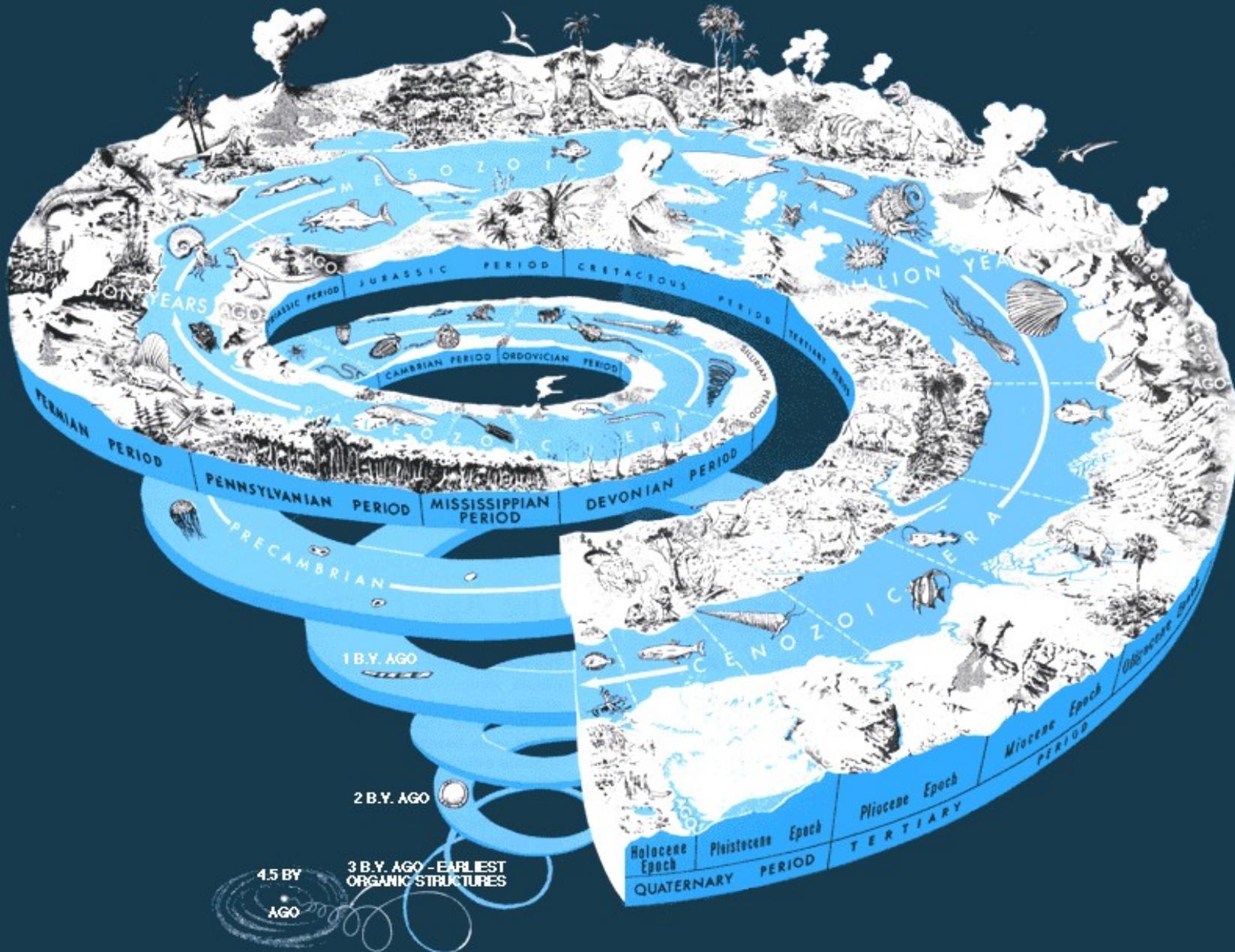


Le climat à travers les âges



Le climat à travers les âges

1. Reconstruire le climat passé et ses moteurs

- Reconstruire les moteurs du climat
- Reconstruire les données climatiques

2. Le climat passé

- Les 2 derniers millénaires
- Le dernier million d'années : ères glaciaires et interglaciaires
- Les derniers 500 millions d'années

Le climat à travers les âges

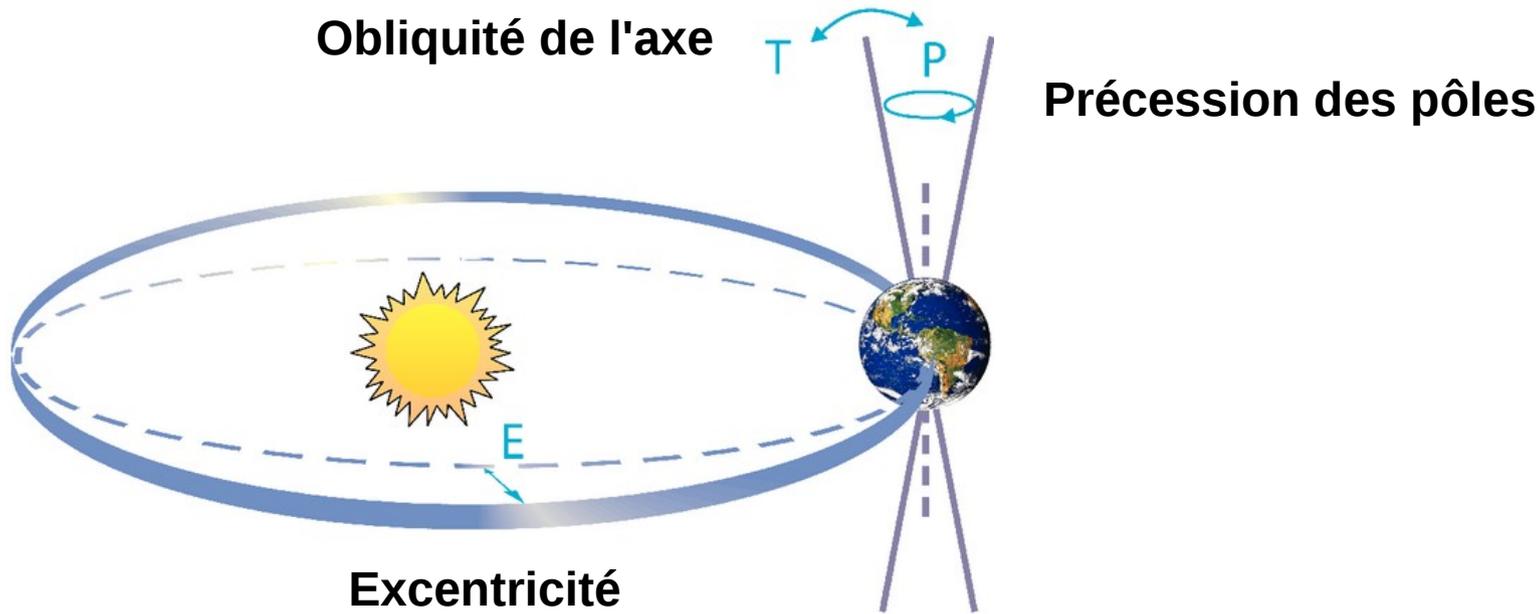
1. Reconstruire le climat passé et ses moteurs

- Reconstruire les moteurs du climat
- Reconstruire les données climatiques

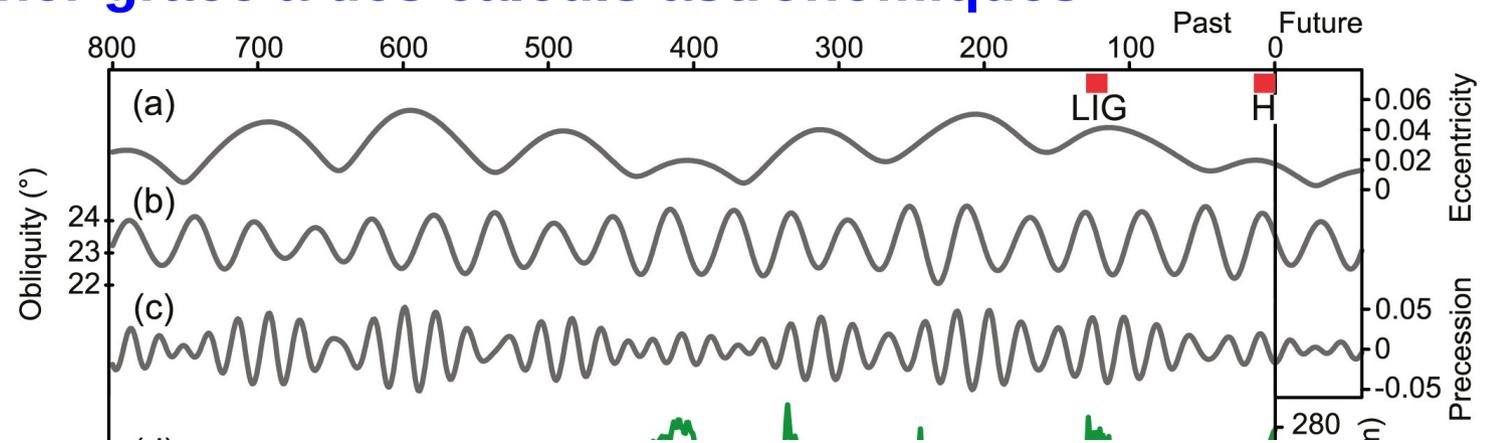
2. Le climat passé

- Les 2 derniers millénaires
- Le dernier million d'années : ères glaciaires et interglaciaires
- Les derniers 500 millions d'années

Facteurs astronomiques



On sait les déterminer grâce à des calculs astronomiques



Sources : IPCC-AR5 5.2.1.1

Soleil et activité volcanique

Forçage solaire :

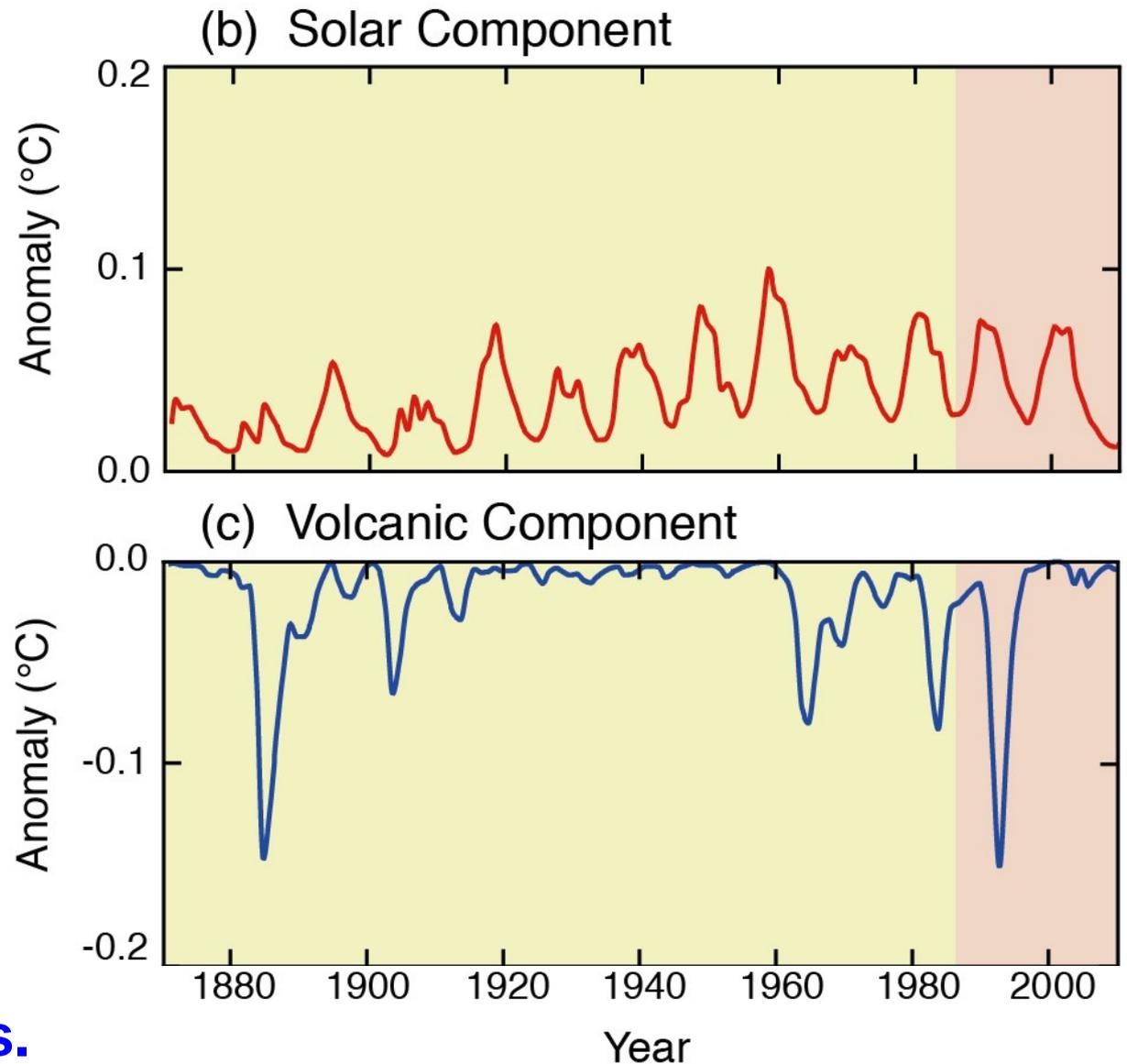
- Mesures satellites (30 ans)
- Comptage tâches solaires (400 ans)
- Isotopes « cosmogènes » ^{10}Be et ^{14}C (10 000 ans)

On ne sait pas le modéliser !

Forçage volcanique et aérosols :

- Mesures satellites (30 ans)
- dépôt sulfurés et aérosols dans carotages glaciaires (quelques milliers d'années)

Visibilité sur quelques milliers d'années, pas plus.



Sources : IPCC-AR5 5.2.1.2 et 5.2.1 .3

Gaz à effet de serre

Tous les gaz :

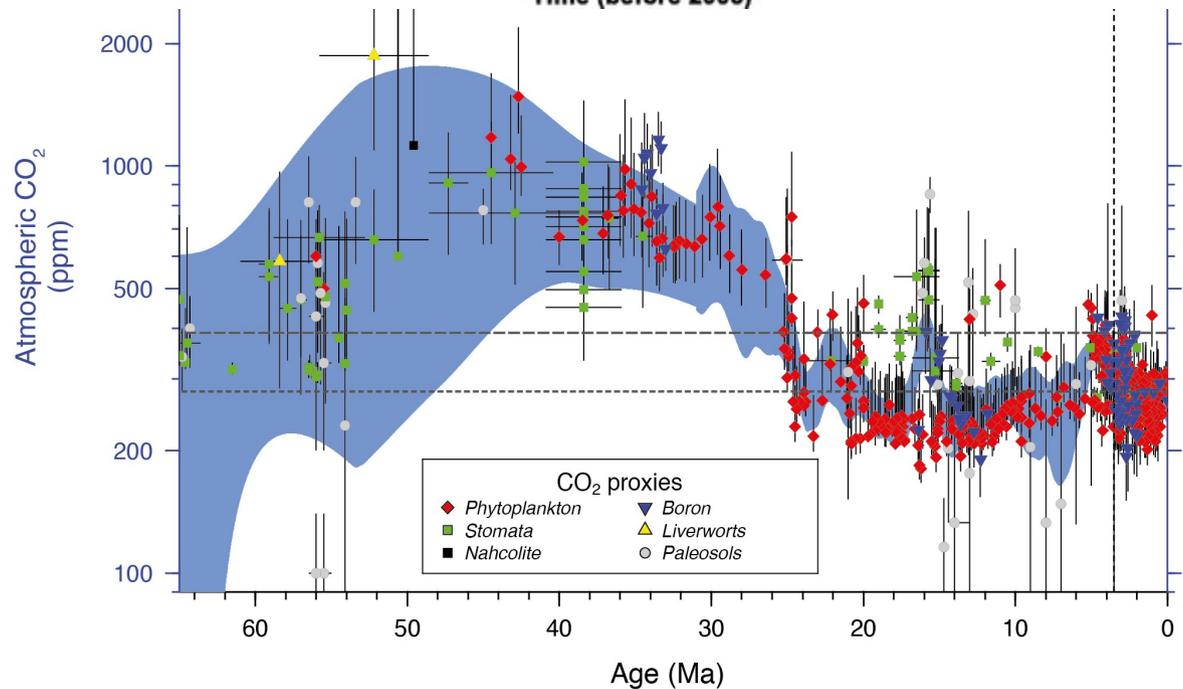
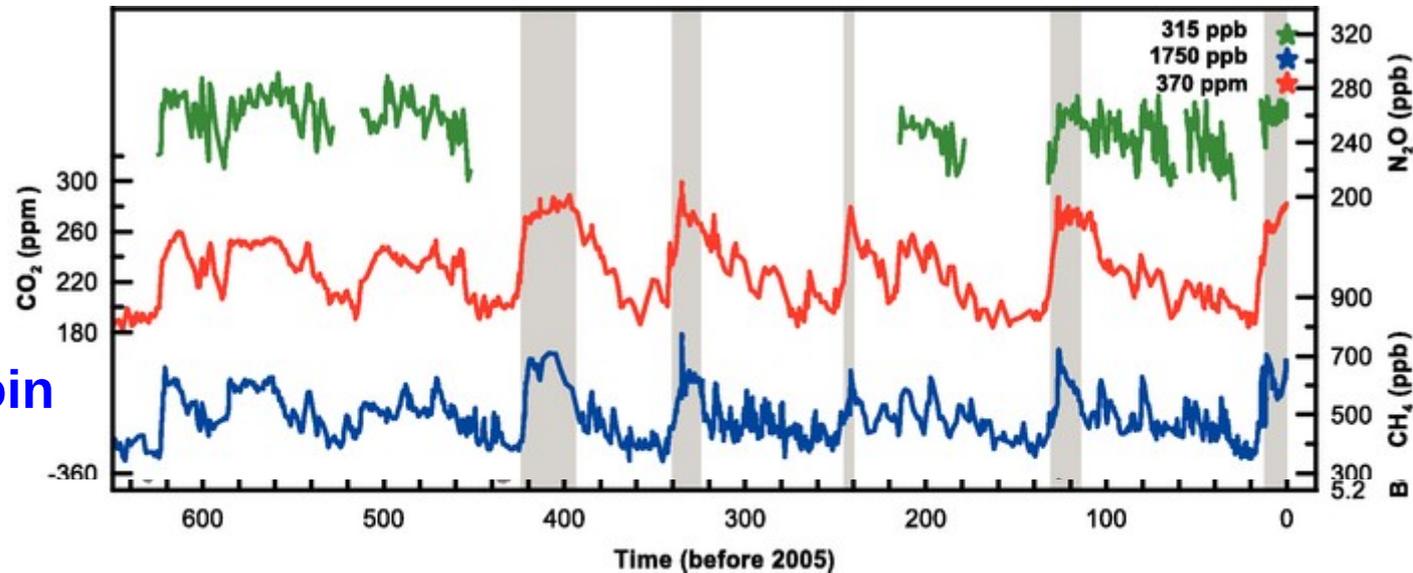
Bulles d'air des carotages de glaces des calottes glaciaires (800 000 ans)

On ne sait pas aller plus loin hors CO₂ ?

CO₂ :

- Ratios isotopiques carbone et bore dans fossiles marins (100 Ma)
- Ratios isotopiques carbones dans sols (400 Ma)
- Densité de stomates dans feuilles fossiles (400 Ma)

C'est le vivant qui nous permet de remonter le plus loin. On ne sait pas aller plus loin ?



Sources : IPCC : AR4 Fig.6.3, AR 5 Fig 5.2, AR5 5.2.2, AR5 Table 5.A.2

Le climat à travers les âges

1. Reconstruire le climat passé et ses moteurs

- Reconstruire les moteurs du climat
- Reconstruire les données climatiques

2. Le climat passé

- Les 2 derniers millénaires
- Le dernier million d'années : ères glaciaires et interglaciaires
- Les derniers 500 millions d'années

Variables climatiques

Températures de surface de l'air et des océans

- Stations de mesures (100 ans ?) et satellites (30 ans)
- Dates de vendanges (quelques siècles)
- Cernes des arbres (quelques siècles ?)
- Distribution des espèces planctoniques et polliniques dans sédiments (quelques Ma ?)
- Ratios isotopiques et moléculaires thermodépendants dans micro-organismes fossiles (150 Ma)
- Ratios isotopiques d'hydrogène et d'oxygène dans les carotages glaciaires (800 000 ans?)



Pluviométrie :

- Stations de mesures et satellites
- Spéléothèmes (stalactites, stalagmites, etc.)
- Sédiments marins et lacustres
- Cernes d'arbres
- Dates de vendanges

Calottes glaciaires

- Satellites (?) et observations (?)
- Ratio isotopique de ^{18}O dans fossiles (?) et calottes glaciaires (?) (500 Ma)

Sources : IPCC : AR4 6.2.1.4, AR5 5.3.2.3, AR5 table 5.A.3, Le Roy Ladurie : histoire du climat

On résume : reconstruire le climat

On reconstruit **les moteurs** et **les variables** climatiques.

Les **mesures** remontent **rarement à plus d'un siècle**.

On dépend beaucoup de données liées au **monde vivant au delà**.

On utilise souvent des modèles pour combler les données lacunaires.

Garder en tête que **plus on remonte dans le temps moins on est précis** tant sur la **valeur** du résultat que la **datation** (AR4 6.2.1.3)

Le climat à travers les âges

1. Reconstruire le climat passé et ses moteurs

- Reconstruire les moteurs du climat
- Reconstruire les données climatiques

2. Le climat passé

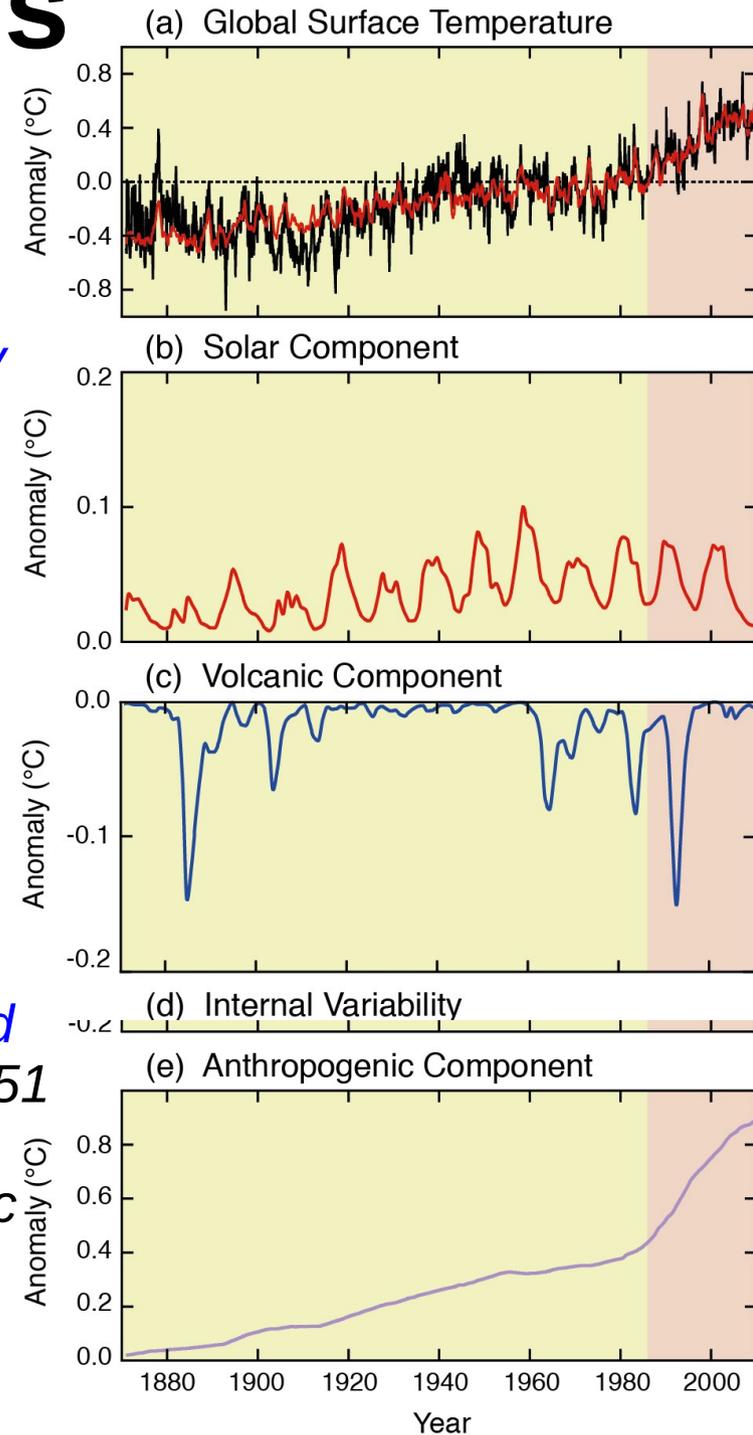
- Les 2 derniers millénaires
- Le dernier million d'années : ères glaciaires et interglaciaires
- Les derniers 500 millions d'années

Le climat depuis 100 ans

[Solar variability] cannot explain the observed increase since [...] the late 1970s

There is high confidence that the effects of solar activity [...] will be much smaller than the changes due to anthropogenic effects.

*It is **extremely likely** that more than half of the observed increase in global average surface temperature from 1951 to 2010 was caused by the anthropogenic increase in greenhouse gas concentrations and other anthropogenic forcings together.*



Sources : IPCC : AR5 SPM D.3, AR5 FAQ 5.1



Le climat depuis 1 000 ans

Petit âge glaciaire (1450 à 1850)

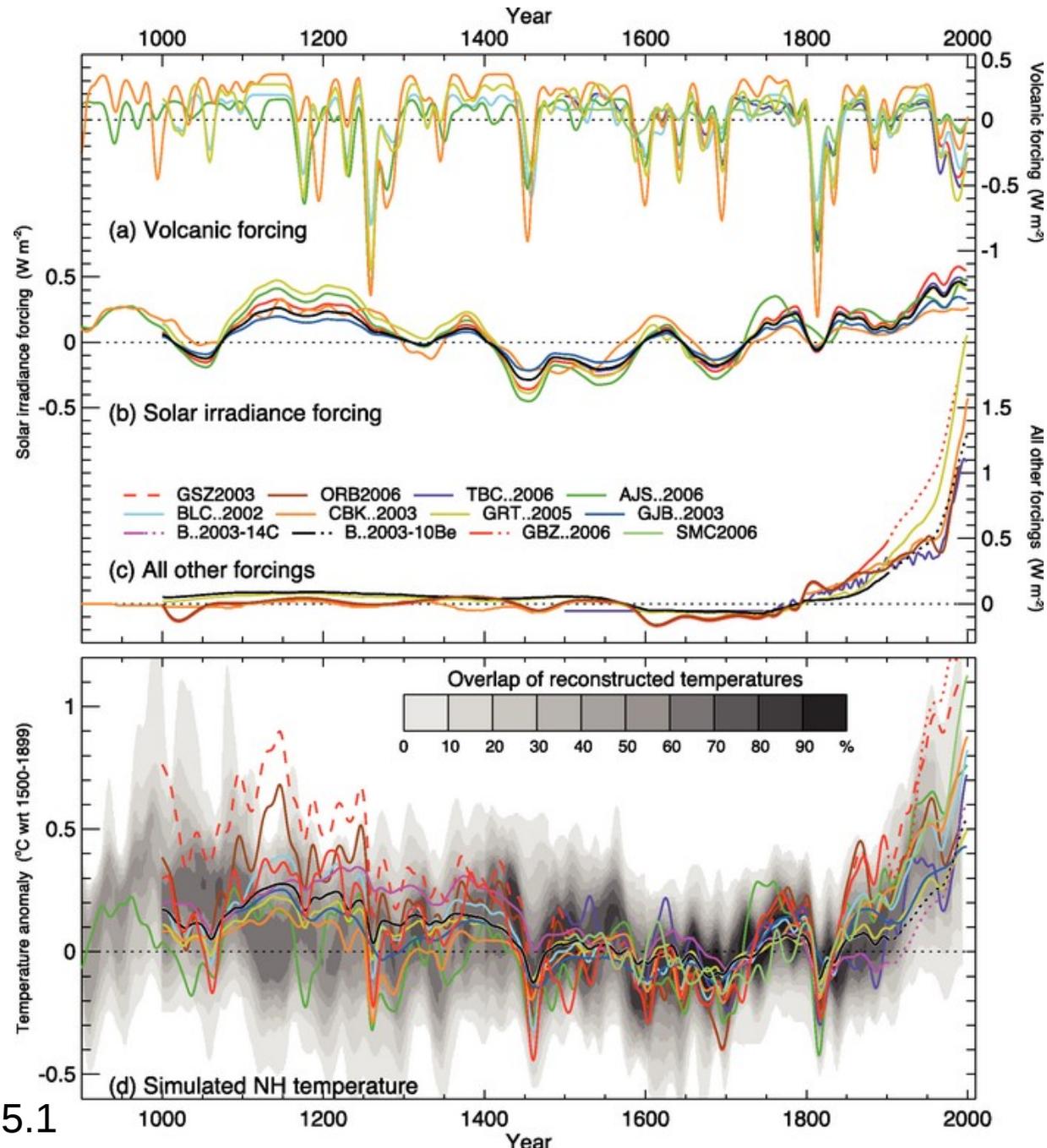
Optimum médiéval (950 à 1250)

Des archives historiques attestant de périodes plus ou moins favorables dans l'hémisphère nord.

Un phénomène complexe avec des effets variés selon les régions.

Cause : forçage solaire ?

High confidence that the mean North Hemisphere temperature of the last 30 or 50 years very likely exceeded any previous 30- or 50-year mean during the past 800 years.



Sources : IPCC : AR4 Fig 6.13, AR5 5.3.5.1

Le climat à travers les âges

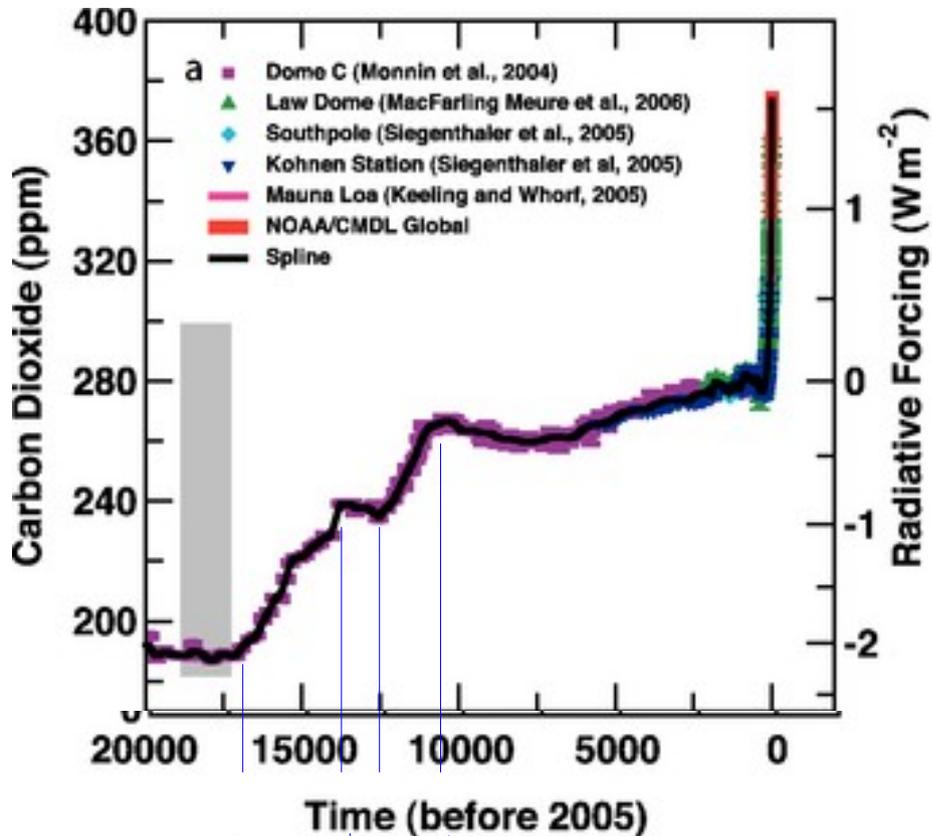
1. Reconstruire le climat passé et ses moteurs

- Reconstruire les moteurs du climat
- Reconstruire les données climatiques

2. Le climat passé

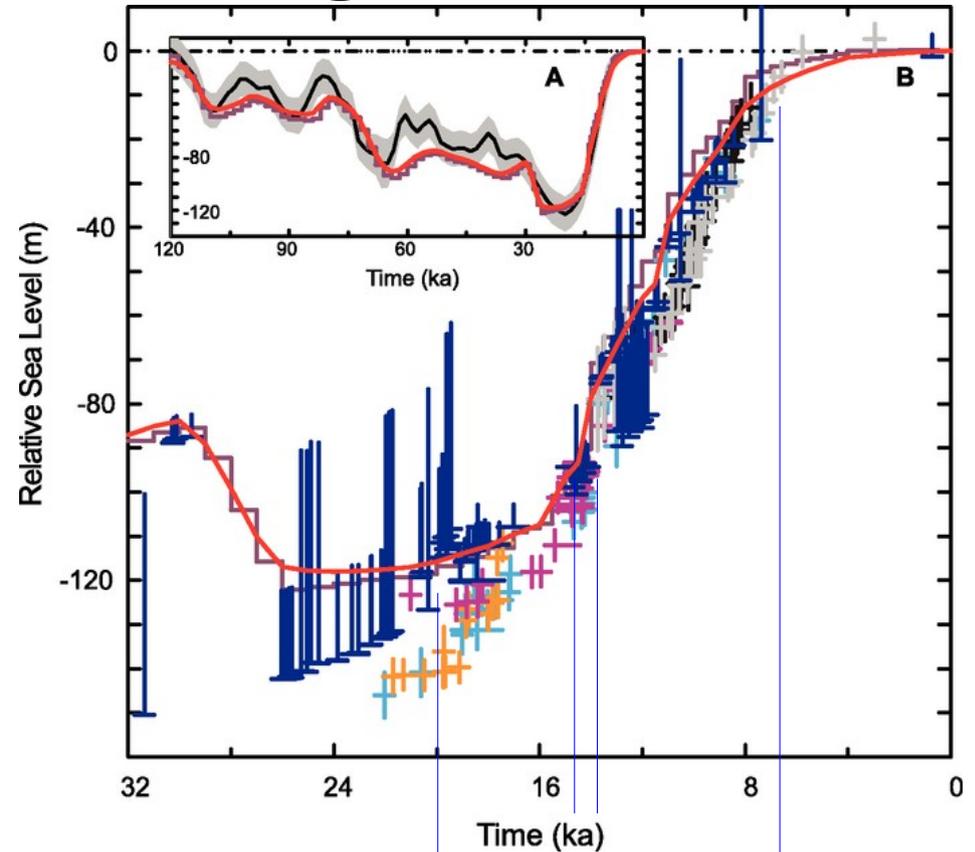
- Les 2 derniers millénaires
- Le dernier million d'années : ères glaciaires et interglaciaires
- Les derniers 500 millions d'années

Derniers 20 000 ans : déglaciation



- 17 500 à - 10 000 : +3 à +8°C
 +0,5°C/1000 ans ; Max à 1,5°C/1000 ans

Augmentation du CO2 (et température ?) sans précédent depuis 22 000 ans (high confidence)



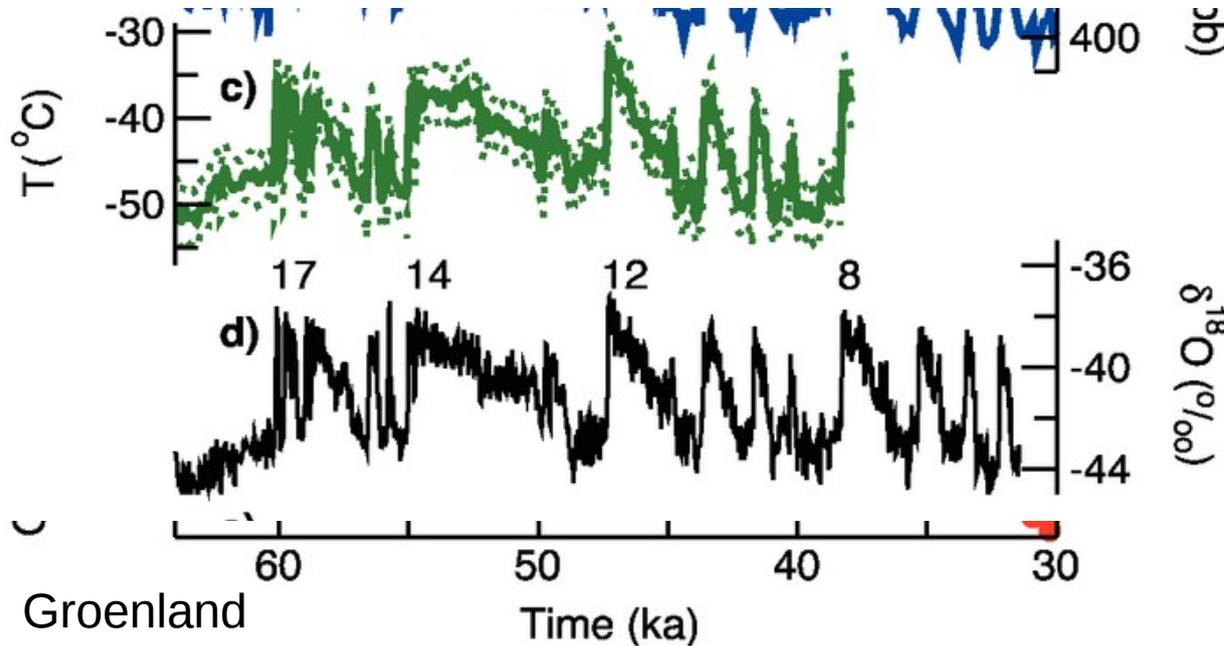
Meltwater Pulse 1A :
 20 m en 340 ans - **5 m par siècle !**

130 m en 13 000 ans - 1,3 m par siècle

1993 à 2012 - 0,3 m par siècle

Sources : IPCC : AR4 Fig 6.4, AR 4 Fig 6.8, AR5 5.6.3, AR5 FAQ 5.2, AR 5.3.2

Dernière glaciation et changements abrupts



- 20 000 à - 115 000 ans

26 Dansgaard-Oeschger events :

- Réchauffement au Groenland de 8°C à 16°C en quelques décennies suivi d'un refroidissement sur plusieurs siècles.

6 Heinrich events :

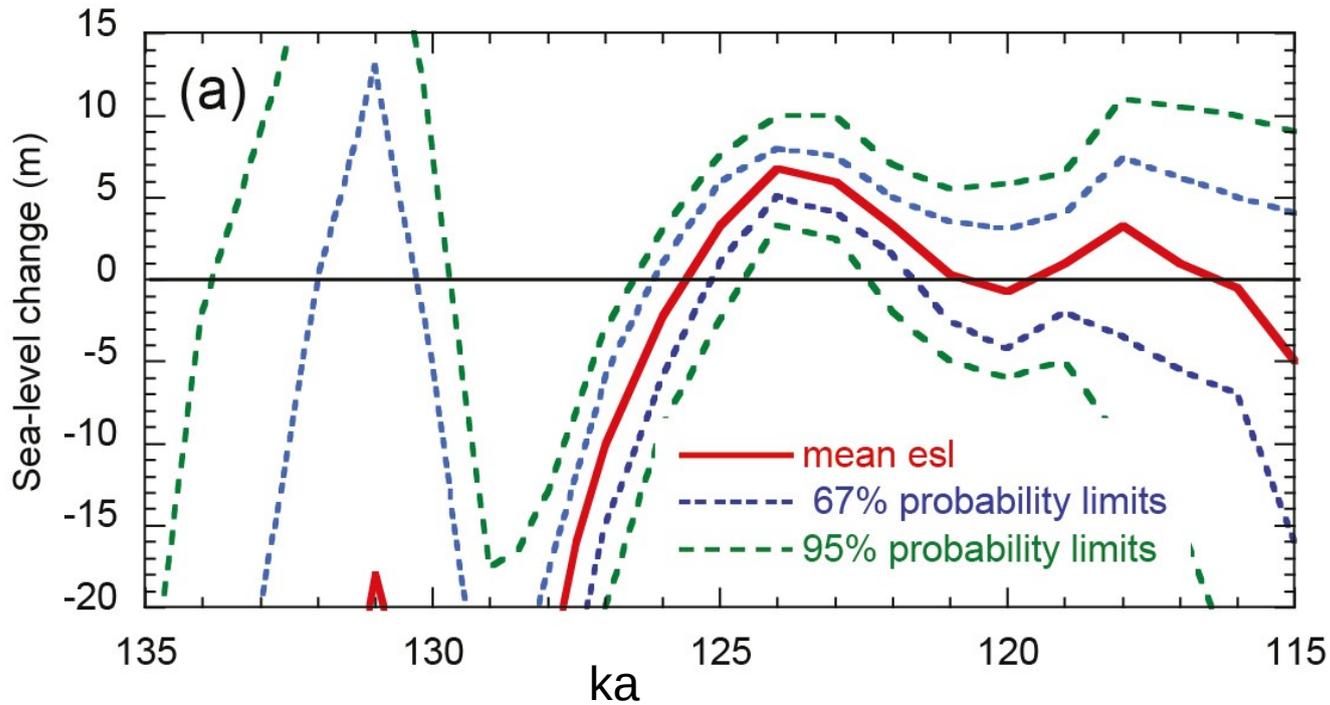
- Libération d'une grande quantité d'icebergs dans l'Atlantique Nord.
- Baisse de salinité et refroidissement sur quelques siècles des eaux de surfaces.
- Montée du niveau des océans de plusieurs dizaines de mètres

- Perturbations à impacts mondiaux et abrupts
- Pas forcément d'impact sur la température moyenne mondiale

- Provoquées par perturbations de la circulation Atlantique ?

Sources : IPCC : AR4 Fig 6.7, AR4 6.4.2, AR5 5.7

Dernière ère glaciaire

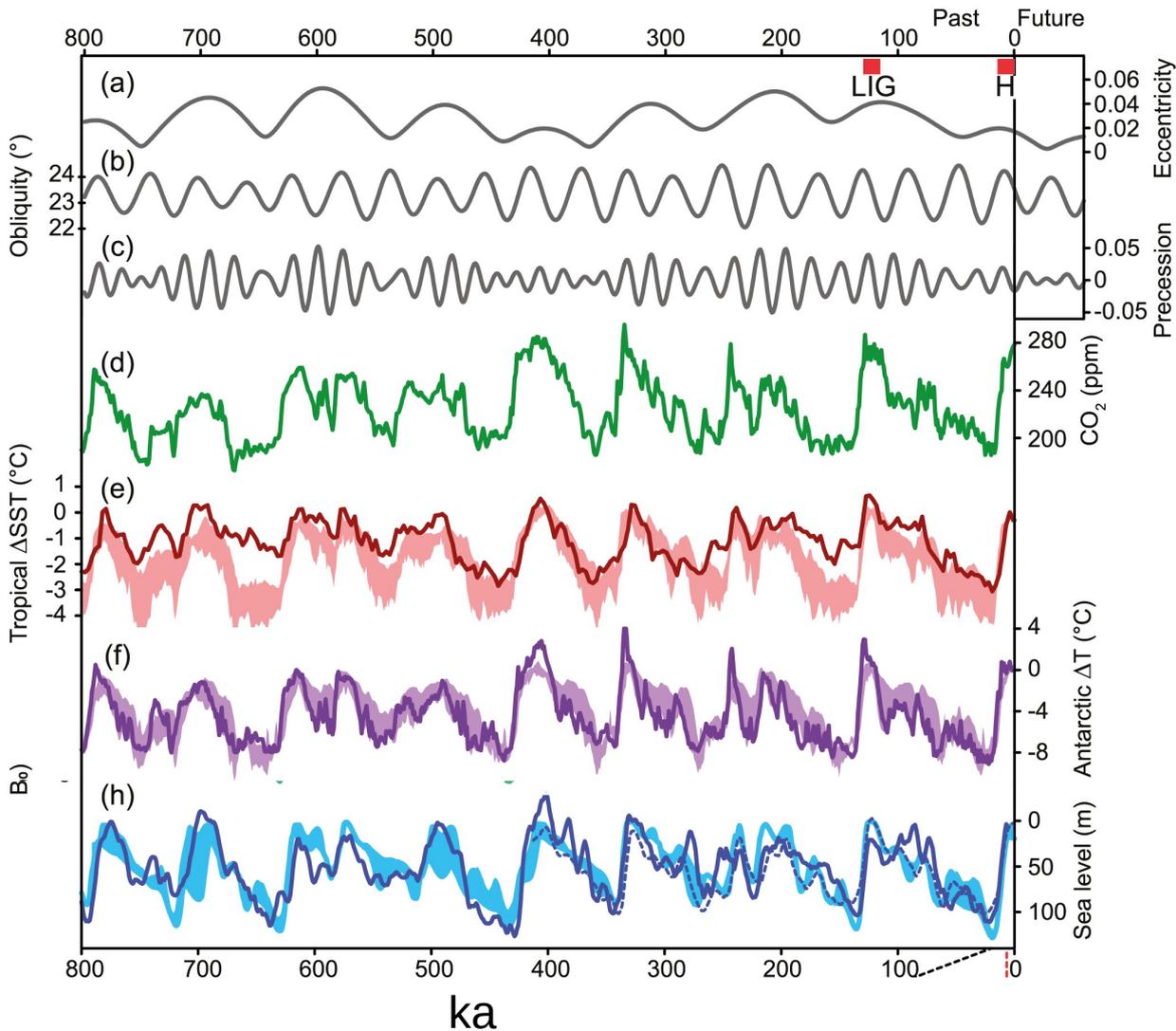


- 115 ka à -125 ka

Niveau des océans plus élevée de 5 à 10 m

Sources : IPCC : AR5 Fig 5.15, AR5 5.6.2.1

Dernier million d'années : ères glaciaires et interglaciaires



Ères glaciaires : 100 000 ans

Interglaciaires : 10 000 ans

**Moteur principal :
forçage orbital (forte confiance)**

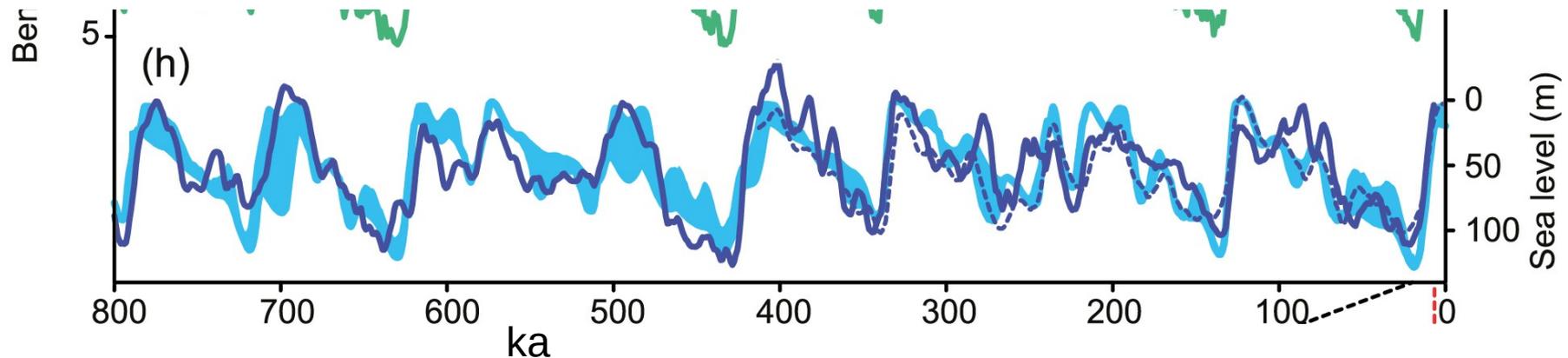
**Fort feedback du CO₂
atmosphérique**

**Les taux actuels de GES
sont les plus hauts depuis
650 000 ans (quasi certain).**

**La prochaine glaciaire ?
Quasi sûr pas avant 1000 ans
Sans doute pas avant 50 000 ans**

Sources : IPCC : AR5 Fig 5.3, AR5 5.3.2.1

Dernier million d'années : ères glaciaires et interglaciaires



Attention : toutes ces périodes sont différentes !

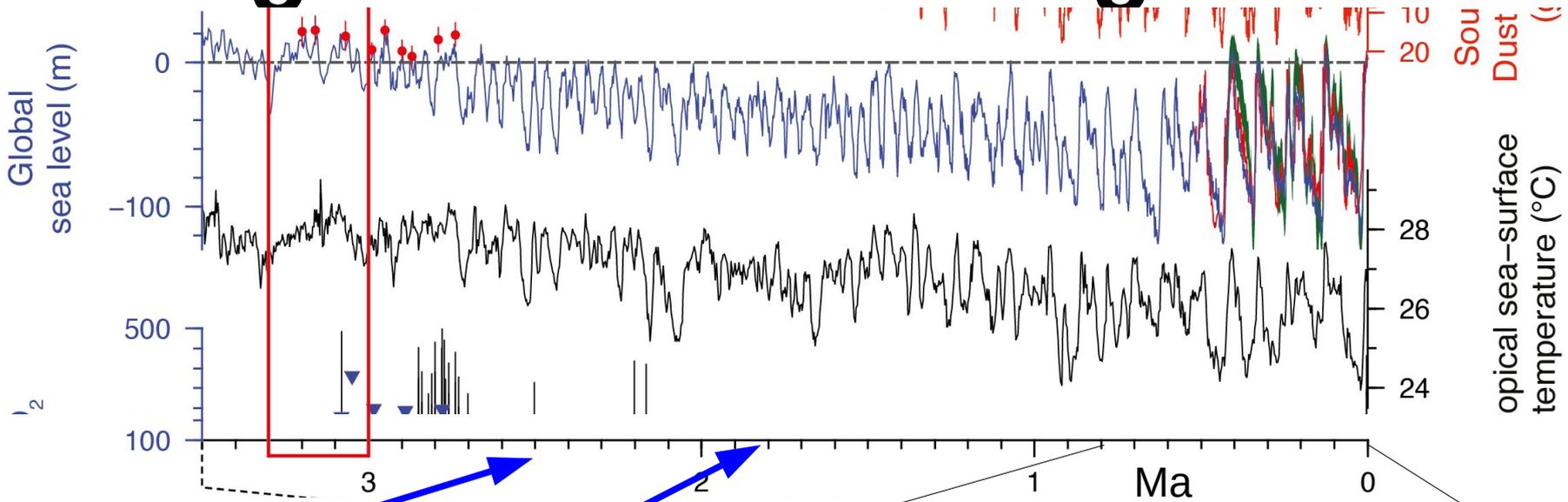
Les mêmes valeurs moyennes de températures ou de niveau de la mer n'implique pas un climat identique !

Il peut y avoir de fortes variations locales : températures, pluviométrie, glace, niveau océans, humidité, fréquences de sécheresses, inondations, événements extrêmes, etc.

Plus, à plus grande échelle temporelle, variations de paramètres non climatiques : montagnes, continents, taux d'oxygène de l'air, etc.

Sources : IPCC : AR5 Fig 5.3

Dernier million d'années : ères glaciaires et interglaciaires

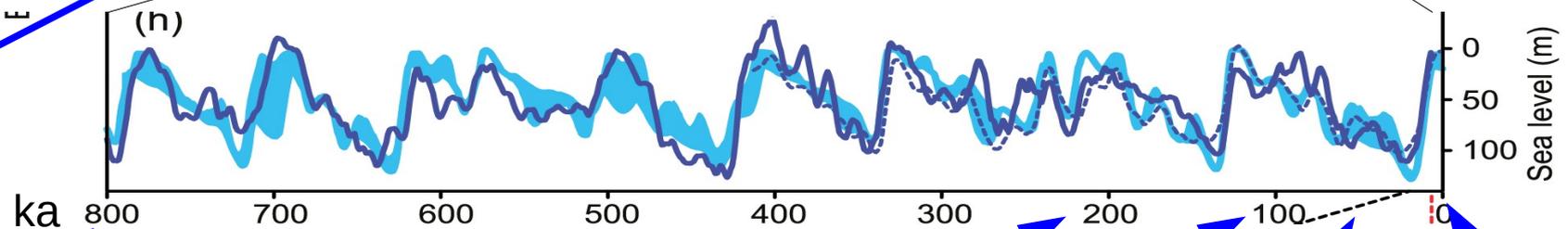


Homo Habilis
1er outils pierre

Homo Erectus
sort d'Afrique

Présence d'hominidés en
Europe

Sources : IPCC : AR5 Fig 5.2, AR5 Fig 5.3, Wikipedia



Homo Sapiens

Rites funéraires
1re trace arts

Homo Sapiens
en Europe

Ecriture

Le climat à travers les âges

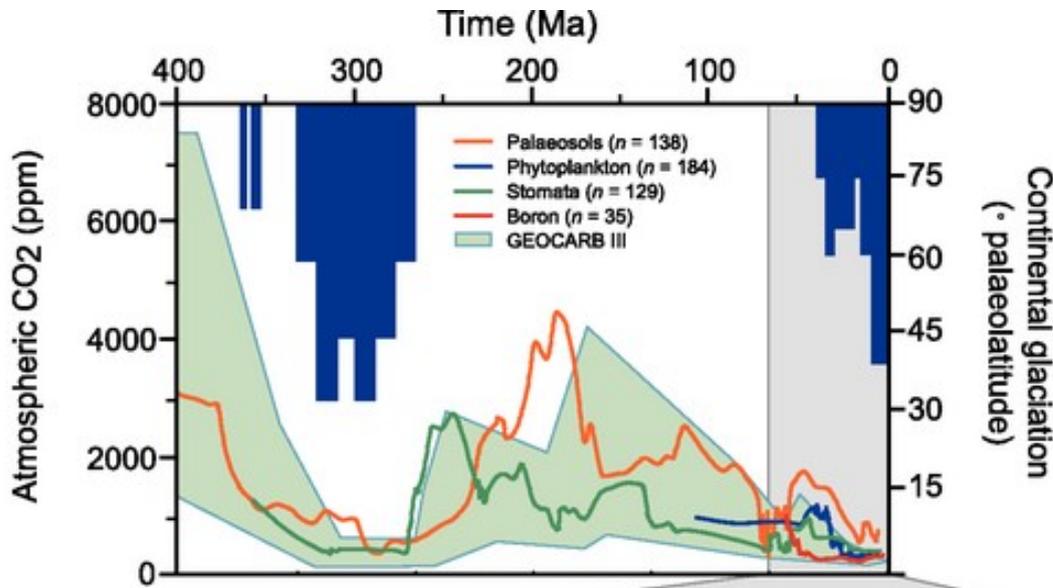
1. Reconstruire le climat passé et ses moteurs

- Reconstruire les moteurs du climat
- Reconstruire les données climatiques

2. Le climat passé

- Les 2 derniers millénaires
- Le dernier million d'années : ères glaciaires et interglaciaires
- Les derniers 500 millions d'années

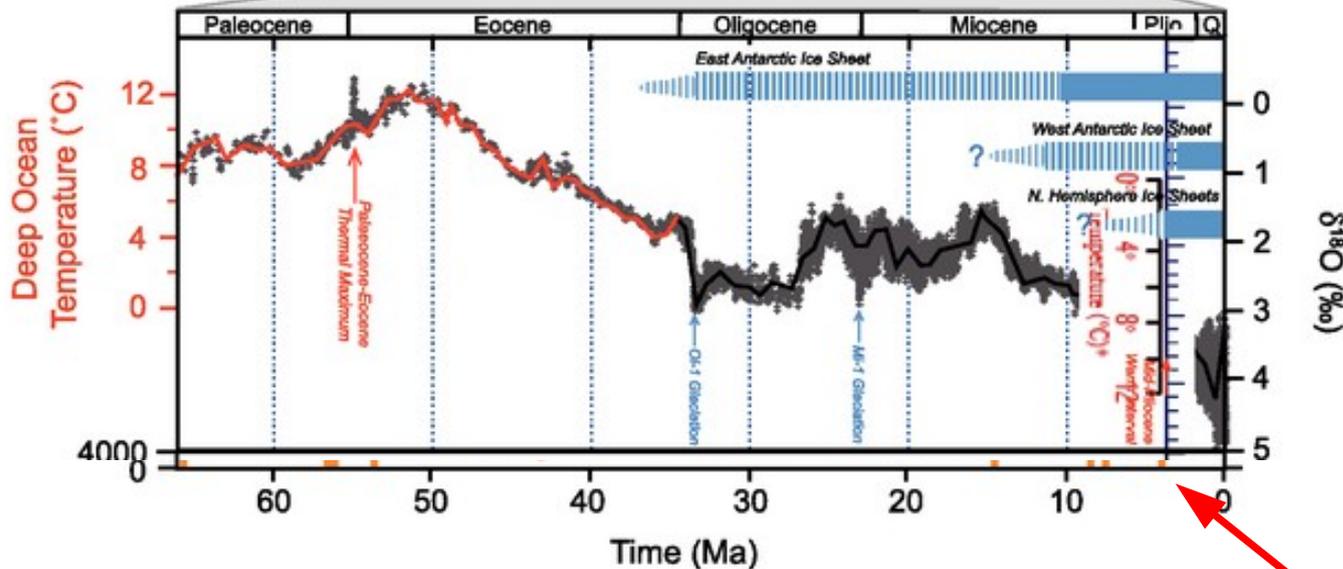
Derniers 500 Ma : chaud !



Il fait globalement plus chaud :
fréquemment plus de 5°C

Les calottes glaciaires sont un
phénomène peu habituels sur la
période

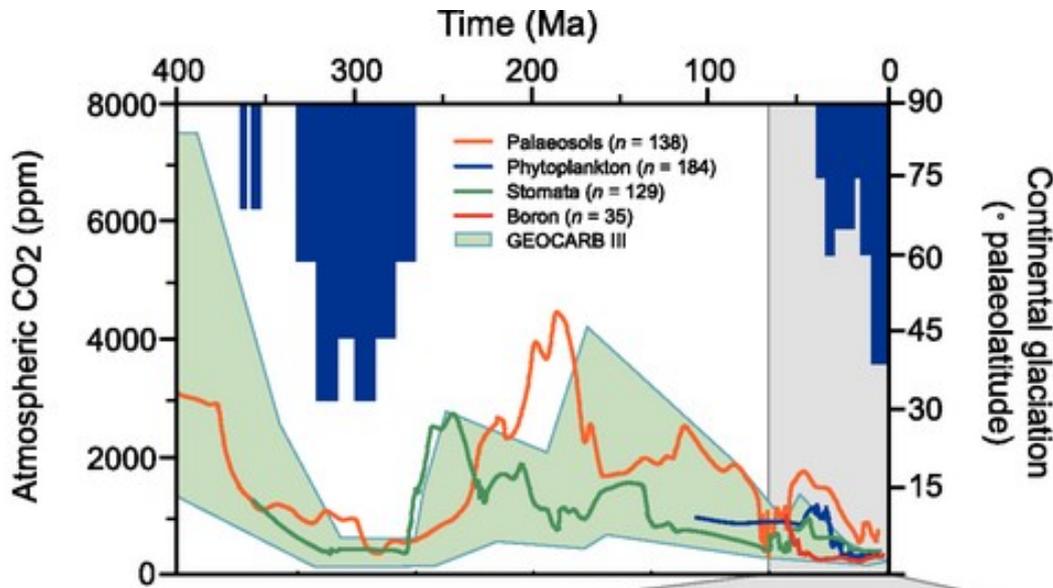
Climat plus chaud est associé à
plus de CO2 dans l'atmosphère.



Dernière période où l'on observe
les concentrations de CO2
actuelles

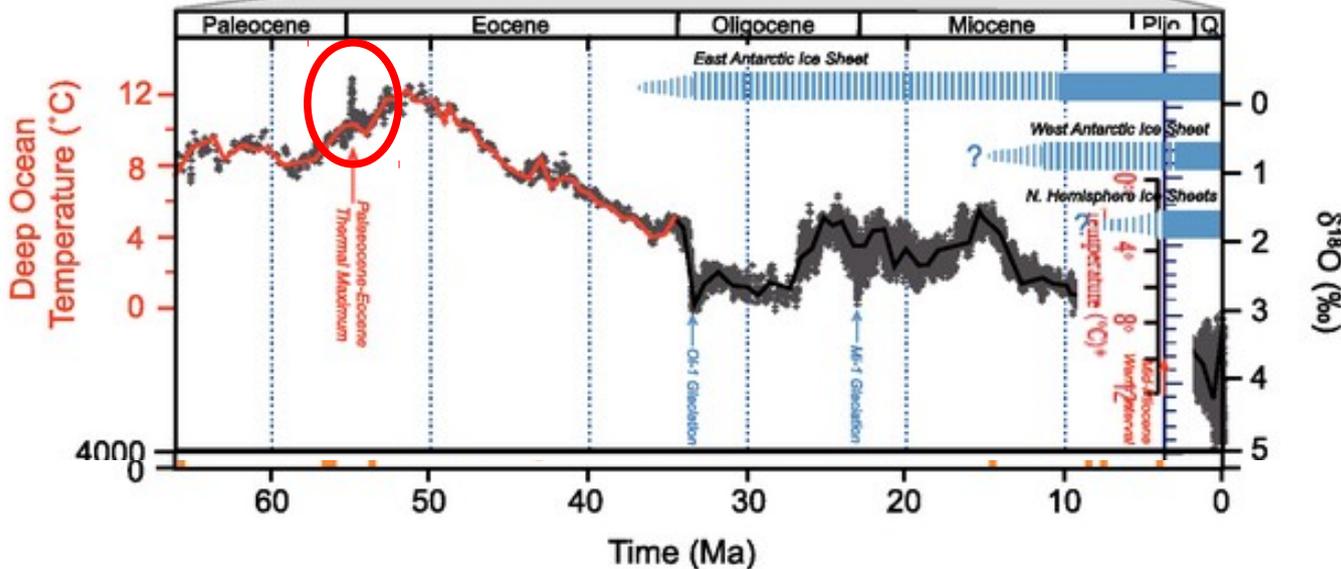
Sources : IPCC : AR4 Fig 6.1, AR4 6.3.1

Maximum thermique Paléocène-Eocène



+ 5°C en moyenne mondiale en 1 à 10 ka et pour une durée de 100 ka
Grand bouleversement du climat et des écosystèmes.

Dû à libération brutale du méthane océanique ?



1 000 Gt eq. C relâchées = émissions du siècle

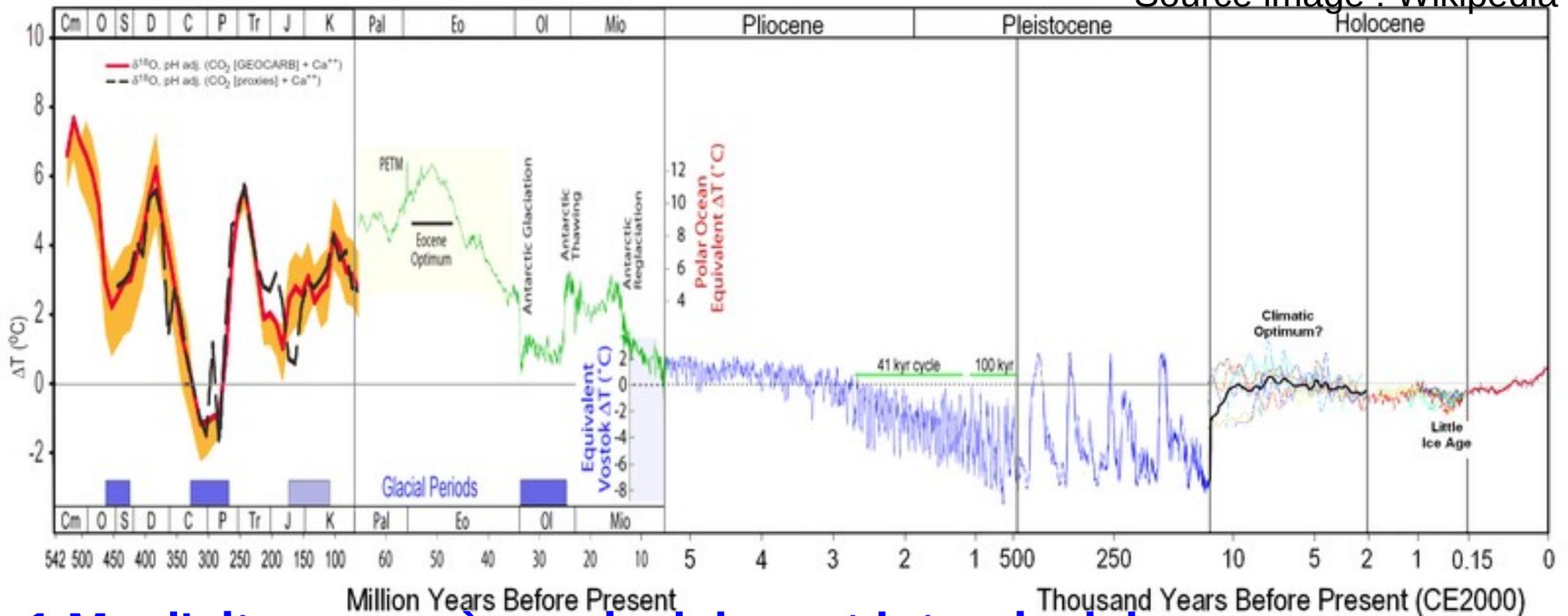
100 ka pour revenir à la « normale » comme les simulations actuelles

Sources : IPCC : AR4 Fig 6.1, AR4 6.3.3

On résume : le climat passé

Temperature of Planet Earth

Source image : Wikipedia



1 Ma d'alternance ères glaciaires et interglaciaires.

Beaucoup plus chaud les 500 Ma précédents.

Le climat a plusieurs fois connu des bouleversements rapides, souvent accompagnés de bouleversement des écosystèmes.

On observe une forte corrélation (!) entre CO2 et température.

Phénomène actuel inédit ?

