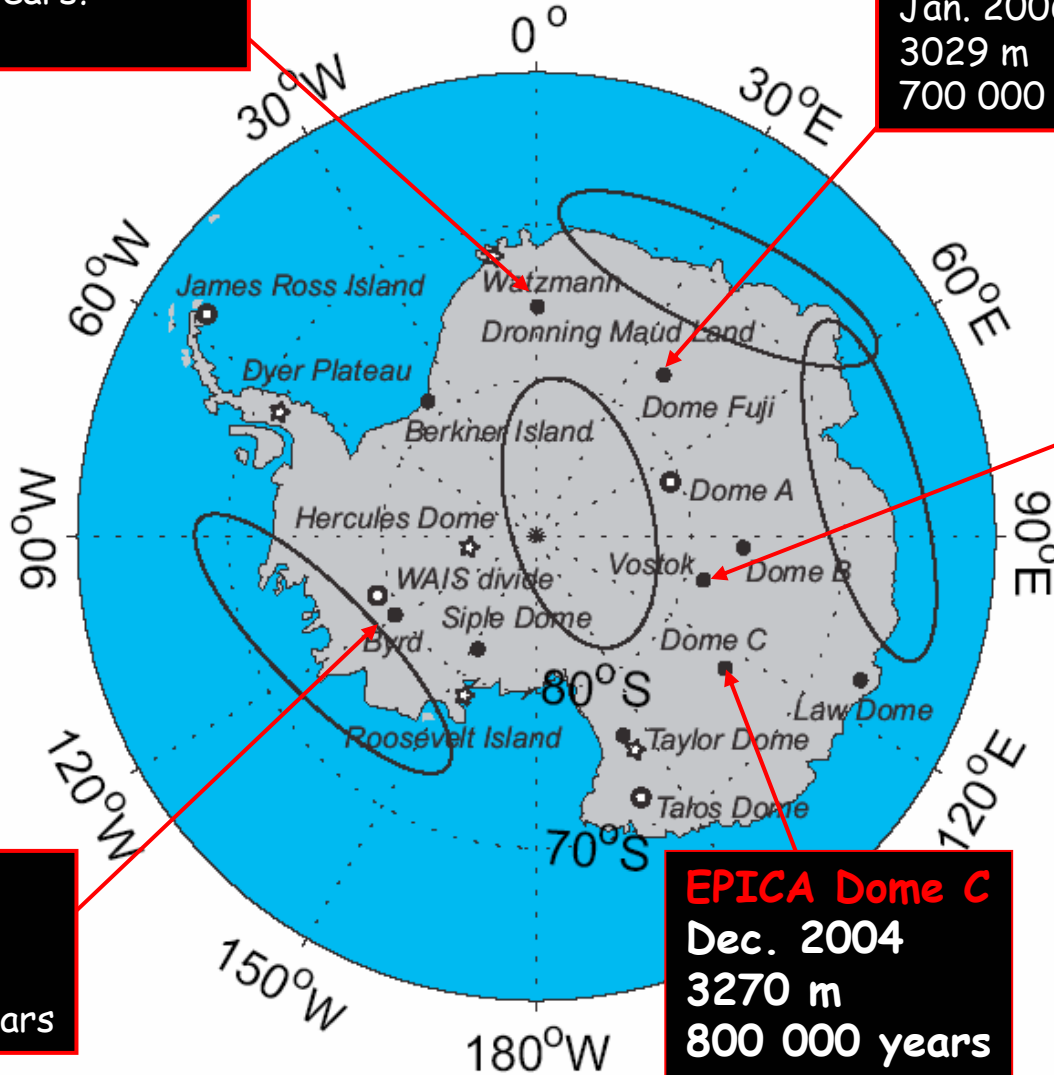
1996  
3623 m  
400 000 years

**EPICA Dome C**

Dec. 2004  
3270 m  
800 000 years

**Byrd**

1968  
2164 m  
30 000 years



- Forages achevés
- En cours
- ★ Projets
- Manque d'information

# Forage profond EPICA à Dôme C

EDC96

← 1996/1997 : casing 130m

← 1997/1998 : 364m

← 1998/1999 : 781m

EDC99

← 1999/2000 : casing

← 2000/2001 : 1459m

← 2001/2002 : 2864m

← 2002/2003 : 3201m

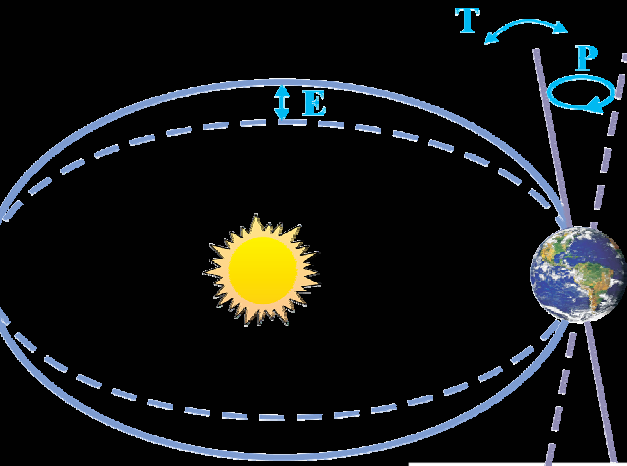
← 2004/2005 : 3270m



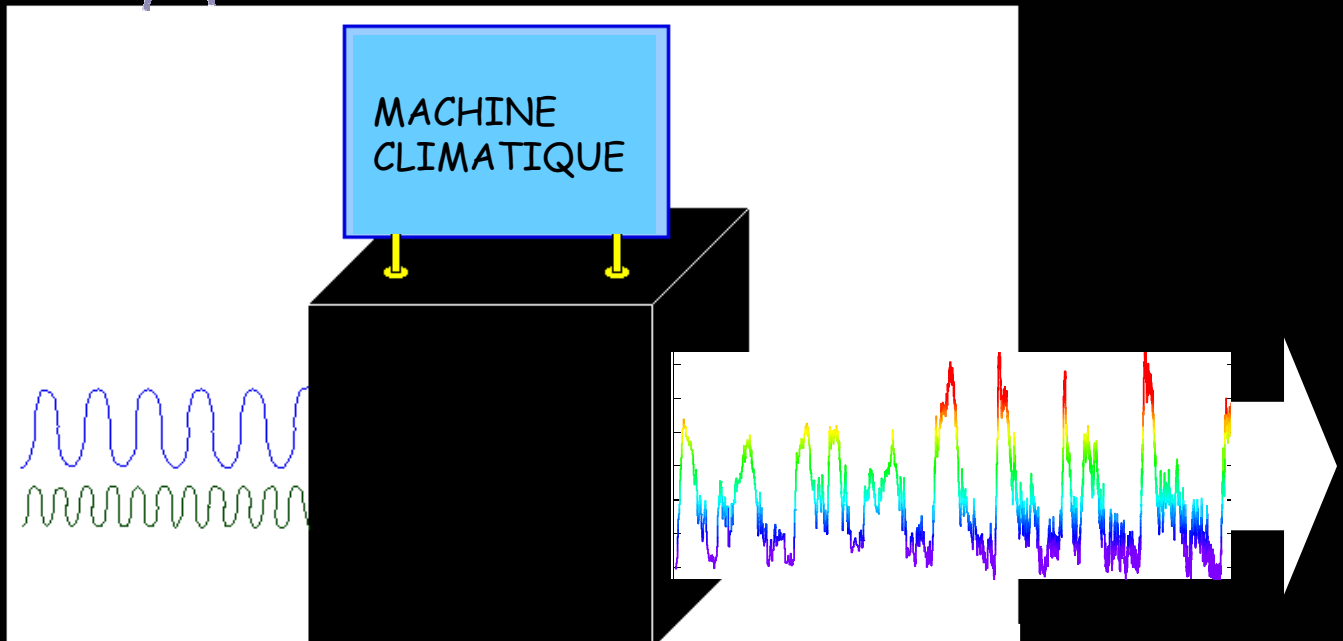




# L'histoire du climat au cours des derniers 800 000 ans



Orbite terrestre  
Ensoleillement

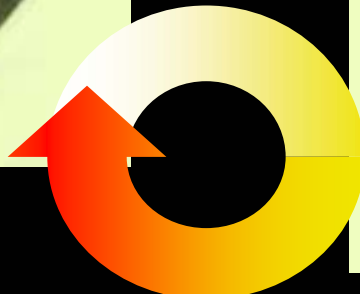


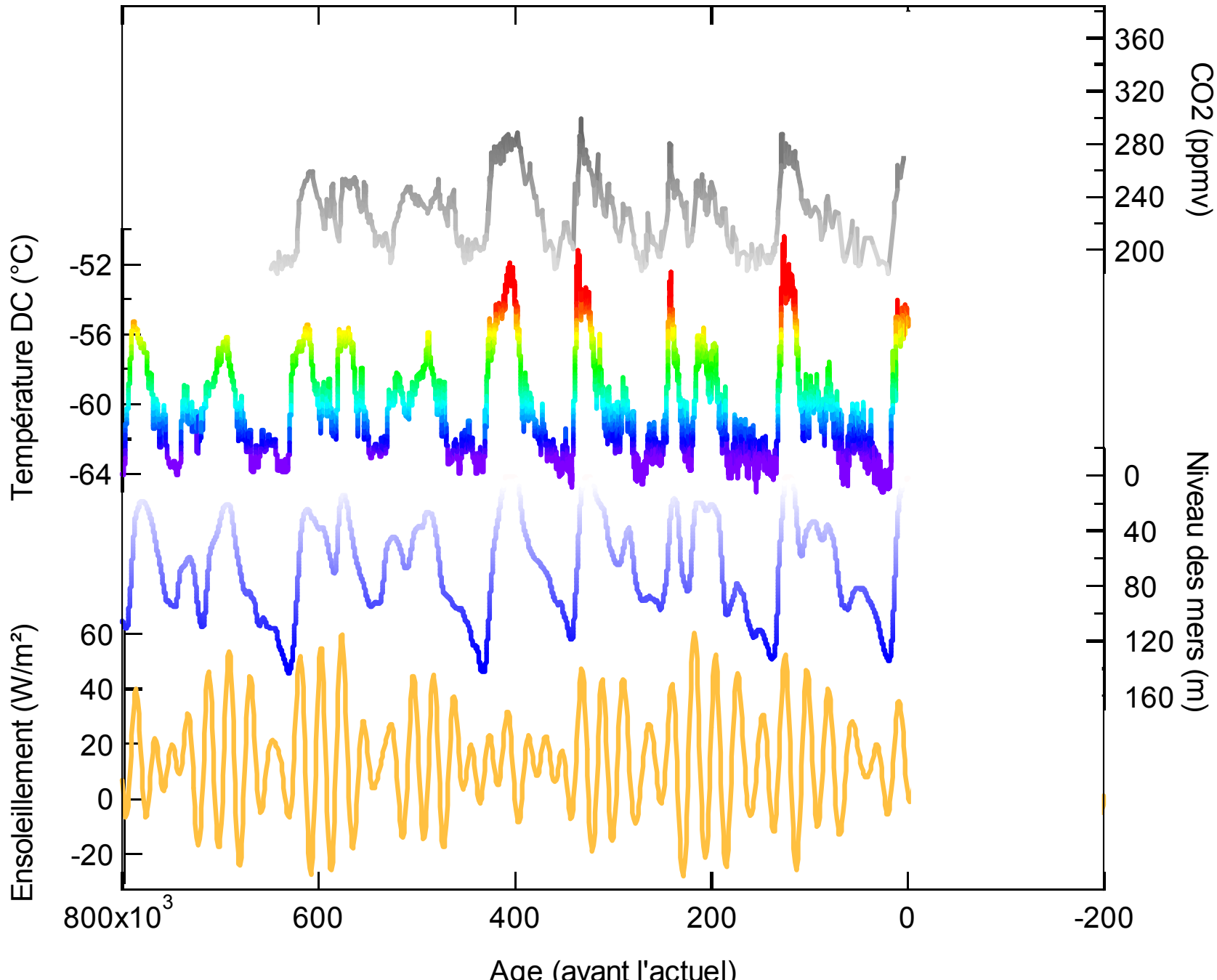
# L'histoire du climat au cours des derniers 800 000 ans

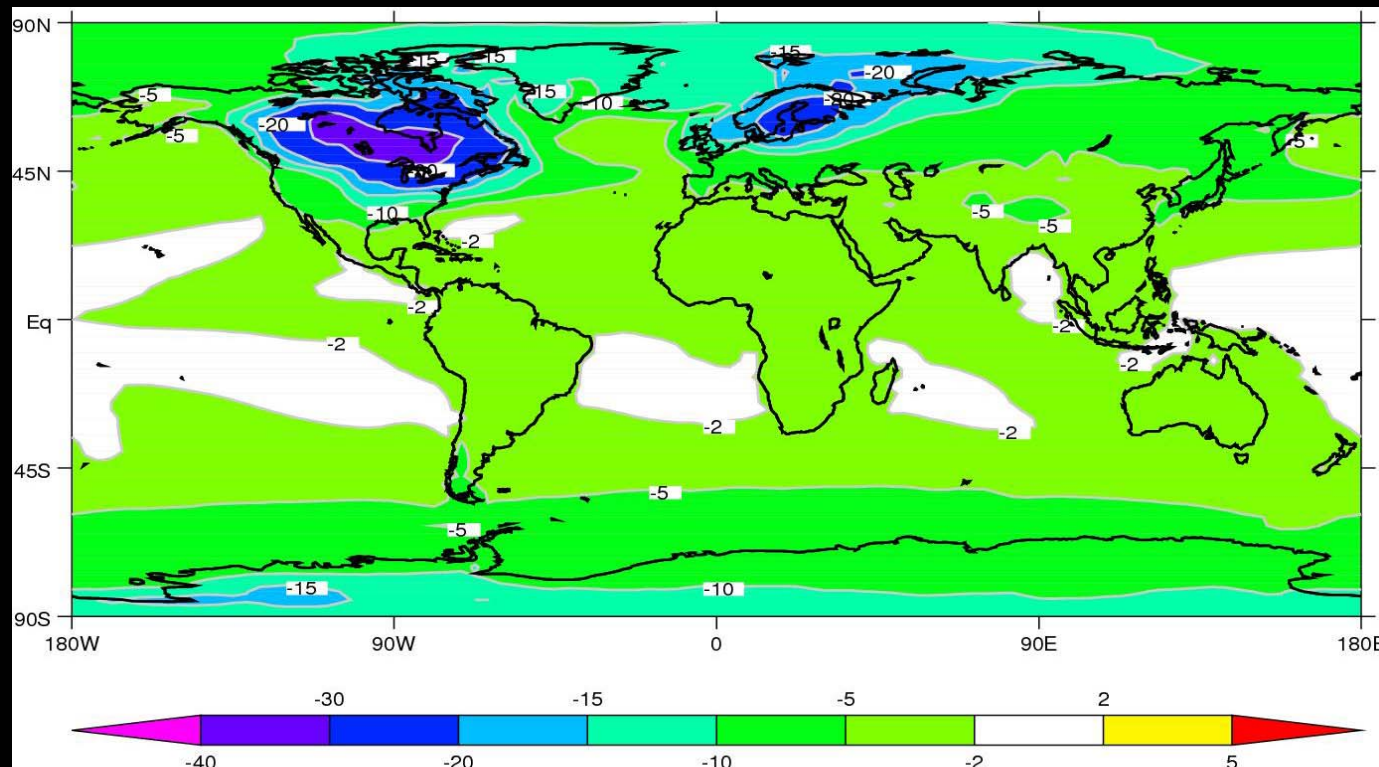
① Terre « interglaciaire »



② Terre « glaciaire »





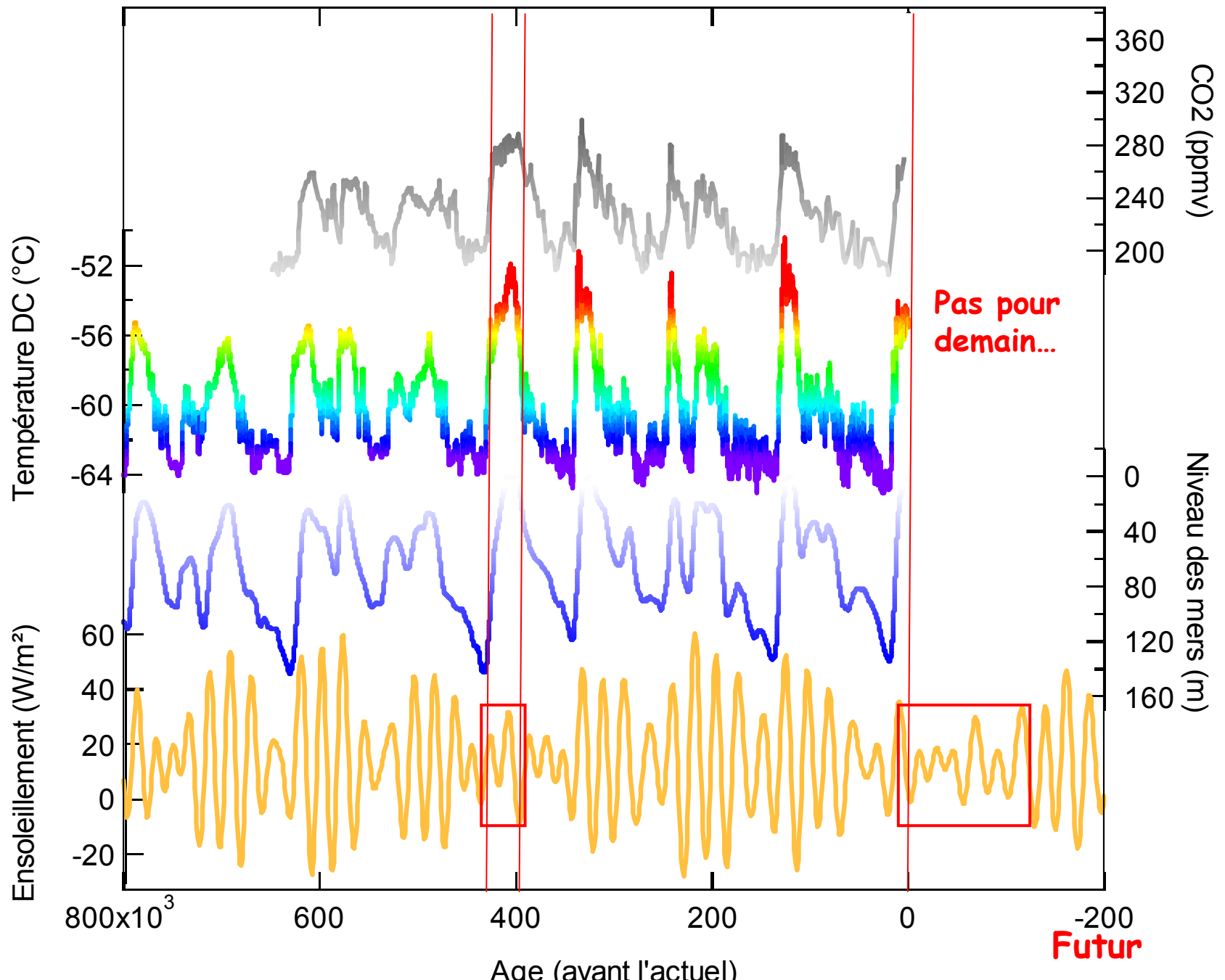


**Changements de température simulés pour le Dernier Maximum Glaciaire (il y a 21 000 ans) : 4 à 7°C**

- ~50% dus aux effets d'albédo (glaces, poussières)
- ~50% dus aux changements naturels d'effet de serre

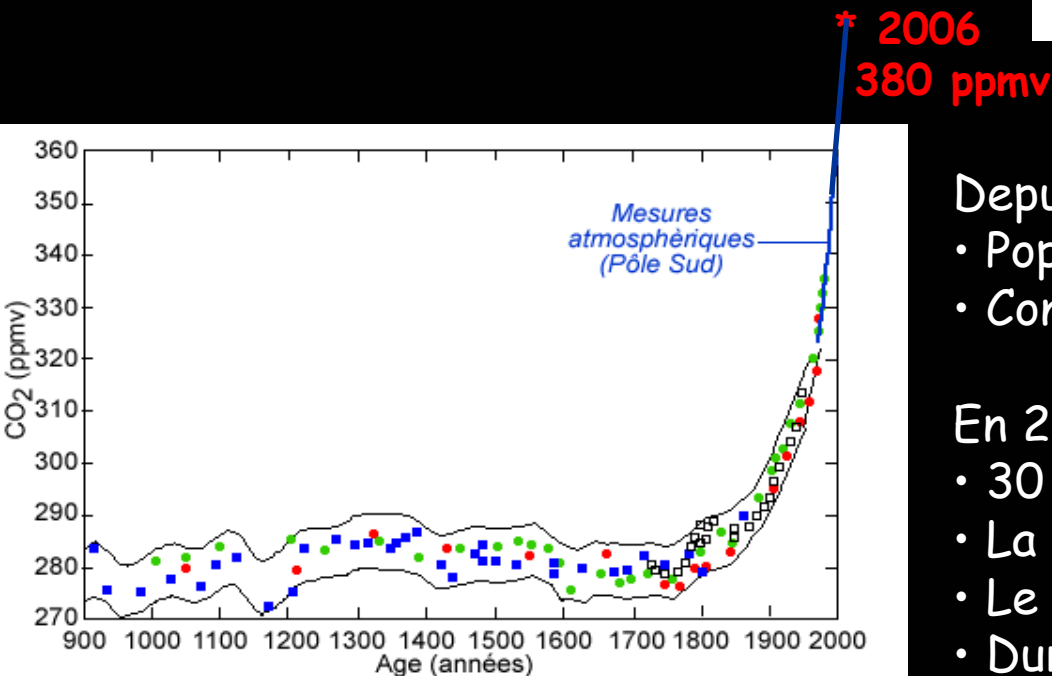
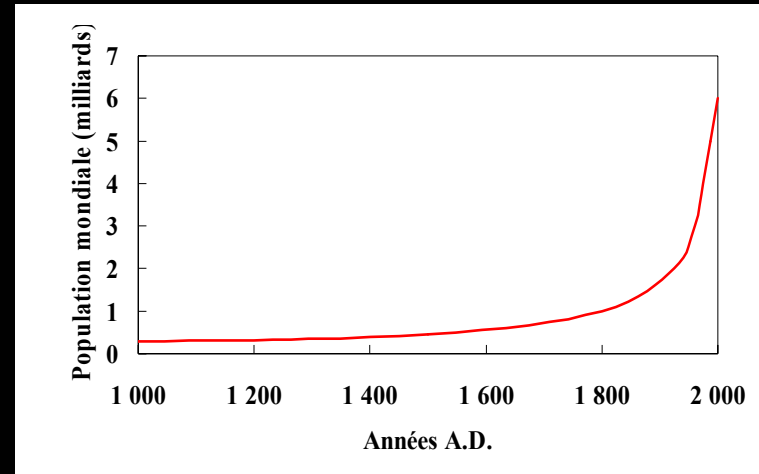


Quand aura lieu  
la prochaine glaciation?



L'empreinte des activités humaines  
sur la composition de l'atmosphère

# Evolution des concentrations en dioxyde de carbone dans l'atmosphère



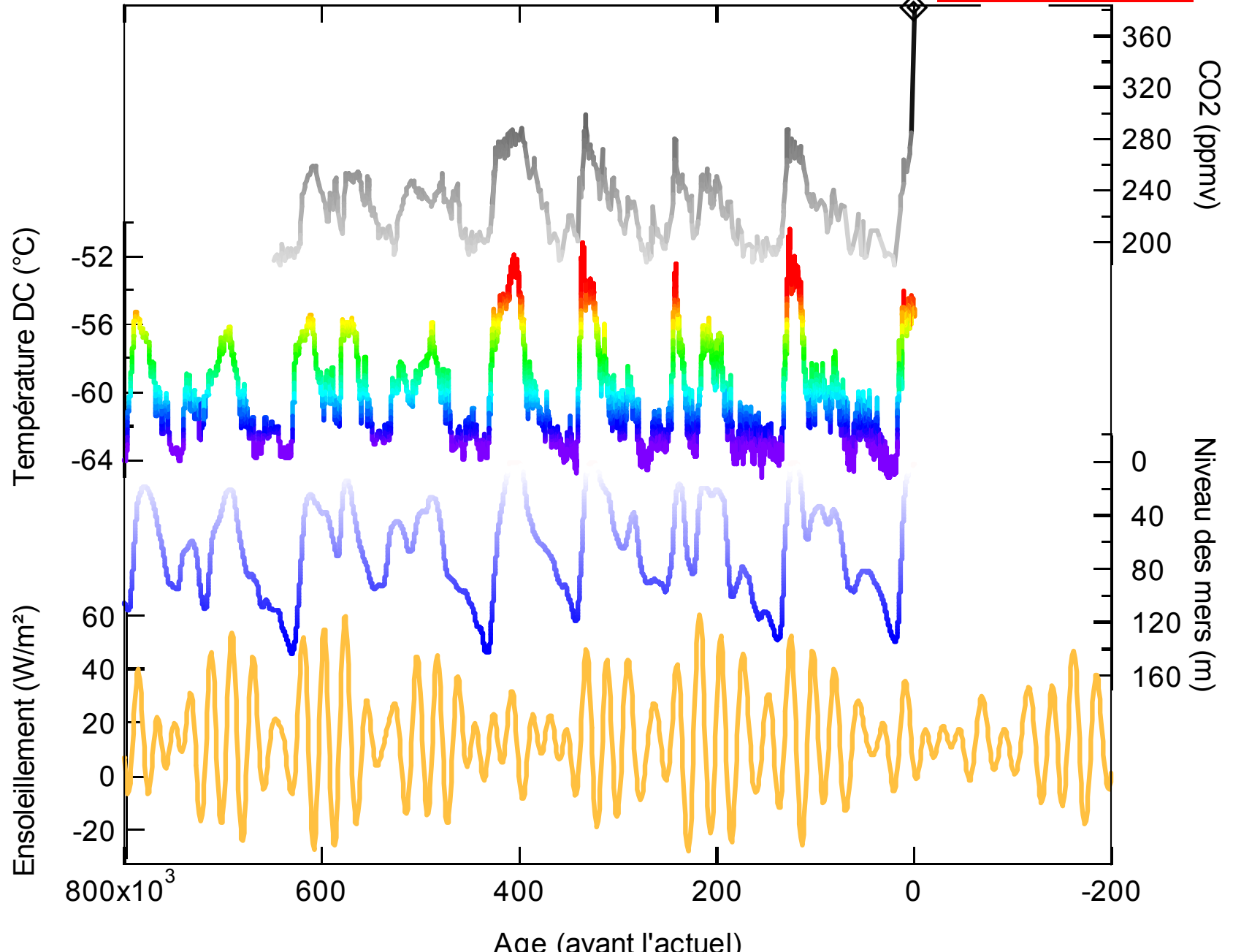
Depuis 1950

- Population \* 2
- Consommation d'énergie \* 4

En 2006 :

- 30 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub>/an
- La moitié absorbée (océan, végétation)
- Le reste s'accumule dans l'atmosphère
- Durée de vie  $\gg$  siècles

**Anthropocène**



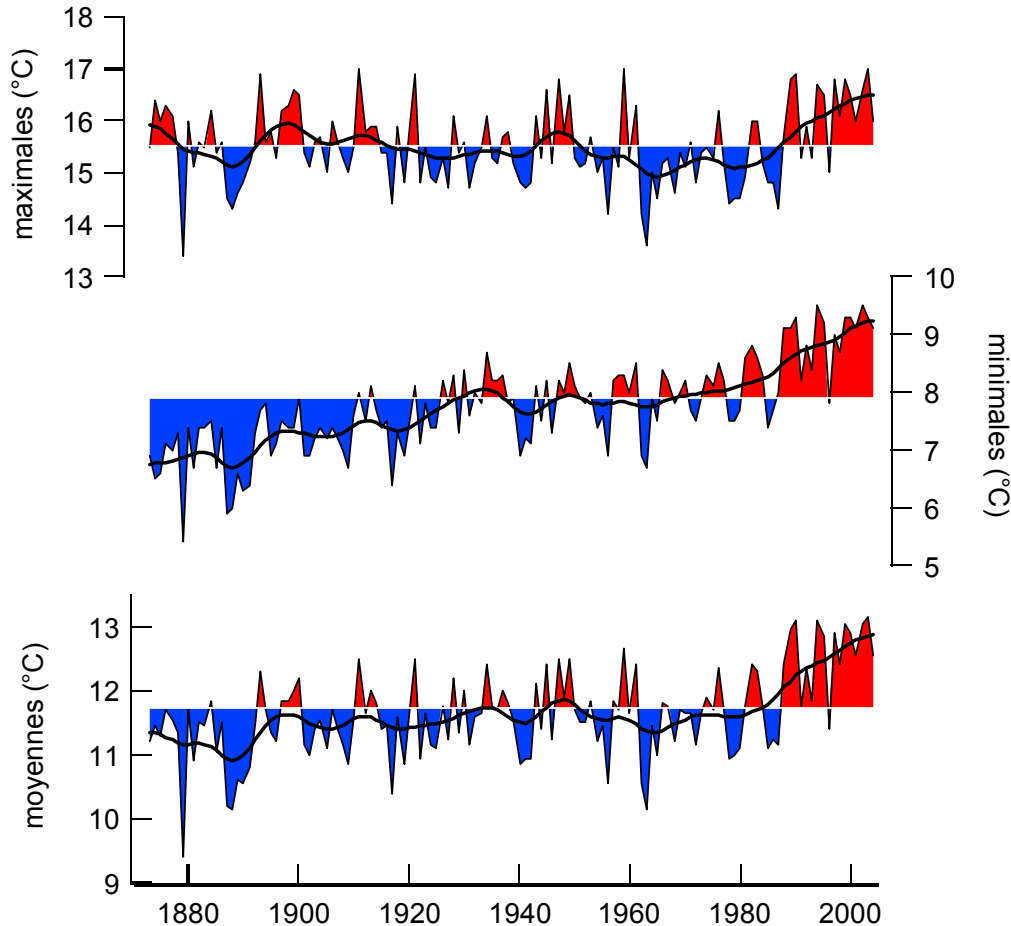
# Grandes variations climatiques

- Glaciations :  $\sim 5^{\circ}\text{C}$  en 10 000 ans
- Moteur, orbite terrestre  
Mécanismes amplificateurs :
  - Albédo
  - Effet de serre
- Période industrielle : modification profonde de la composition atmosphérique : « anthropocène »
- Pas de glaciation pour demain : ne pas compter sur le rythme naturel du climat pour compenser le surplus d'effet de serre

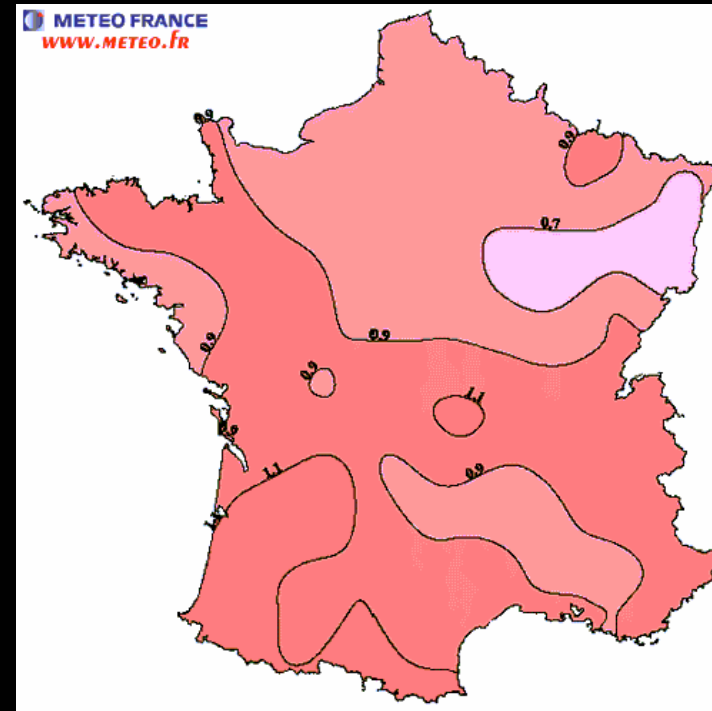
Le climat change-t-il?

# Histoire des températures

Température annuelle à Paris (Météo France)

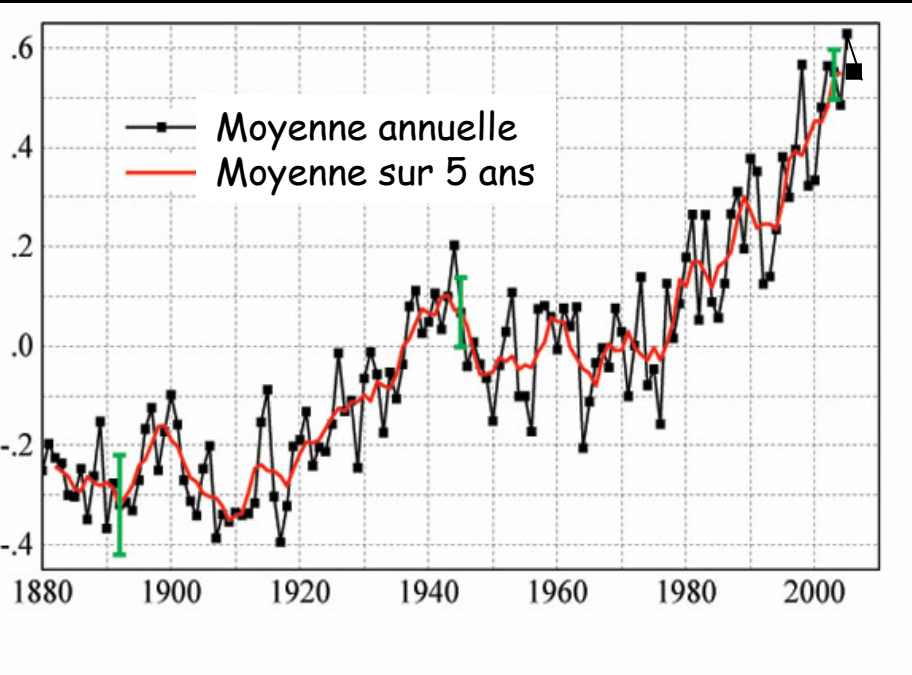


Evolution de la température annuelle au 20ème siècle (70 séries homogénéisées)



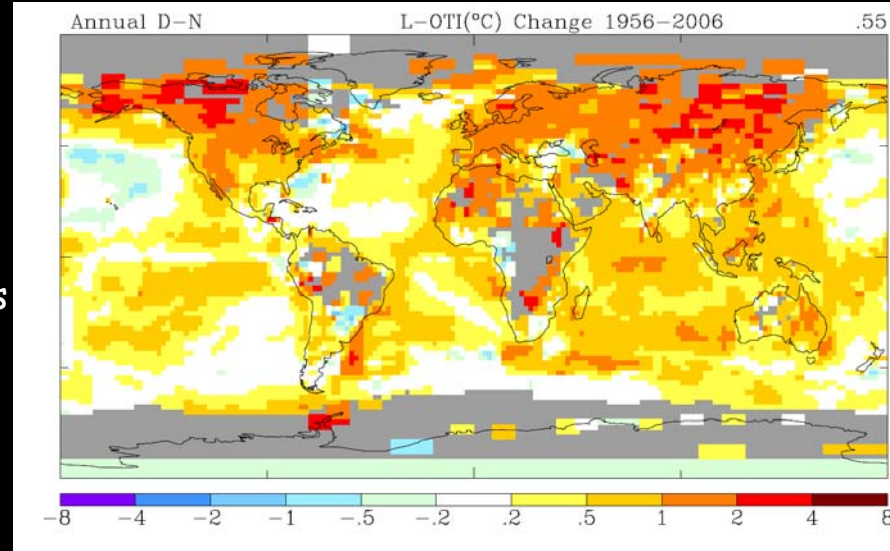


# Température globale



+0.74°C depuis 1880  
+0.6°C depuis 1950  
Records de température au cours des derniers 15 ans

Tendance 1956 - 2006



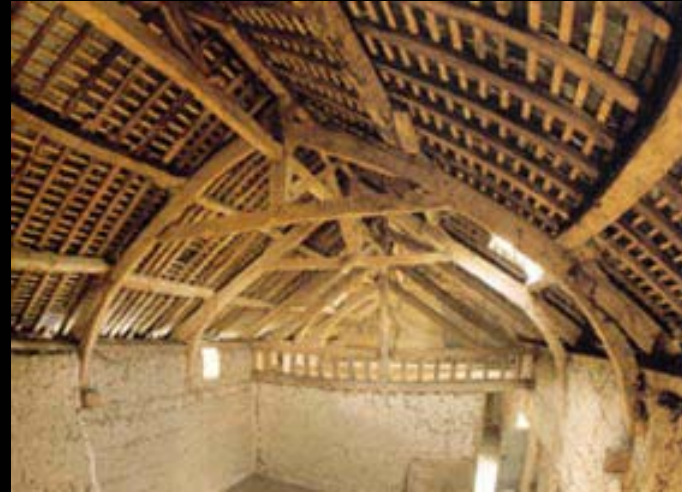
# La mer de Glace il y a 180 ans



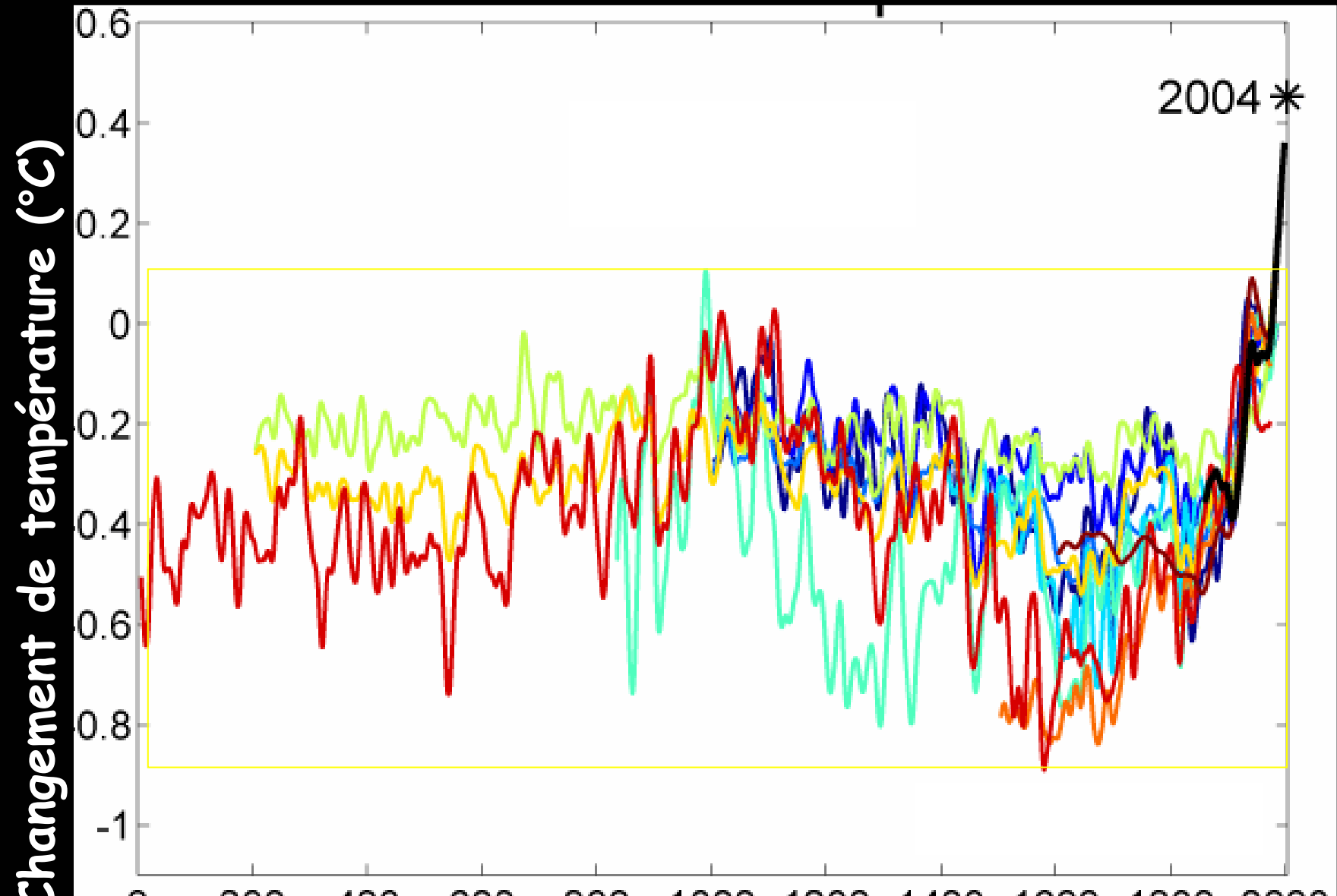
Le même site en 1995



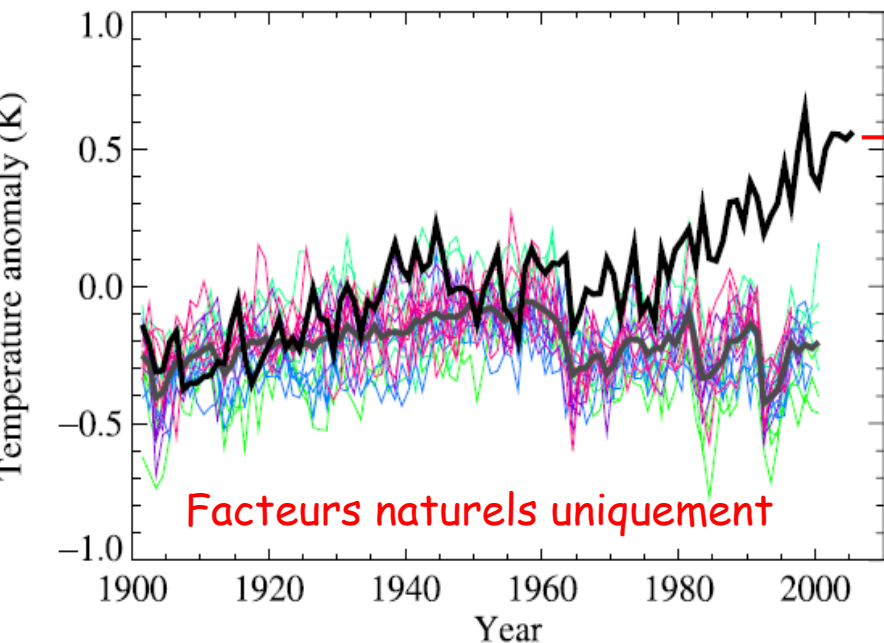
# Avant les mesures directes de température



# Evolution de la température de l'hémisphère nord au cours des 2 derniers millénaires

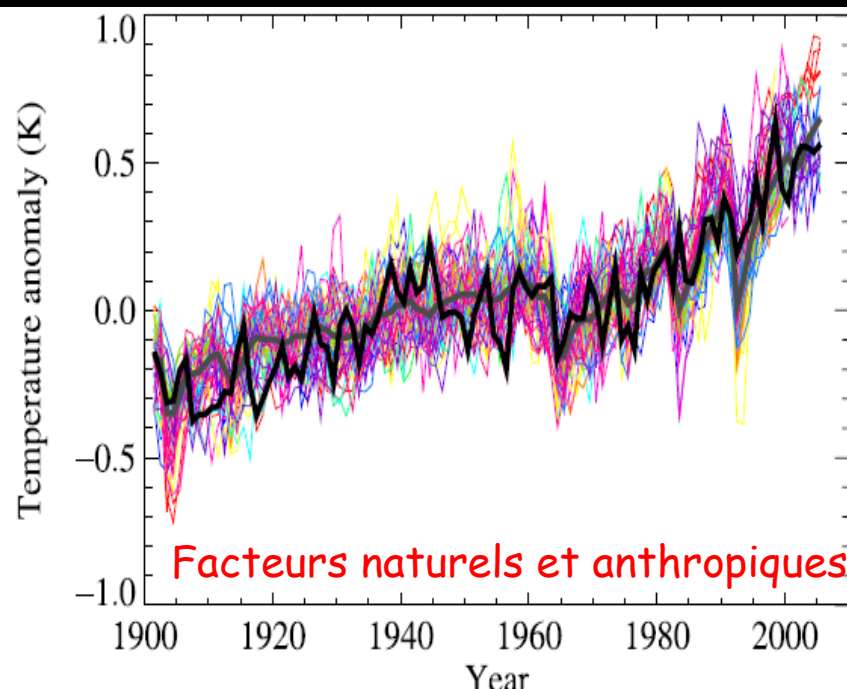


# Simulation de la température globale



Le réchauffement observé depuis ~1970 ne peut s'expliquer par des facteurs naturels

Le réchauffement observé depuis ~1970 est simulé en réponse à l'augmentation de l'effet de serre anthropique



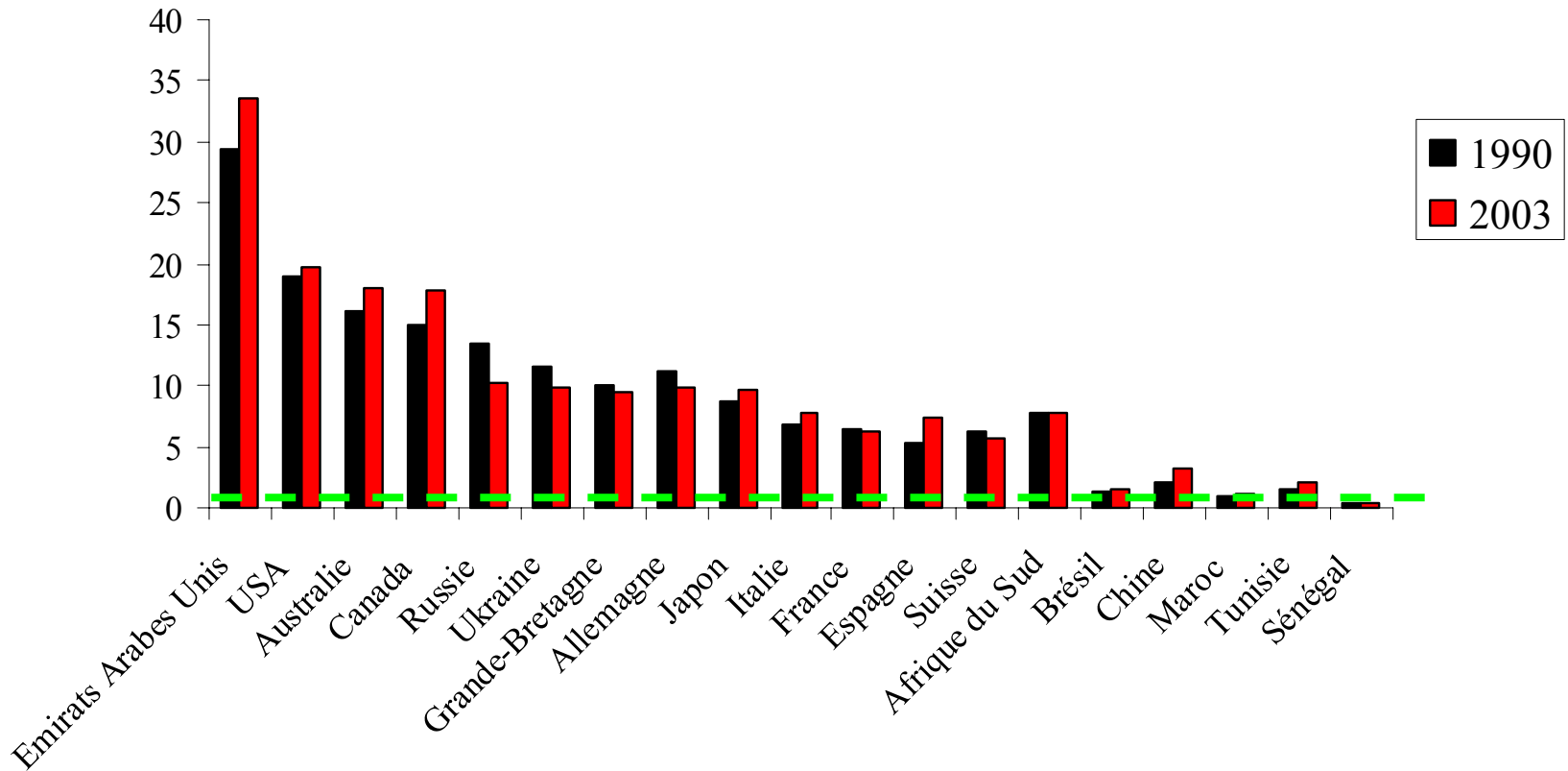
# Dernières décennies

- 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
- Un réchauffement sur la trajectoire « haute » prévue par les premières simulations climatiques conduites dès 1985

Quel climat pour le 21ème siècle?

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

Tonnes de CO<sub>2</sub> rejetées par an et par habitant

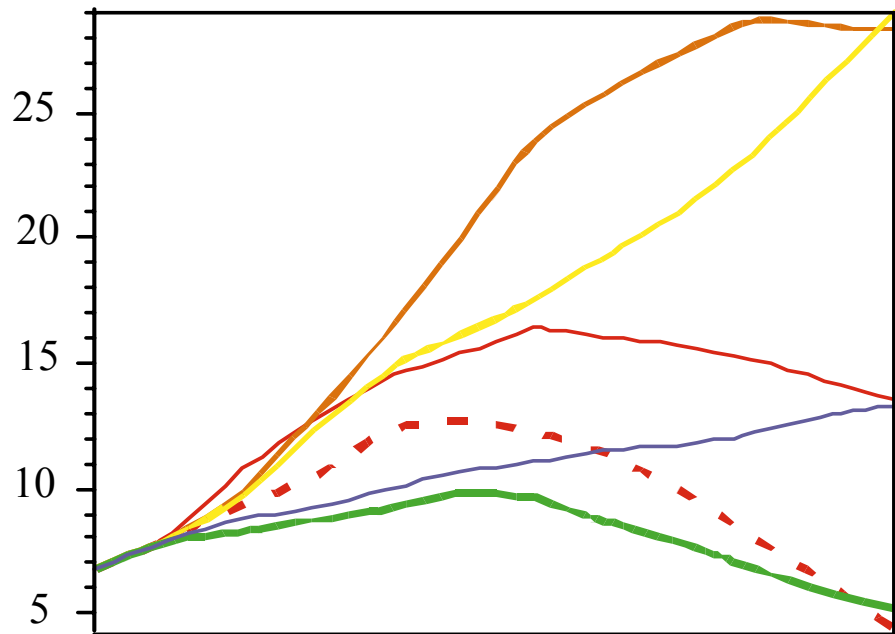


En France : 6 tonnes de CO<sub>2</sub> par personne et par an  
La planète peut en « digérer » 1.5 tonne / habitant

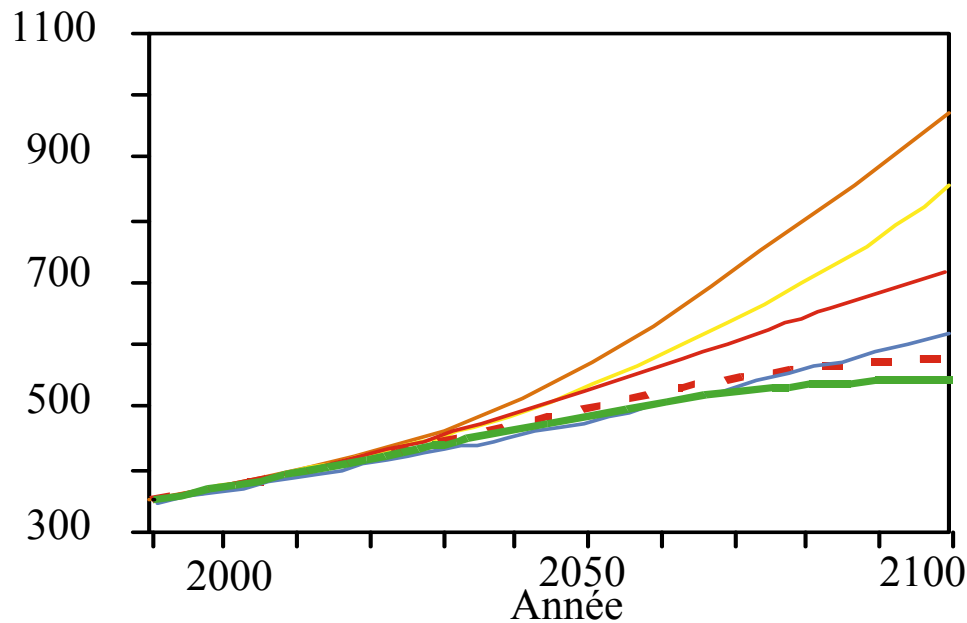


# Quelle énergie utiliserons-nous?

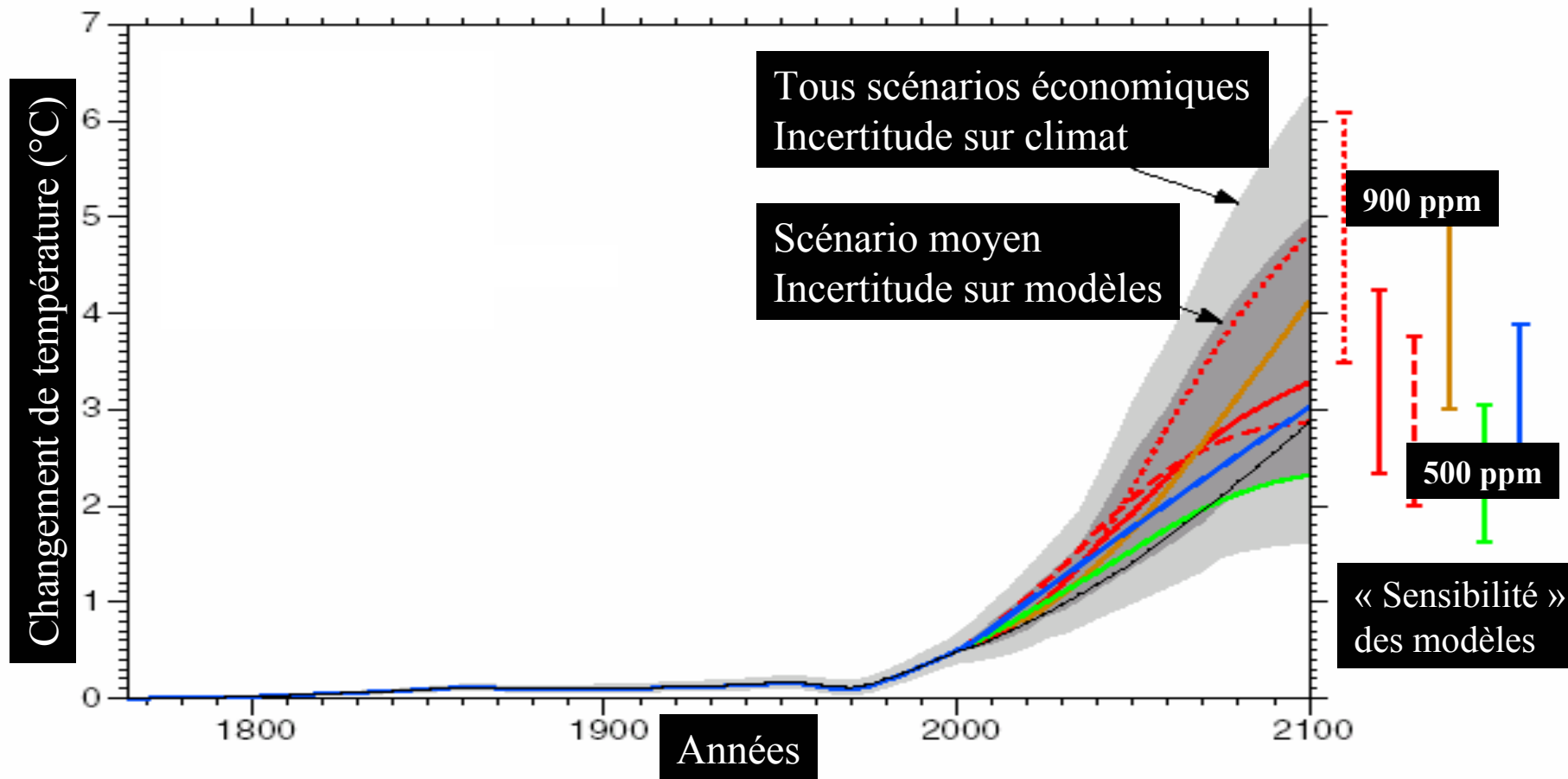
Rejets de  $\text{CO}_2$   
(Gt carbone/an)



Concentrations de  $\text{CO}_2$   
dans l'atmosphère (ppmv)



# Conséquences sur la température globale

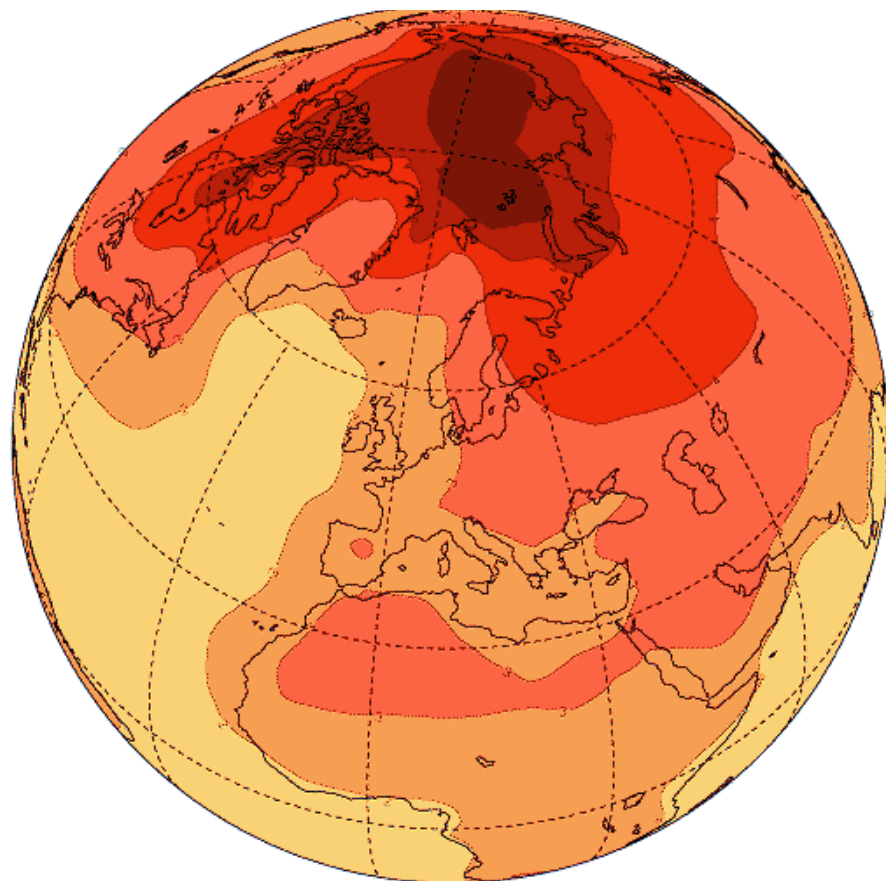
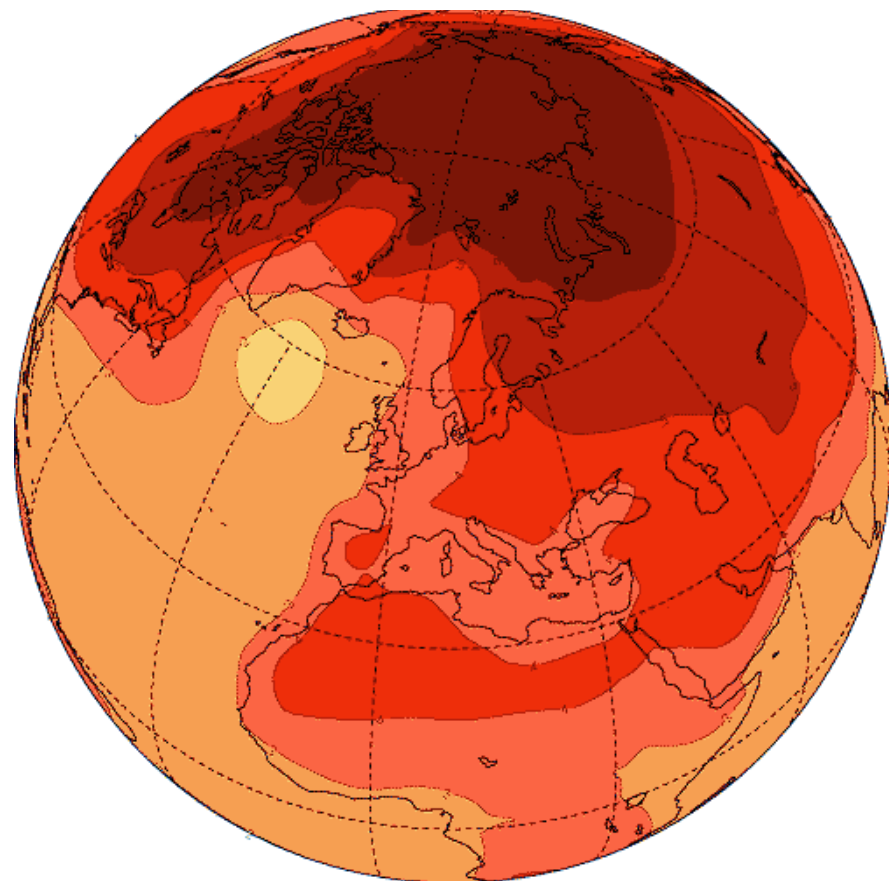


Niveau des mers :  
+20 cm observés + 20 à 50 cm au 21ème siècle

# Changement des températures d'ici à 2100

« Business as usual »

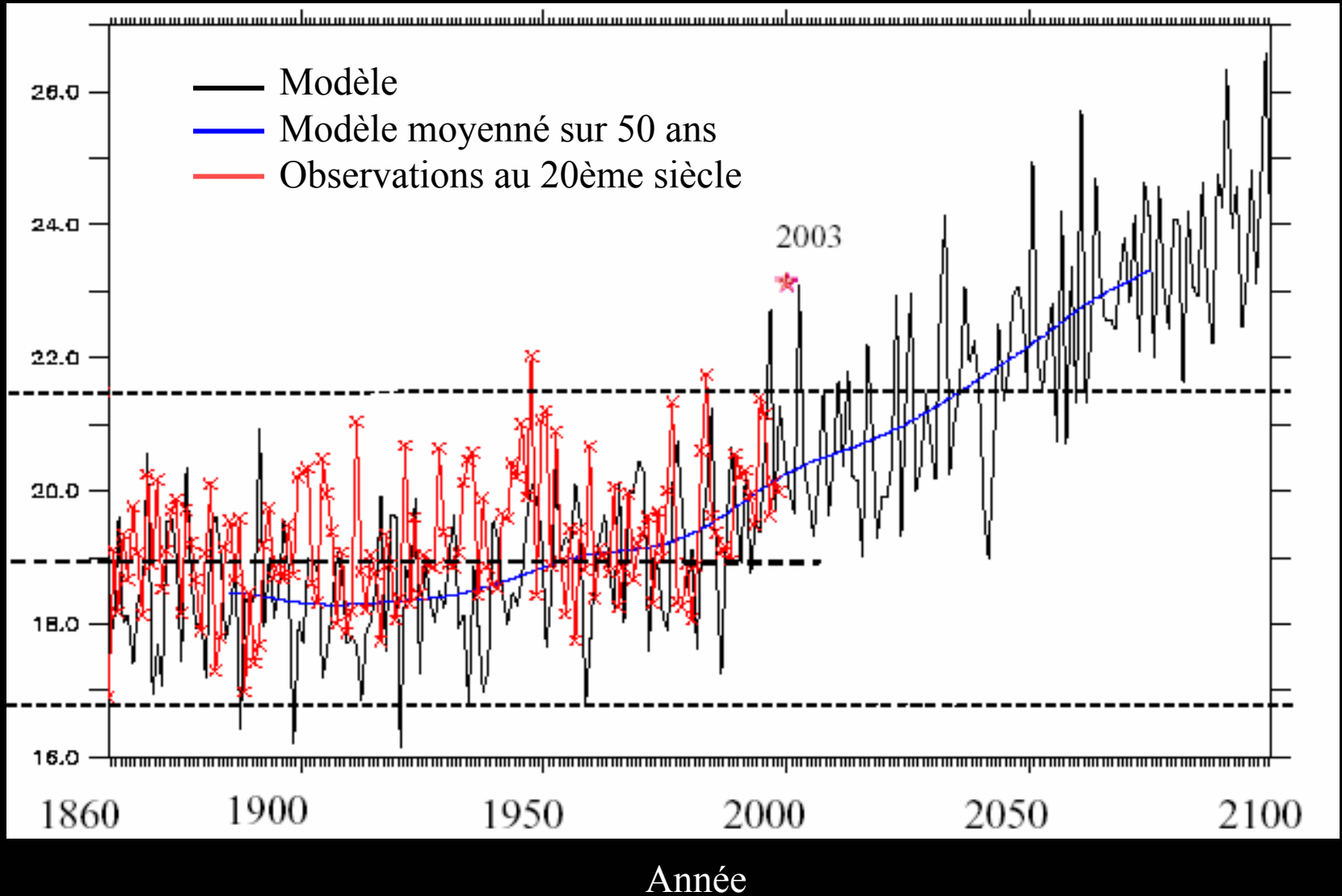
Scénario vertueux



-6 -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6

[Deg.C]

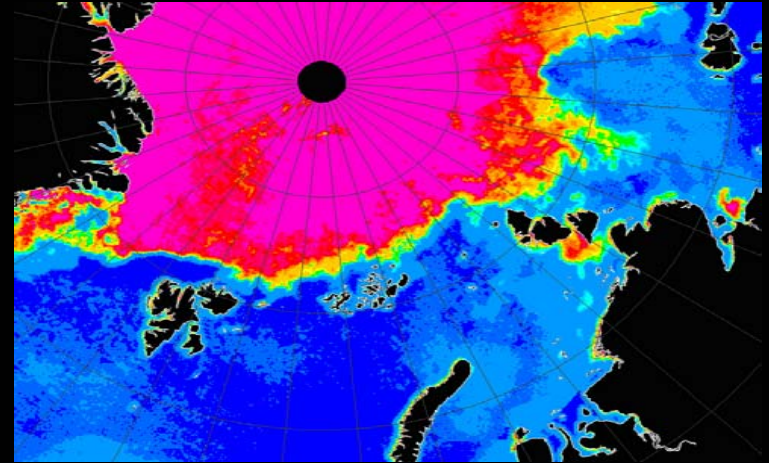
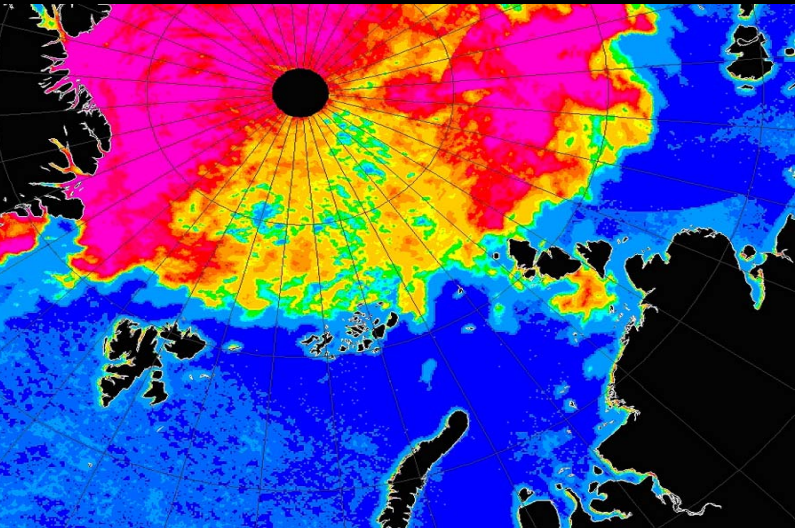
# Température moyenne d'été en France de 1860 à 2100 (pour un réchauffement global de 3°C)



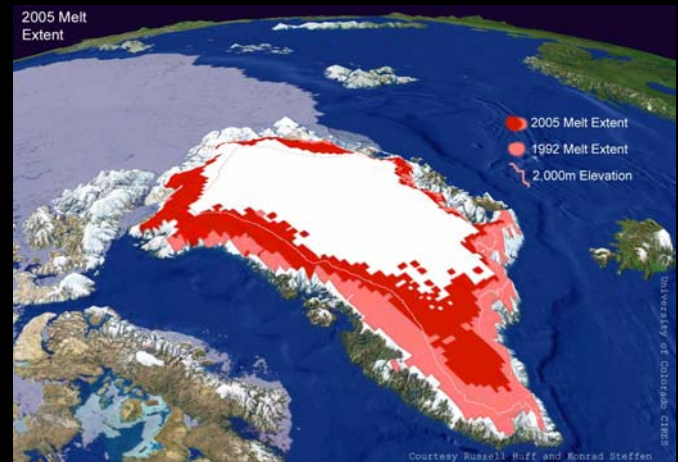
# Irréversibilités?

Moyenne des mois de septembre  
(dernière décennie)

Actuellement (septembre 2006)



Fonte de la calotte polaire  
du Groenland



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

**080** Maximum des émissions de  $CO_2$  dans l'atmosphère

**2200** Maximum de concentration de  $CO_2$  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  $CO_2$  (surplus digéré par l'érosion des continents)  
Retour au rythme naturel du climat

# Nous piloterons l'évolution du climat au cours des prochains siècles

## Un réchauffement en partie inéluctable

- Risques climatiques  
*Extrêmes, précipitations, niveau des mers...*
- Adaptation  
*Agriculture, espèces vivantes, réfugiés climatiques...*
- Incertitudes  
*Ampleur, effets régionaux, changements abrupts...*

## Un réchauffement qui dépend de nous (des rejets de gaz à effet de serre)

- Qu'est ce qu'un changement climatique «acceptable»?  
*Niveau mers? Acidification des océans? Ecosystèmes? Sécheresses?  
Economie (rapport Stern)? Effets à long terme?*
- Action internationale (Kyoto et au-delà)

# 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>)*

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