

# Changements climatiques en Europe au cours du dernier cycle climatique

P 35 du  
fascicule  
(4TPU237)

P41 du  
fascicule  
(4TPU236)



Bruegel Pieter the Elder - Brugel

Winter (Hunters in the Snow). 1569 Brussel (Vienna, Kunsthistorisches Museum )

# 1. Introduction aux mécanismes des changements climatiques

- 1.1. Définitions
- 1.2. Forcages externes
- 1.3. Forcages internes

# 2. Les extrema climatiques des derniers 150 000 ans

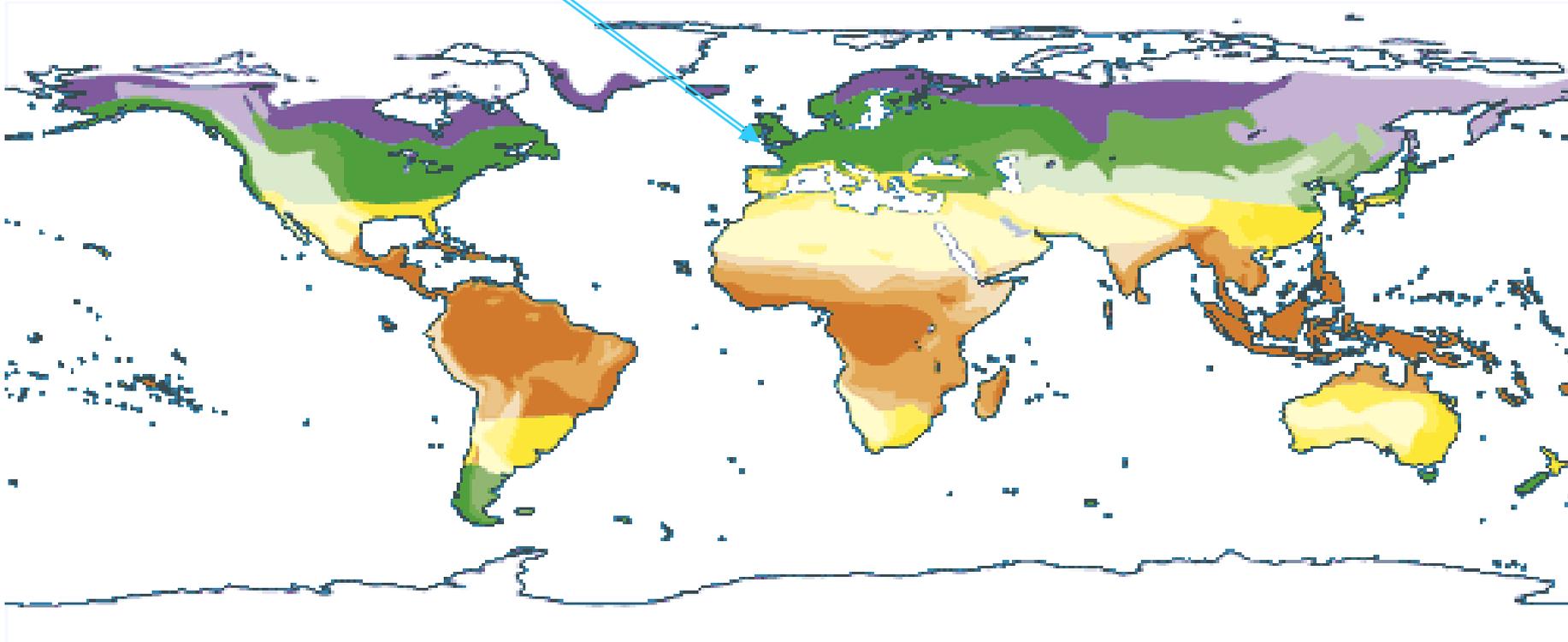
- 2.1. L' Eémien
- 2.2. Les évènements de Heinrich

# 3. Zoom sur les derniers 30000 ans

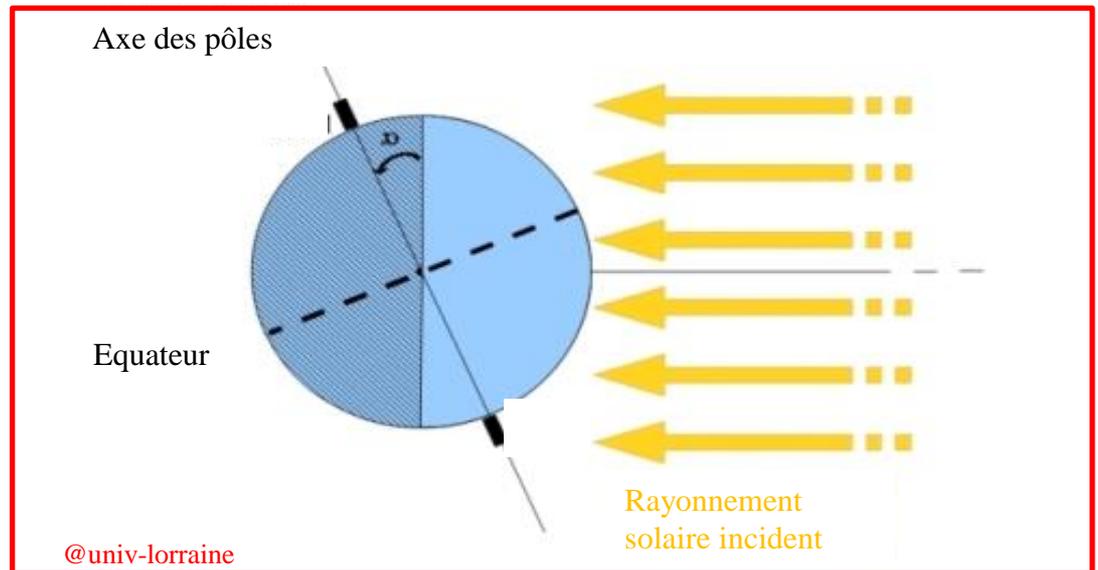
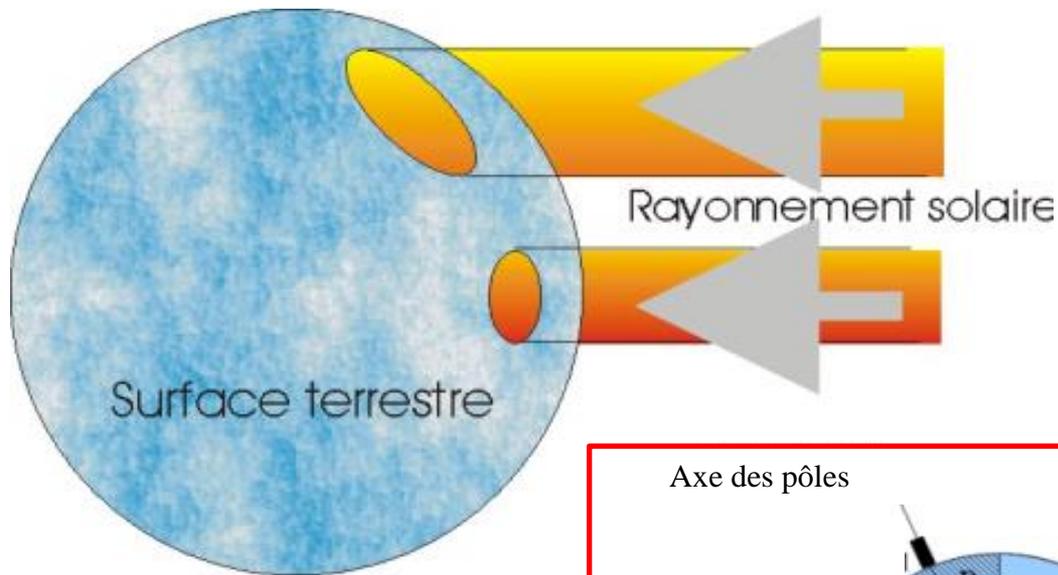
- 3.1. Le dernier maximum glaciaire
- 3.2. L' Holocène moyen
- 3.3. Les derniers 1000 ans

Climat: **ensemble** des phénomènes météorologiques qui caractérisent **l'état moyen** de l'atmosphère en un **lieu donné**

En France : climat tempéré! = notion géographique des climats



# Différence de l'angle d'incidence des rayonnements solaires à la surface du globe => ceintures climatiques



# 1. Introduction aux mécanismes des changements climatiques

1.1. Définitions

1.2. Forcages externes

1.3. Forcages internes

# 2. Les extrema climatiques des derniers 150 000 ans

2.1. L' Eémien

2.2. Les évènements de Heinrich

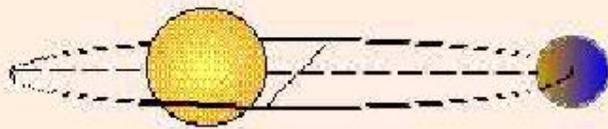
# 3. Zoom sur les derniers 30000 ans

3.1. Le dernier maximum glaciaire

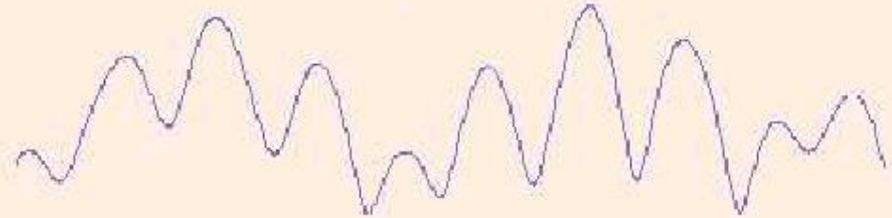
3.2. L' Holocène moyen

3.3. Les derniers 1000 ans

### Variations de l'EXCENTRICITE de l'orbite terrestre



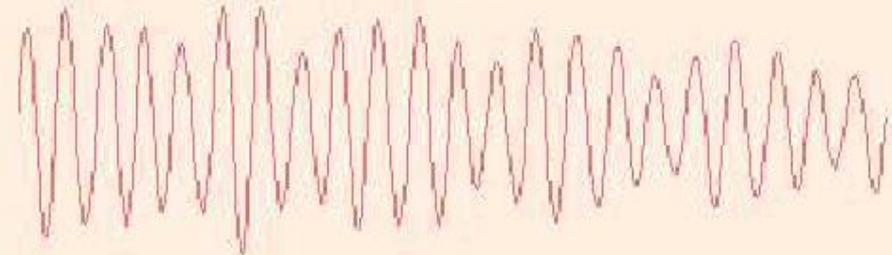
périodicités de 100 et 413 ka



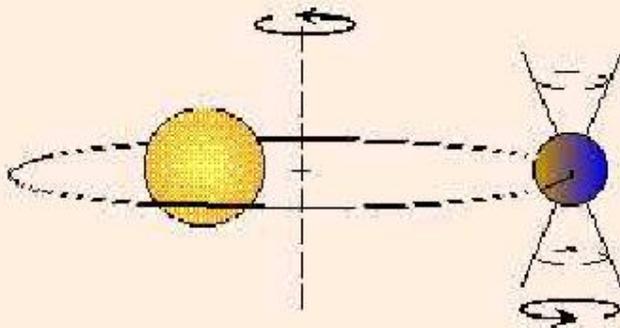
### Variations de l'OBLIQUITE de l'axe de rotation



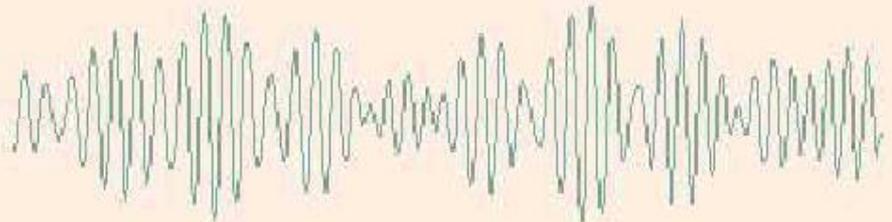
périodicité de 41 ka



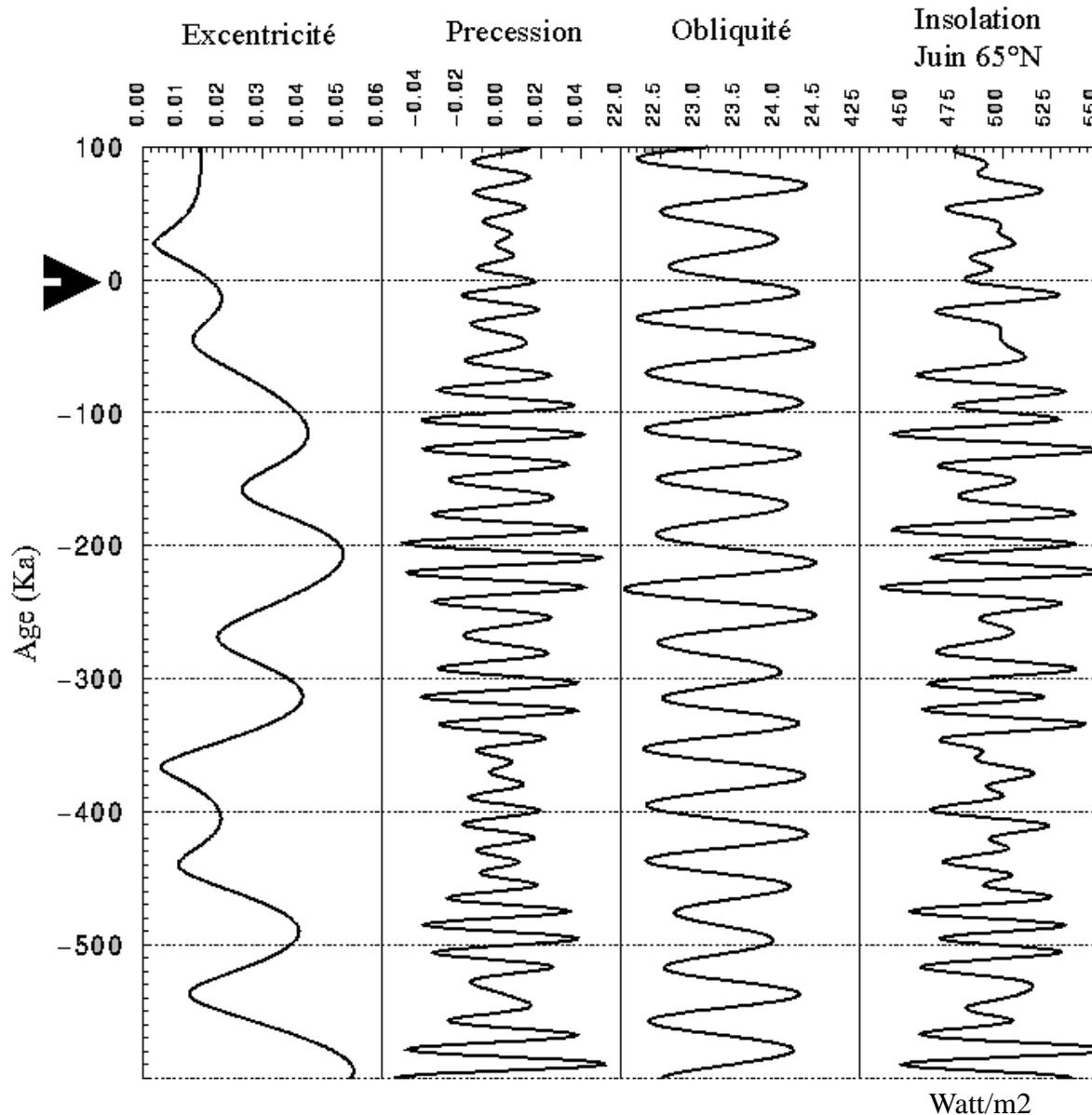
### PRECESSION de l'axe de rotation et ROTATION de l'orbite terrestre



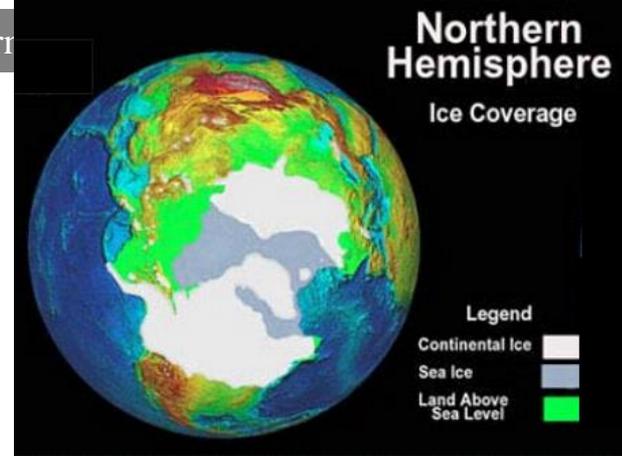
périodicités de 23 et 19 ka



La combinaison de ces différents cycles permet de calculer et de modéliser un comportement théorique du climat latitudes par latitudes et années par années (Berger, 1978).

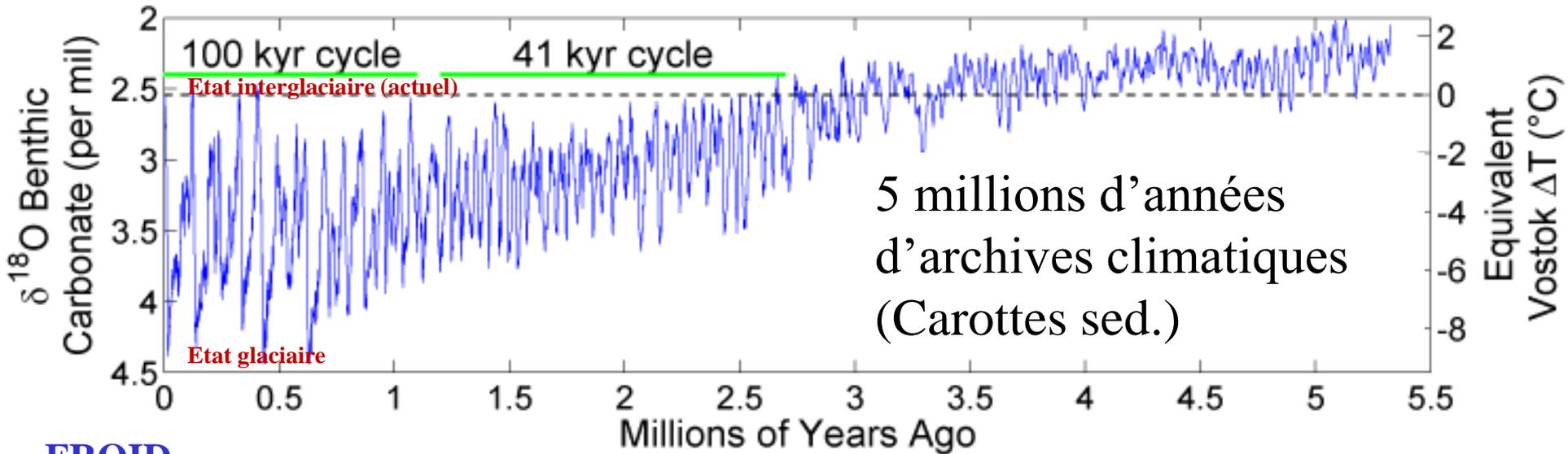


**Les derniers 600 000  
ans et les futurs  
100 000 ans  
D'après Loutre  
(1996)**



= définissent ce que l'on appelle des cycles climatiques : **bascules glaciaire/ interglaciaire**

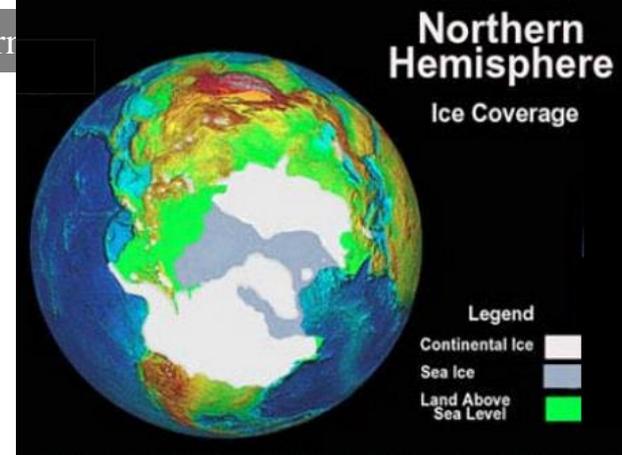
**CHAUD**



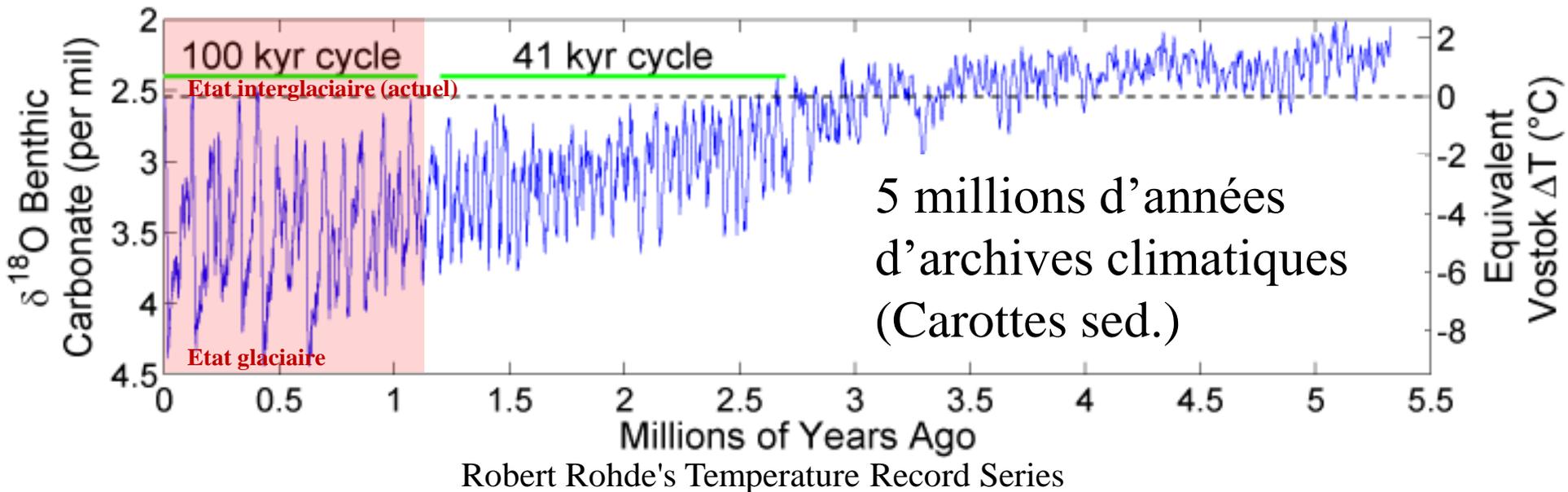
**FROID**

Robert Rohde's Temperature Record Series

=> des dizaines de cycles sur les derniers millions d'années visibles dans les archives géologiques ( $\delta^{18}\text{O}$ )

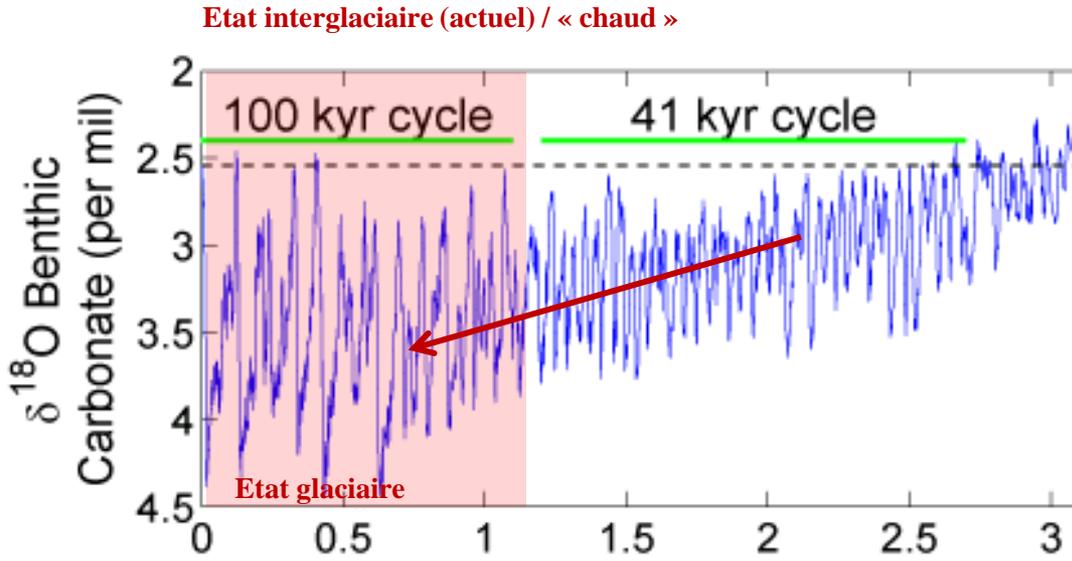
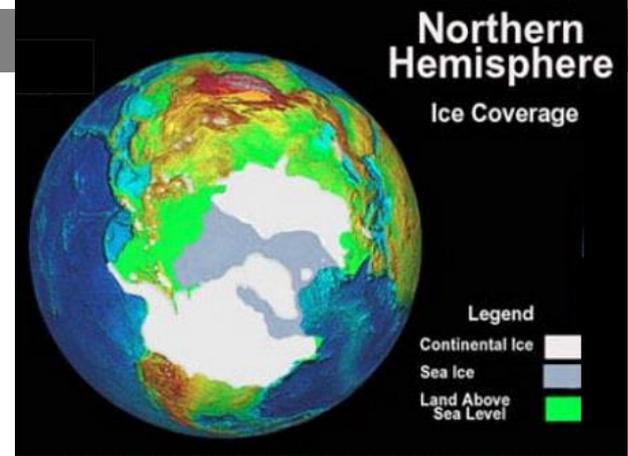


= définissent ce que l'on appelle des cycles climatiques : **bascules glaciaire/ interglaciaire**

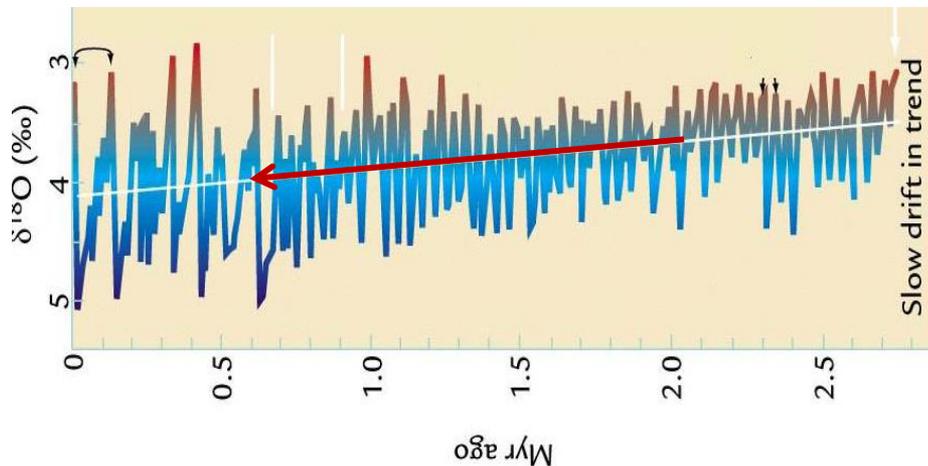


- => des dizaines de cycles sur les derniers millions d'années
- => depuis ~ 600 000 ans: dominés par une cyclicité à 100 000 ans (excentricité)

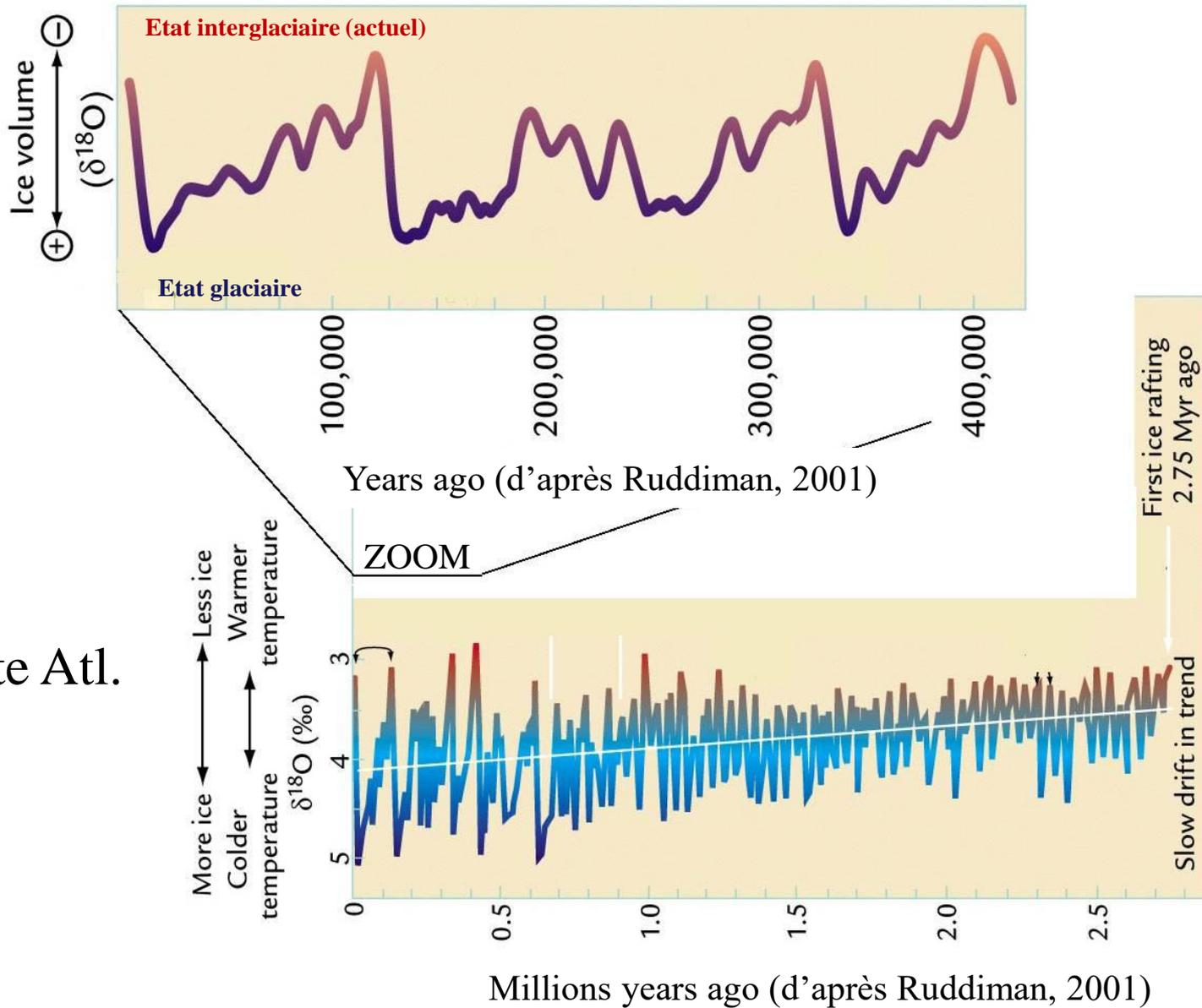
# FOCUS SUR LES CYCLES LES PLUS RÉCENTS



Une dérive progressive vers des glaciers de plus en plus volumineux en glaciaires



# FOCUS SUR LES 4 DERNIERS CYCLES (400 000 ANS)



Carotte Atl.  
Nord

# 1. Introduction aux mécanismes des changements climatiques

1.1. Définitions

1.2. Forcages externes **Une précision non négligeable !**

1.3. Forcages internes

# 2. Les extrema climatiques des derniers 150 000 ans

2.1. L' Eémien

2.2. Les évènements de Heinrich

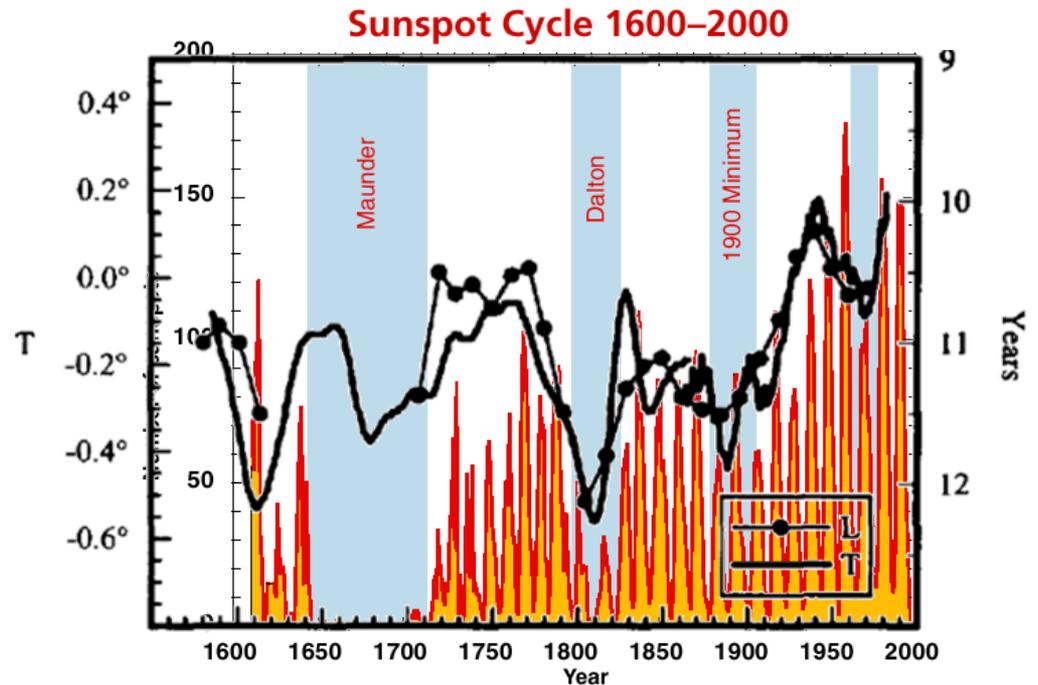
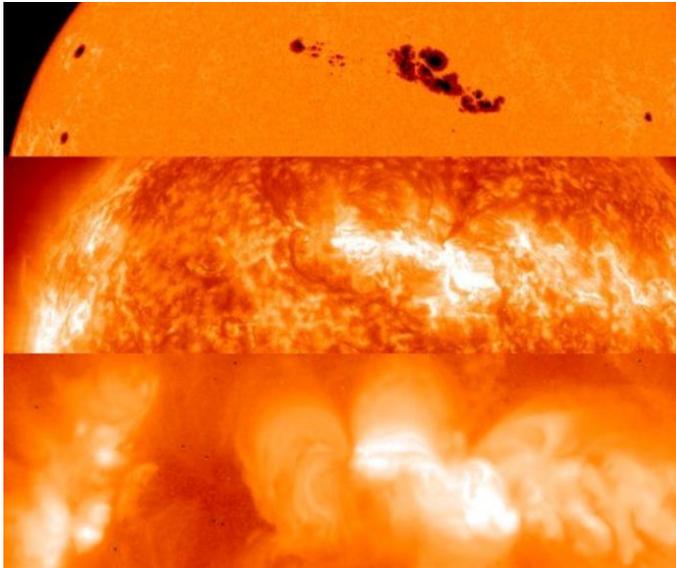
# 3. Zoom sur les derniers 30000 ans

3.1. Le dernier maximum glaciaire

3.2. L' Holocène moyen

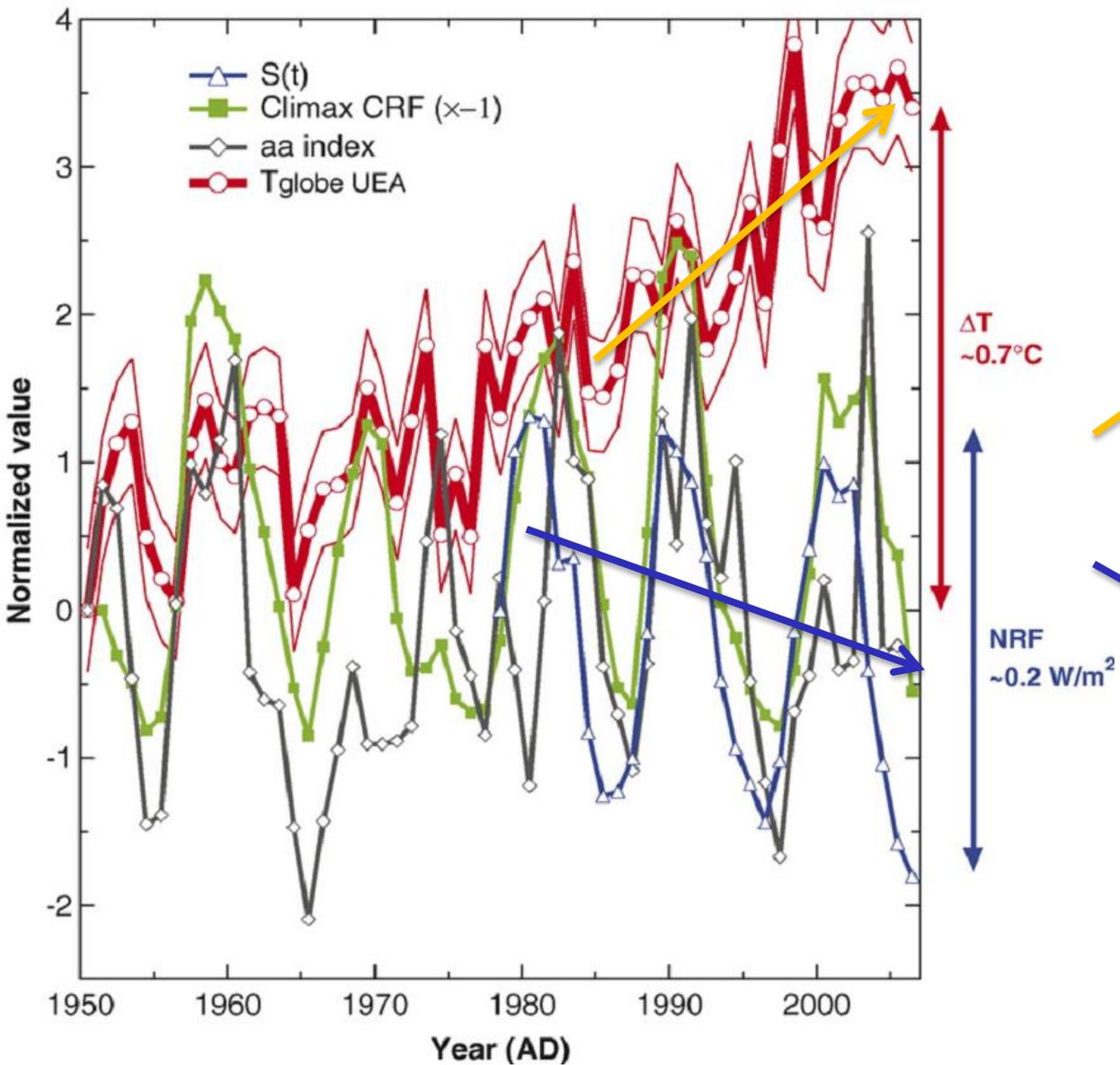
3.3. Les derniers 1000 ans

**Cycles d'activité solaire (tous les 11 ans) : « orages magnétiques »** : important mais de faible amplitude / covariant bien avec les températures des derniers 2000 ans



**Cycles d'activité solaire « corrélés » aux températures moyennes de l'hémisphère nord (sur 11 ans, T)**

(modifié d'après Friis-Christensen & Svensmark, 1997, Hoty & Schatten, 1998, Beer et al., 2000)



**Depuis 1980 :**  
**Hausse des indicateurs des**  
**températures atmosph.**  
**terrestres :**

**T<sub>globe UEA</sub> = global surface**  
**temperature anomalies**

**Baisse des indicateurs de**  
**l'activité solaire :**

**S(t) = irradiance solaire totale**  
**Climax CRF = cosmic ray flux**  
**aa index = geomagnetic index**

**Séries temporelles (moy. annuelle) des indices de l'activité solaire comparées aux températures globales à la surface depuis 1950. D'après Bard et Delaygue, 2007**

# 1. Introduction aux mécanismes des changements climatiques

1.1. Définitions

1.2. Forcages externes

1.3. Forcages internes

# 2. Les extrema climatiques des derniers 150 000 ans

2.1. L' Eémien

2.2. Les évènements de Heinrich

# 3. Zoom sur les derniers 30000 ans

3.1. Le dernier maximum glaciaire

3.2. L' Holocène moyen

3.3. Les derniers 1000 ans

## Deux grands acteurs du climat en interne :

1. **ATMOSPHERE** : Effet de serre (situation d'équilibre/ accidents-volcans)

2. **HYDROSPHERE** : Dynamique couplée océan/atmosphère/cryosphère

+ Ne pas oublier : **BIOSPHERE** (forêts, plancton)

*NB : A long terme : position des continents*



**Effet de serre:**  
mécanisme naturel par lequel  
la surface d'une planète est  
réchauffée grâce à l'absorption par  
les gaz de son atmosphère  
des radiations infrarouges



## Les gaz à effet de serre (absorbent IR)

Les principaux sont:

- *Vapeur d'eau,  $H_2O$ ,*
- *Dioxyde de carbone,  $CO_2$  (durée de vie ~ 100 ans)*

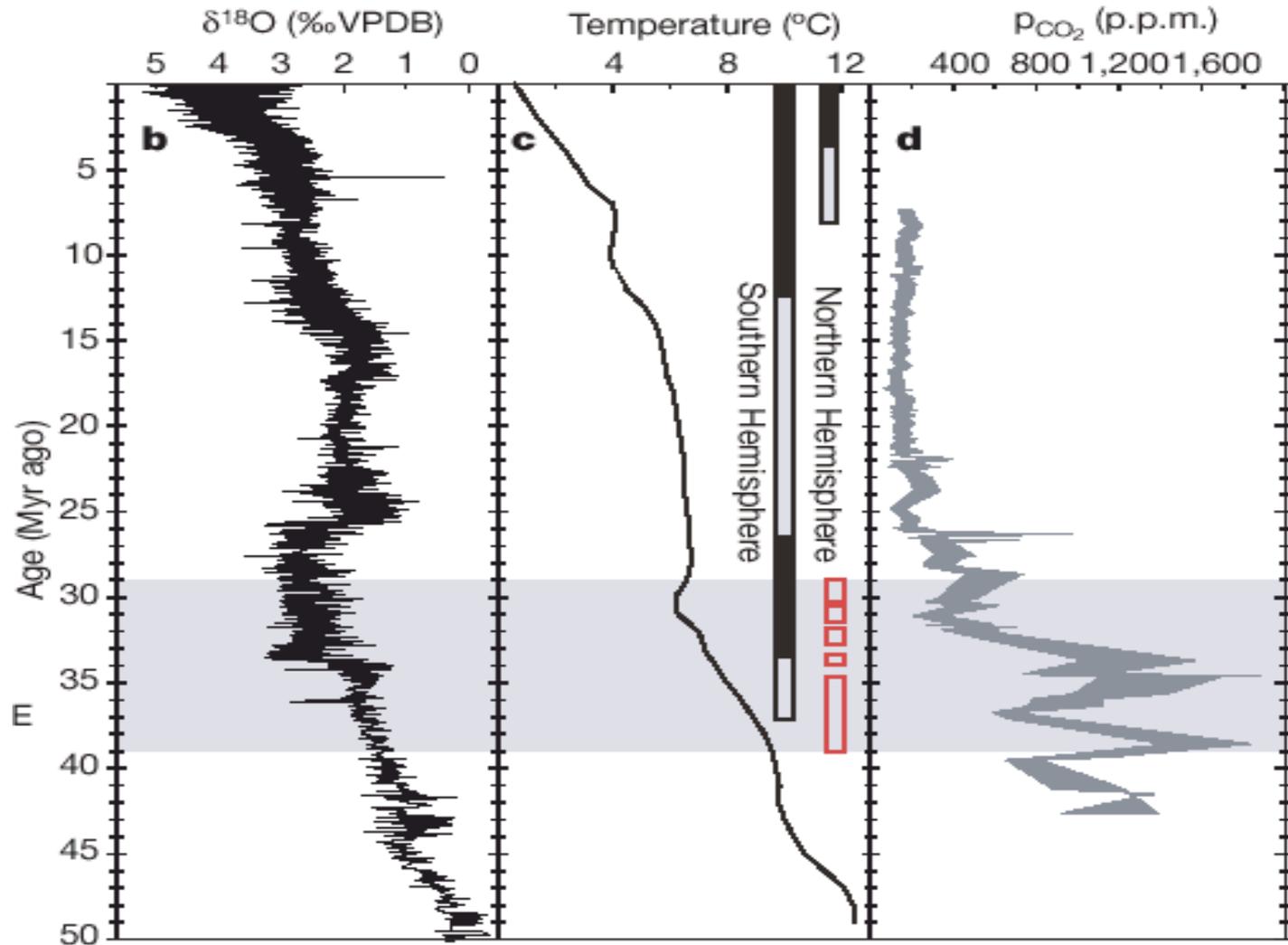
Autres constituants jouant un rôle majeur :

- *Ozone,  $O_3$*
- *Méthane,  $CH_4$  (durée de vie ~ 12 ans)*

...

Voir : <https://planet-terre.ens-lyon.fr/article/data-g-e-s.xml#effet-serre>

# CORRÉLATION CO<sub>2</sub>/ CHANGEMENT CLIMATIQUE



Eldrett et al., 2007

## Deux grands acteurs du climat en interne :

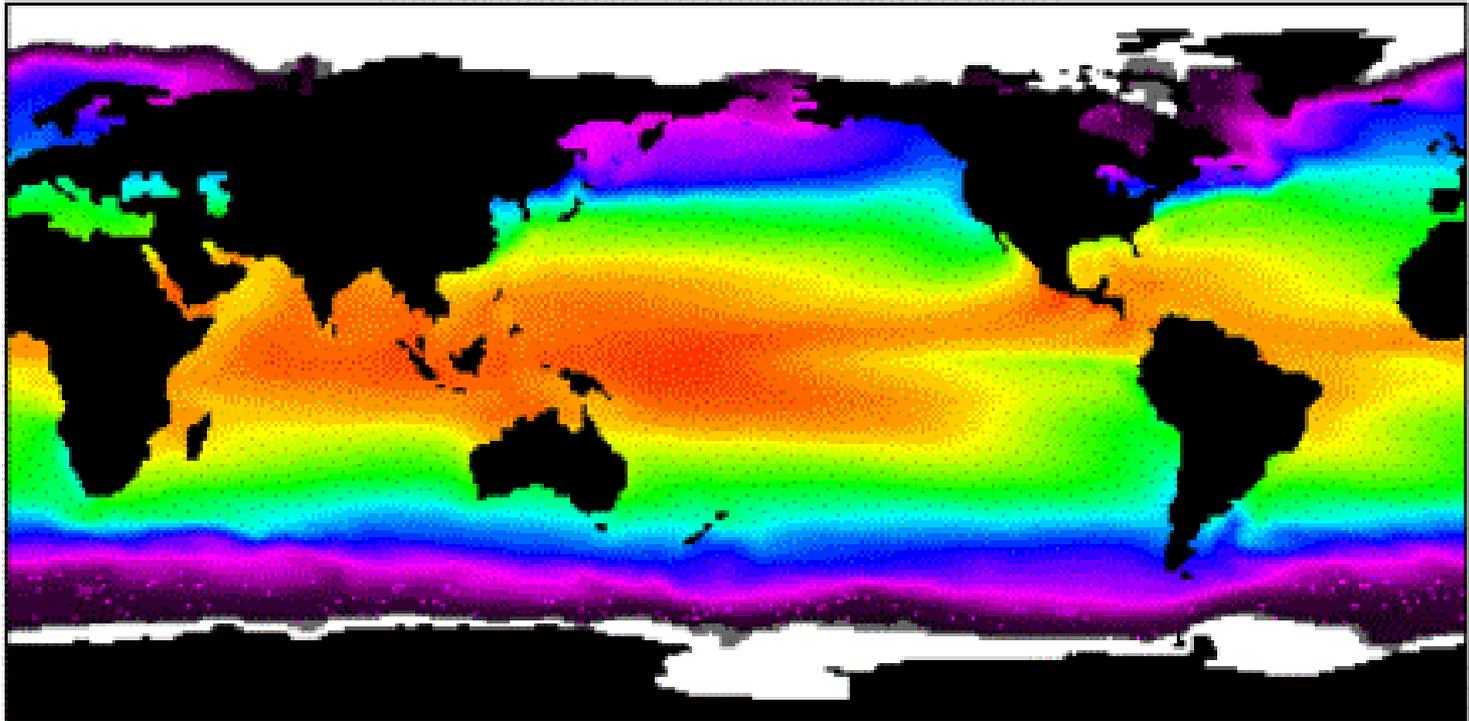
1. **ATMOSPHERE** : Effet de serre (situation d'équilibre/ accidents-volcans)

2. **HYDROSPHERE** : Dynamique couplée océan/atmosphère/cryosphère

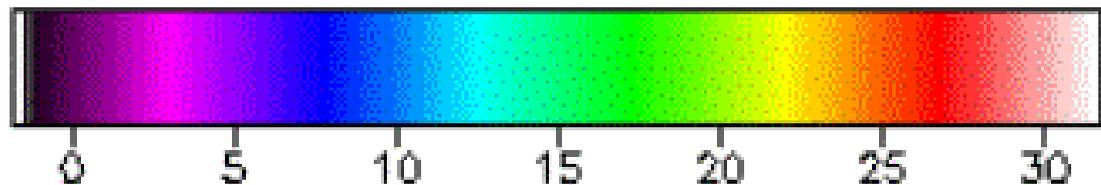
+ Ne pas oublier : **BIOSPHERE** (forêts, plancton)

*NB : A long terme : position des continents*

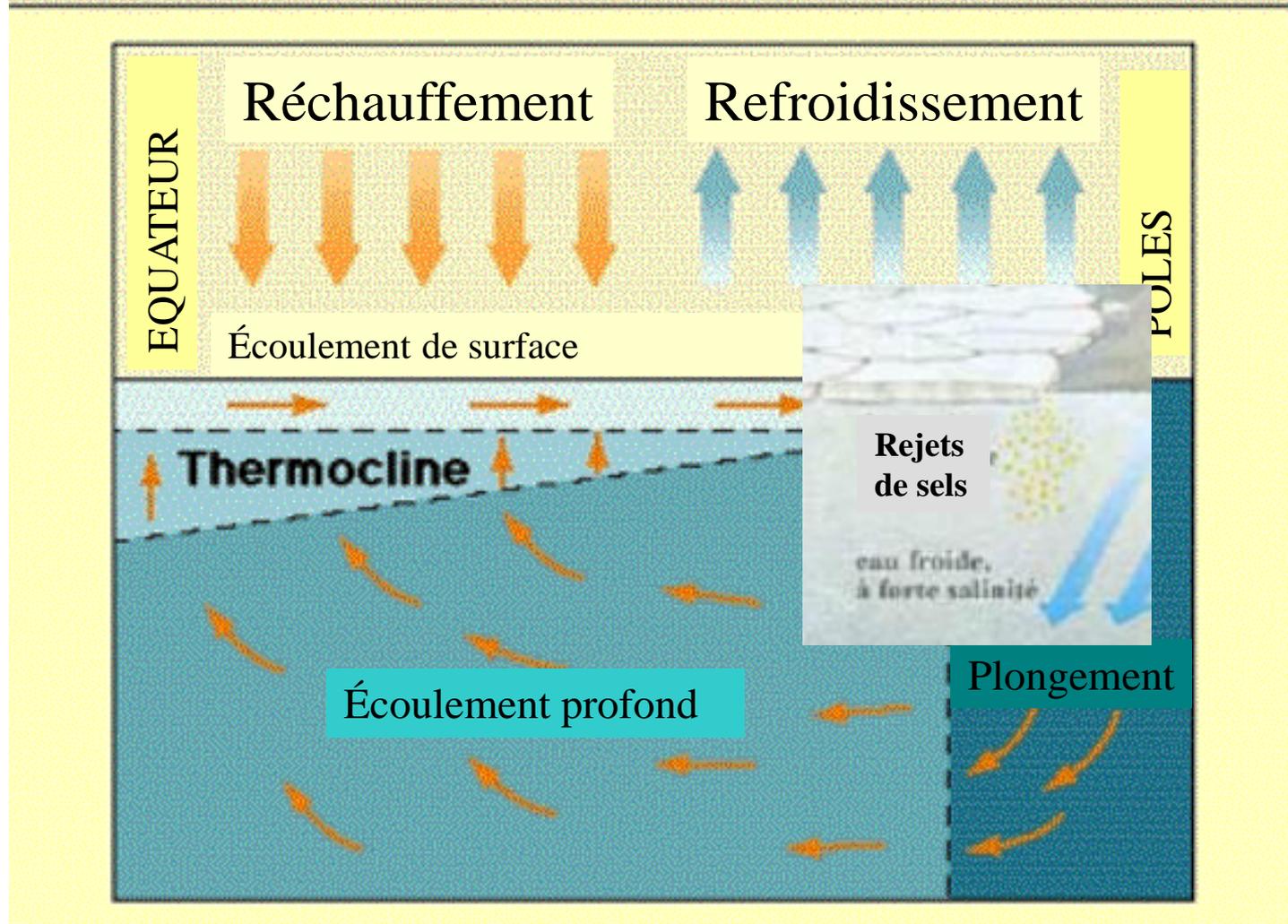
## Températures océaniques de surface moyennes (1990)



SST (degrees C)



# Modèle théorique de la convection thermohaline



(<http://www.coaps.fsu.edu/bios/arguez.shtml> )

# Couplage vents/ courants

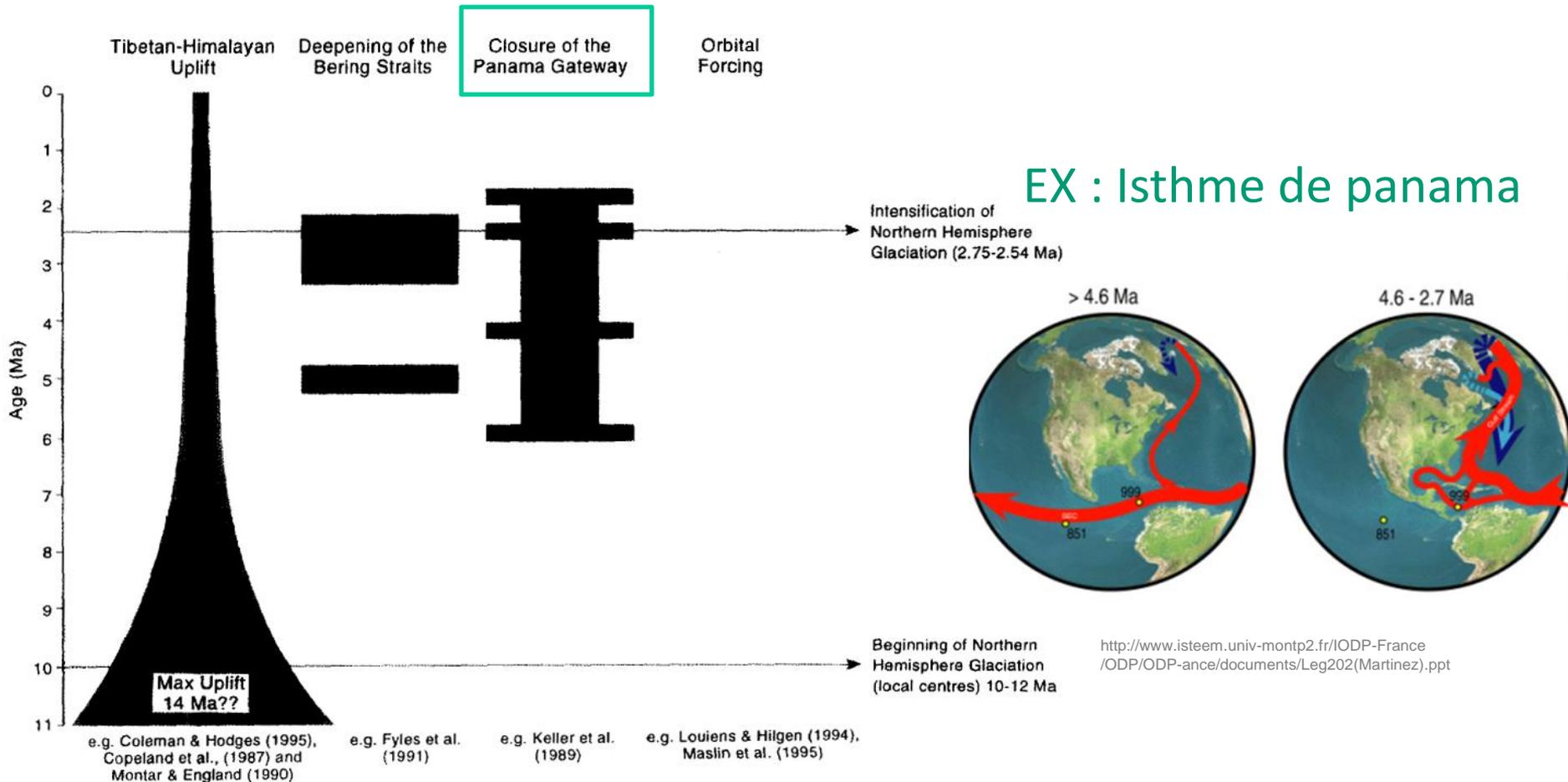
## World Ocean



# TECTONIQUE : A l'échelle du millions d'année... donc peu marquant par rapports aux problèmes actuels...

**MAIS cependant fondamental !!!!**

M.A. Maslin *et al.*: The Contribution of Northern Hemisphere Glaciation



Max Uplift  
14 Ma??

e.g. Coleman & Hodges (1995),  
Copeland et al., (1987) and  
Montar & England (1990)

e.g. Fyles et al.  
(1991)

e.g. Keller et al.  
(1989)

e.g. Louiens & Hilgen (1994),  
Maslin et al. (1995)

[http://www.isteeem.univ-montp2.fr/IODP-France/ODP/ODP-ance/documents/Leg202\(Martinez\).ppt](http://www.isteeem.univ-montp2.fr/IODP-France/ODP/ODP-ance/documents/Leg202(Martinez).ppt)

# 1. Introduction aux mécanismes des changements climatiques

- 1.1. Définitions
- 1.2. Forcages externes
- 1.3. Forcages internes

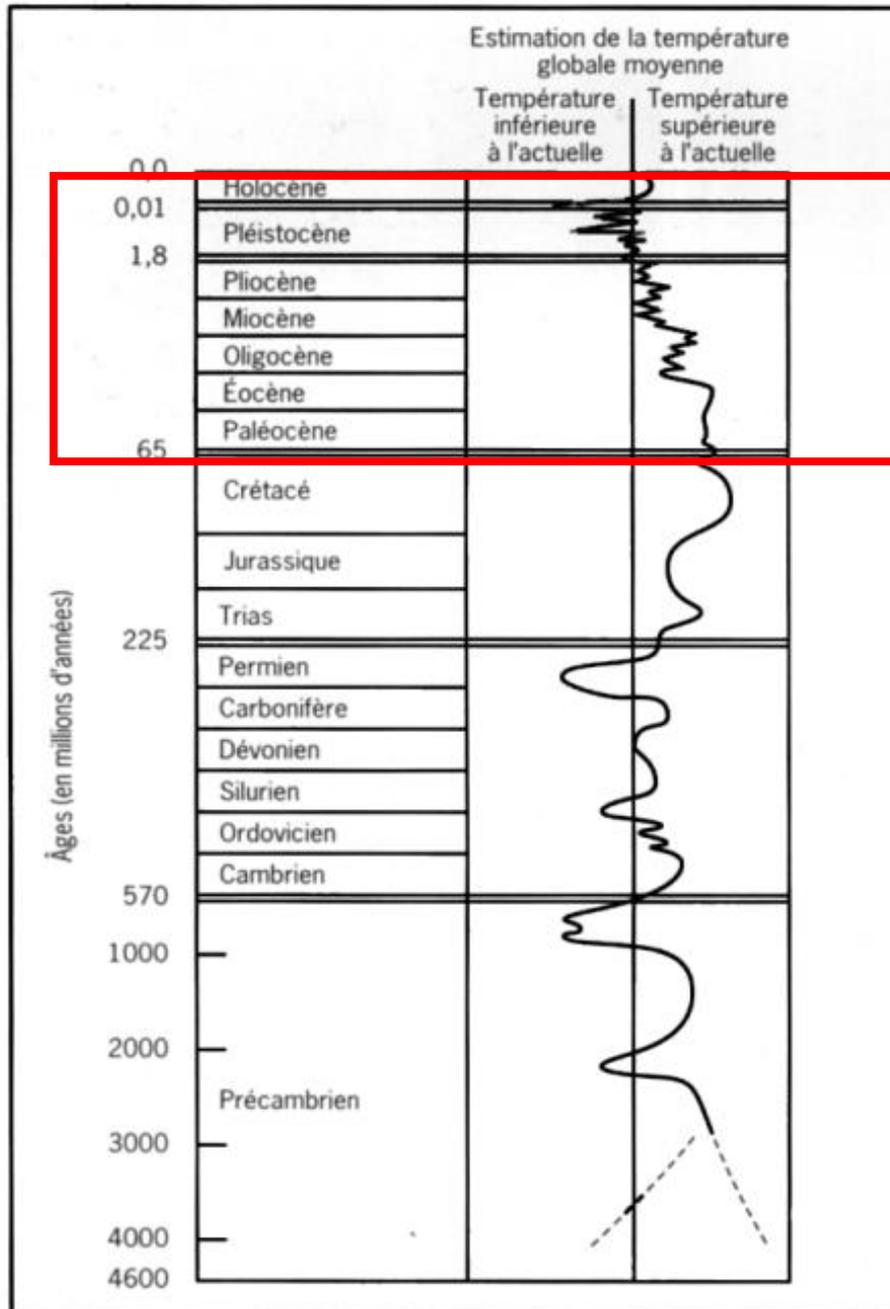
# 2. Les extrema climatiques des derniers 150 000 ans

- 2.1. L' Eémien
- 2.2. Les évènements de Heinrich

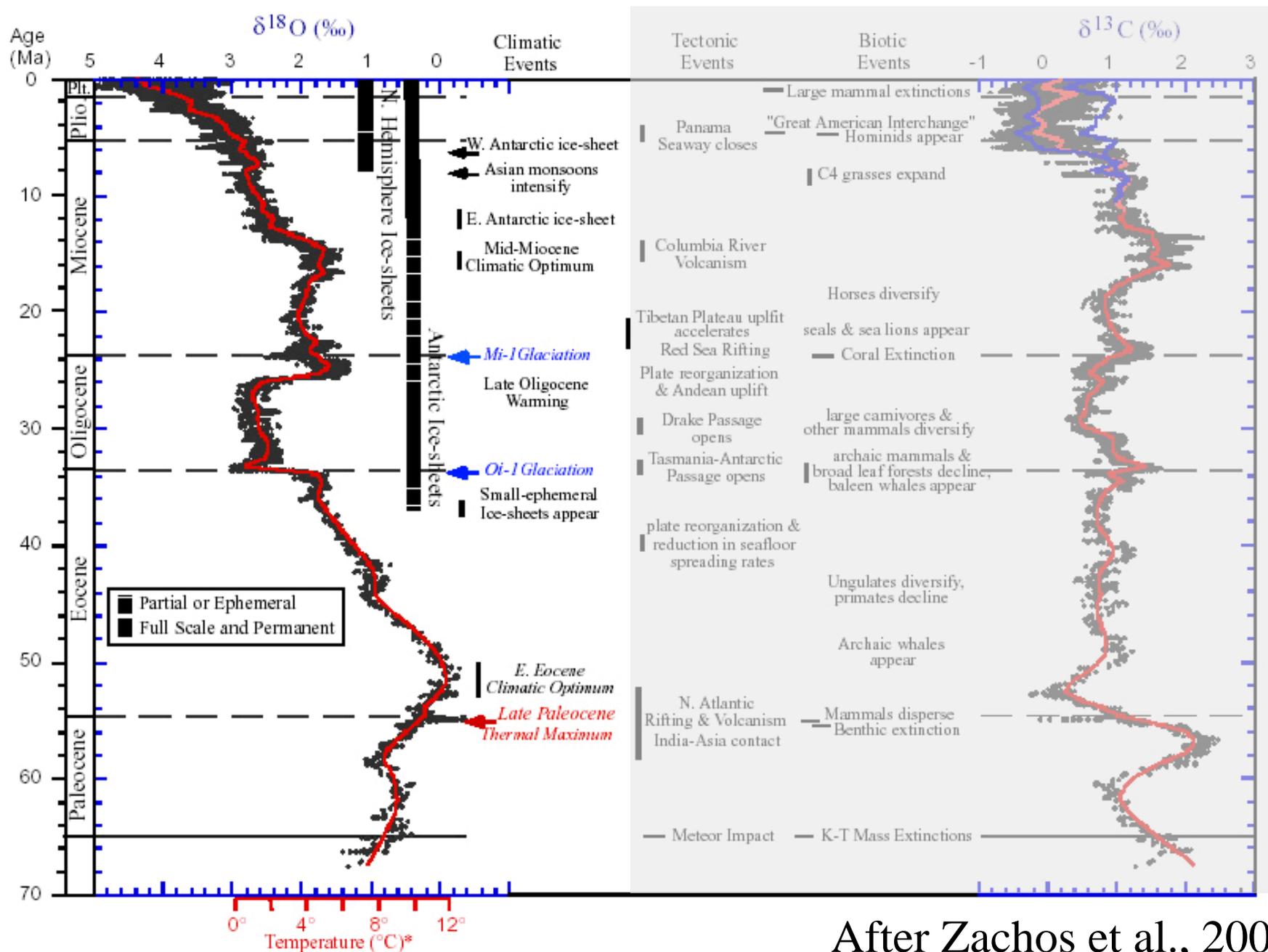
# 3. Zoom sur les derniers 30000 ans

- 3.1. Le dernier maximum glaciaire
- 3.2. L' Holocène moyen
- 3.3. Les derniers 1000 ans

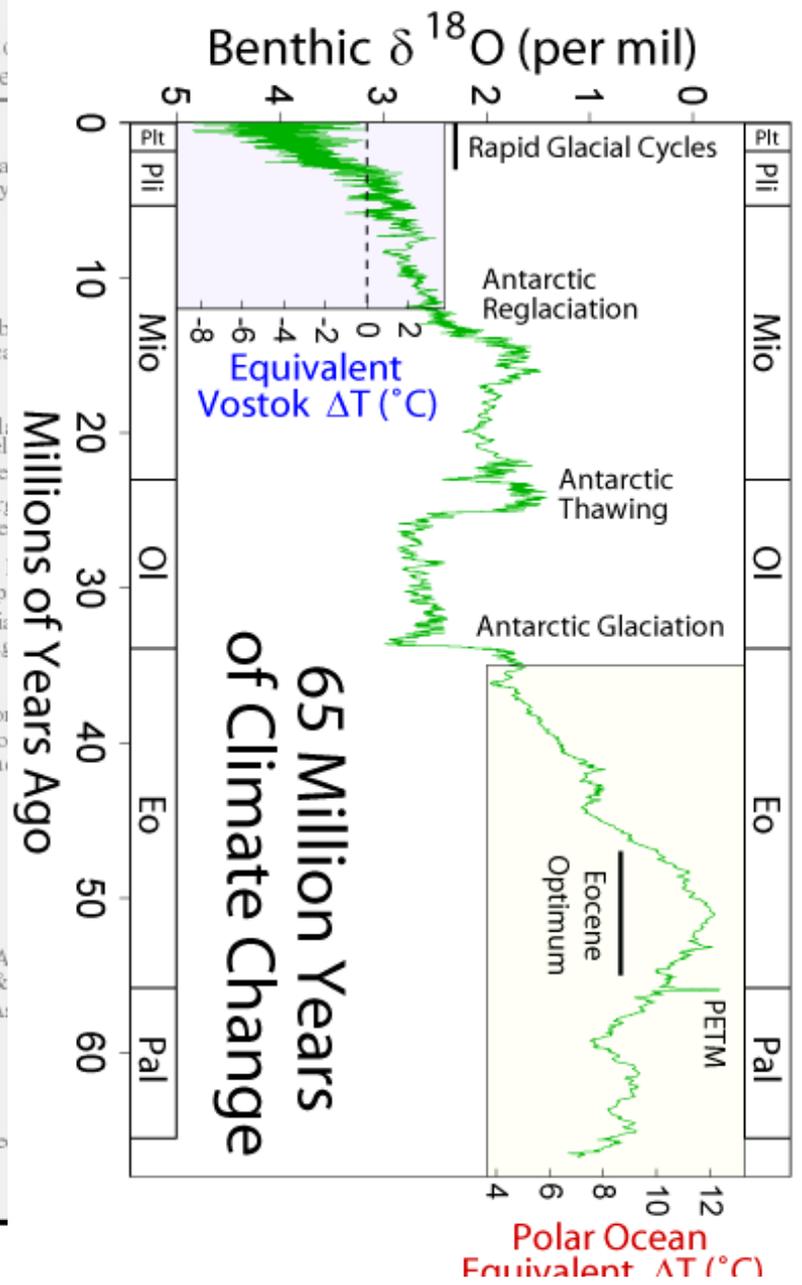
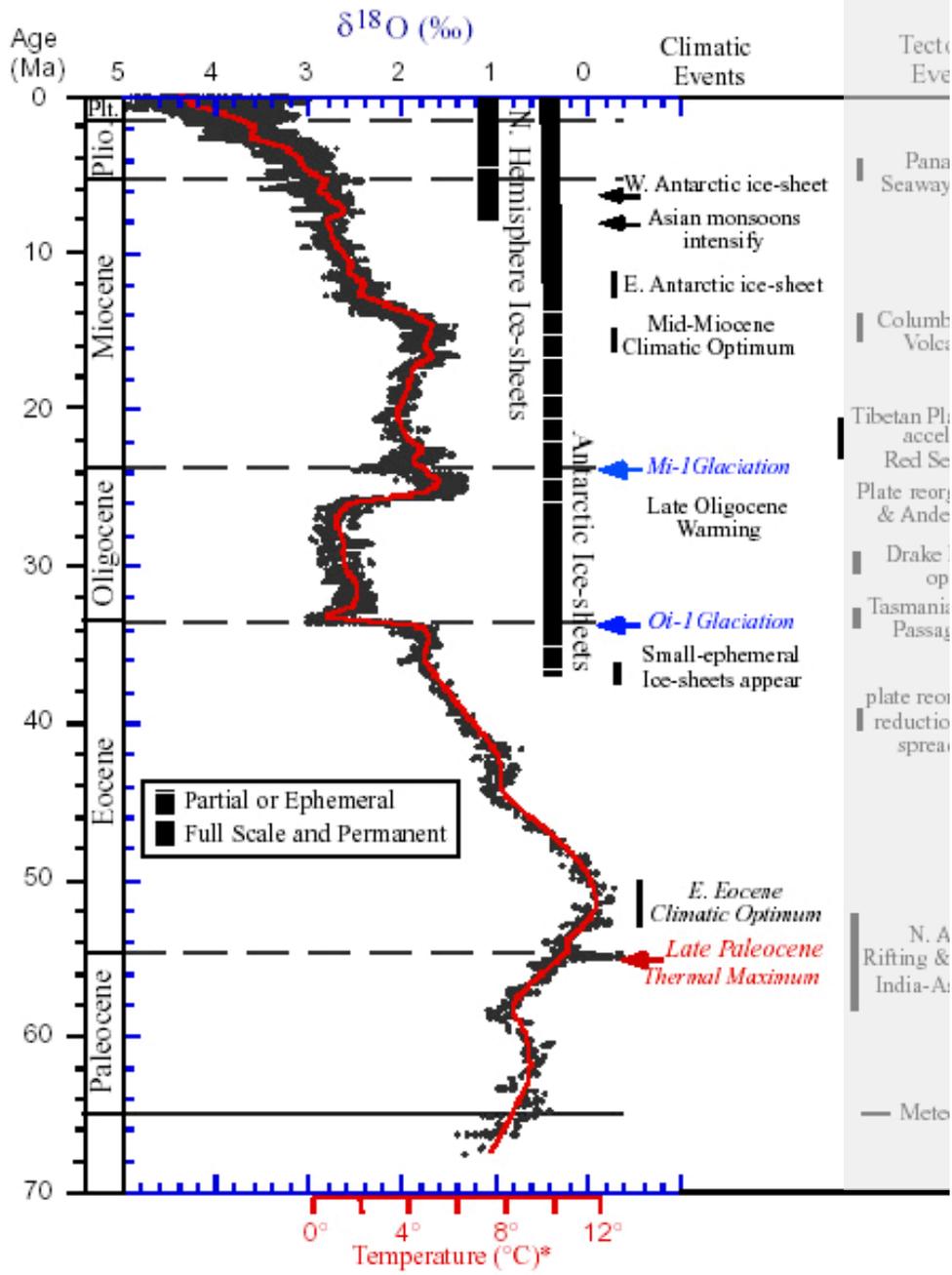
# Climats d'hier



Beaucoup plus de détails car beaucoup plus d'archives



After Zachos et al., 2001

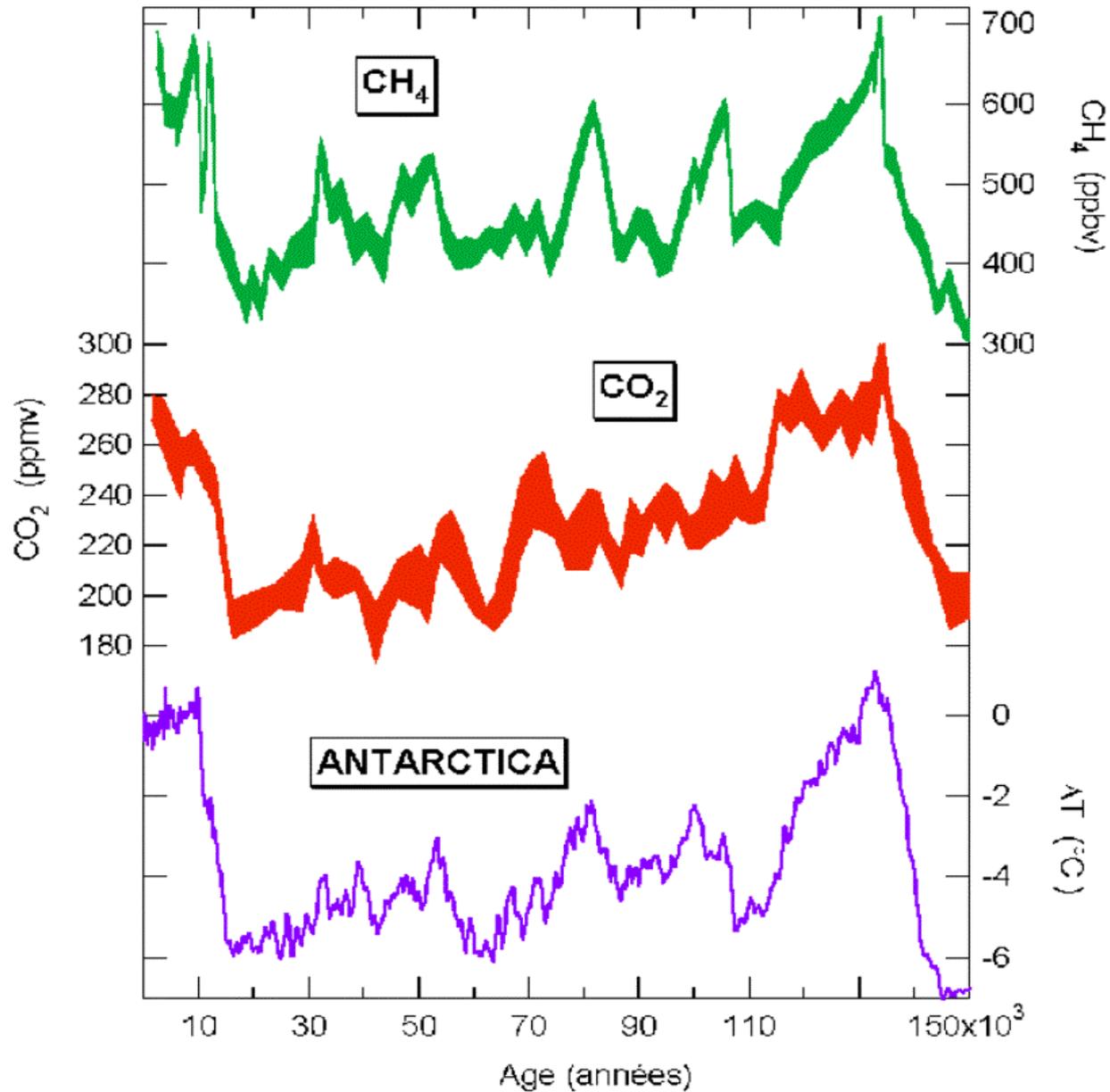


Robert Rohde's Temperature Record Series

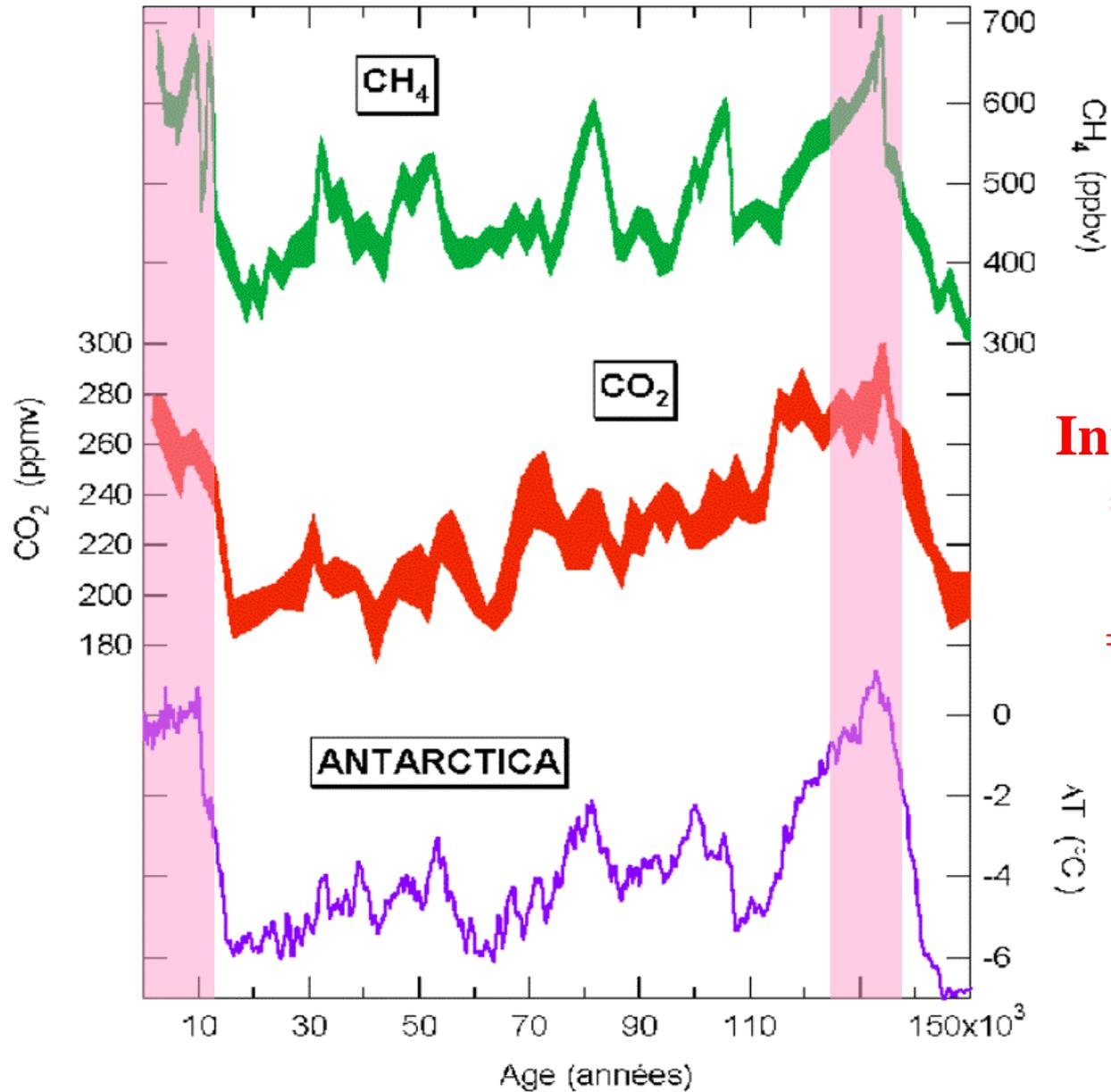
Les  
derniers  
150 ka

= un cycle climatique

# = un cycle climatique



# = un cycle climatique



**Phases  
Interglaciaires ?  
= l'actuel ...  
&  
= l'EEMIEN**

## L'EEMIEN : dernier optimum (chaud) interglaciaire avant le notre



Reconstitution du paysage au Groenland il y a 450.000-800.000 ans.  
Crédit : Bent Jærdig Knudsen

Durée: environ 15 000 ans

Limites: 129 –117 ka

Niveau marin : + 5 m par rapport à l'actuel (estimation)

Températures : supérieures à l'actuel

Cryosphère : Groenland probablement partiellement sans glace

# 1. Introduction aux mécanismes des changements climatiques

- 1.1. Définitions
- 1.2. Forcages externes
- 1.3. Forcages internes

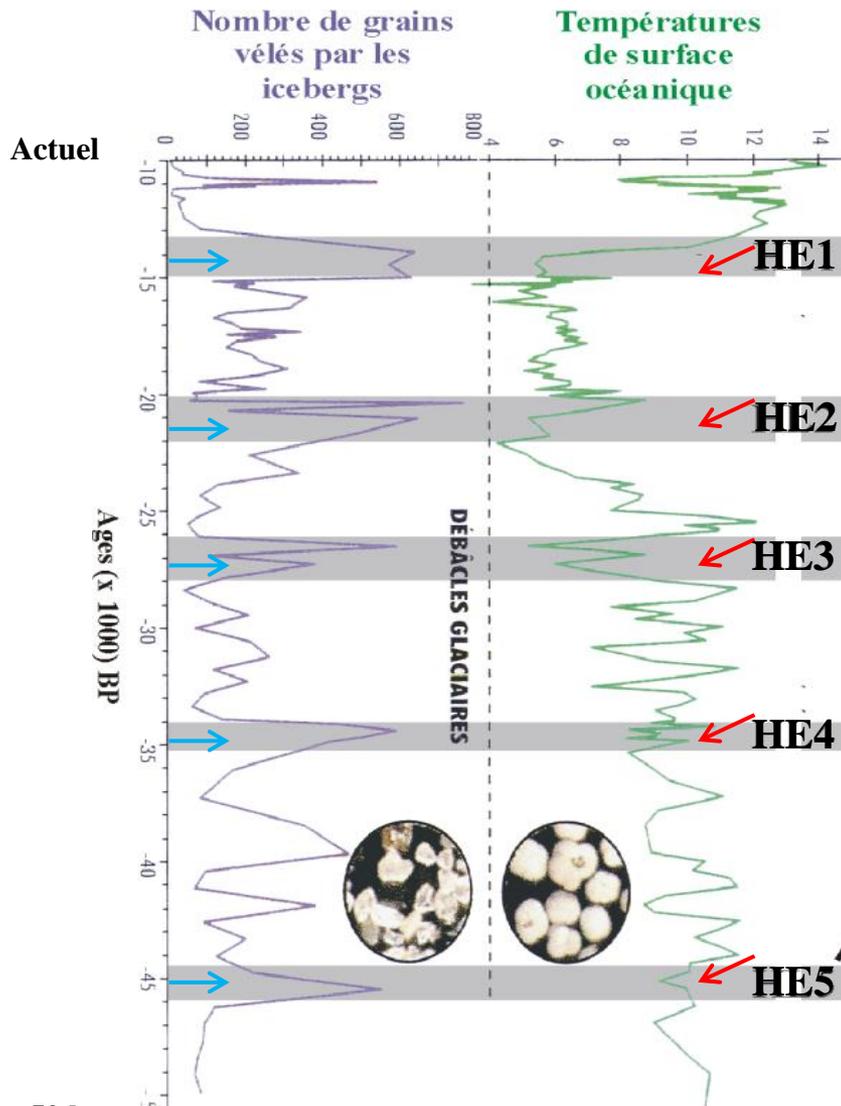
# 2. Les extrema climatiques des derniers 150 000 ans

- 2.1. L' Eémien
- 2.2. Les évènements de Heinrich

# 3. Zoom sur les derniers 30000 ans

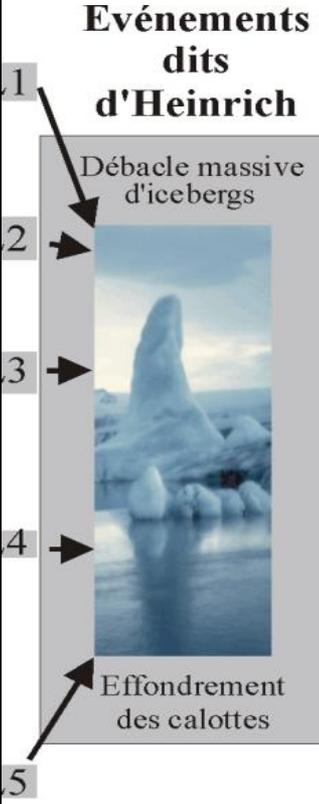
- 3.1. Le dernier maximum glaciaire
- 3.2. L' Holocène moyen
- 3.3. Les derniers 1000 ans

# EVENEMENTS de HEINRICH (HEs)= exemples types de variabilité climatique extrême, courts mais de très grande amplitude



**HEs :**

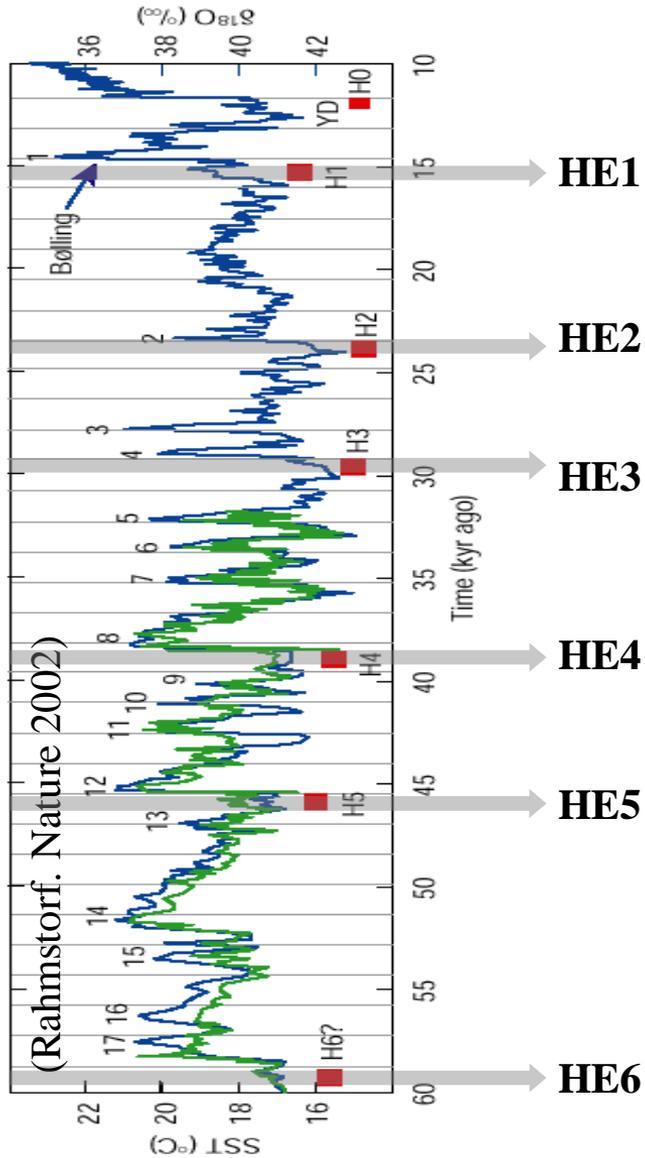
- ↖ baisse des températures océaniques de surface
- forts apports de matériel grossier par les glaces dérivantes (icebergs)



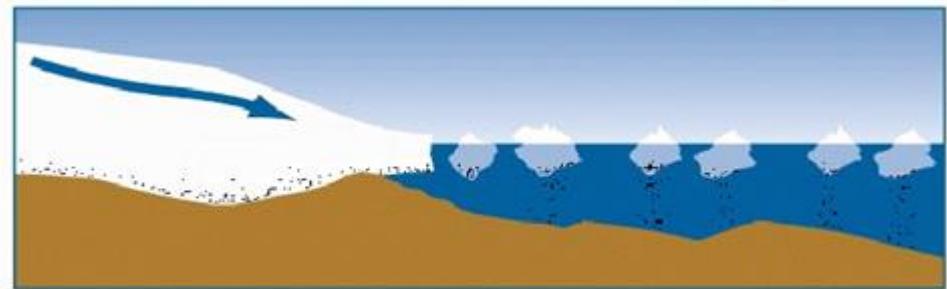
50 ka

La variabilité climatique entre 50 000 et 10 000 ans BP dans l'Atlantique Nord (d'après Labeyrie et Jouzel, 1999).

# EVENEMENTS de HEINRICH (HEs) = exemples types de variabilité climatique extrême, courts mais de très grande amplitude



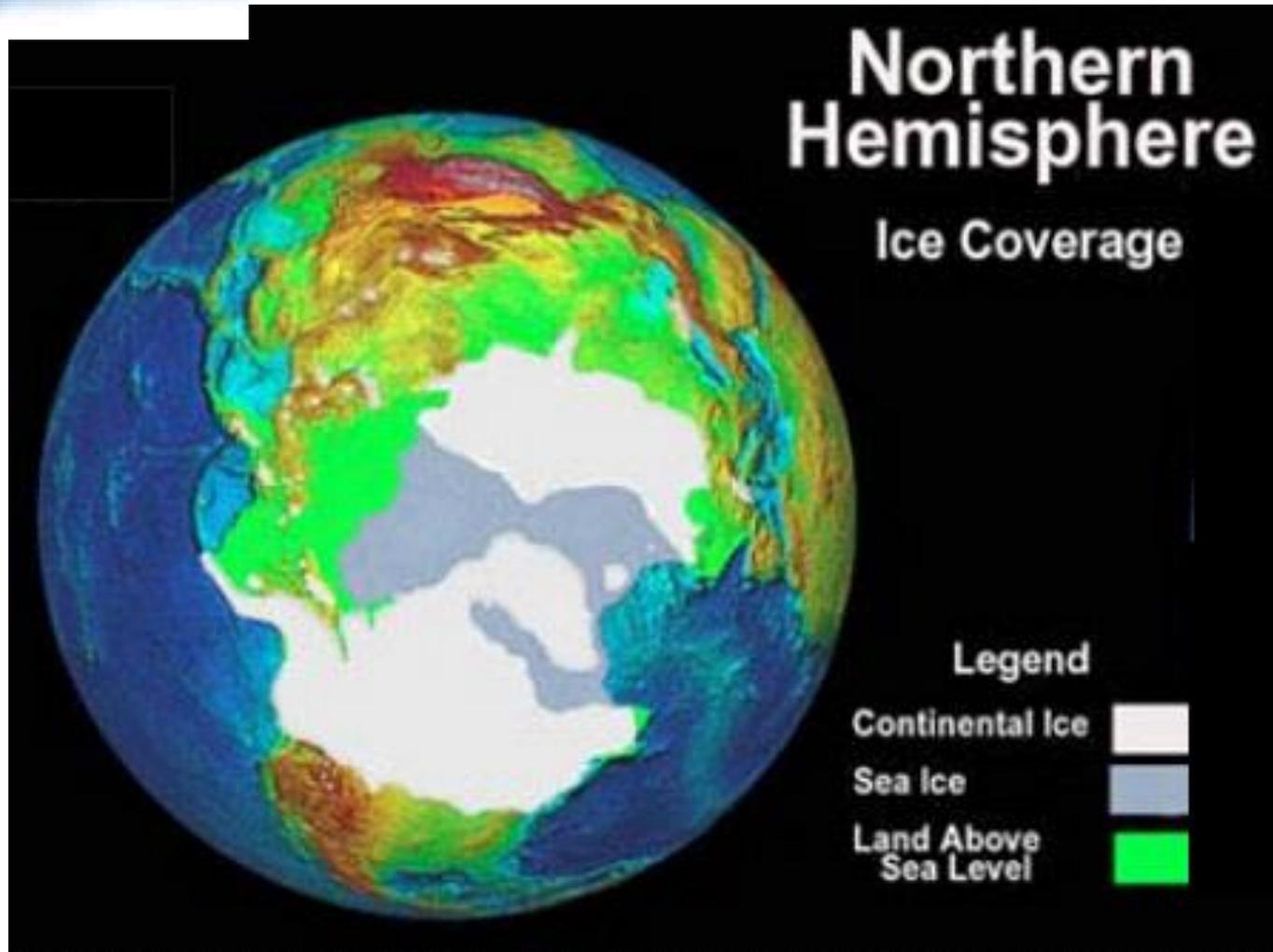
## HEs : collapses des glaciers boréaux



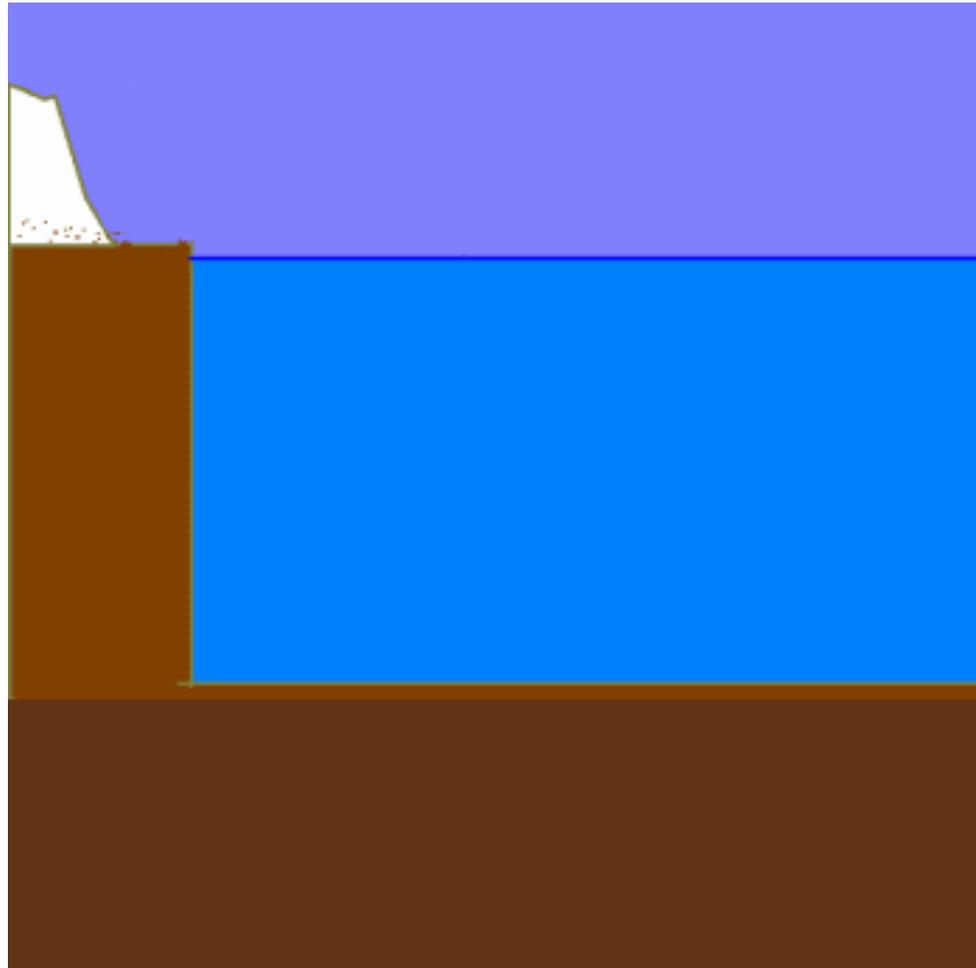
(Ruddiman, 2001)



= liés à une taille maximale et critique  
des calottes nordiques



## LES EVENEMENTS DE HEINRICH



Par **Anu Reijonen**,  
étudiante en Maîtrise « Sciences de l'environnement-océanologie »,  
Université Bordeaux I

# 1. Introduction aux mécanismes des changements climatiques

- 1.1. Définitions
- 1.2. Forcages externes
- 1.3. Forcages internes

# 2. Les extrema climatiques des derniers 150 000 ans

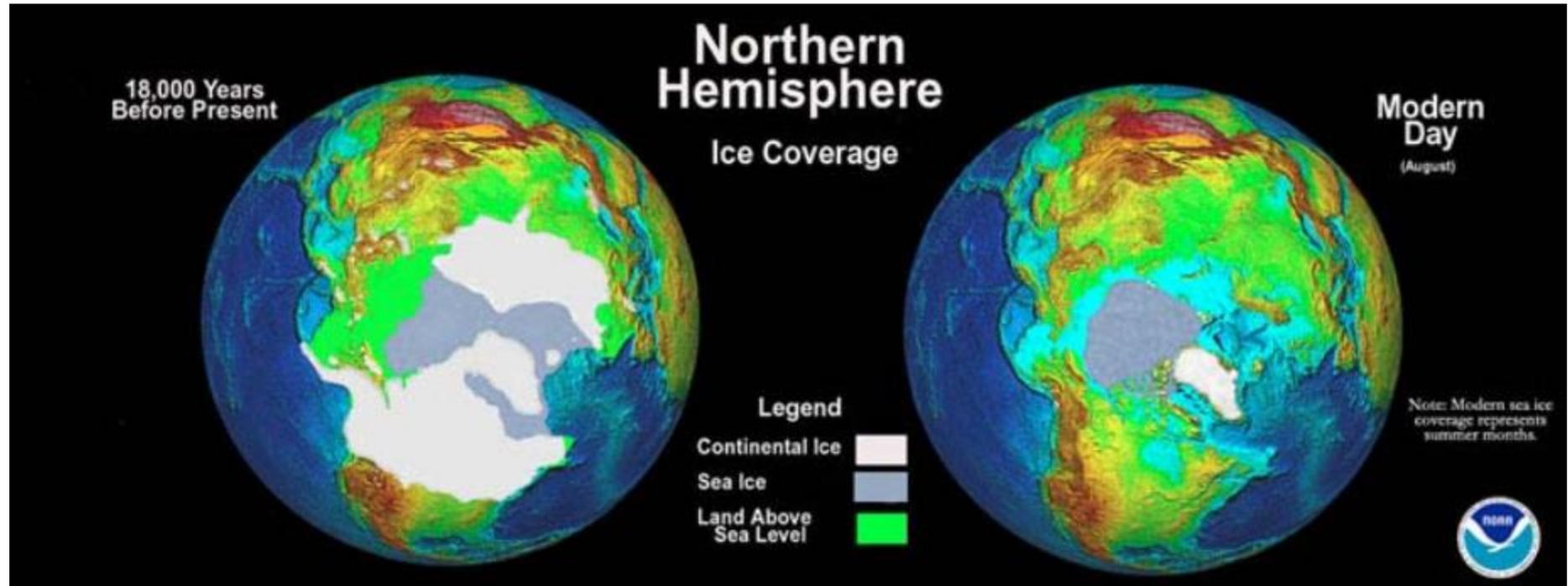
- 2.1. L' Eémien
- 2.2. Les évènements de Heinrich

# 3. Zoom sur les derniers 30 000 ans

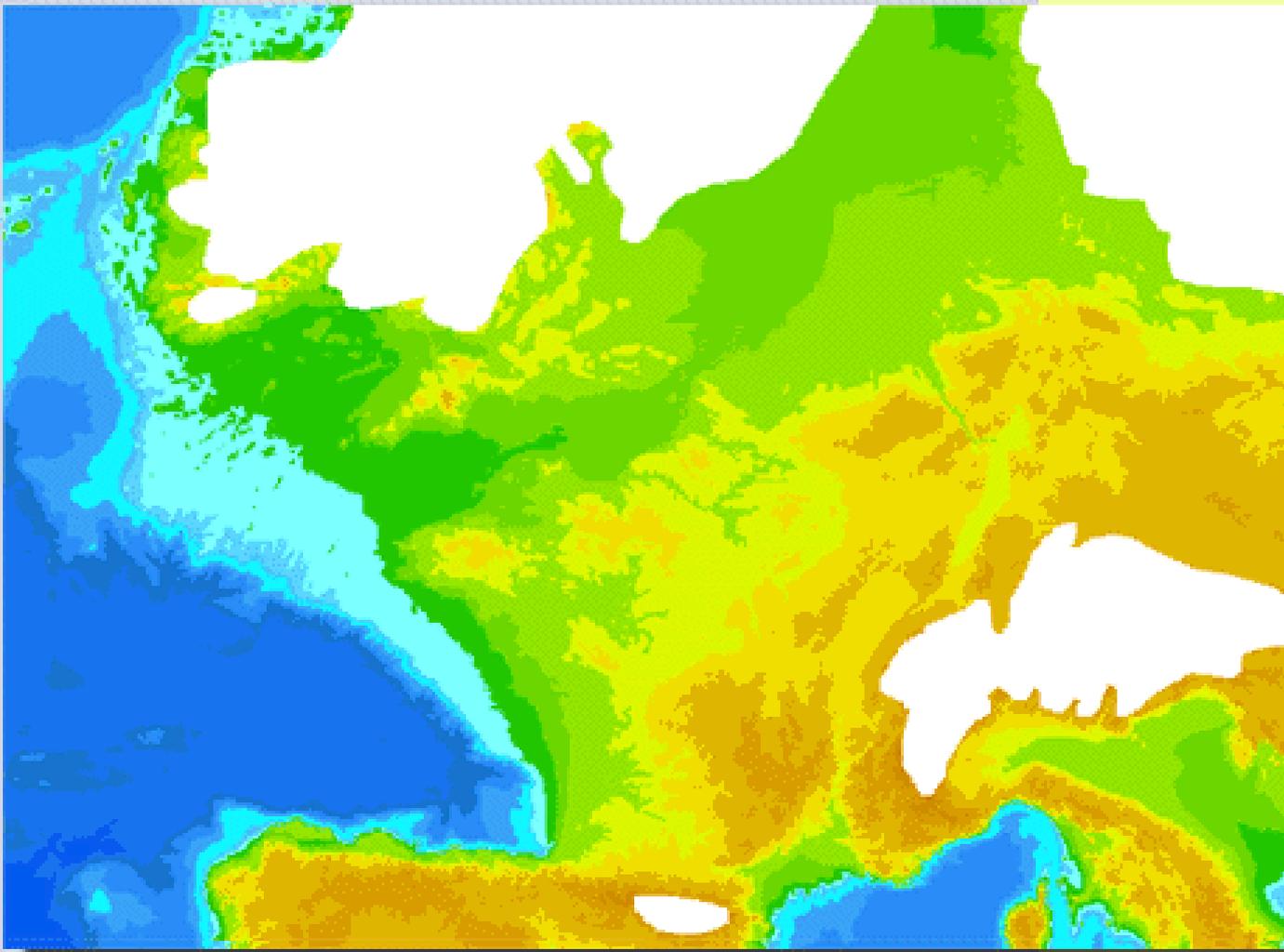
- 3.1. Le dernier maximum glaciaire
- 3.2. L' Holocène moyen
- 3.3. Les derniers 1000 ans

... il y a 20 000 ans,  
“L’Europe :  
royaume des glaces...”

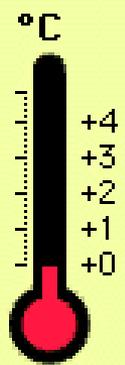
= *le Dernier Maximum Glaciaire (DMG)*



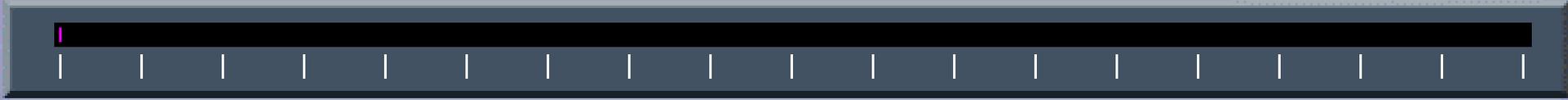
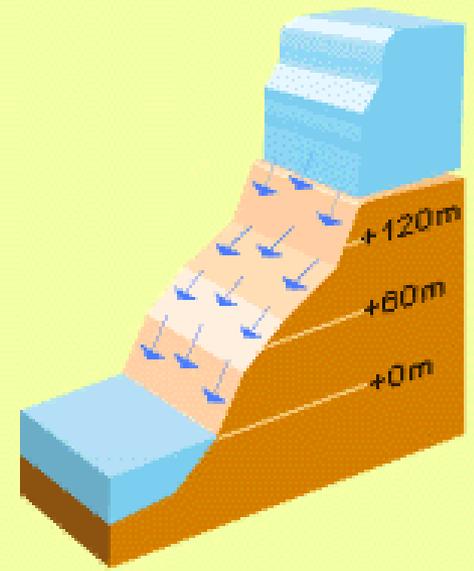
## *Le Dernier Maximum Glaciaire, DMG*



**Ifremer**



Elévation de la température moyenne sur la Terre

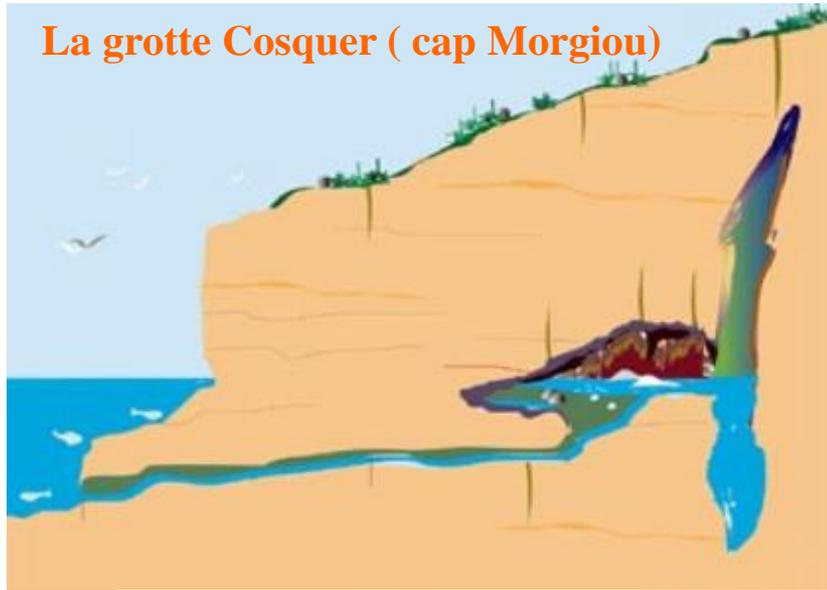


18 000    16 000    14 000    12 000    10 000    8 000    6 000    4 000    2 000    0

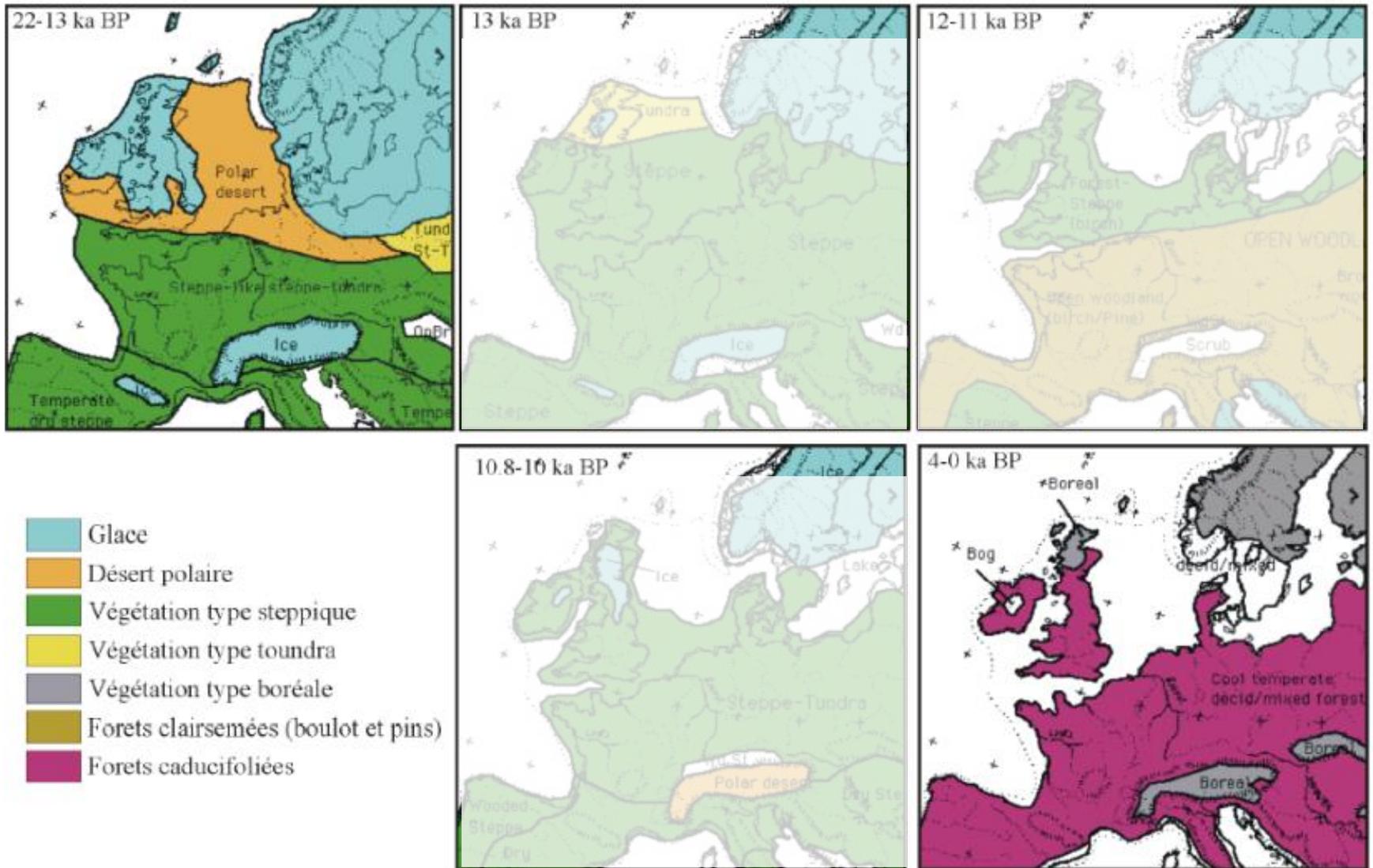
**La grotte Cosquer ( cap Morgiou)**

= oeuvres peintes et gravées  
il y a environ 27 000 et 19 000 ans

↓  
**-37**

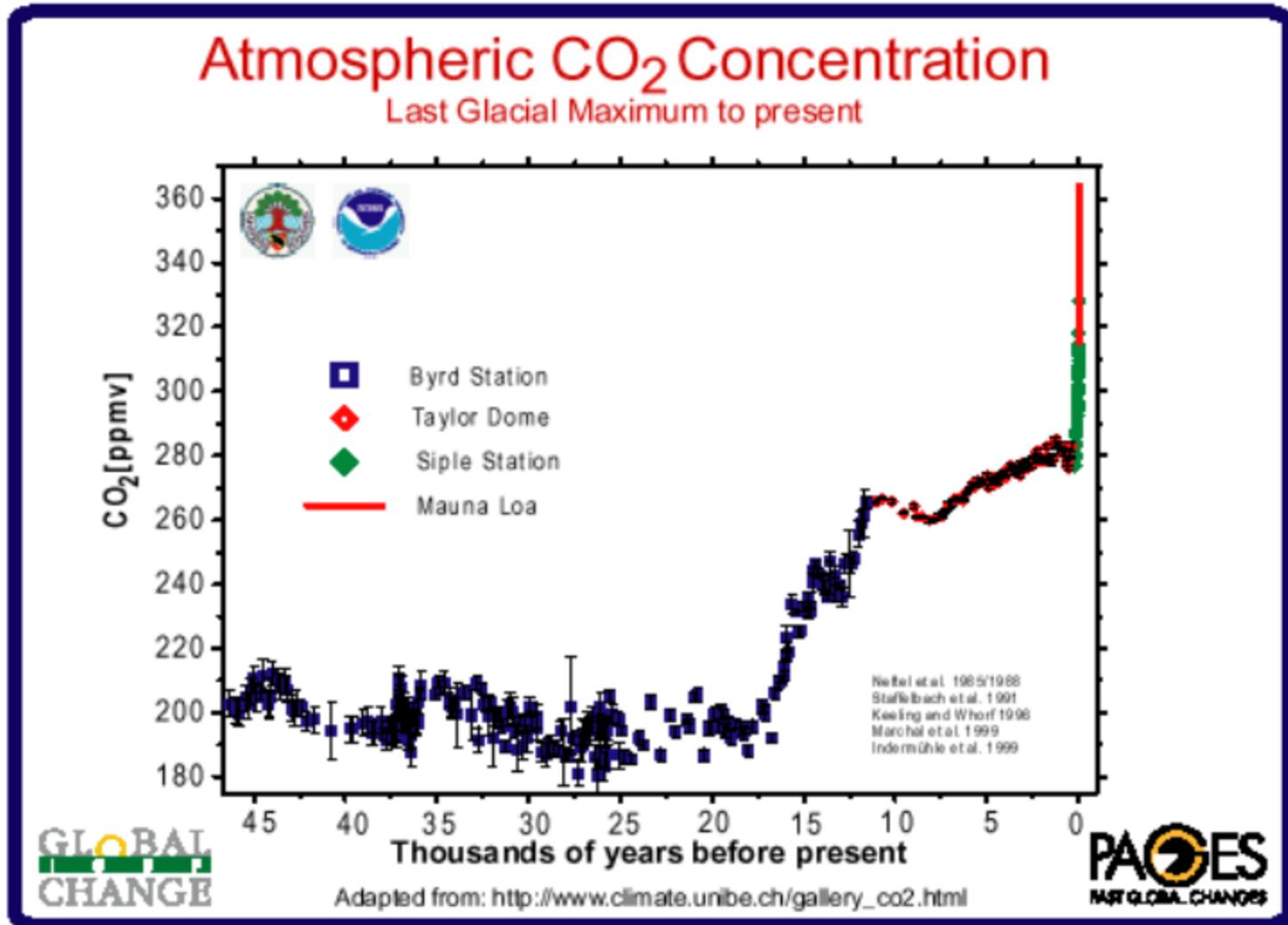


(Source : <http://www.culture.gouv.fr/culture/archeosm/fr/fr-cosqu1.htm>)



Reconstitution paléoenvironnementale de l'Europe de l'ouest du Dernier Maximum Glaciaire à l'actuel (d'après Adams, 2000).

# Et le CO<sub>2</sub>? Valeurs glaciaires moyennes de 190 ppm



# 1. Introduction aux mécanismes des changements climatiques

- 1.1. Définitions
- 1.2. Forcages externes
- 1.3. Forcages internes

# 2. Les extrema climatiques des derniers 150 000 ans

- 2.1. L' Eémien
- 2.2. Les évènements de Heinrich

# 3. Zoom sur les derniers 30000 ans

- 3.1. Le dernier maximum glaciaire
- 3.2. L' Holocène moyen
- 3.3. Les derniers 1000 ans

...il y a 6 000 ans,  
le “desert” saharien...  
= l’Holocène moyen

18 000 ans BP

6 000 ans BP

Aujourd'hui



D'après Duplessy.



**Optimum climatique en Afrique : un Sahara ... verdoyant...**

# 1. Introduction aux mécanismes des changements climatiques

- 1.1. Définitions
- 1.2. Forcages externes
- 1.3. Forcages internes

# 2. Les extrema climatiques des derniers 150 000 ans

- 2.1. L' Eémien
- 2.2. Les évènements de Heinrich

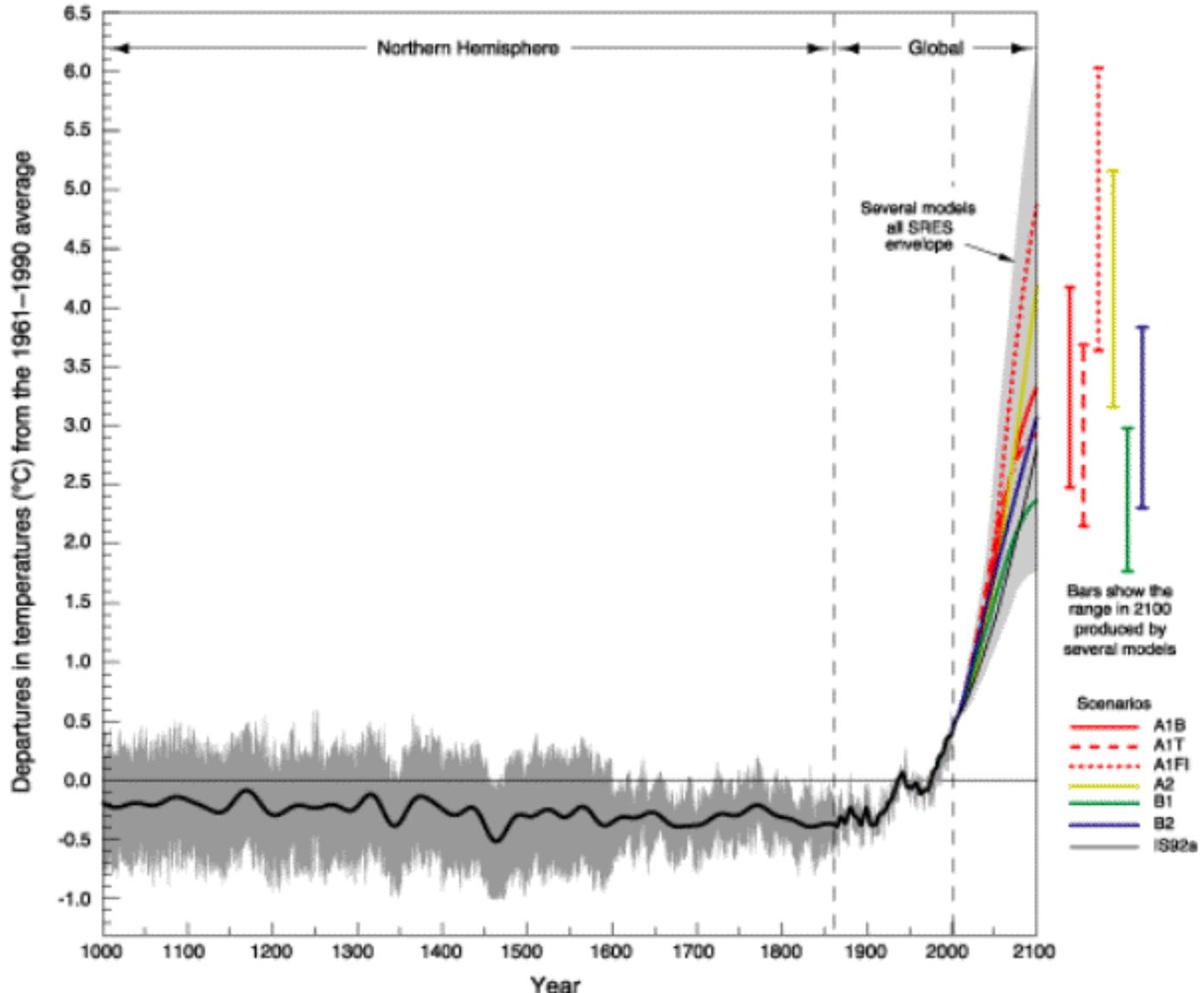
# 3. Zoom sur les derniers 30000 ans

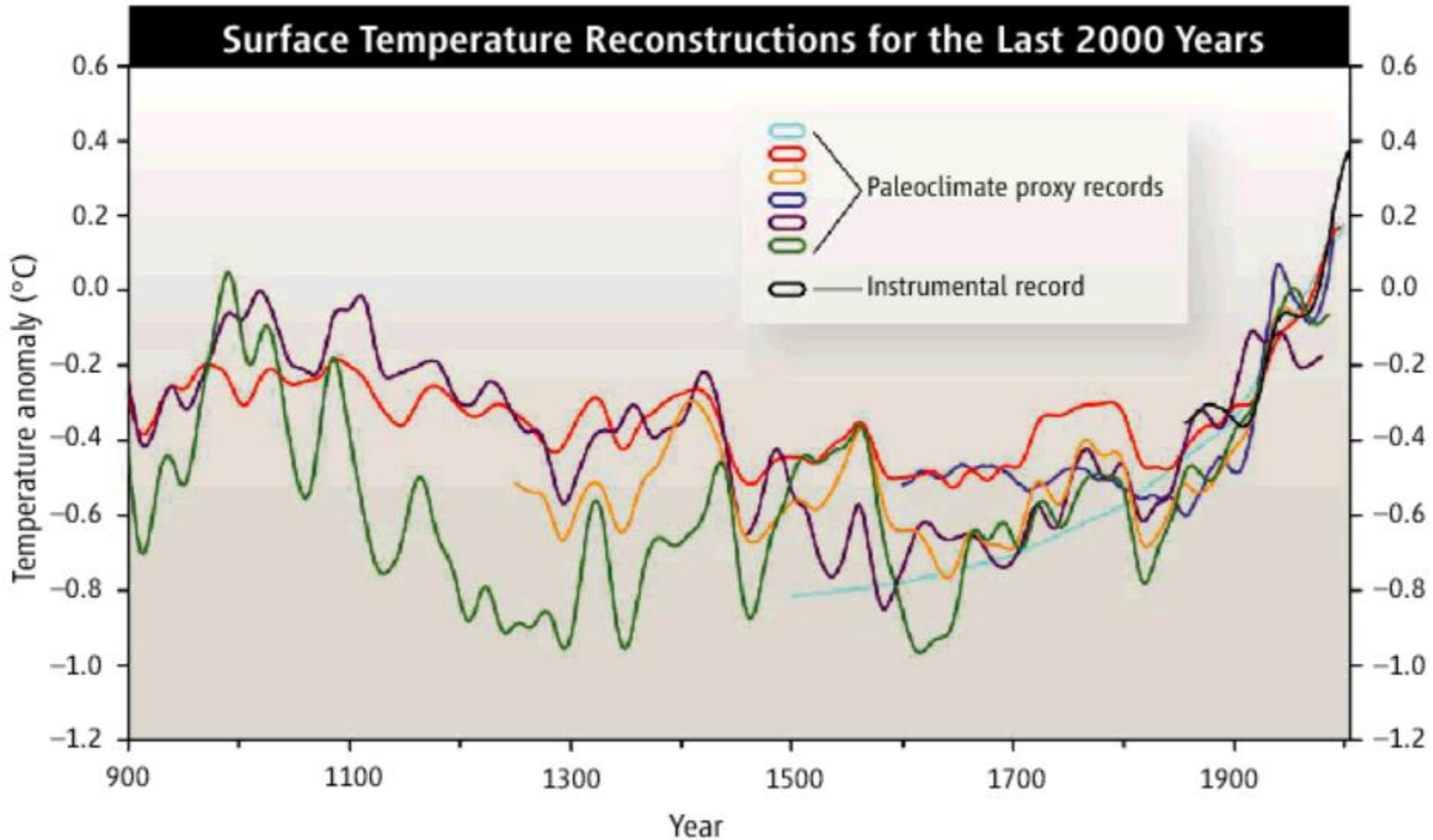
- 3.1. Le dernier maximum glaciaire
- 3.2. L' Holocène moyen
- 3.3. Les derniers 1000 ans

**...les derniers 1000 ans**

### Variations of the Earth's surface temperature: 1000 to 2100.

1000 to 1861, N.Hemisphere, proxy data; 1861 to 2000 Global, instrumental;  
2000 to 2100, SRES projections





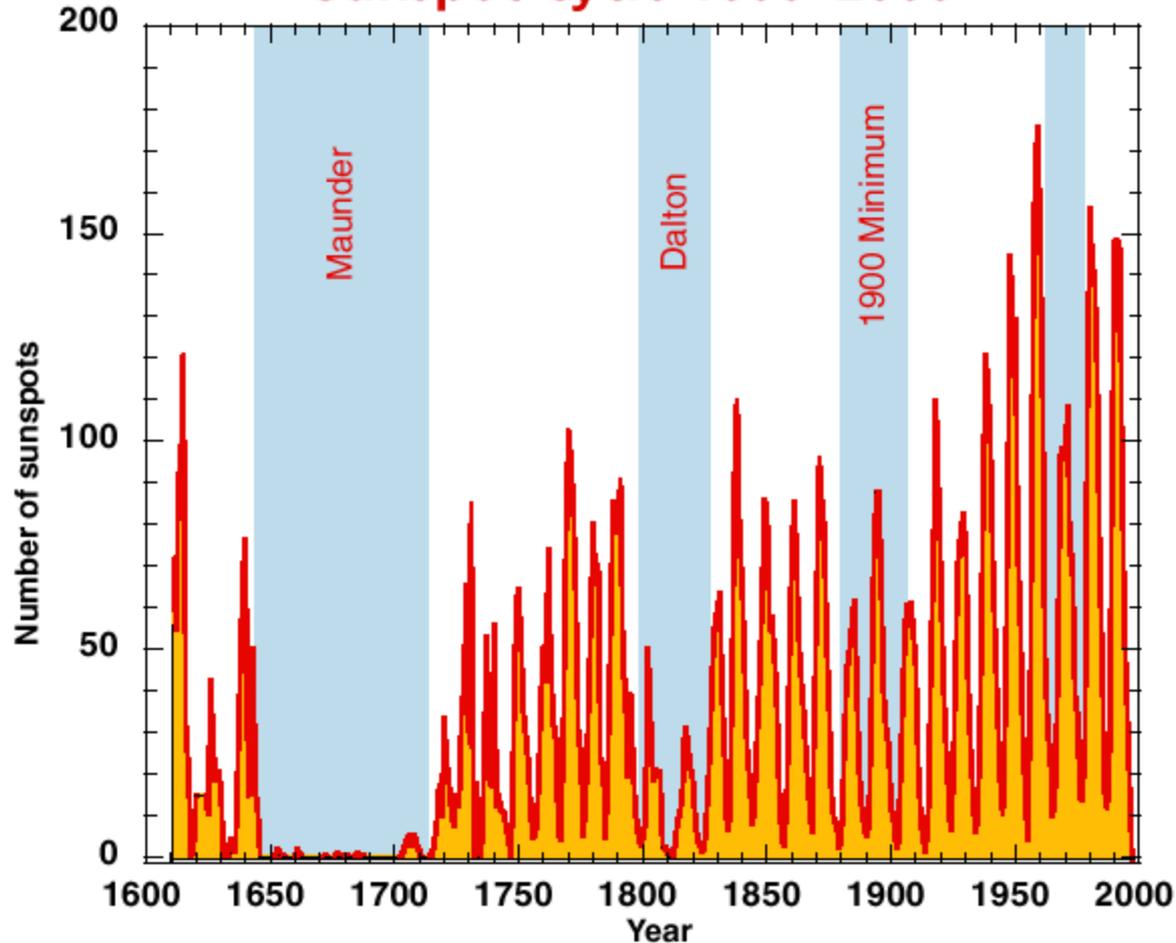
D'après KERR, 2006 VOL SCIENCE 312, [www.sciencemag.org](http://www.sciencemag.org)

**...les derniers siècles**



Bruegel Pieter the Elder - Brugel  
Winter (Hunters in the Snow). 1569 Brussel (Vienna, Kunsthistorisches Museum )

## Sunspot Cycle 1600–2000



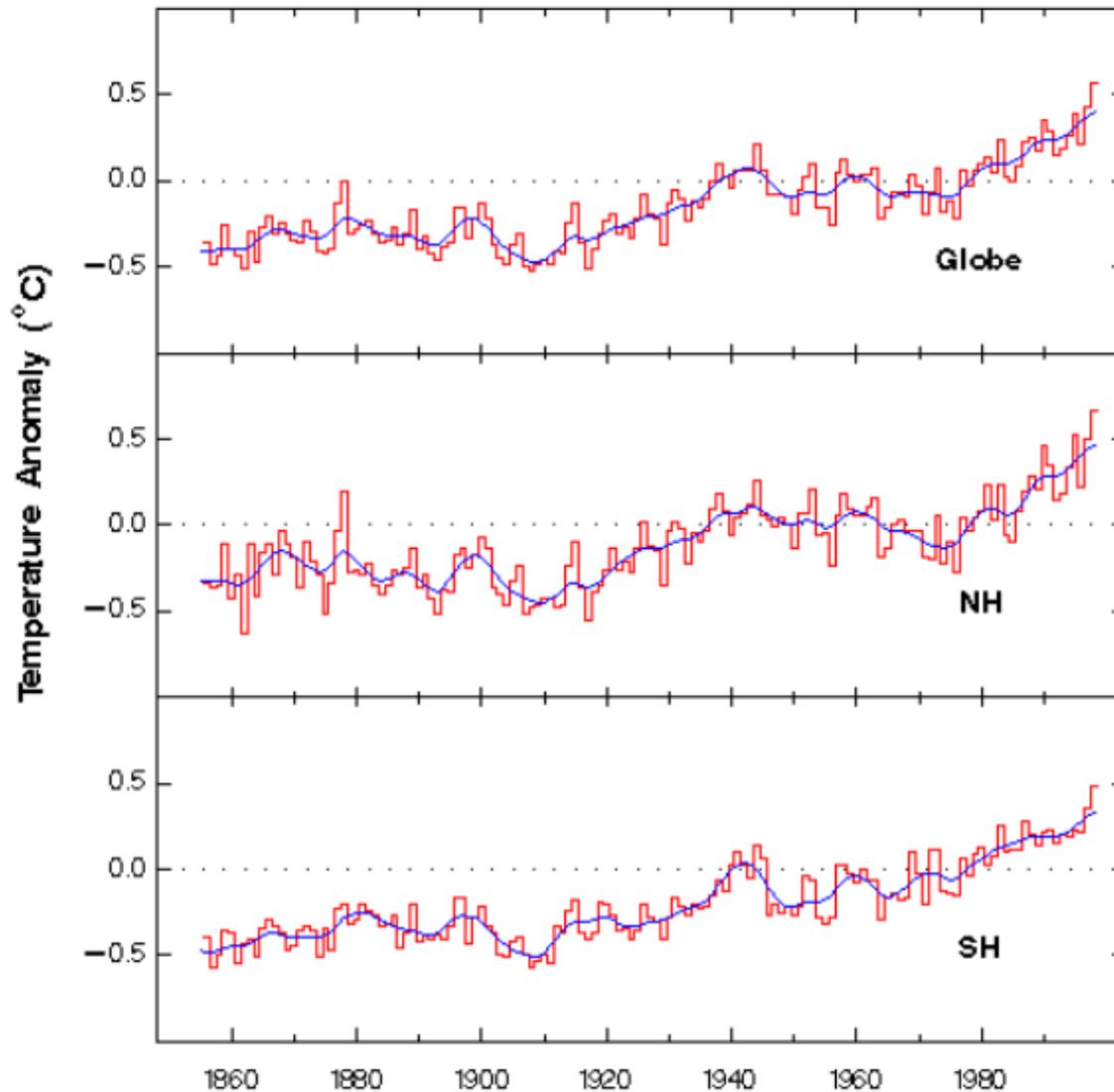
Past Global Changes and Their Significance for the Future

Alverson, Oldfield and Bradley eds.

Beer *et al.* (2000) *QSR*, 19 403–15.

After Hoyt and Schatten (1998) *Solar Physics*, 179, 189–219.

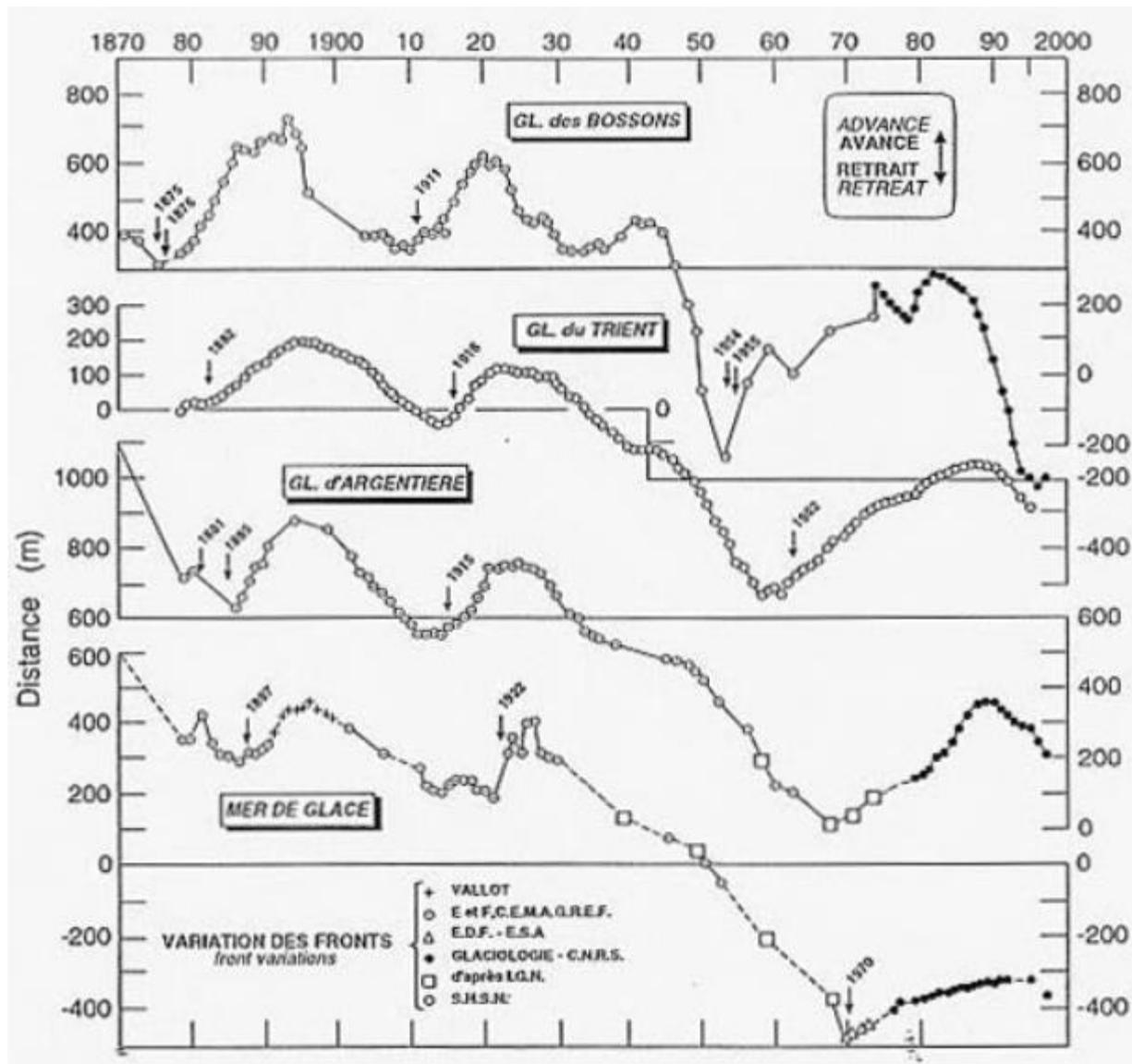
## Global and Hemispheric Annual Temperature Anomalies 1856–1998



Source: P. D. Jones, T. J. Osborn, and K. R. Briffa  
University of East Anglia, Norwich, UK  
D. E. Parker, Met. Office, Bracknell, Berkshire, UK

$\Delta$  activité solaire = pas la cause majeure du réchauffement climatique (augmentation de température de  $0,6^{\circ}\text{C}$  depuis un siècle).

NB : augmentation du rayonnement solaire se traduit par une augmentation du bilan radiatif de la Terre de  $0,2 \text{ W/m}^2$ , contre  $0,35 \text{ W/m}^2$  par décennie dus aux effets anthropiques:



Les fluctuations des glaciers du versant Nord du Mont-Blanc  
(L.Reynaud ; LGGE, Grenoble)



MER DE GLACE NEE DU MONT ANVERS PAR HERMANN



**... et demain ?**

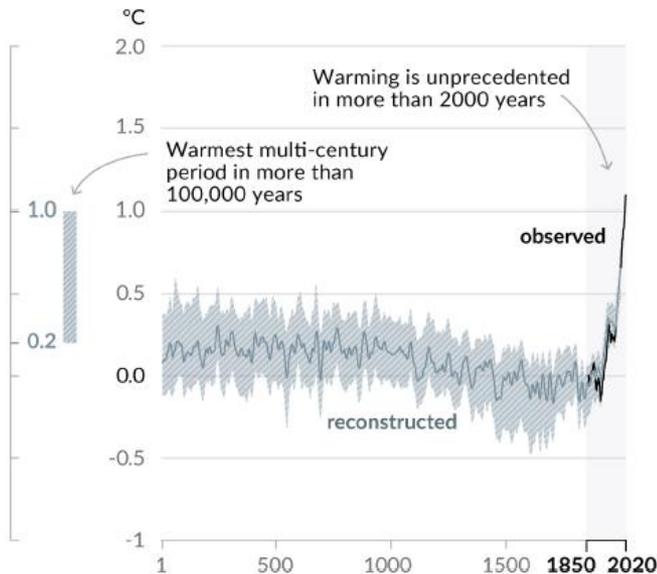


# Human influence has warmed the climate at a rate that is unprecedented in at least the last 2000 years

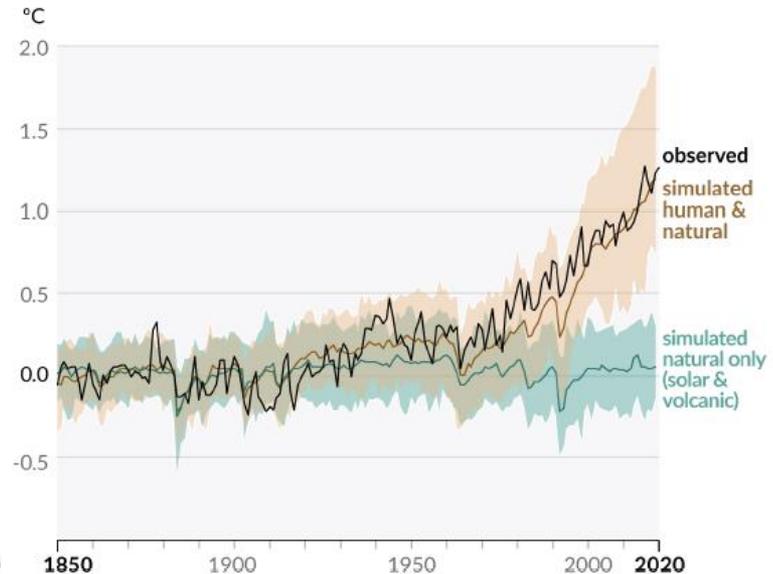
Figure SPM.1

## Changes in global surface temperature relative to 1850-1900

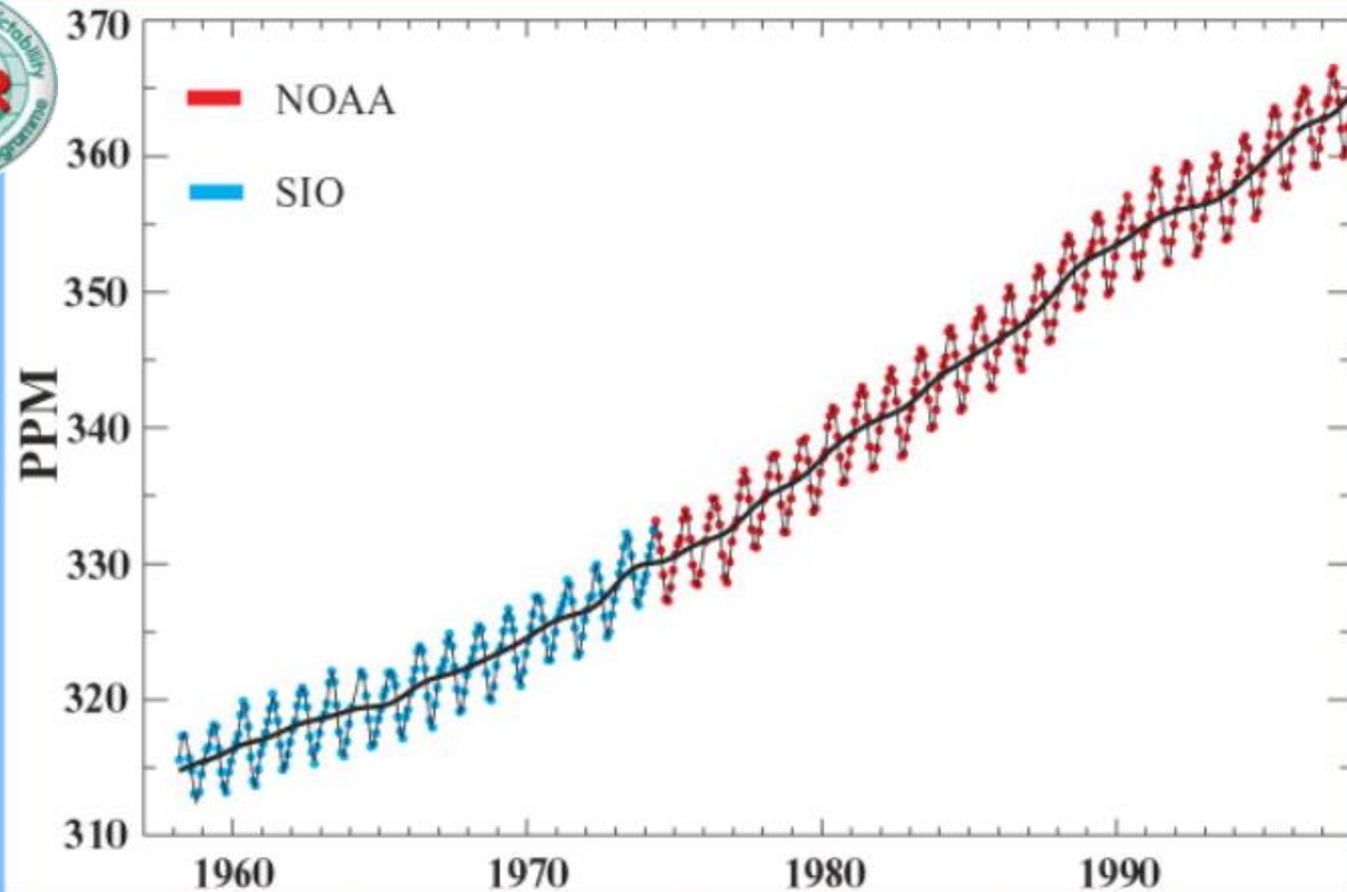
a) Change in global surface temperature (decadal average) as **reconstructed** (1-2000) and **observed** (1850-2020)



b) Change in global surface temperature (annual average) as **observed** and simulated using **human & natural** and **only natural** factors (both 1850-2020)

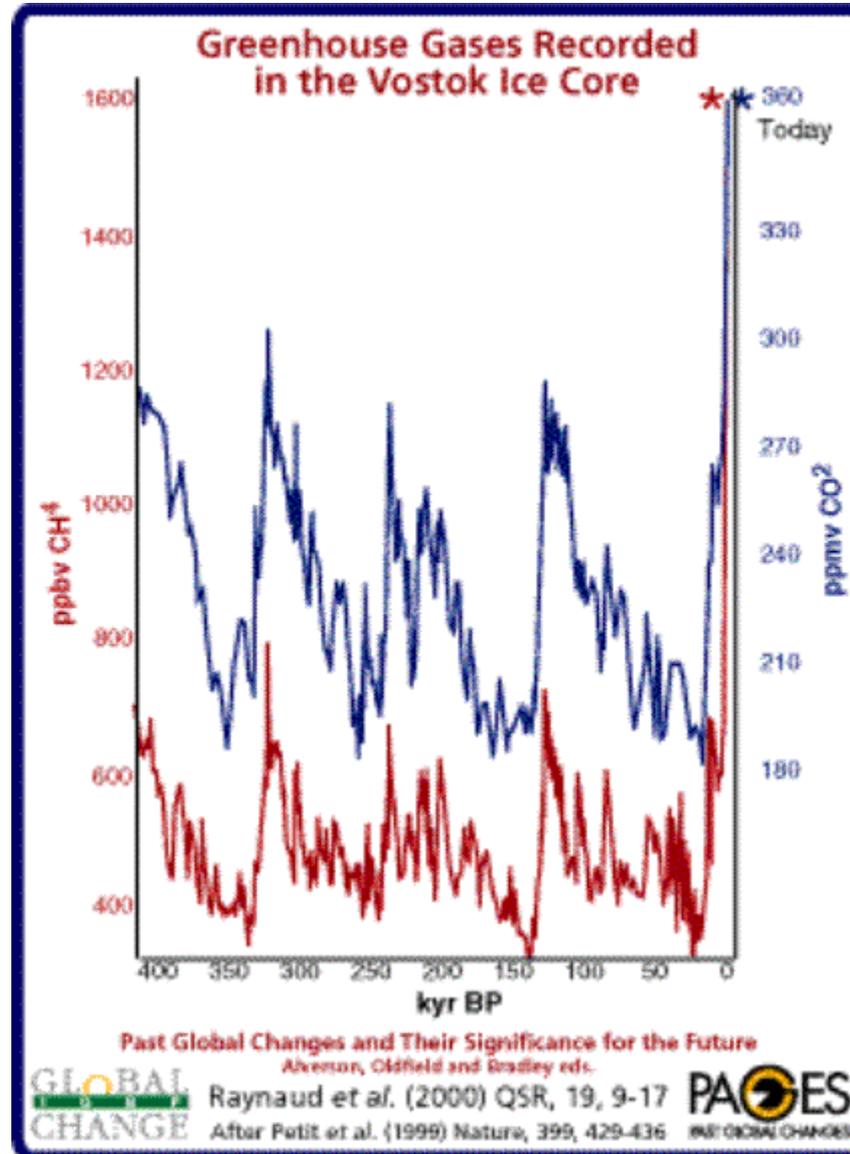


# The Fever Curve of the Earth - Increasing CO<sub>2</sub> Concentrations

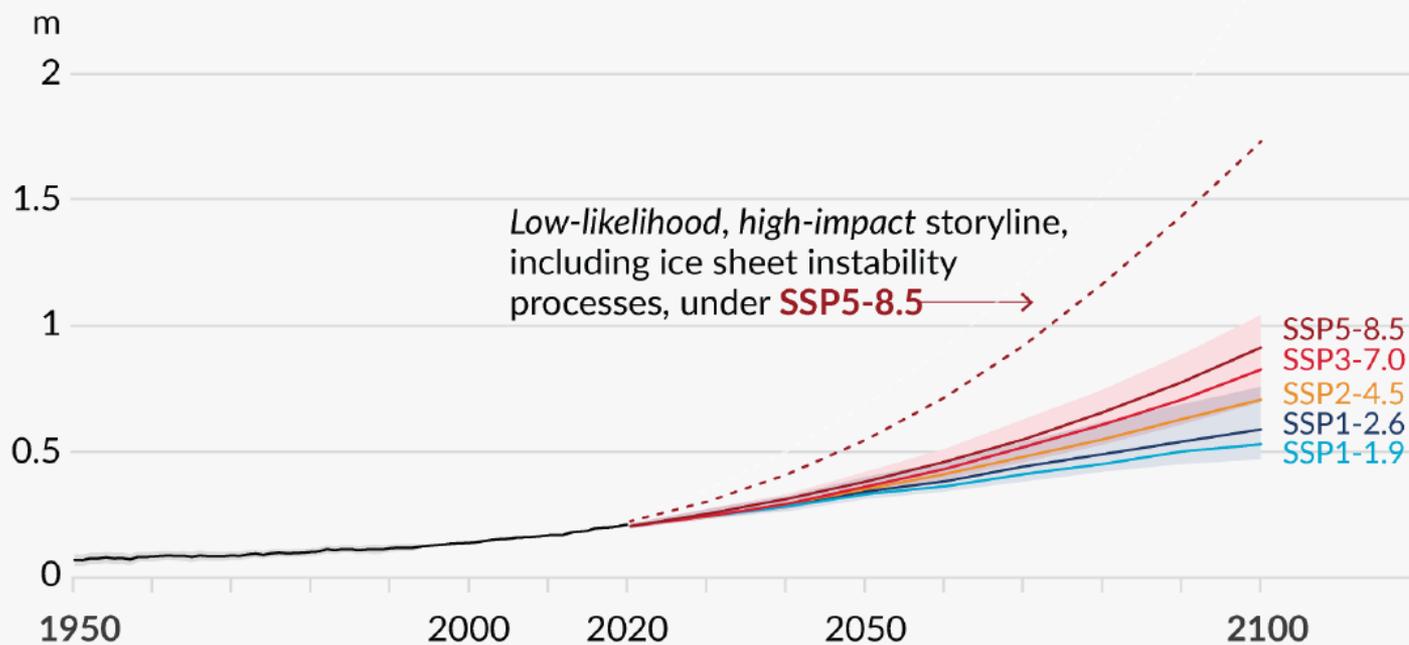


Monthly mean carbon dioxide concentrations (ppm) measured at Mauna Loa, HI, USA. The black line is the 12-month running mean. The data through 1974 are from C.D. Keeling at Scripps Institution of Oceanography (blue dots), and the data since May 1974 are from NOAA (red dots). Analysis provided from Climate Monitoring and Diagnostics Laboratory (from BAMS, 1999, 80, S1-48).

AV/A1/99-7

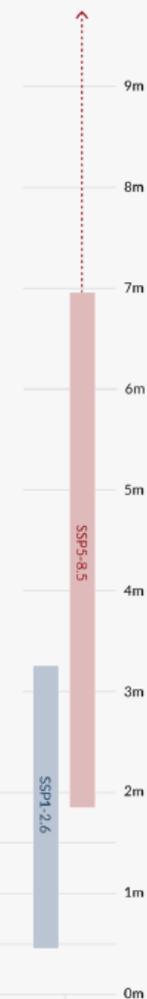


d) Global mean sea level change relative to 1900



e) Global mean sea level change in 2300 relative to 1900

Sea level rise greater than 15m cannot be ruled out with high emissions



d) Global mean sea level change relative to 1900

