

UTL Tréguier 11 décembre 2025

# Changements climatiques à l'échelle géologique

Odile GUÉRIN



École Pratique  
des Hautes Études

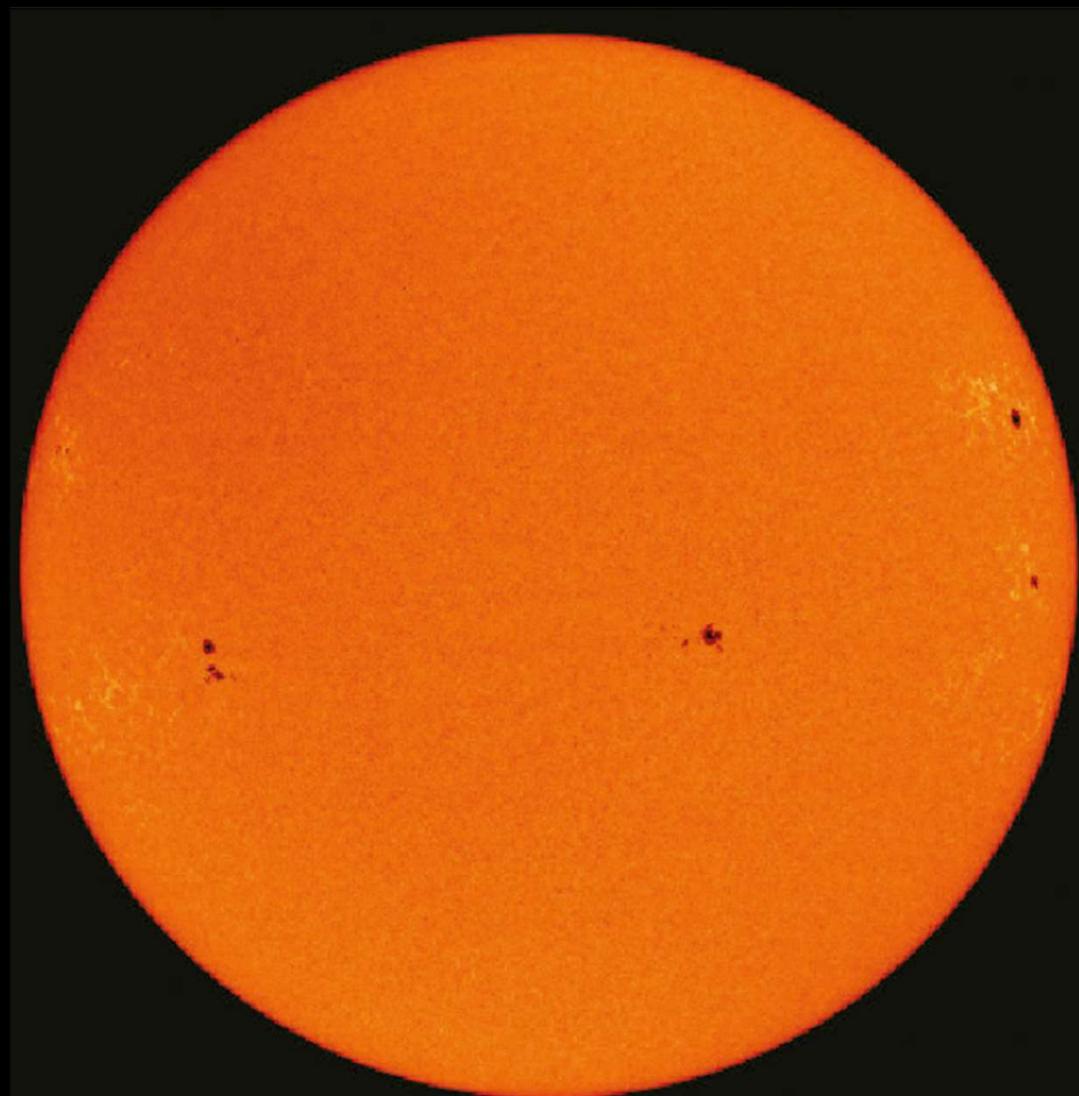
PSL 



# 1 le radiateur

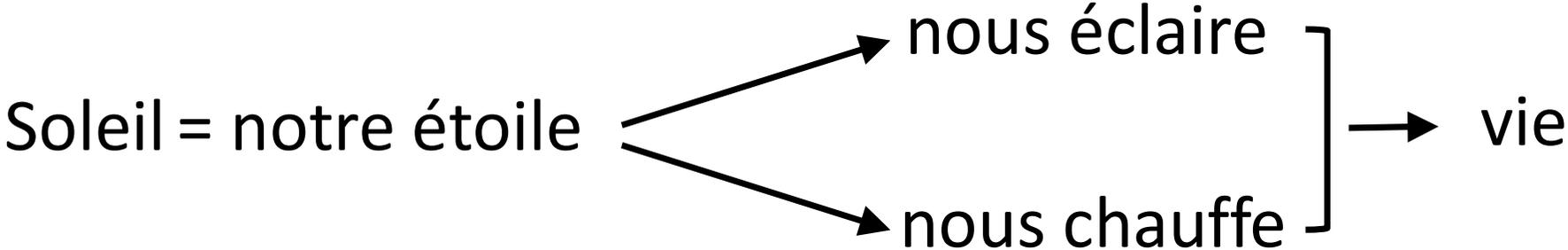


Diamètre équatorial : 1 392 000 km



© NASA - ESA

Soleil = boule gazeuse H et He  $\rightarrow$  réacteur à fusion nucléaire



## 2 La pièce à chauffer



## 2a La Terre dans l'espace

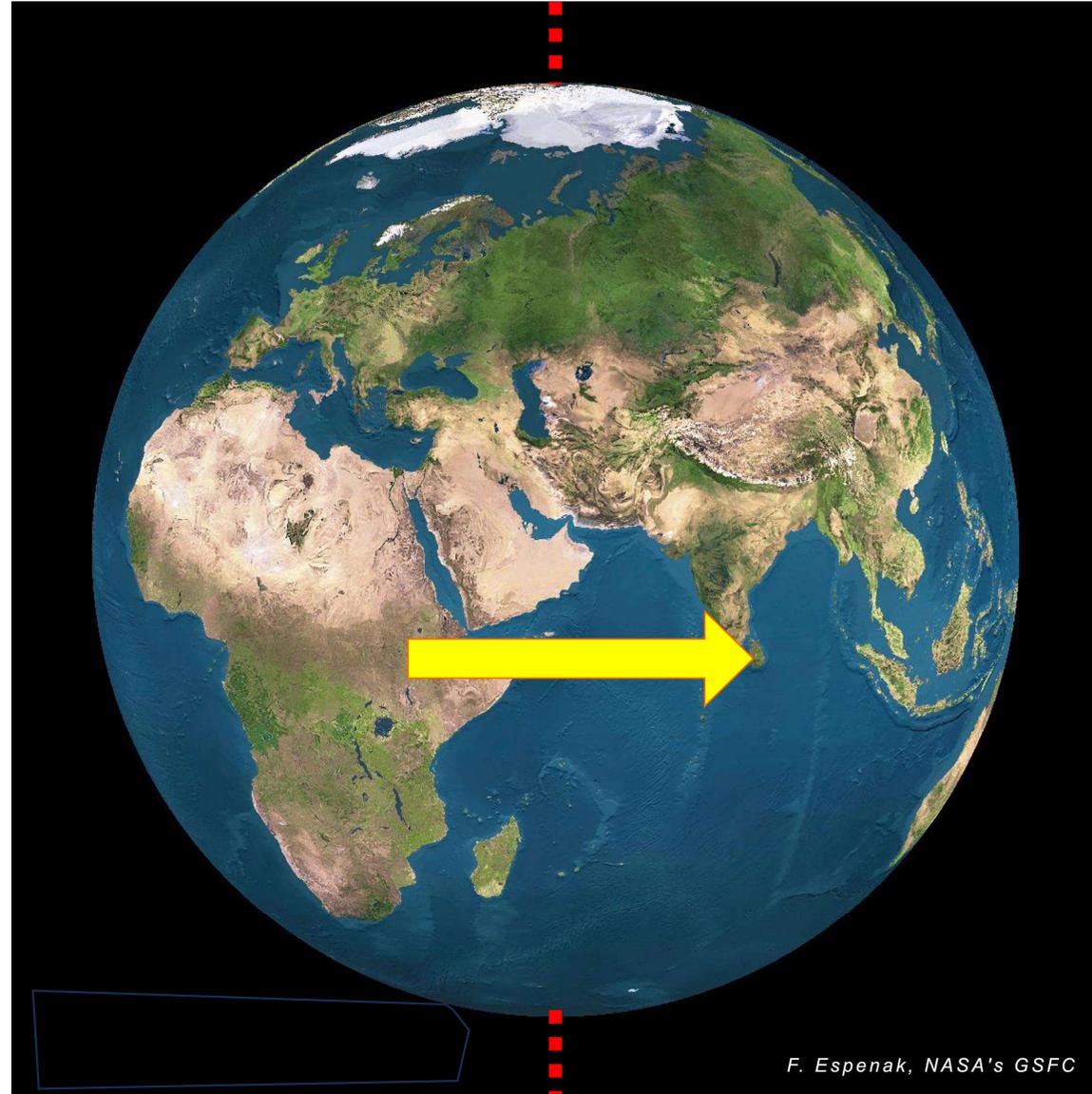


# 1 - la Terre est « sphérique »

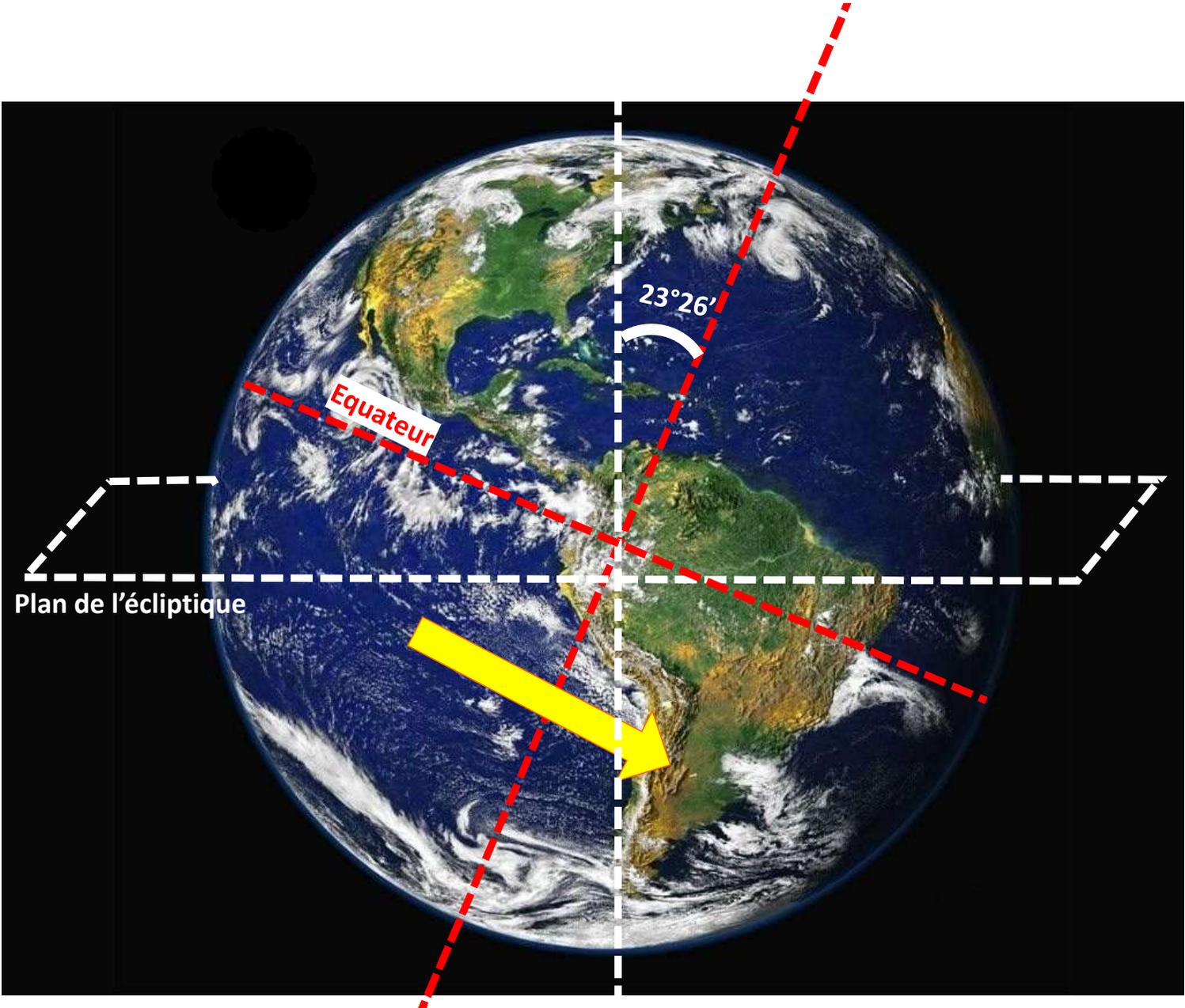
Diamètre équatorial : 12756km



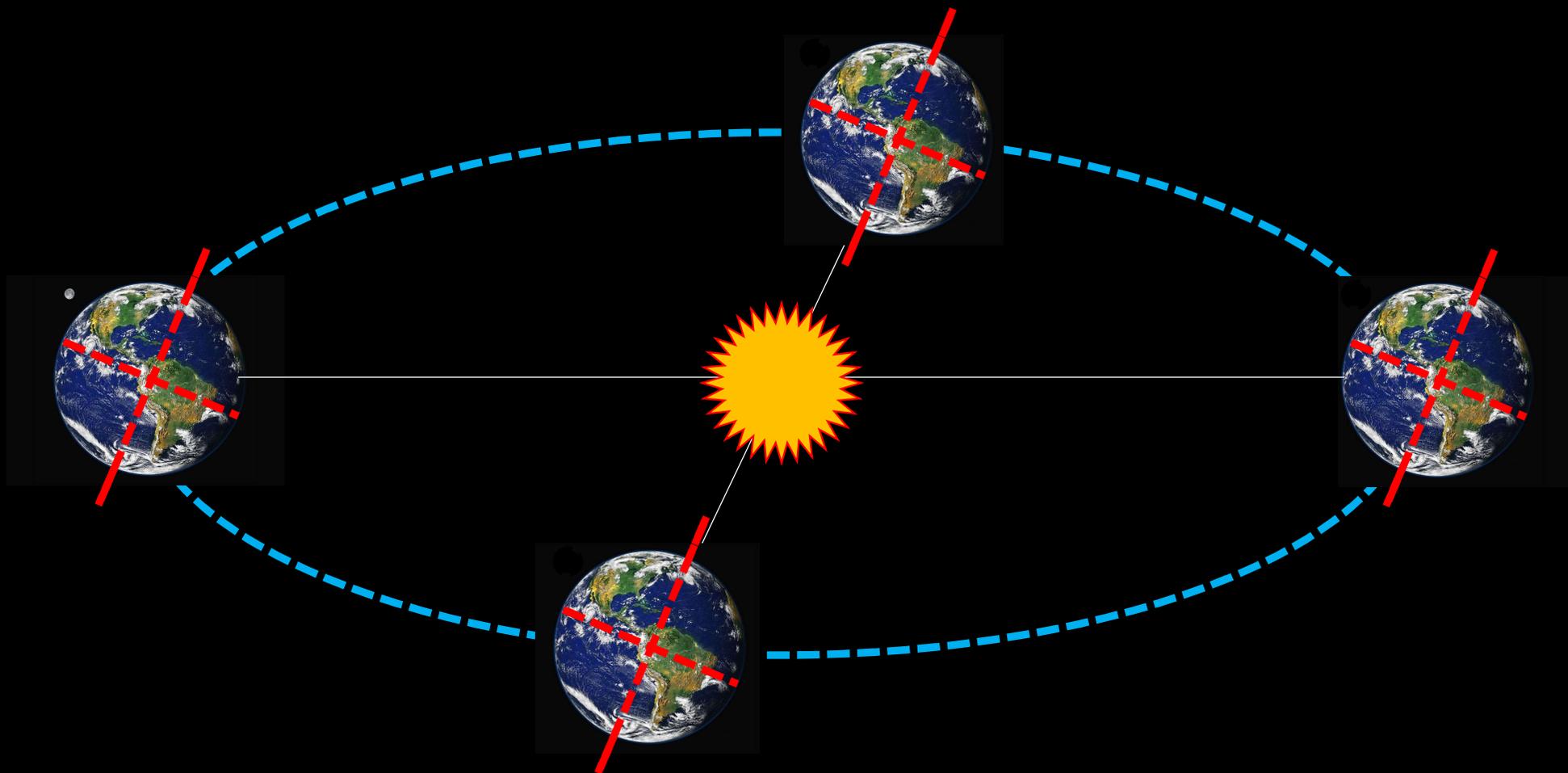
2 - la Terre tourne sur elle-même en ~ 24 heures (23h 56mn 4s)



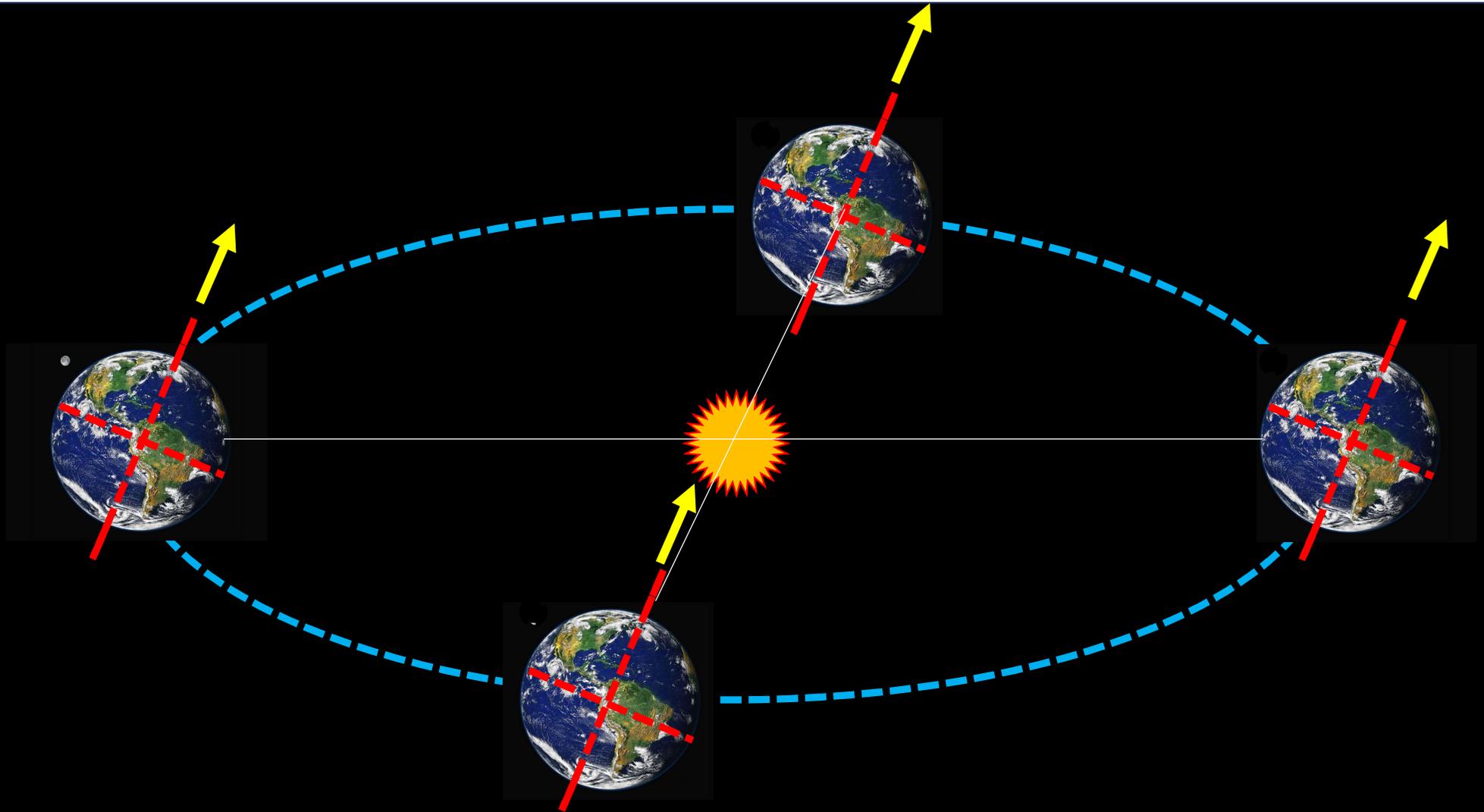
3 – mais elle tourne penchée



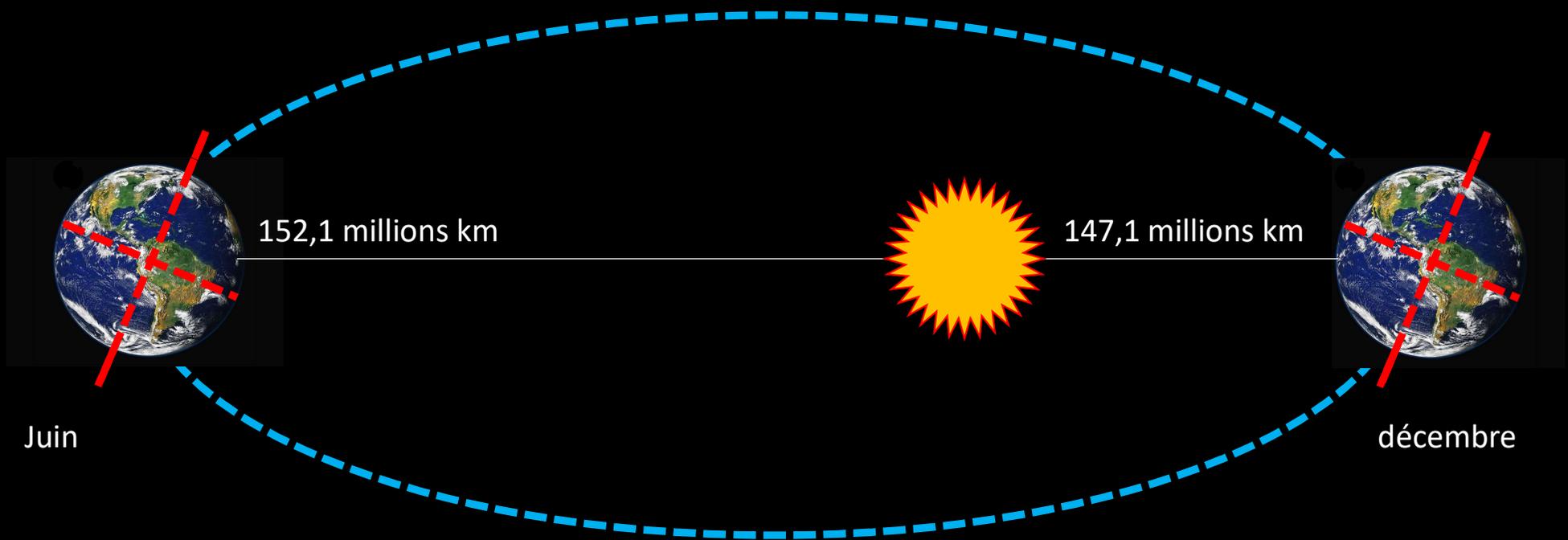
## 4 - la Terre tourne autour du Soleil en un an (365j 5h...)



5 - avec l'axe des pôles pointant toujours dans la même direction (étoile polaire)



## 6 - la Terre a une orbite elliptique



## 7 - la Terre réfléchit la lumière de son étoile, le Soleil



## 8 - la Terre possède un satellite

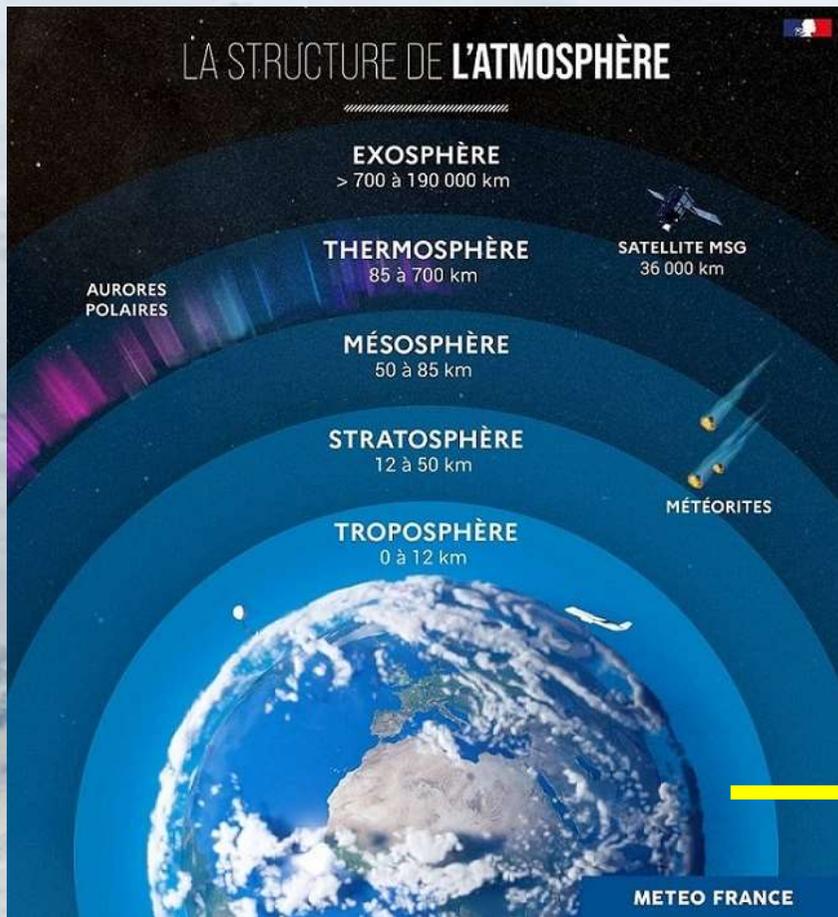


*La Terre et la Lune par Mars Express à 8 millions de km de la Terre le 03/07/2003 (crédit ESA/DLR/FU Berlin, CC BY-SA 3.0 IGO)*

## 2b La Terre des Terriens

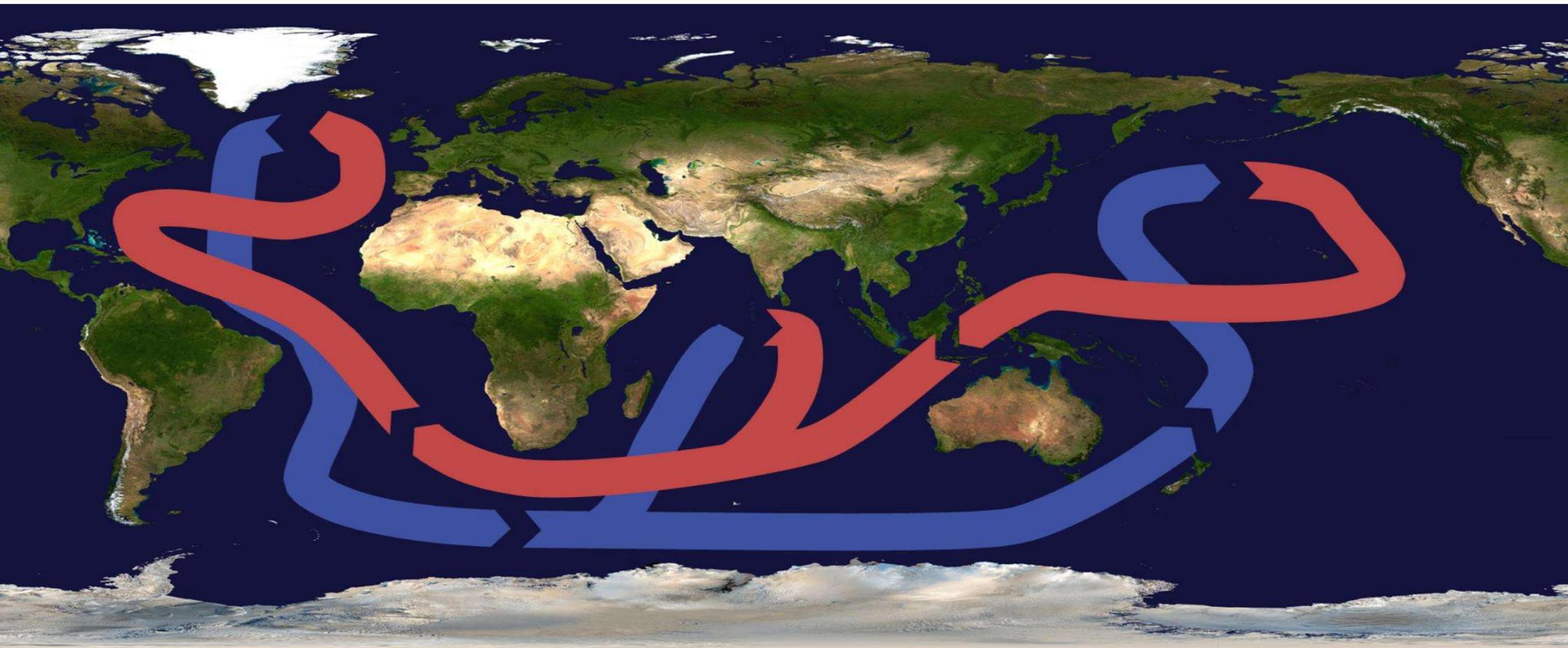


# 1 - la Terre possède une atmosphère

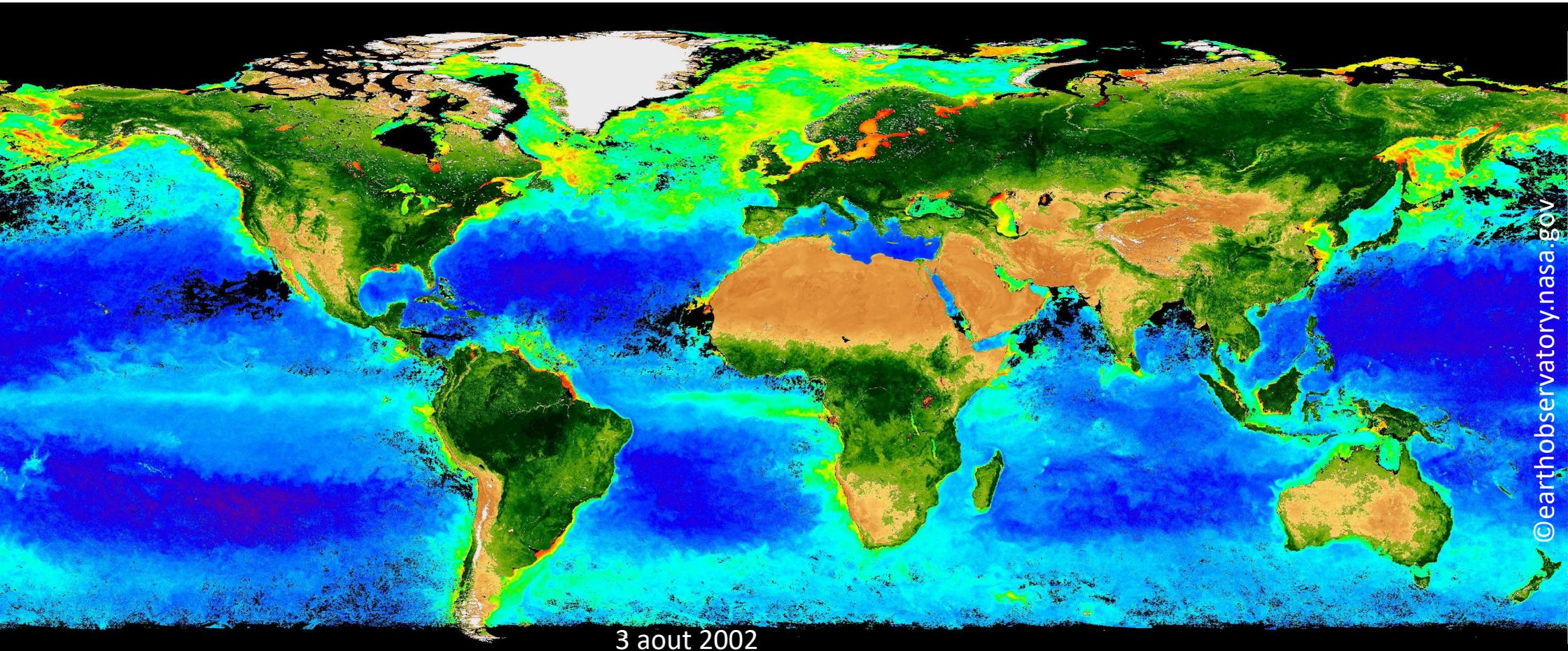


azote 78%  
oxygène 21%

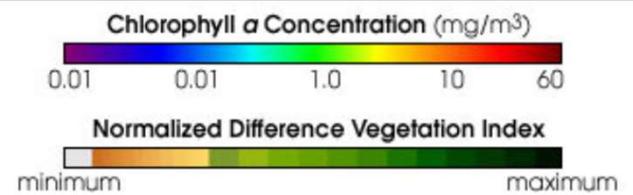




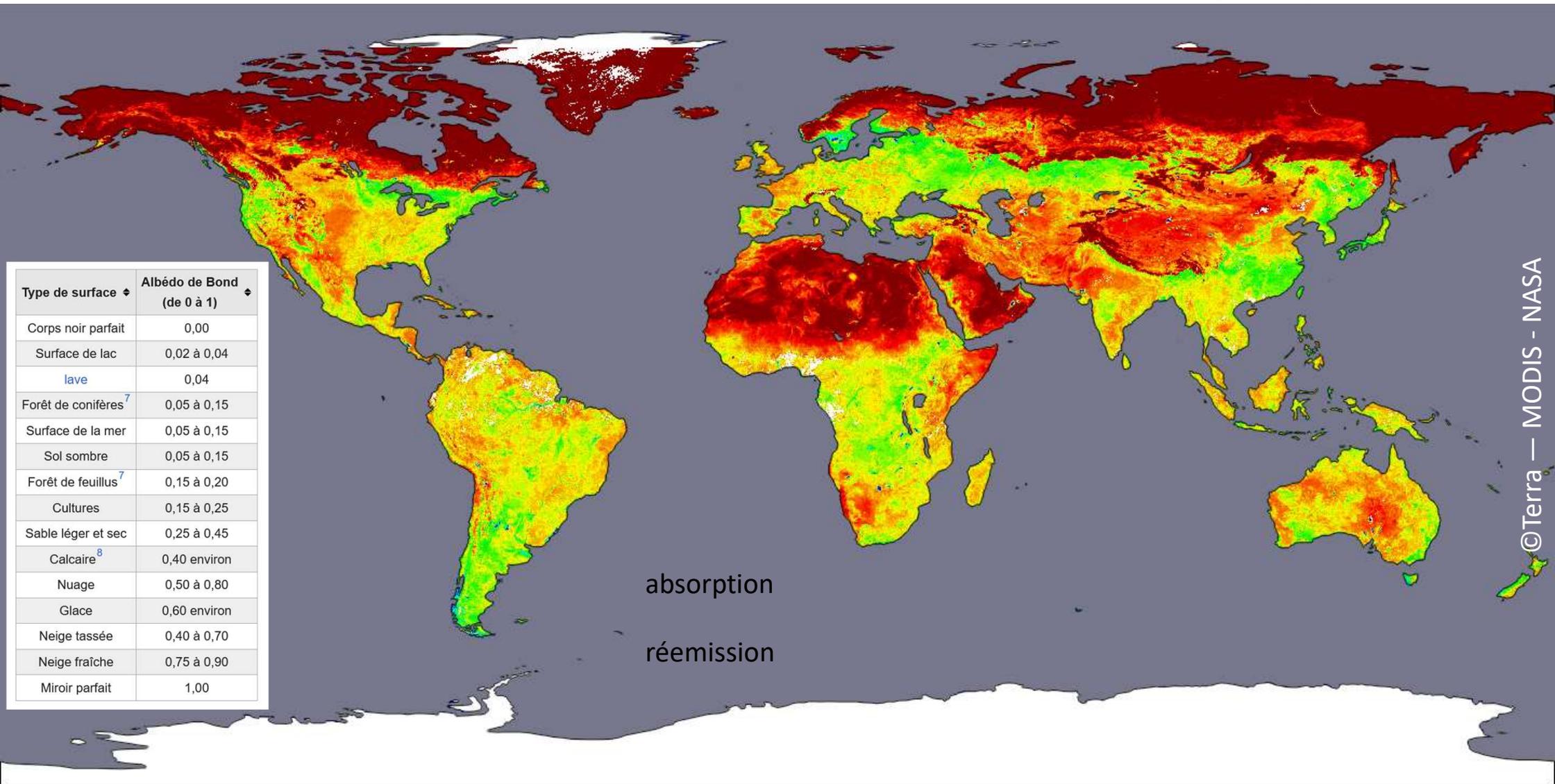
### 3 - la Terre possède une biosphère



3 aout 2002



## 4 - albedo



Type de surface ↕	Albédo de Bond (de 0 à 1) ↕
Corps noir parfait	0,00
Surface de lac	0,02 à 0,04
lave	0,04
Forêt de conifères <sup>7</sup>	0,05 à 0,15
Surface de la mer	0,05 à 0,15
Sol sombre	0,05 à 0,15
Forêt de feuillus <sup>7</sup>	0,15 à 0,20
Cultures	0,15 à 0,25
Sable léger et sec	0,25 à 0,45
Calcaire <sup>8</sup>	0,40 environ
Nuage	0,50 à 0,80
Glace	0,60 environ
Neige tassée	0,40 à 0,70
Neige fraîche	0,75 à 0,90
Miroir parfait	1,00

absorption

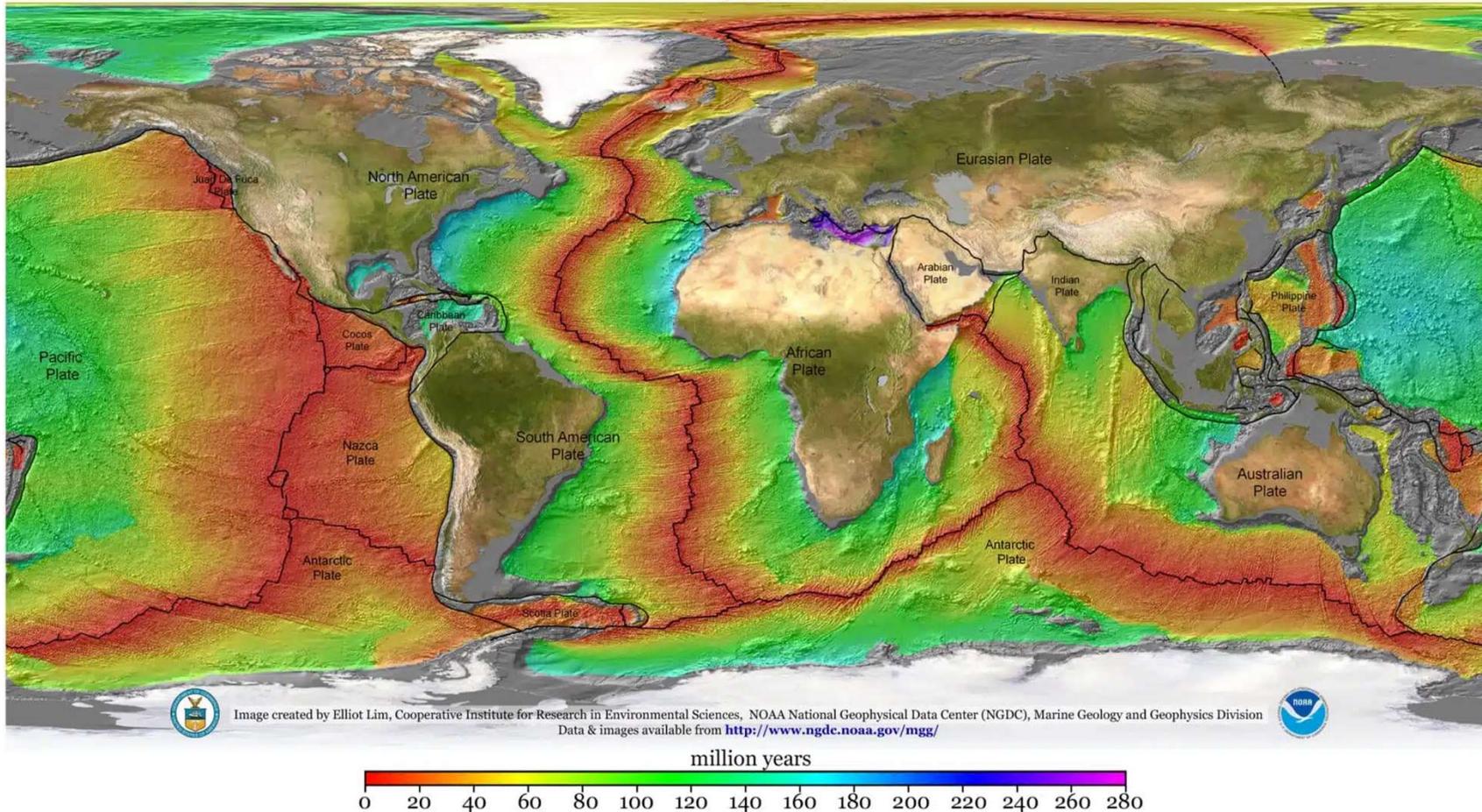
réémission

# 5 – une Terre en perpétuelle évolution mais très lente

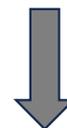
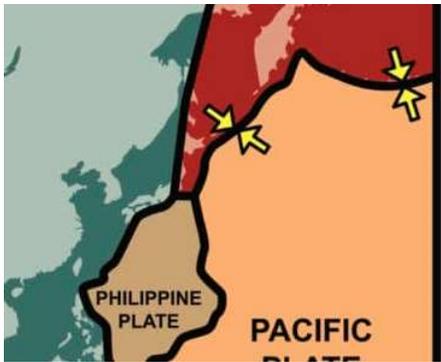
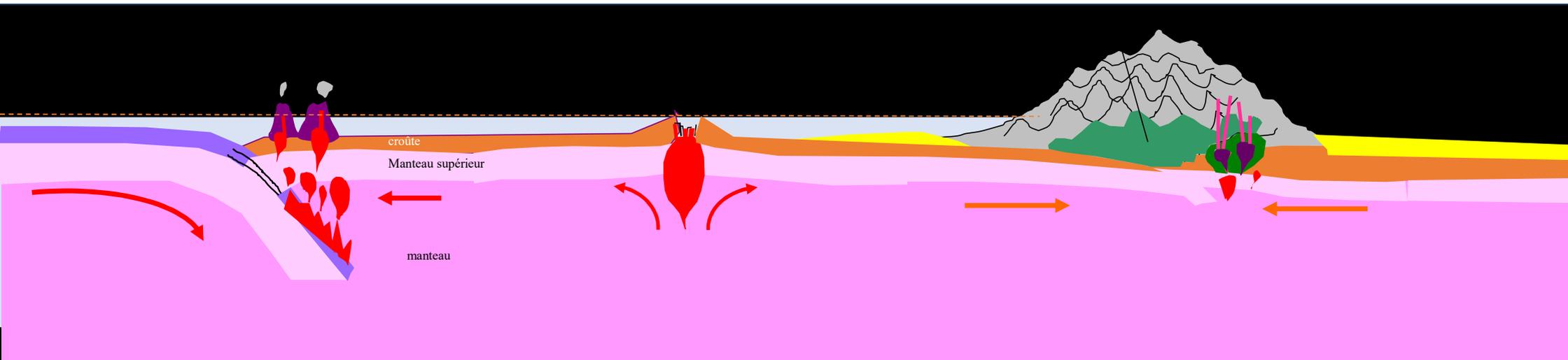
## Age of Oceanic Lithosphere (m.y.)

Data source:

Muller, R.D., M. Sdrolias, C. Gaina, and W.R. Roest 2008. Age, spreading rates and spreading symmetry of the world's ocean crust, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 9, Q04006, doi:10.1029/2007GC001743.

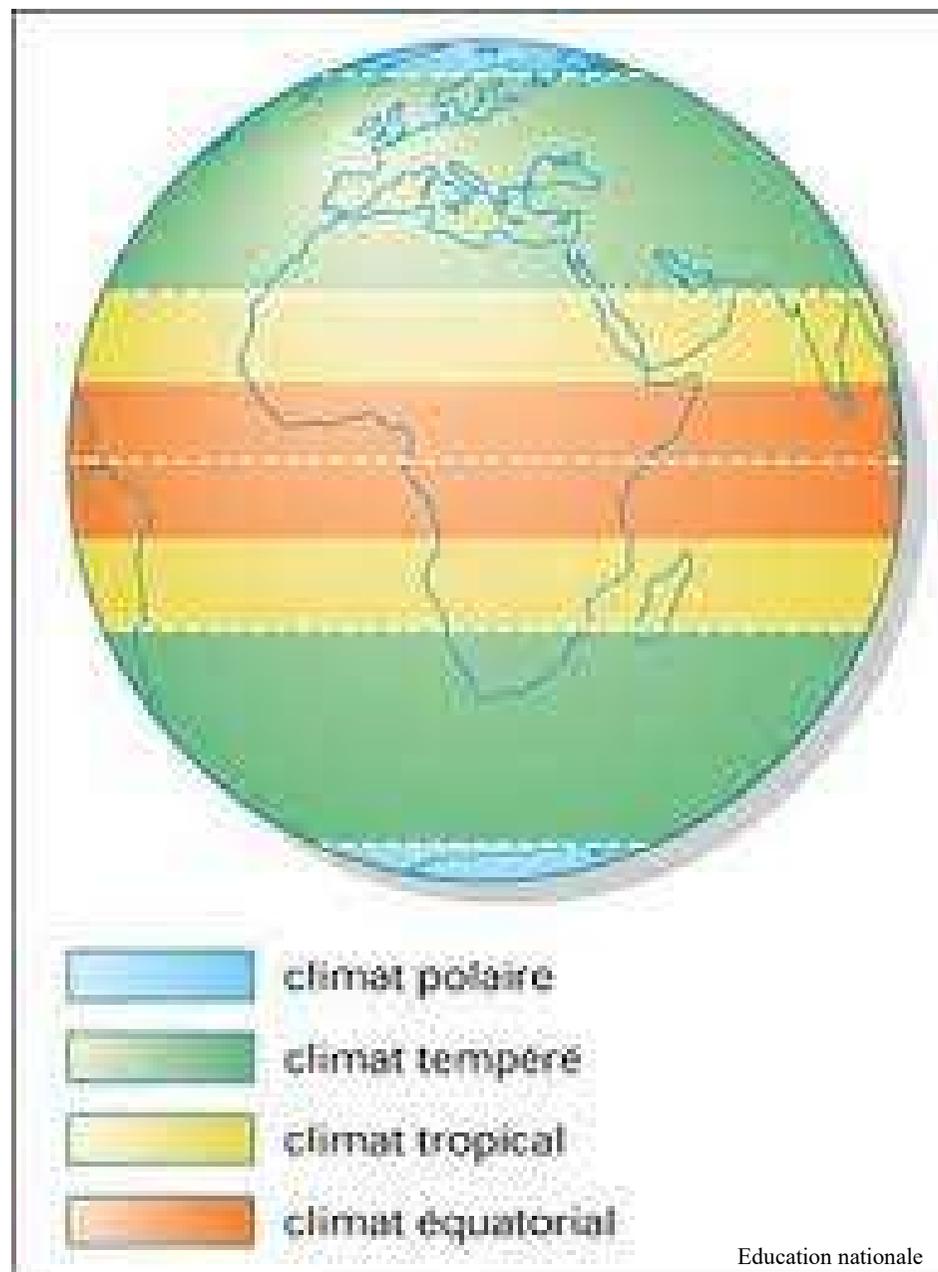


# Quoi?



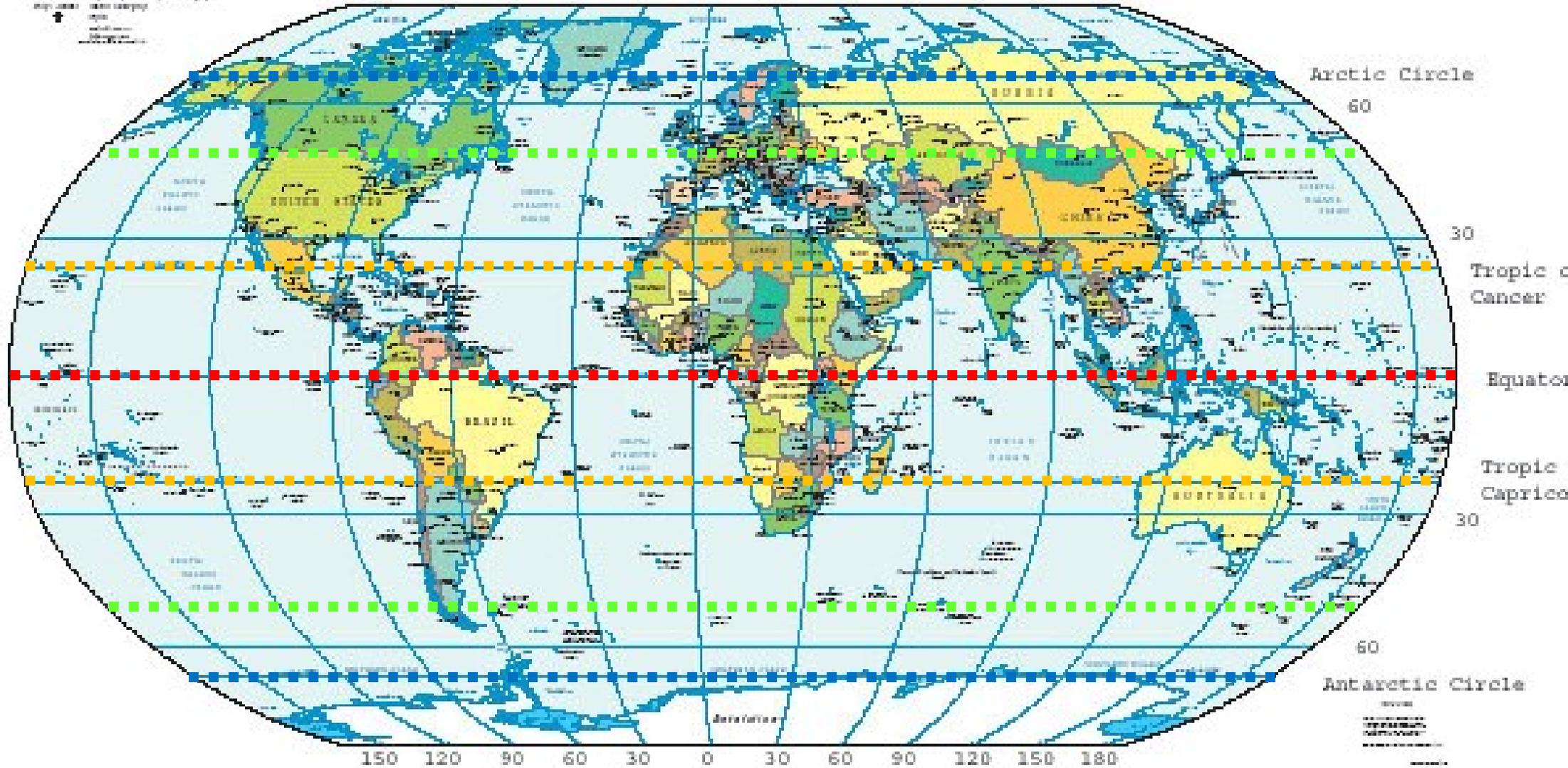
Conséquences:

→ les climats actuels de la Terre



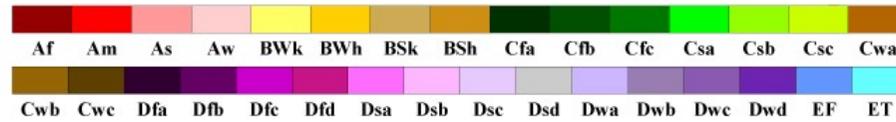
Political Map of the World, June 2003

- Country boundaries
- Major cities
- Latitude and longitude lines
- Scale



# World Map of Köppen–Geiger Climate Classification

updated with CRU TS 2.1 temperature and VASCLimO v1.1 precipitation data 1951 to 2000



## Main climates

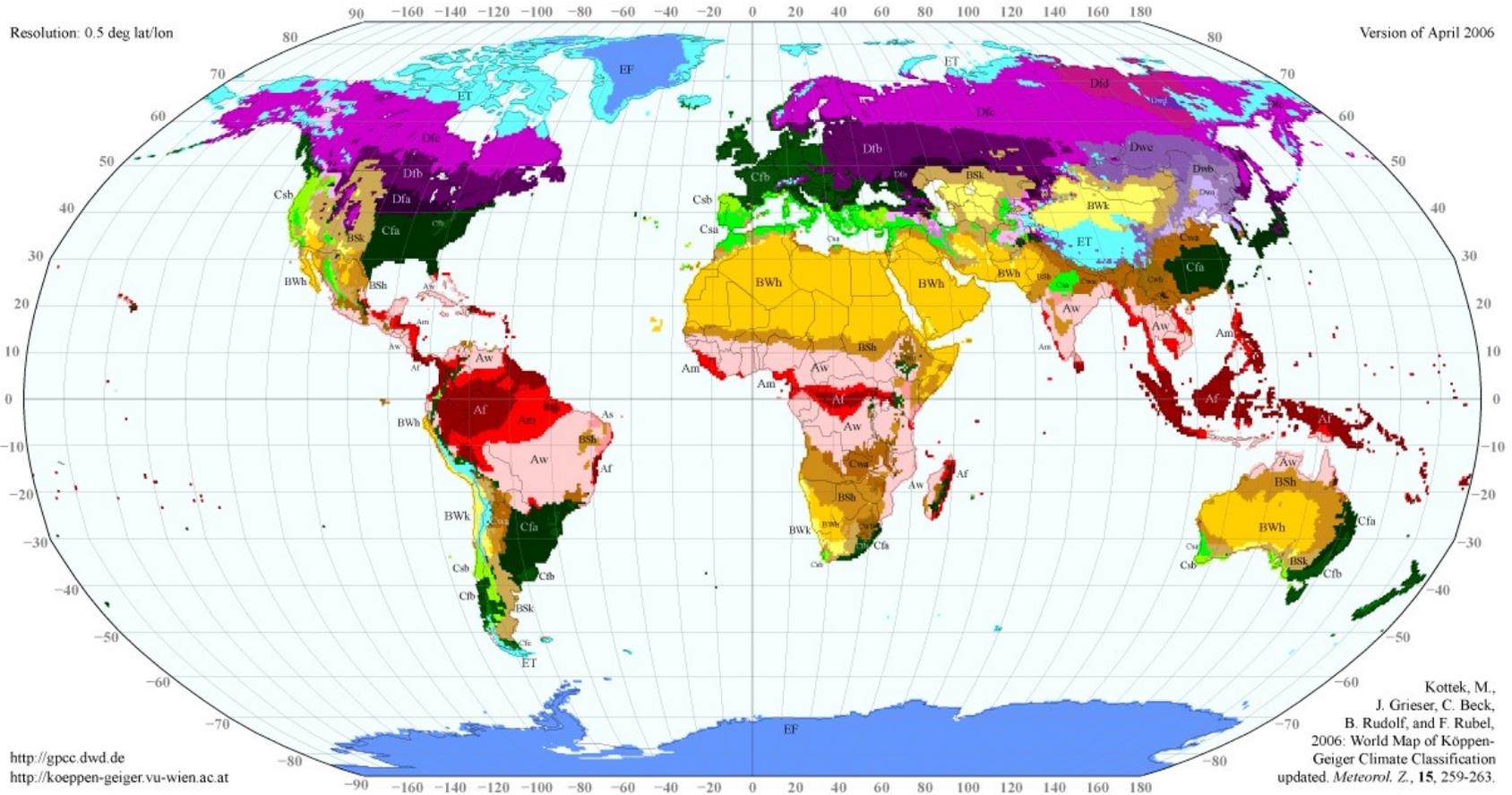
- A: equatorial
- B: arid
- C: warm temperate
- D: snow
- E: polar

## Precipitation

- W: desert
- S: steppe
- f: fully humid
- s: summer dry
- w: winter dry
- m: monsoonal

## Temperature

- h: hot arid
- k: cold arid
- a: hot summer
- b: warm summer
- c: cool summer
- d: extremely continental
- F: polar frost
- T: polar tundra



Reconstituer les « climats » passés de la Terre

4,567 Ga

**Matière en fusion**

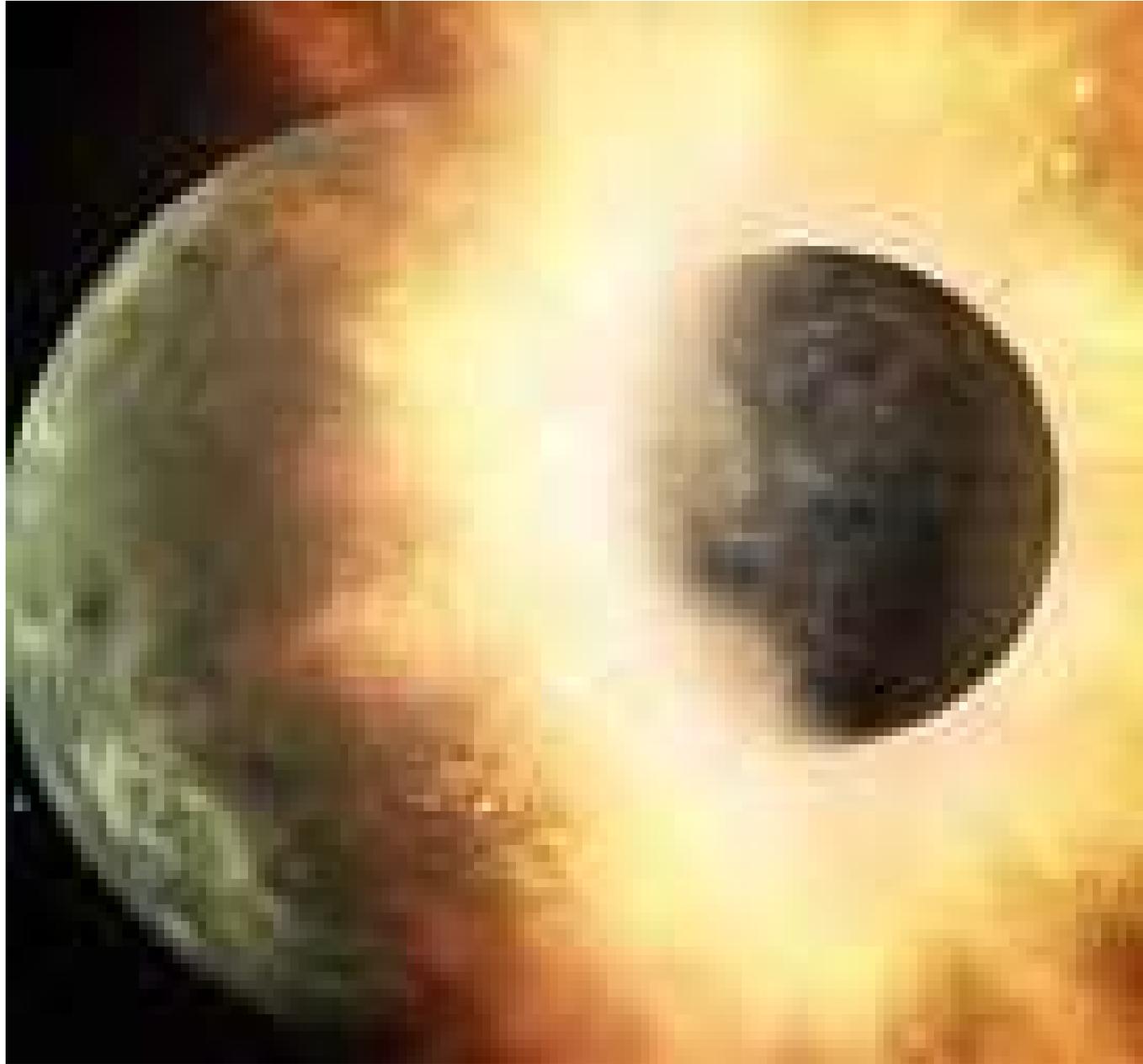


Luminosité du Soleil 30% plus faible



$T = 4700^{\circ}\text{C}$

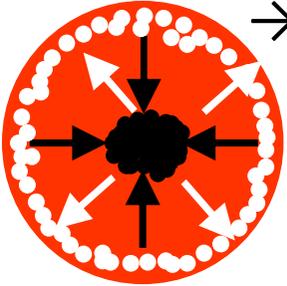
4,52 Ga



1 → marées colossales

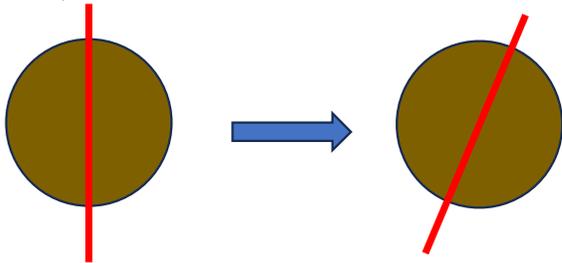
→ brassage du magma

→ différenciation



2 → inclinaison de l'axe de rotation de la Terre

→ saisons



3 → stabilisation de l'axe de rotation de la Terre

T 2000°C



4,4 Ga

## La Terre devient plus présentable

atmosphère  
océan  
continents



### Atmosphère

neon, argon, krypton,  
Dioxyde de carbone,  
soufre, méthane, azote,  
helium... vapeur d'eau

Océans riches en Fe

Apport de l'eau par:

- comètes
- dégazage du manteau

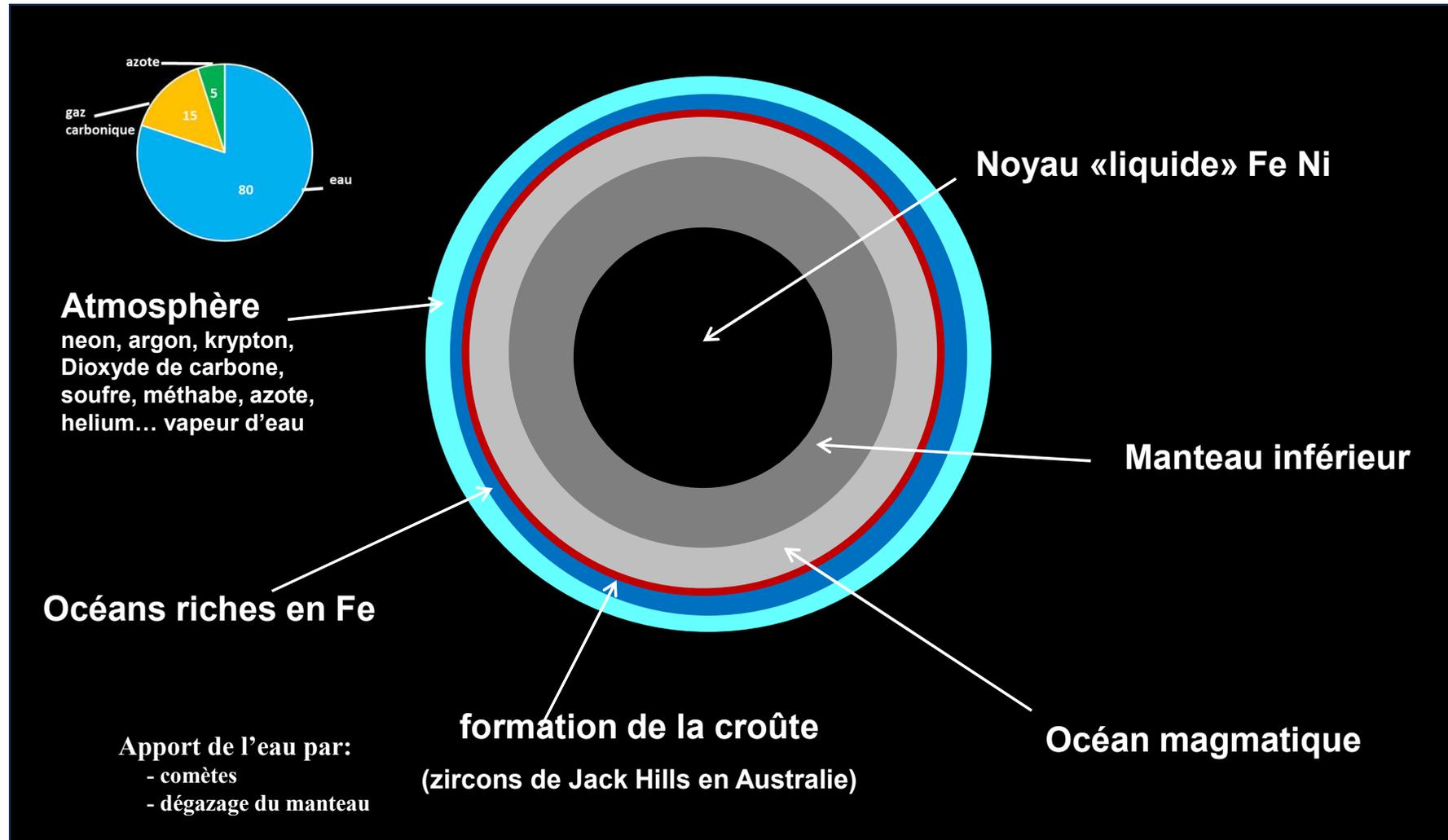
T 1100°C

formation de la croûte  
(zircons de Jack Hills en Australie)

Noyau «liquide» Fe Ni

Manteau inférieur

Océan magmatique



**3,5 Ga** La vie est installée

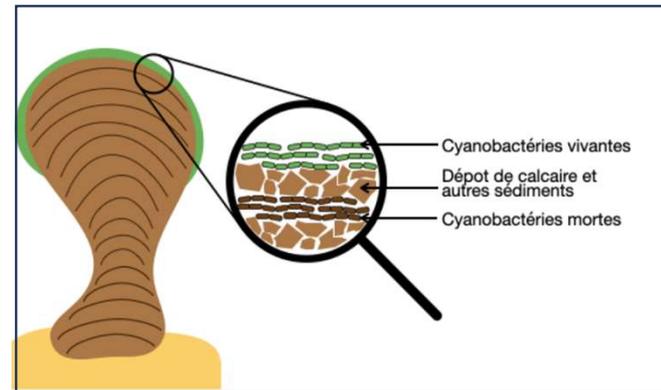


## les stromatolithes

Ils ont traversé tous les âges géologiques depuis 3,5 Ga et sont toujours présents aujourd'hui (Shark Bay en Australie).



Croissance: 0,4mm/an



Constructions sédimentaires biologiques par des cyanobactéries ayant pratiqué la photosynthèse:

fabrication de matière organique à partir de gaz carbonique et d'eau en utilisant la lumière solaire comme source d'énergie et en dégageant de l'oxygène.

**La géologie au service de l'astronomie:** Grâce à des stromatolites vivant au précambrien, il y a 850 Ma, on a pu calculer la durée d'une journée (20,1 heures) et d'une année (435 jours)

→ diminution de la vitesse de rotation de la Terre et moins de jours dans une année → conséquence du frottement des marées éloignant la Lune de la Terre.

# apparition de la vie

Quand ?

???

Quoi ?

formes unicellulaires → bactéries

Où ?

dans l'eau

Origine?

→ extra-terrestre ?

→ comètes

→ météorites

...

→ terrestre ?

→ ~~lagunes d'estran~~

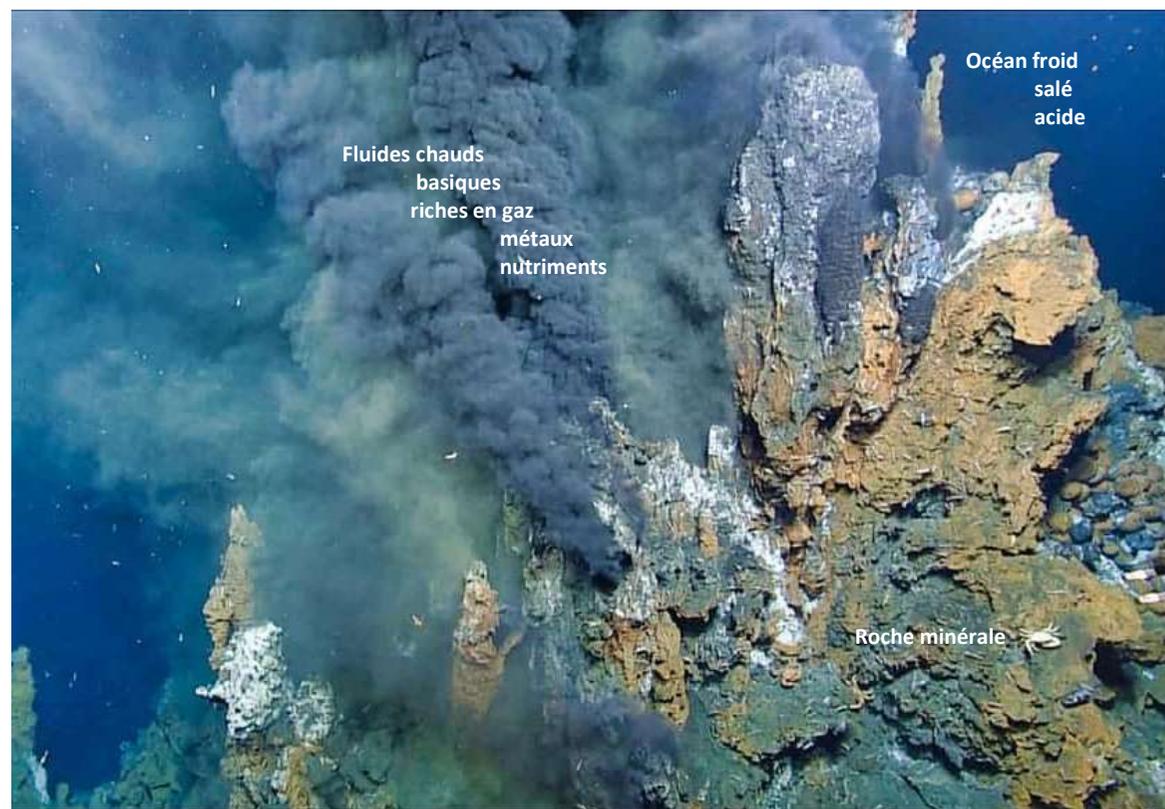
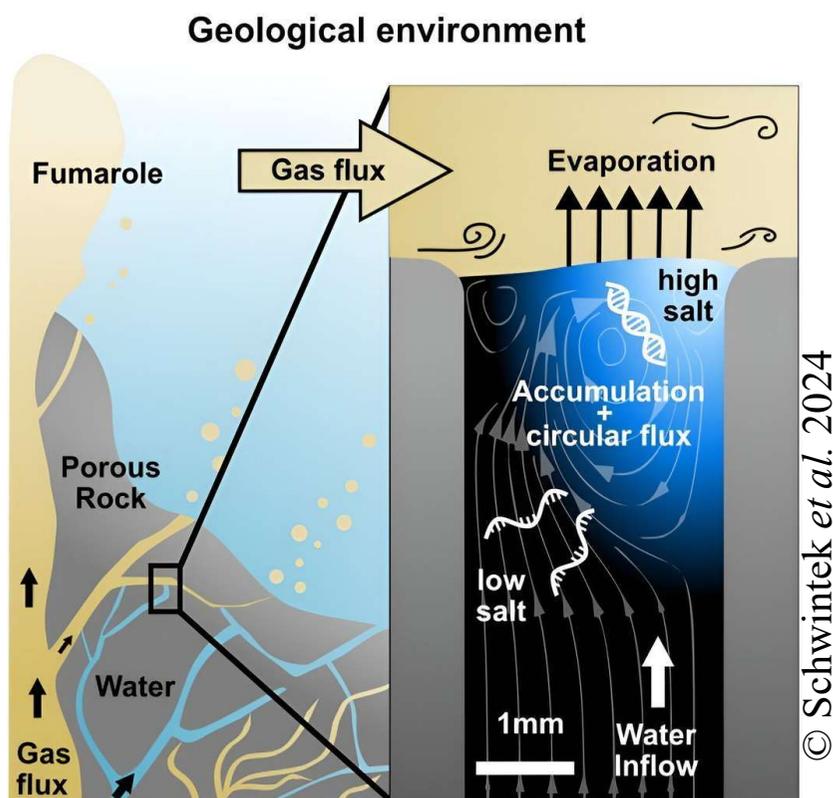
→ sources hydrothermales au fond des océans

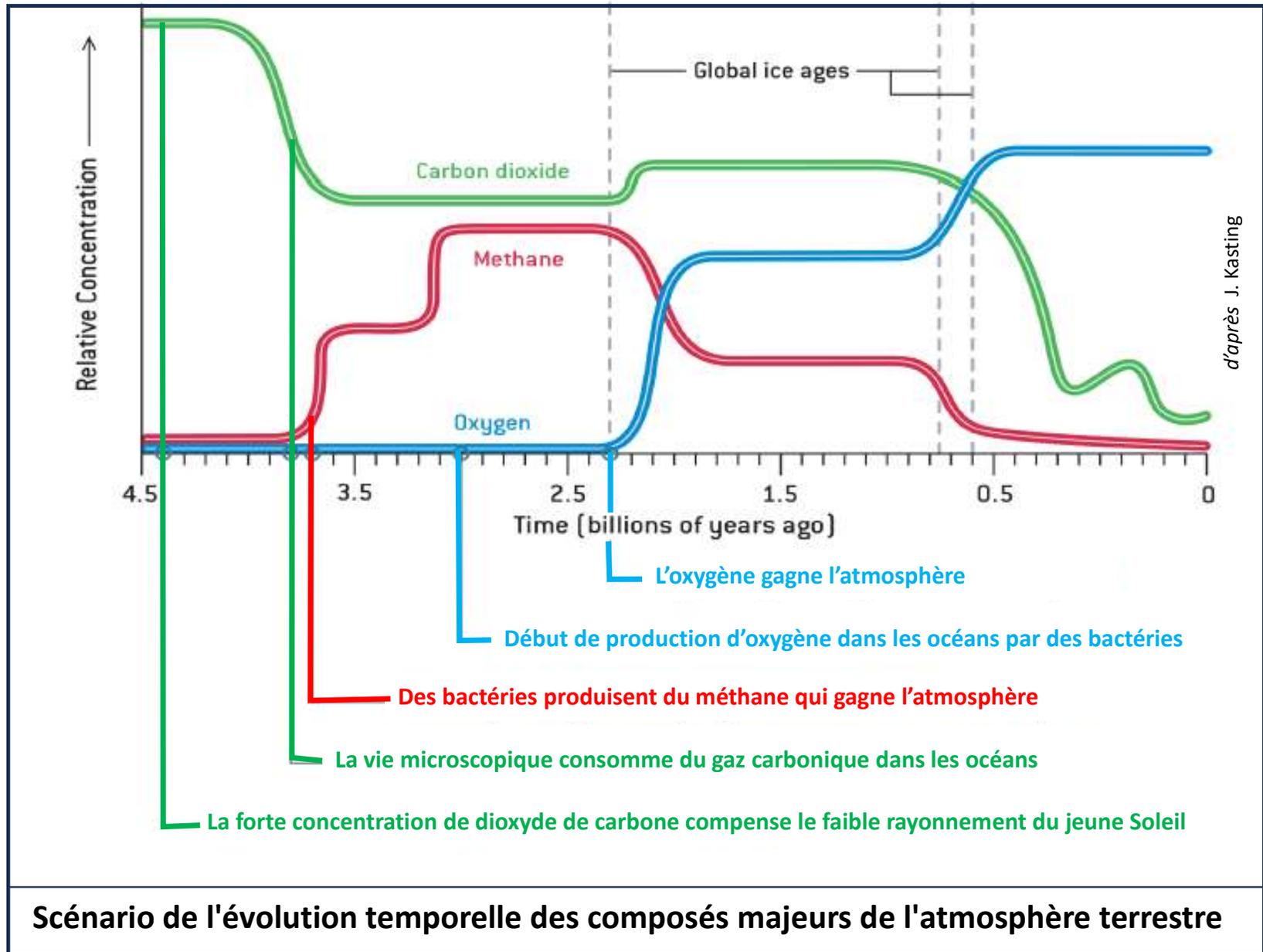
...

# L'hypothèse « sources hydrothermales » favorite

## La preuve par la réplication de l'ADN

Conditions réunies dans les porosités de la roche: eau, flux de gaz, gradient de salinité, température pour la réplication des brins d'ADN (x 30 en 1h)





## 2,4 Ga Les bactéries, responsables de la première grande glaciation

augmentation de l'O<sub>2</sub> dans l'océan (photosynthèse des cyanobactéries) et maintenant dans l'atmosphère

↓  
Hécatombe des archées anaérobies méthanogènes

↓  
Arrêt de la production de méthane

+  
Réaction méthane existant et O<sub>2</sub> → CO<sub>2</sub>

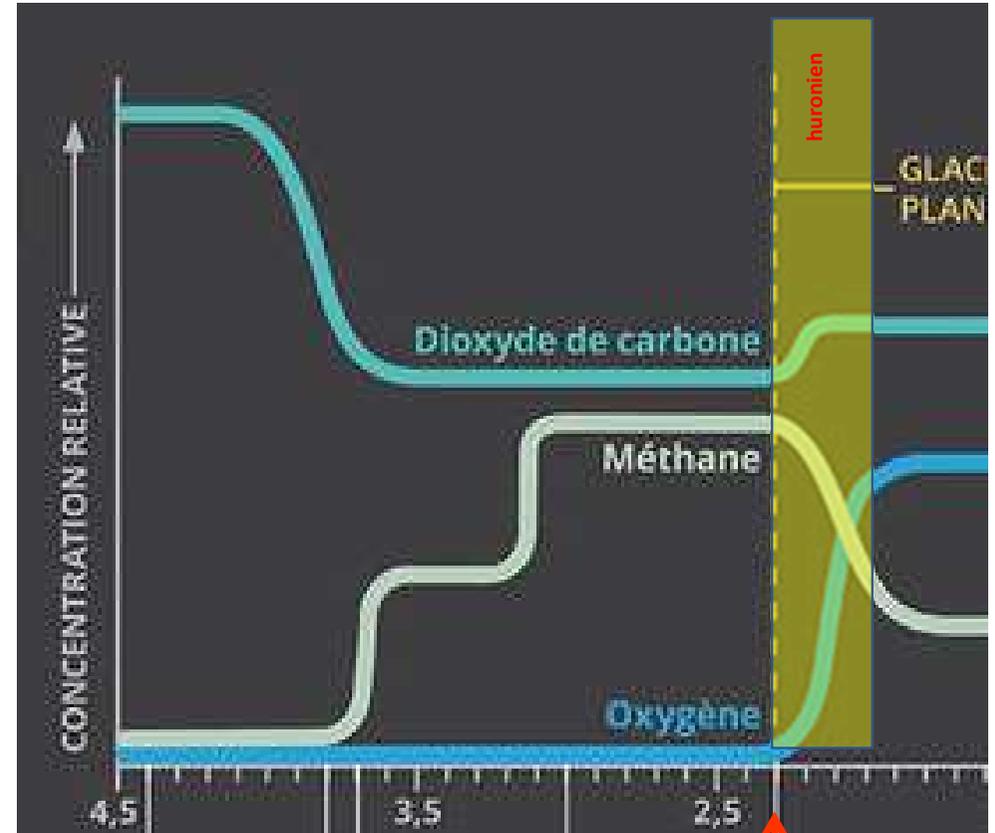
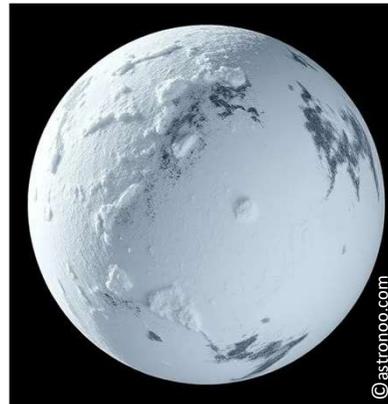
↓  
Baisse de l'effet de serre (CH<sub>4</sub> = 30 x CO<sub>2</sub>)

↓  
Refroidissement important

↓  
Augmentation de l'albedo

↓  
Auto amplification

↘  
Glaciation sur 300 millions d'années



↑  
hurorien

# 800 Ma: Dislocation du continent Rhodinia

Éruptions volcaniques



Coulées basaltiques



Forte humidité en mer



Précipitations et ruissellement sur les continents



Erosion des basaltes sur les continents (6 x X)



Absorption du CO<sub>2</sub> dans le puits de carbone



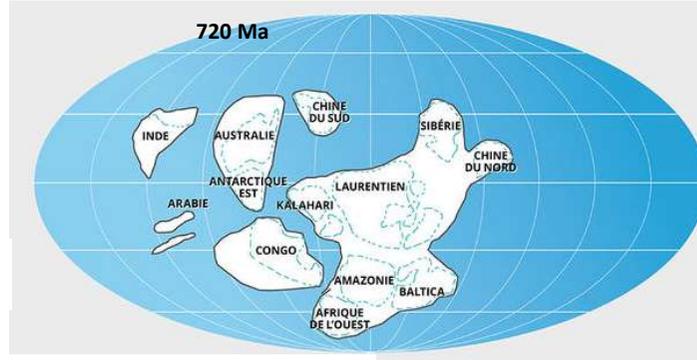
Baisse de - 50°C de température



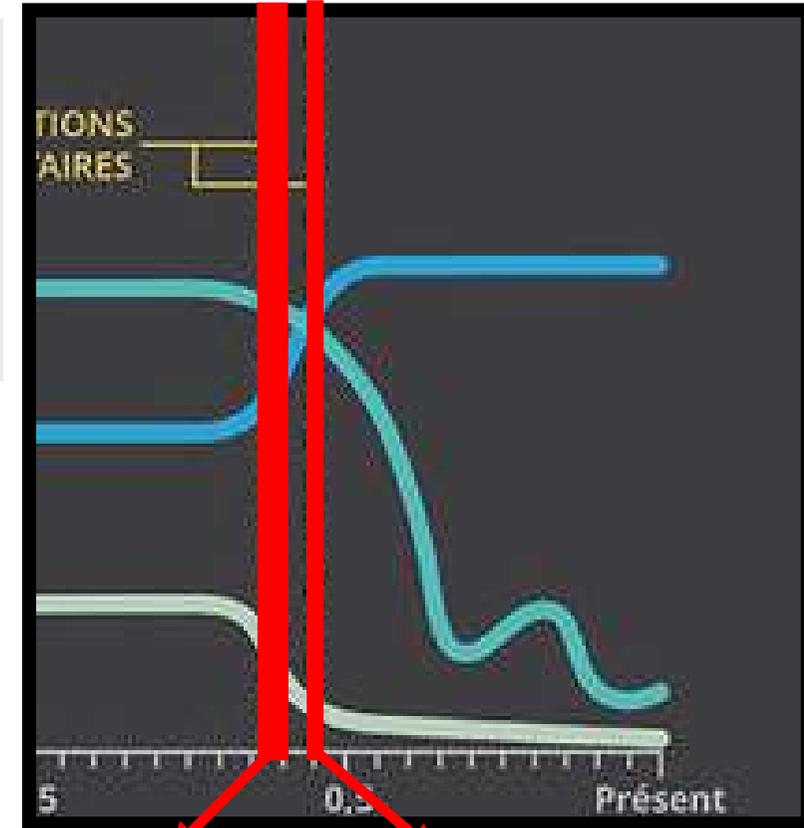
Augmentation de l'albedo +



Les calottes polaires se rejoignent à l'équateur?



TERRE boule de neige



**Sturtien**

717-659 Ma

**Marinoen**

645-635 Ma

Reprise du volcanisme



CO<sub>2</sub>



Effet de serre (> effet albedo)



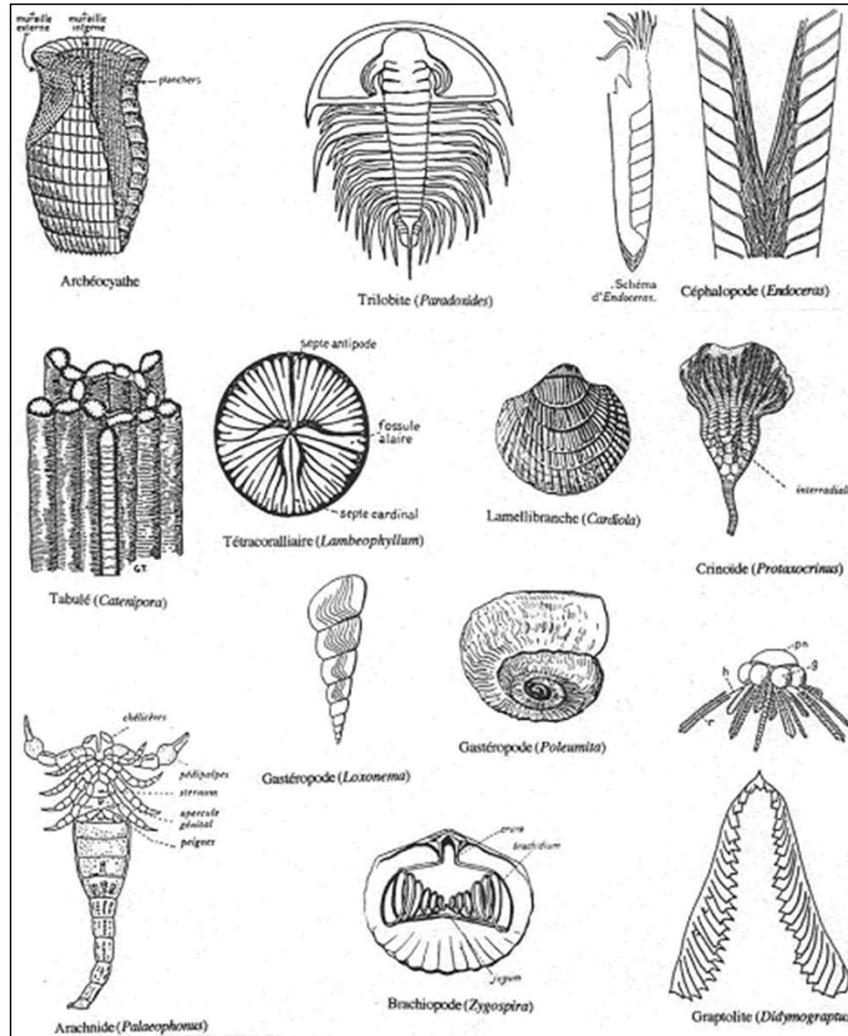
fonte

# 600Ma La grande révolution... biologique

Réchauffement post glaciaire

**protozoaires**

= organisme animal unicellulaire



**métazoaires**

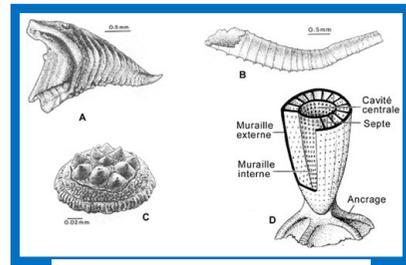
= organisme animal formé de plusieurs cellules



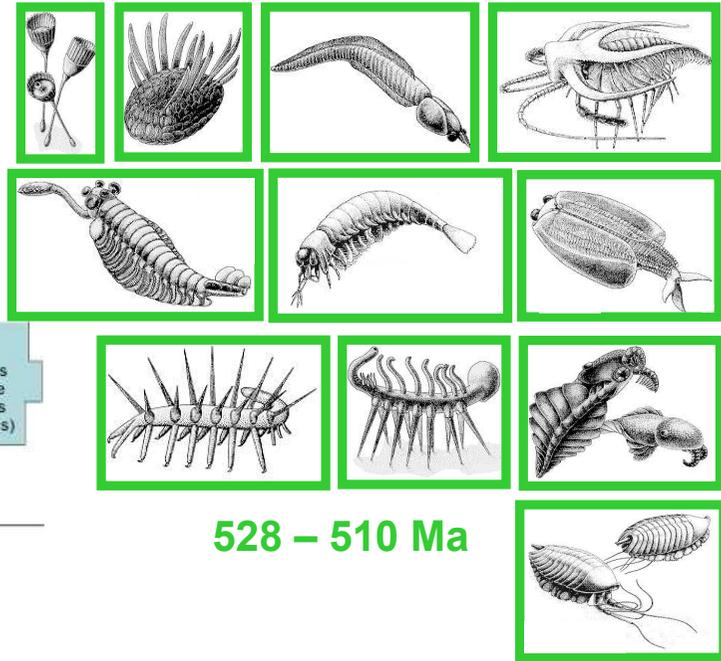
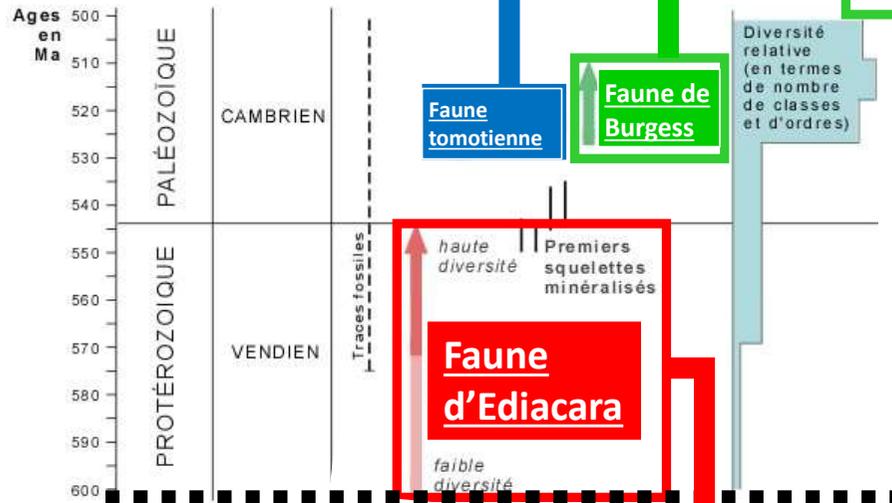
**Un pavé dans la mare**

**2,1 Ga bassin de Franceville au Gabon**



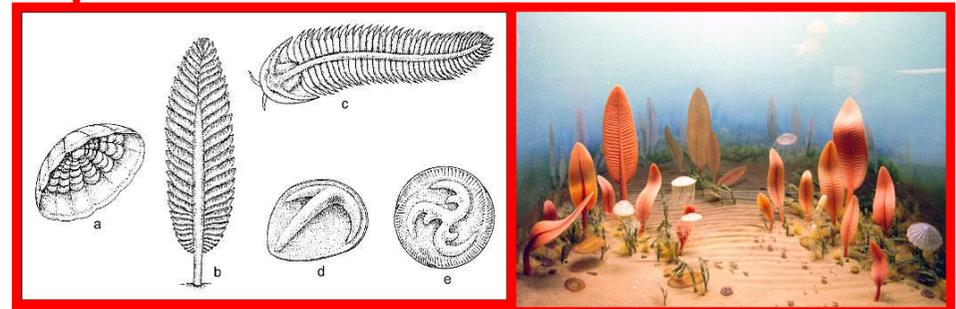


530 – 520 Ma



528 – 510 Ma

600 – 544 Ma



L'océan devient un grand laboratoire d'essais

**540 Ma**

**cambrien**

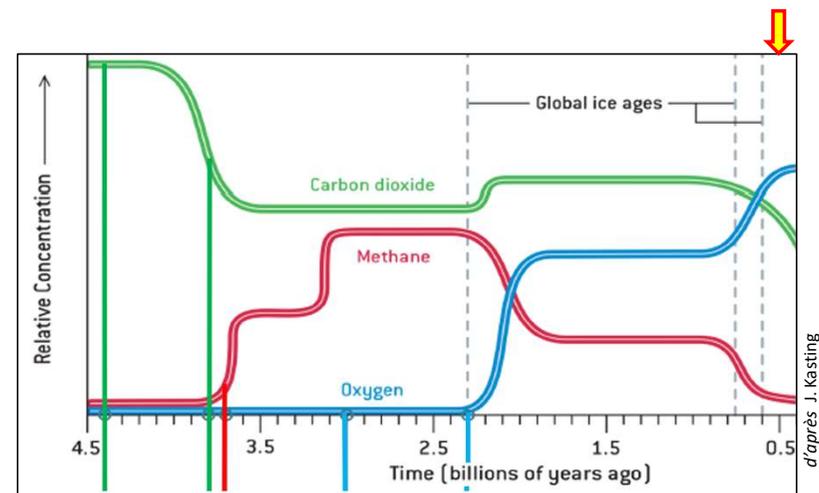
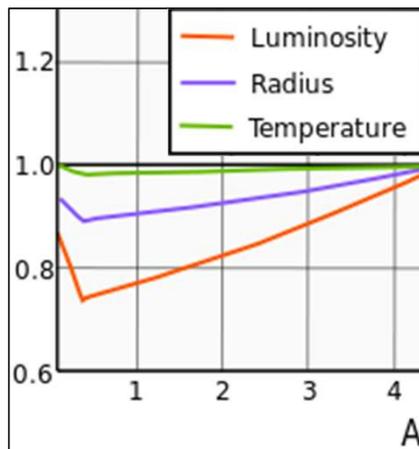
**explosion  
de la vie**

**Climat chaud et humide**



# Morale de cette première partie de l'histoire de la Terre:

- Depuis la formation du système solaire, en 4 Ga
  - la luminosité du Soleil s'est accrue de 20%
  - le taux de CO<sub>2</sub> s'est effondré
  - l'oxygène a saturé les océans, et maintenant l'atmosphère
- La Terre a connu des glaciations monstrueuses dans un contexte climatique globalement chaud



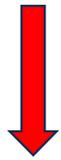
**Tout va bien...**

**... Et pourtant**

**la vie n'est pas un long fleuve tranquille**

# le gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) atmosphérique, grand régulateur du climat

CO<sub>2</sub> abondant



Climat chaud

CO<sub>2</sub> peu abondant

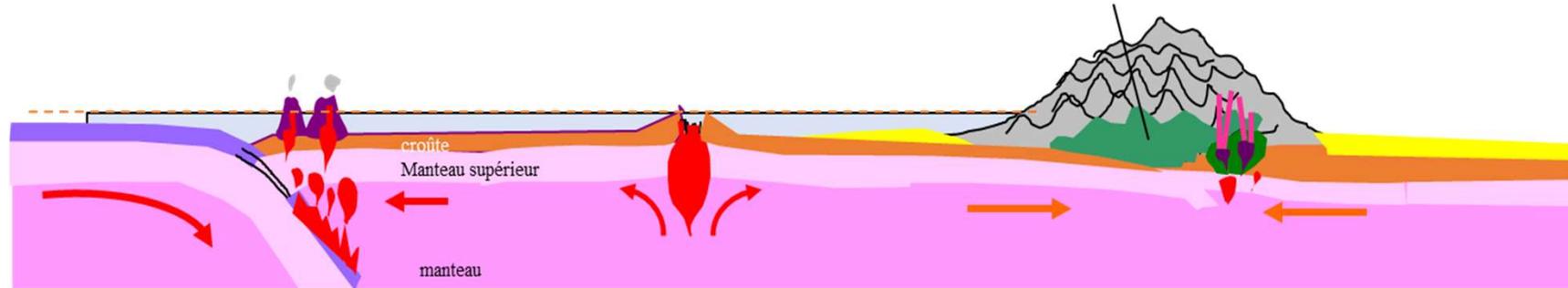


Climat froid

# **Principales causes de variations climatiques**

Interne à la Terre

# la tectonique des plaques



subduction

divergence

convergence

volcanisme

surrection de montagnes

émission de CO<sub>2</sub>

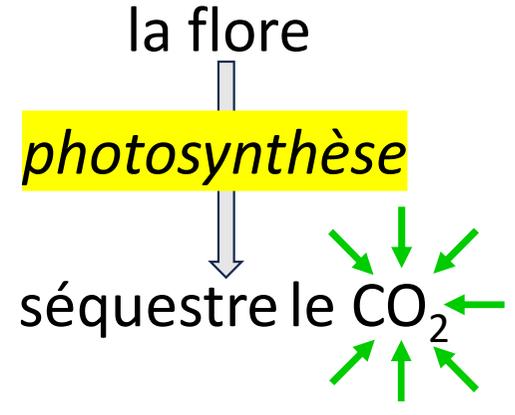
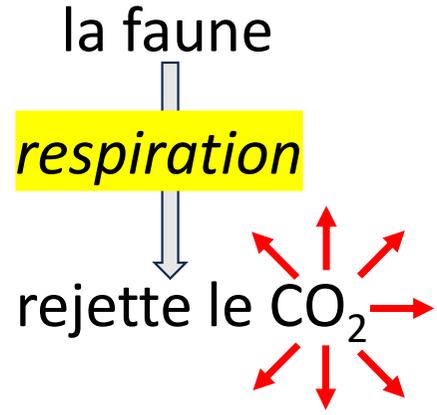
captation de CO<sub>2</sub>

**réchauffement**

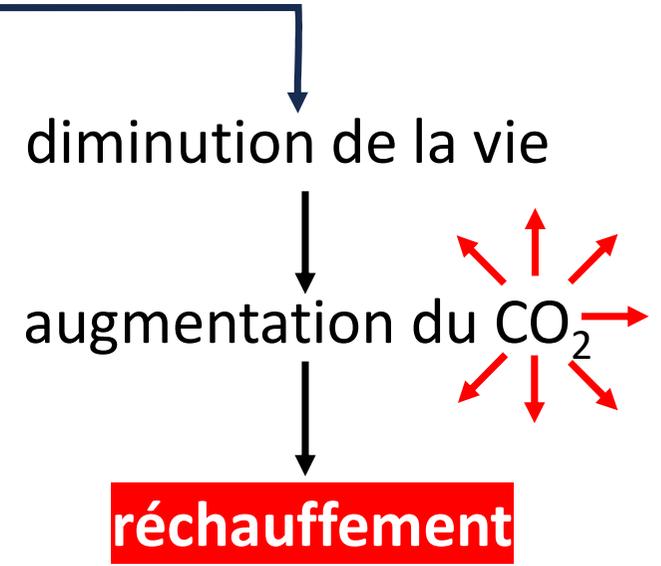
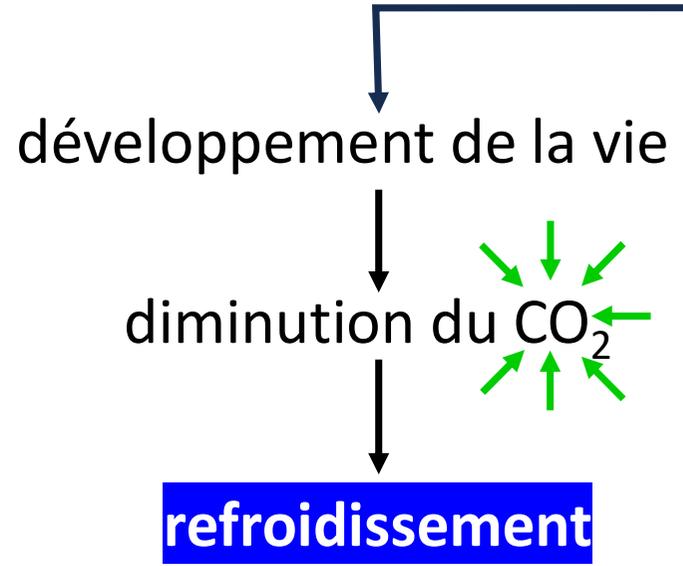
**refroidissement**

à la surface de la Terre

# la vie



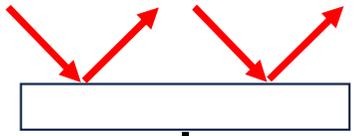
mais faune < flore → bilan : rejets < séquestrations



à la surface de la Terre

# Rôle de l'albedo sur le climat

Le blanc renvoie le rayonnement solaire



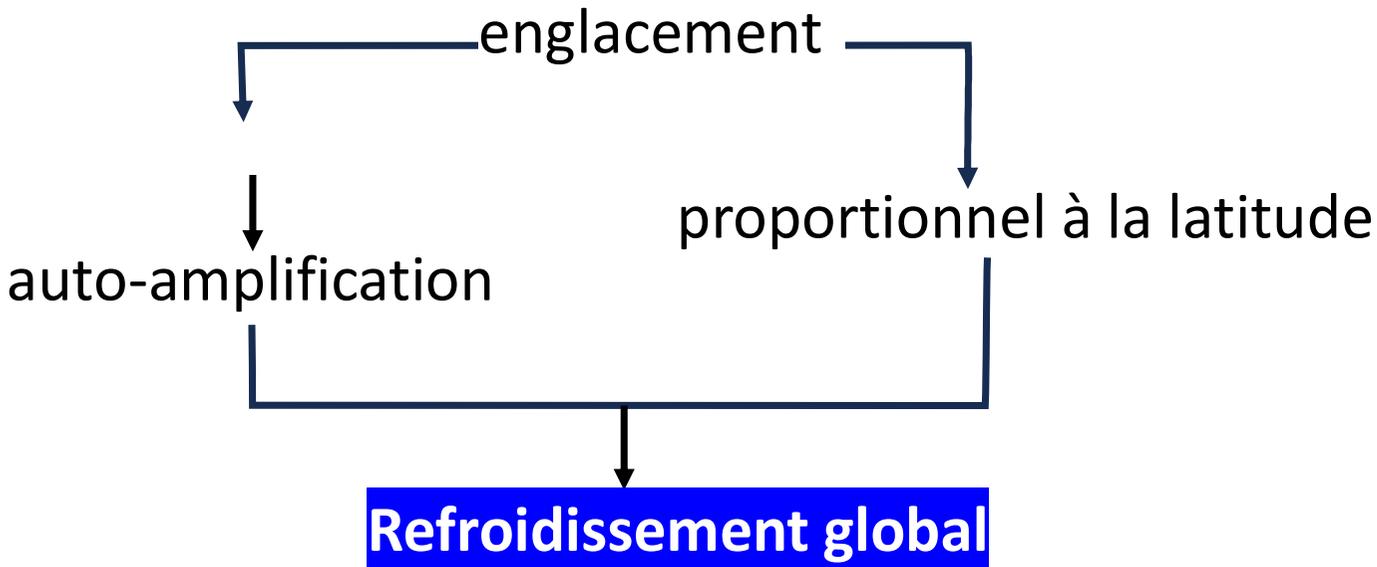
← 100 albedo 0 →

**refroidissement**

le noir l'absorbe



**réchauffement**



# la chute d'astéroïdes

Extra-terrestre



**5 grandes crises**

Crétacé / Tertiaire

5

Trias . Jurassique

4

Permien / Trias

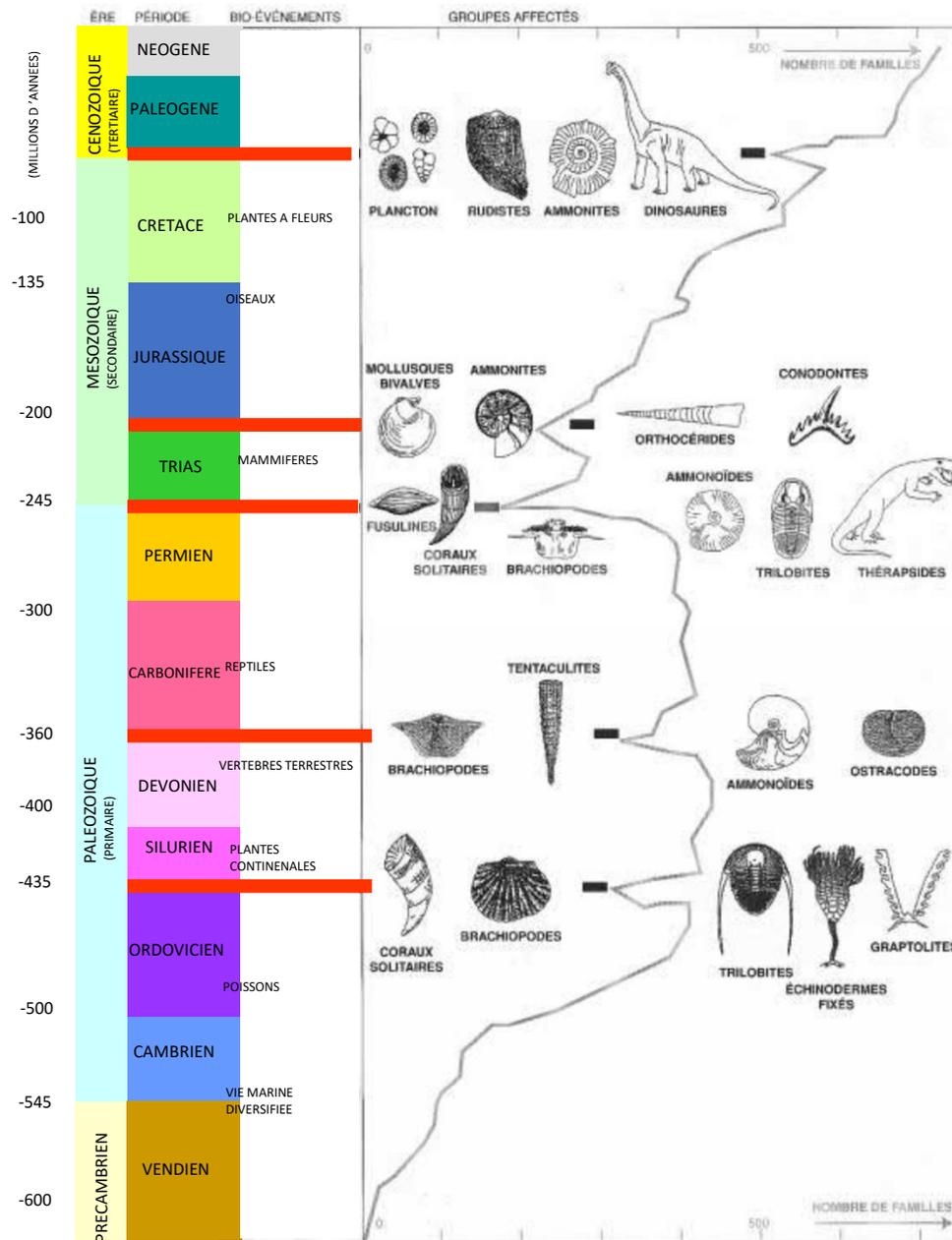
3

Devonien / Carbonifère

2

Ordovicien / Silurien

1



**Ordovicien / silurien**  
**Vers → 450 Ma**

**Climat très froid**

Chaîne de montagnes nord américaines (Appalaches)

→ érosion

→ absorption du CO<sub>2</sub> par les sédiments

→ diminution du CO<sub>2</sub> atmosphérique

→ refroidissement

→ **glaciation sur 1 à 2 Ma**

→ baisse importante du niveau de la mer

→ disparition des plateaux continentaux

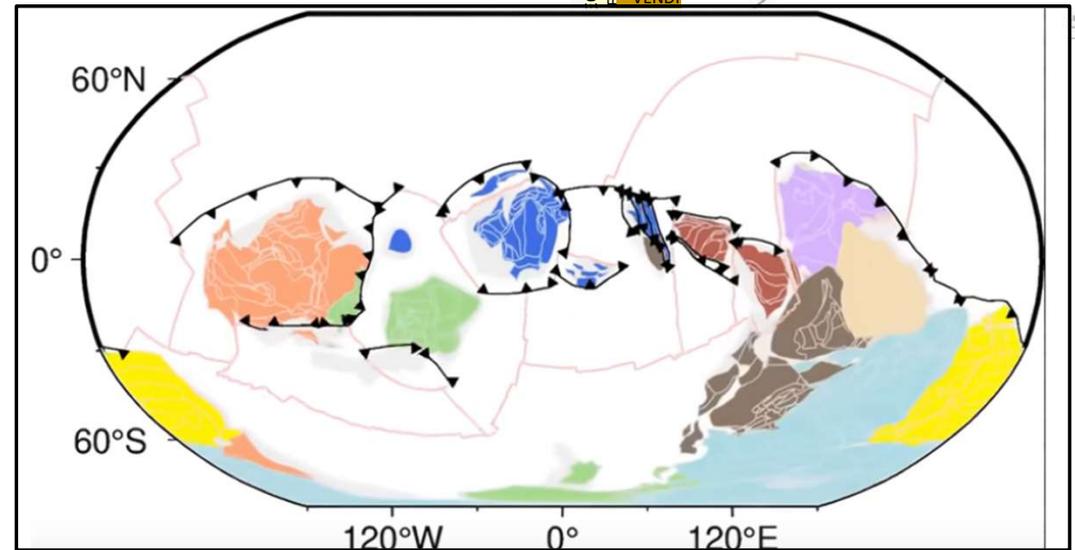
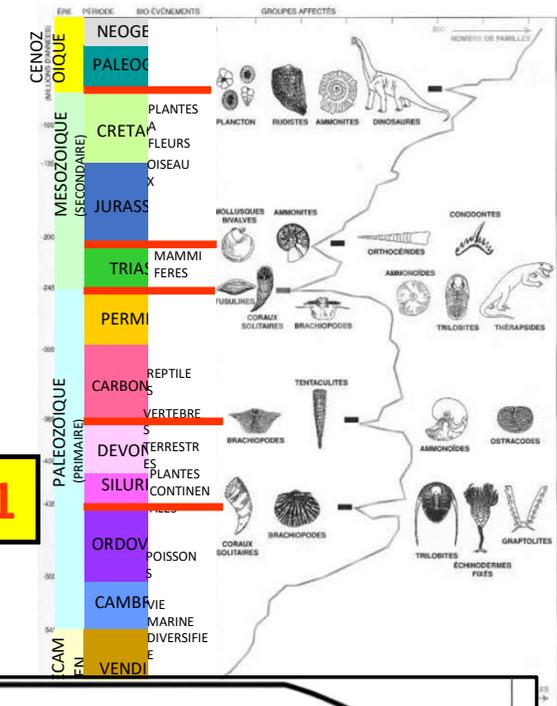
→ extinction massive de la vie marine

→ **- 85% de perte de biodiversité**

**la 2<sup>ème</sup> en intensité**

**perte de biodiversité de 85%**

**1**



**Devonien / Carbonifère**  
**383 - 359 Ma**

**Climat chaotique**

Sur 25 millions d'années

la plus complexe

Plusieurs pics d'extinction dans un climat chaotique

Episodes volcaniques → trapps de Sibérie

→ augmentation du CO<sub>2</sub> → **climat chaud**

→ introduction de SO<sub>2</sub> dans l'atmosphère → **pluies acides**

Développement des arbres sur les continents

→ consommation du CO<sub>2</sub> par les arbres

→ baisse du CO<sub>2</sub> → **climat froid**

→ altération des roches

→ pédogénèse → érosion continentale

→ sédimentation marine riche en **humus**

→ absorption de l'O<sub>2</sub> → zones d'anoxie

→ **mort des coraux**

→ fixation du CO<sub>2</sub> par les sédiments (silicatés et carbonatés)

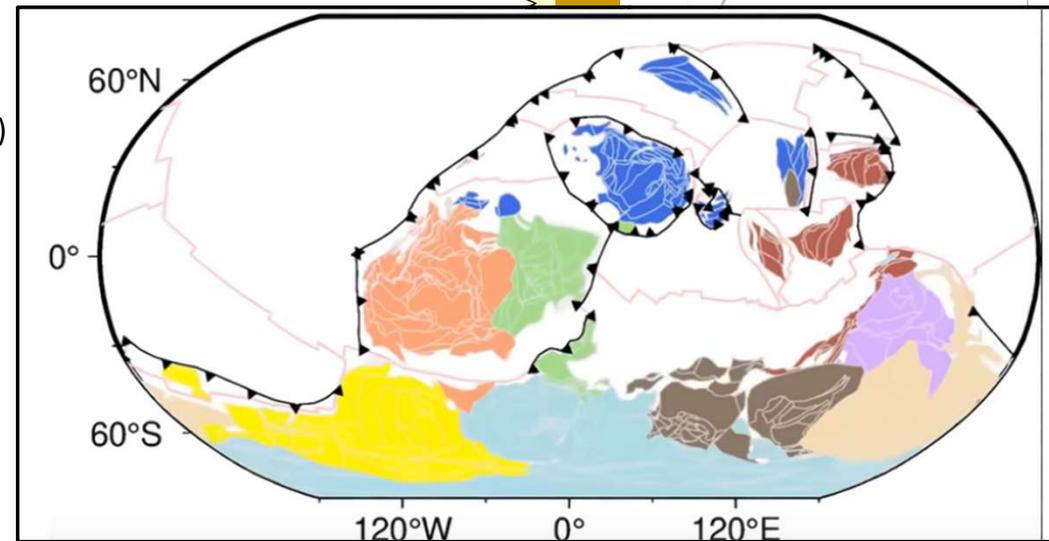
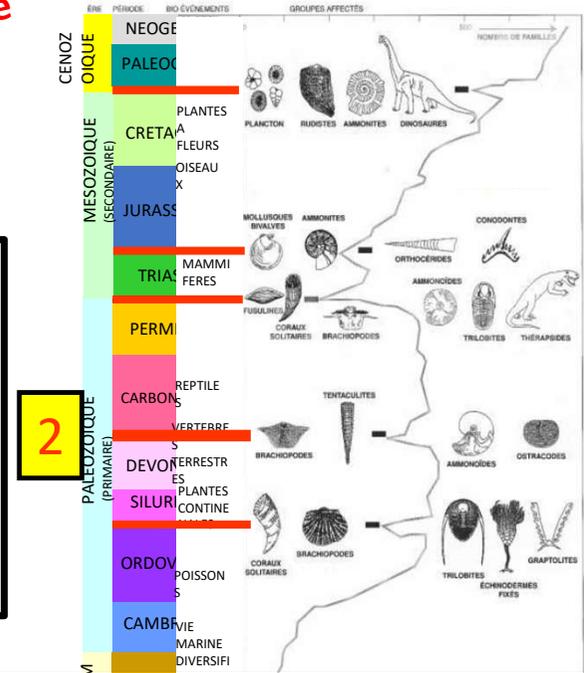
→ refroidissement → baisse du niveau de la mer

→ disparition des plateaux continentaux

**glaciations**

Astéroïde de Siljan en Suède vers --377Ma ... etc....

**Disparition de 75% des espèces marines**  
**La faune et la flore terrestre ne sont pas indemnes, mais évaluation difficile car fossilisation aléatoire**



**Permien / Trias**  
**Vers 252 Ma**

**Climat très chaud**

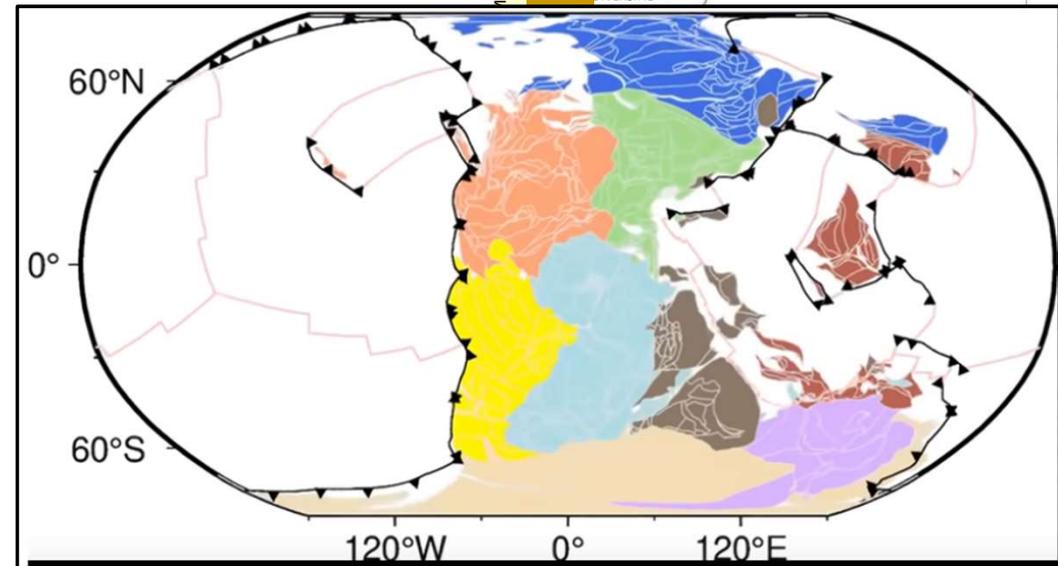
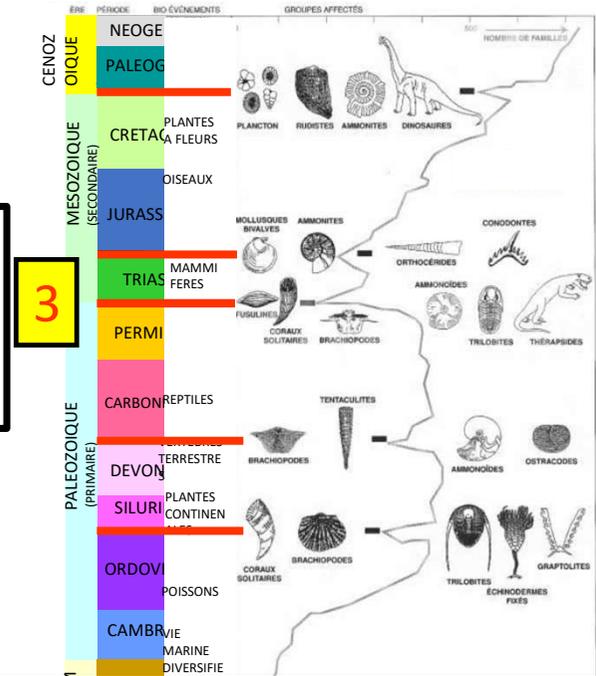
**la pire**

**Sur 10 millions d'années**

- Mauvaise circulation océanique
- Intense activité volcanique
  - Trapps de Chine
  - Trapps de Sibérie (3,5M km<sup>2</sup> x 3700m en < 1 Ma)
    - émission de CO<sub>2</sub> (14500 milliards de tonnes)
      - dégagement de CH<sub>4</sub> à partir des bassins houillers
      - **températures infernales**
  - augmentation de température globale entre +14 et + 18°C
  - température de surface des océans à l'équateur 40 °C →
  - émission de soufre volcanique
    - **pluies acides**
  - érosion des roches
    - diminution de l'O<sub>2</sub> des océans de 76%
    - **anoxie**

Reconstitution d'une forêt : 10 millions d'années  
Océans de nouveau pleins de vie: 8 millions d'années

**Disparition de**  
**95% des espèces marines**  
**80% des espèces terrestres**  
**(en moins de 60000 ans)**



Trias / Jurassique  
Vers 201 Ma

Climat chaud

la plus longue

Sur 17 millions d'années

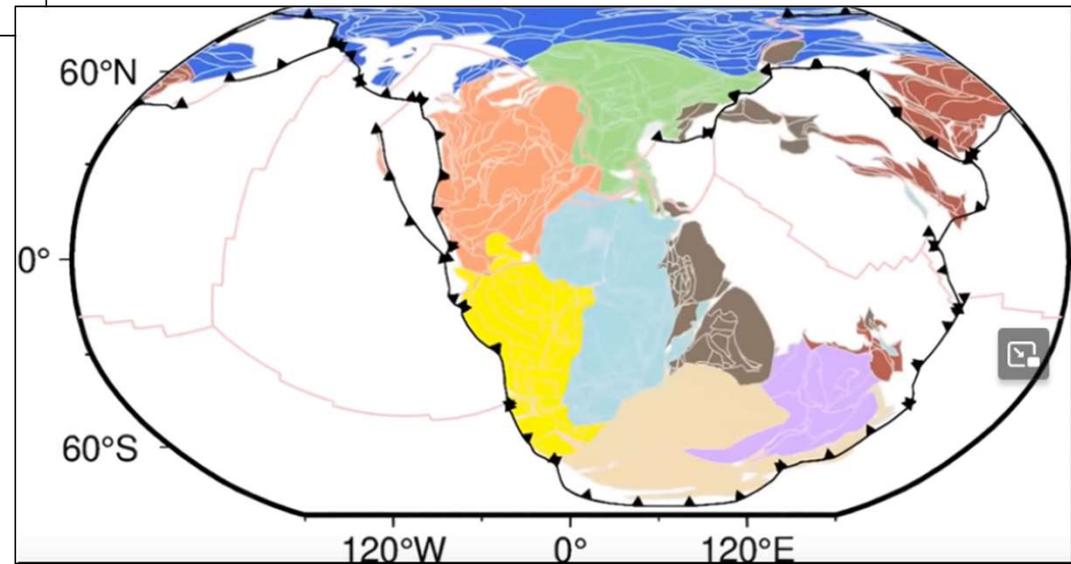
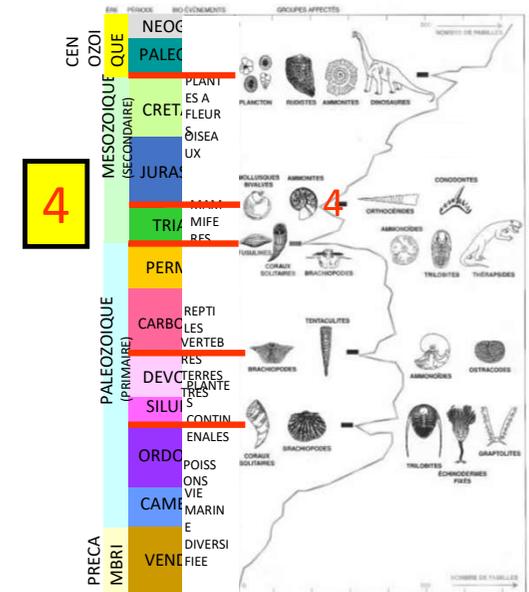
### ouverture de l'océan atlantique

- volcanisme intense au cœur de la pangée (volume de lave équivalent à 400m d'épaisseur sur une surface égale aux Etats Unis)
- augmentation du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère (x 4)
- réchauffement global de 4°C
- acidification de l'océan
  - moins de carbonate de calcium

...

### Disparition de 80% des espèces marines et terrestres

- Réduction des plantes à pollens, des amphibiens
- Sécheresse continentale (évaaporites)
- Diversification des crocodiliens,
- Premiers dinosaures



**Crétacé / Tertiaire  
Vers 66 Ma**

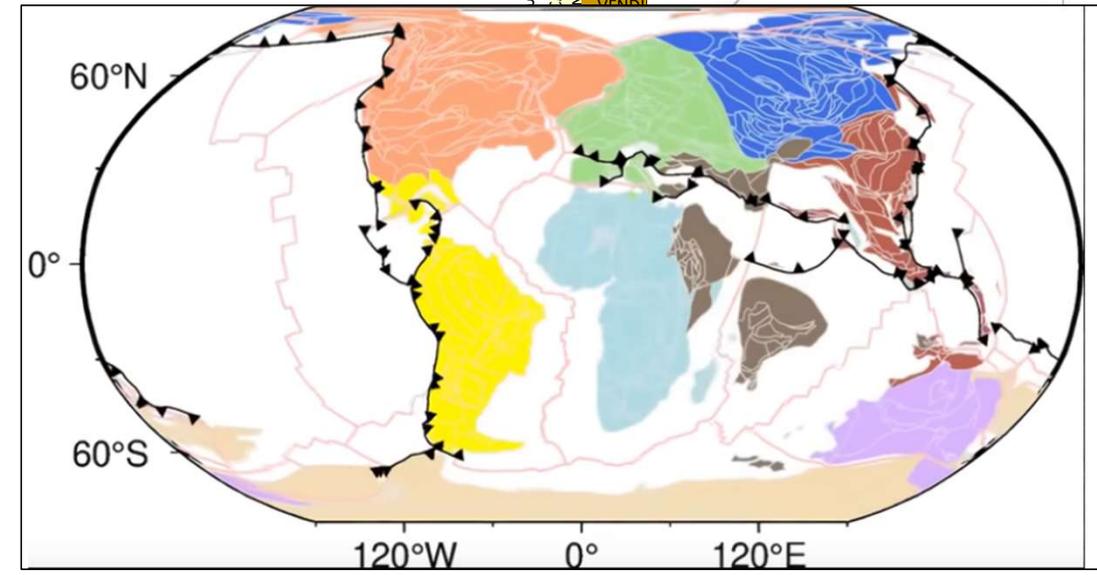
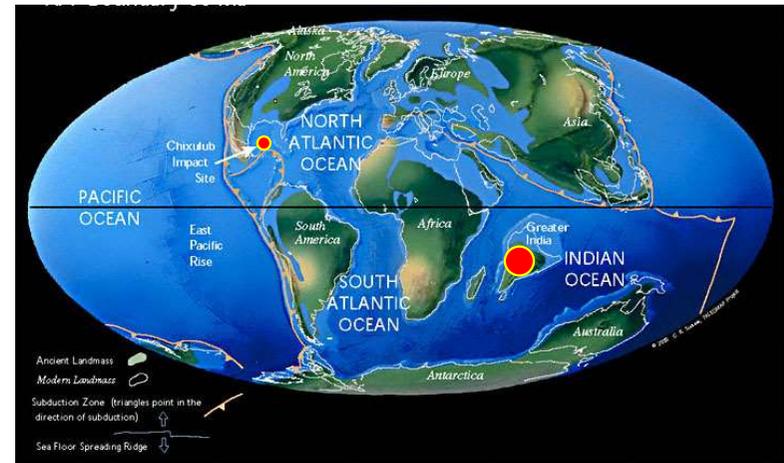
*la plus célèbre*

Le Crétacé = foisonnement de la vie

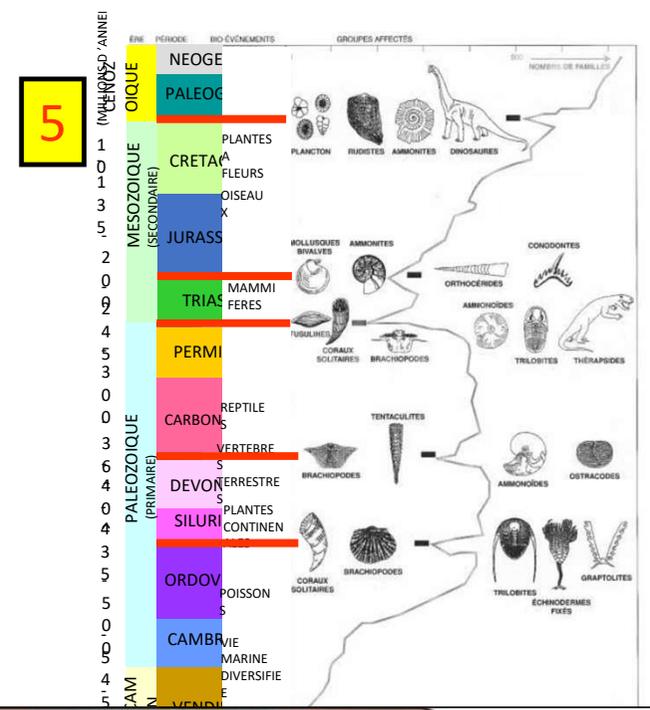
Fin du crétacé

- = Volcanisme majeur: les trapps du Deccan  
pendant 850000 ans de 250 000 + 600 000 ans  
→ 2500m de laves sur 2 M km<sup>2</sup>  
CO<sub>2</sub> (x4 / actuel)  
→ **climat chaud**

= chute d'un astéroïde dans la péninsule du Yucatan (Mexique)

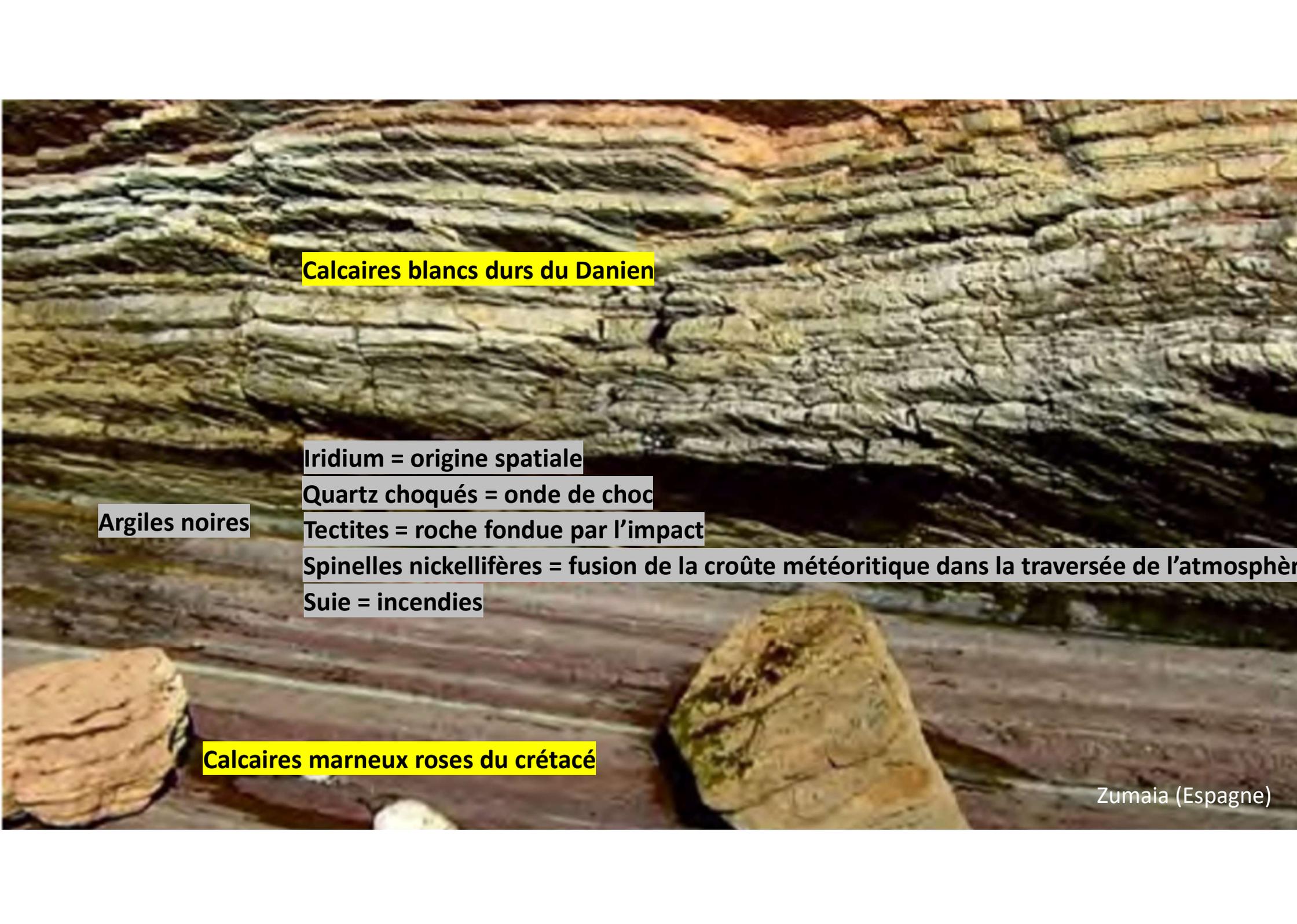


75% des espèces marines disparaissent, mais sélectivité  
Disparition des dinosaures (sauf les oiseaux)  
Les mammifères, oiseaux, insectes, tortues, crocodiles,  
lézards, serpents sont peu touchés,



**diamètre: 17 km**  
**densité: 2,6**  
**vitesse: 12 km/s**  
**incidence: 60°**





**Calcaires blancs durs du Danien**

**Iridium = origine spatiale**

**Quartz choqués = onde de choc**

**Argiles noires**

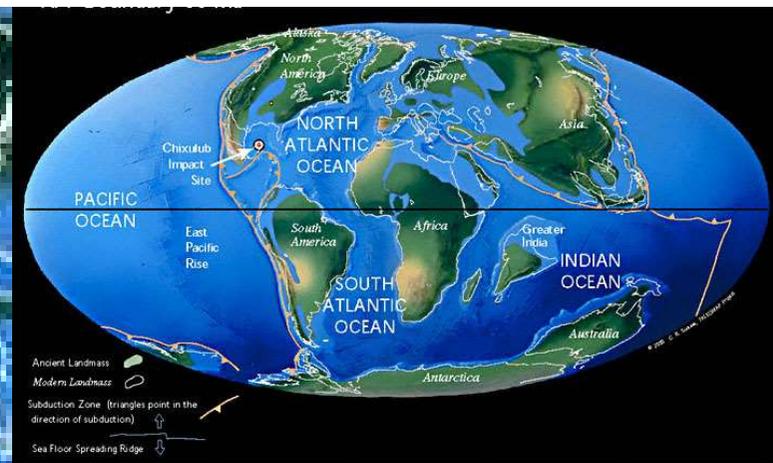
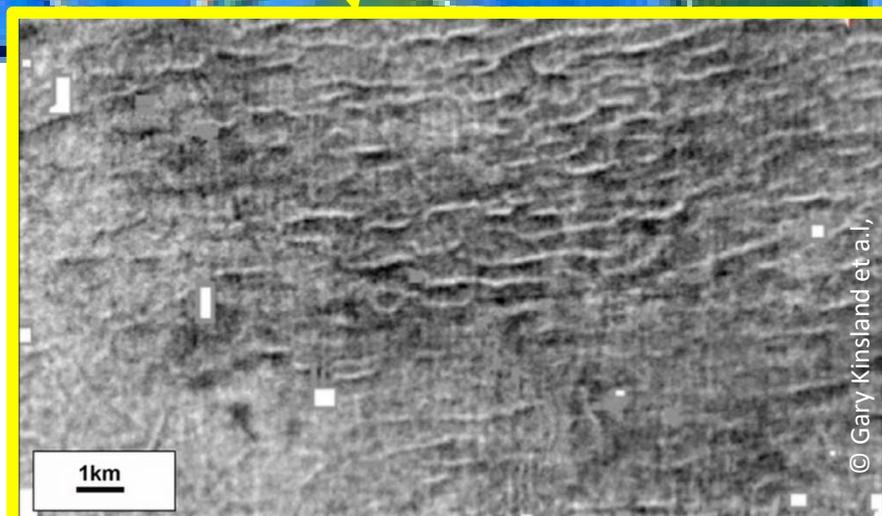
**Tectites = roche fondue par l'impact**

**Spinelles nickellifères = fusion de la croûte météoritique dans la traversée de l'atmosphère**

**Suie = incendies**

**Calcaires marneux roses du crétacé**

Zumaia (Espagne)



Énergie x 30000 tsunami de 2004



Tsunami de 1,5km

Groupe	Familles présentes	Familles éteintes	Taux d'extinction
Chondrichthyens (Requins & Raies)	44	8	18
Poissons osseux	50	6	12
Amphibiens	11	0	0
Reptiles (6 groupes)	83	45	54
1- Chéloniens (Tortues)	15	4	27
2- Lacertiens (Lézards et Serpents)	16	1	6
3- Crocodyliens	14	5	36
4- Ptérosauriens (« reptiles volants »)	2	2	100
5- Plésiosauriens (« reptiles marins »)	3	3	100
6- Dinosauriens sauf Oiseaux	21	21	100
6'-Oiseaux	12	9	75
Mammifères	22	5	23
Groupes « primitifs »	11	1	9
Marsupiaux	4	3	75
Placentaires	7	1	14
Total des Vertébrés	210	64	30
Poissons	94	14	15
Tétrapodes	116	50	43
Amniotes	105	50	48

Disparition:  
40% des genres  
70% des espèces

Tous les tétrapodes de plus de 25 kg ont disparu.

*vertébrés qui ont possédé à un moment de leur évolution des pattes munies de doigts*

### Vertébrés continentaux:

95% des animaux de plus de 10 kg étaient des Dinosaures, 5% étaient des Crocodiles, des Tortues terrestres ou de grands lézards.

### Disparition de:

presque tout le plancton  
une bonne partie du necton  
presque toute la vie des fonds marins  
une grande partie de la végétation terrestre

88% des espèces terrestres ont disparu  
10% des espèces d'eau douce ont disparu

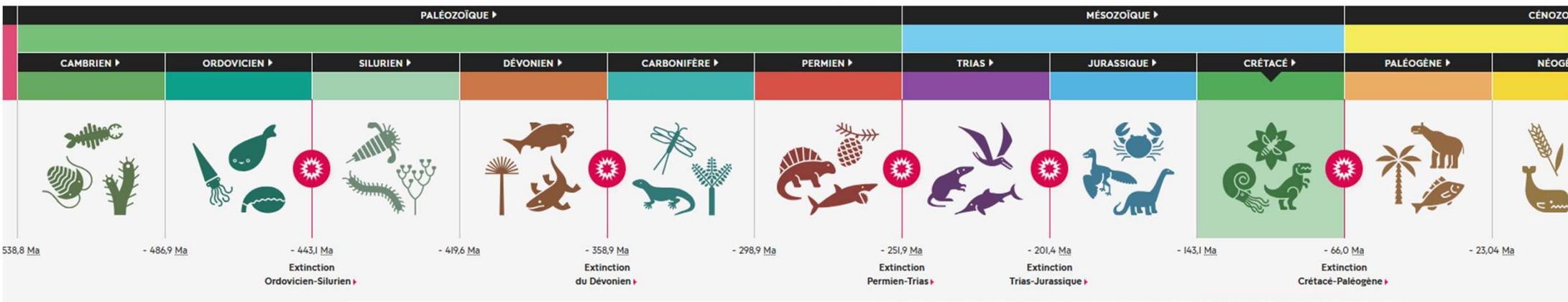




Ukhaatherium nessovi.

# Les crises, moteurs de l'évolution...

Frise chronologique



©MNHN

Les grandes crises ont éradiqué de multiples formes de vie, mais pas la vie qui, chaque fois, en ressortait différente et dynamisée :

## DEFINITION D'UNE CRISE:

- **brutalité**
- **rapidité** (quelques jours à quelques millions d'années)
- **disparition** de rangs élevés (au moins famille) et à modes de vie différents (différentes niches écologiques).
- **chute** drastique de la biodiversité (nb espèces, genres, familles) **ET** de la biomasse

# **DEROULEMENT D'UNE CRISE**

## **1) Extinction:**

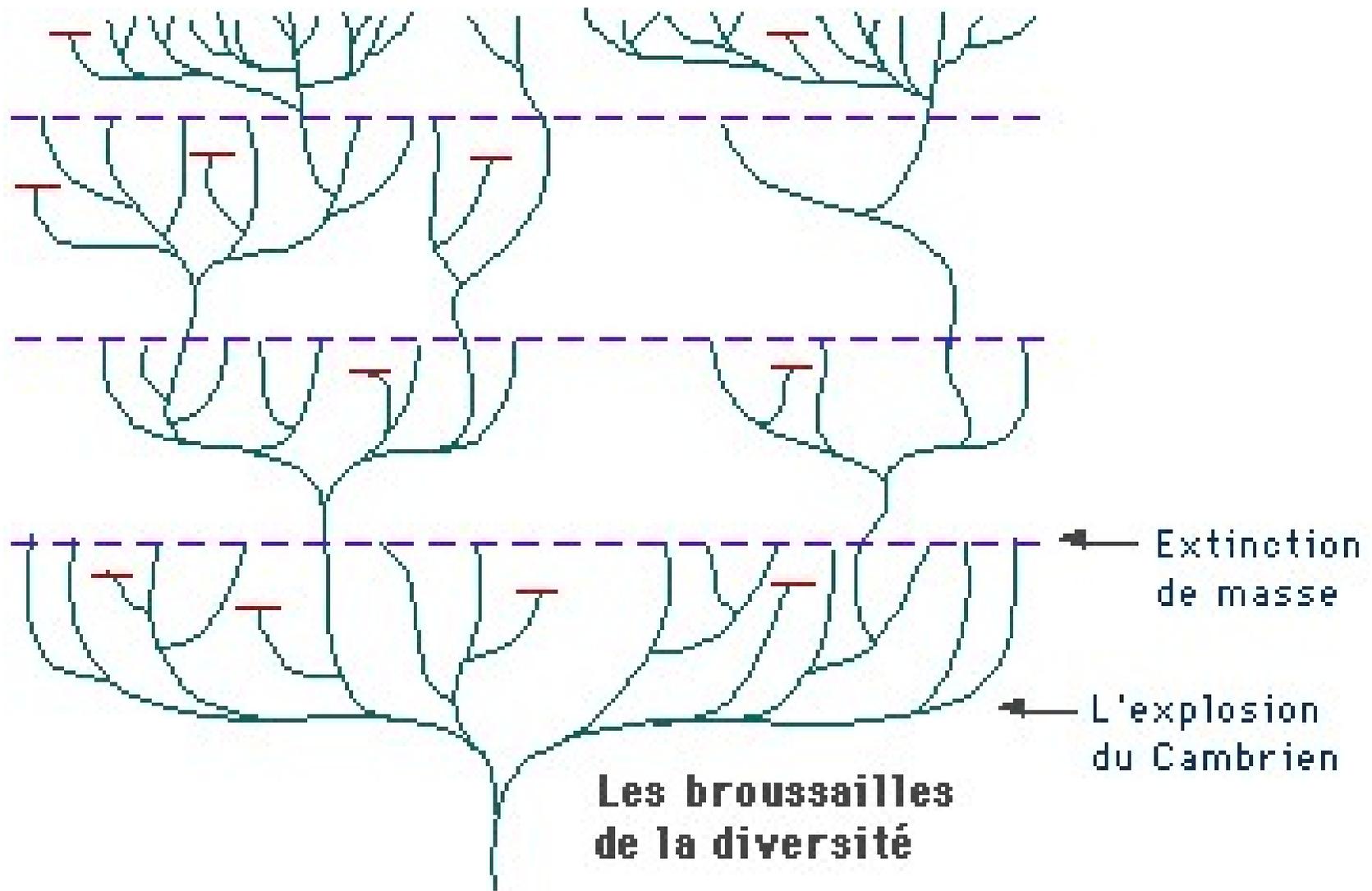
Augmentation et concomitance de disparition d'espèces

## **2) Survie:**

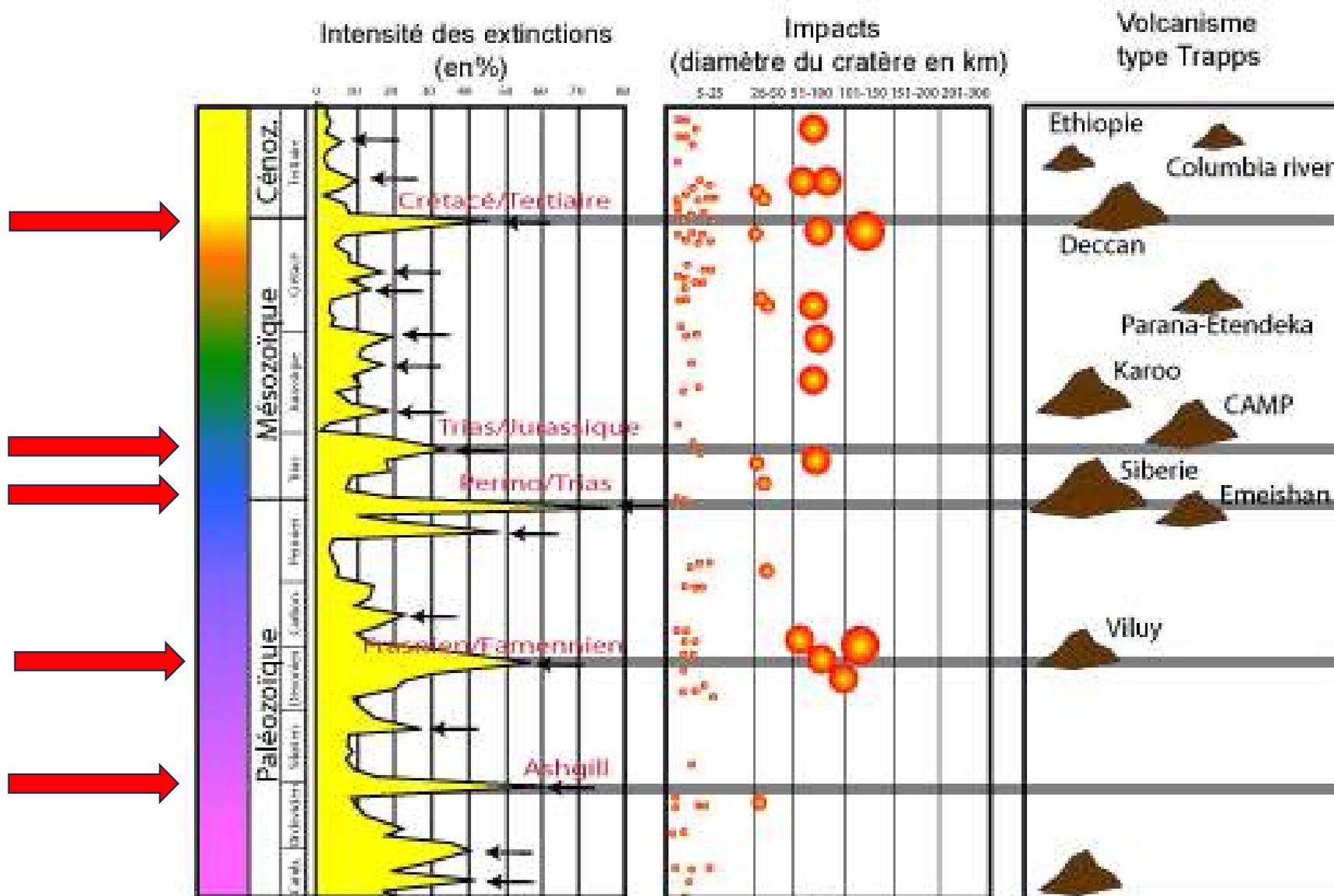
Biodiversité réduite à son minimum

## **3) Reconquête:**

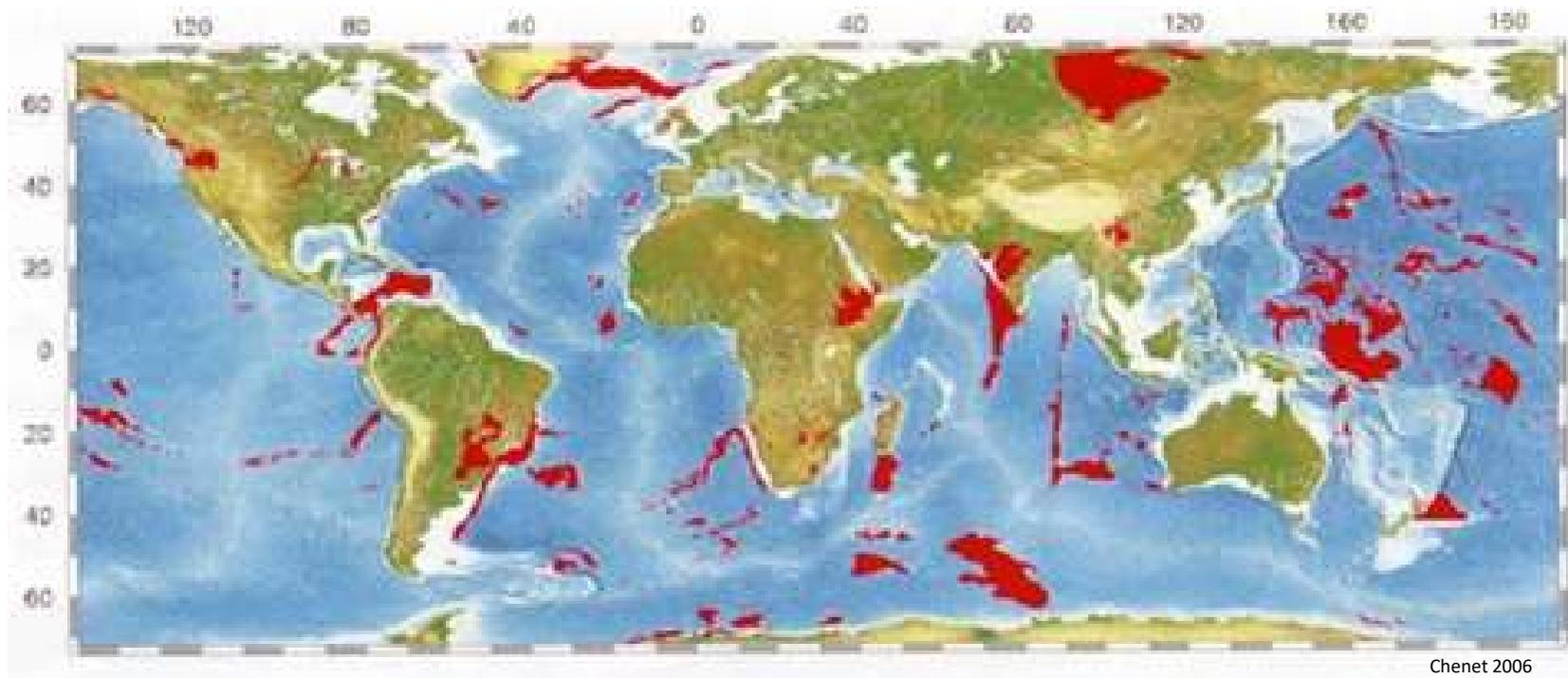
Biodiversité en phase ascendante et réadaptation aux niches écologiques vides



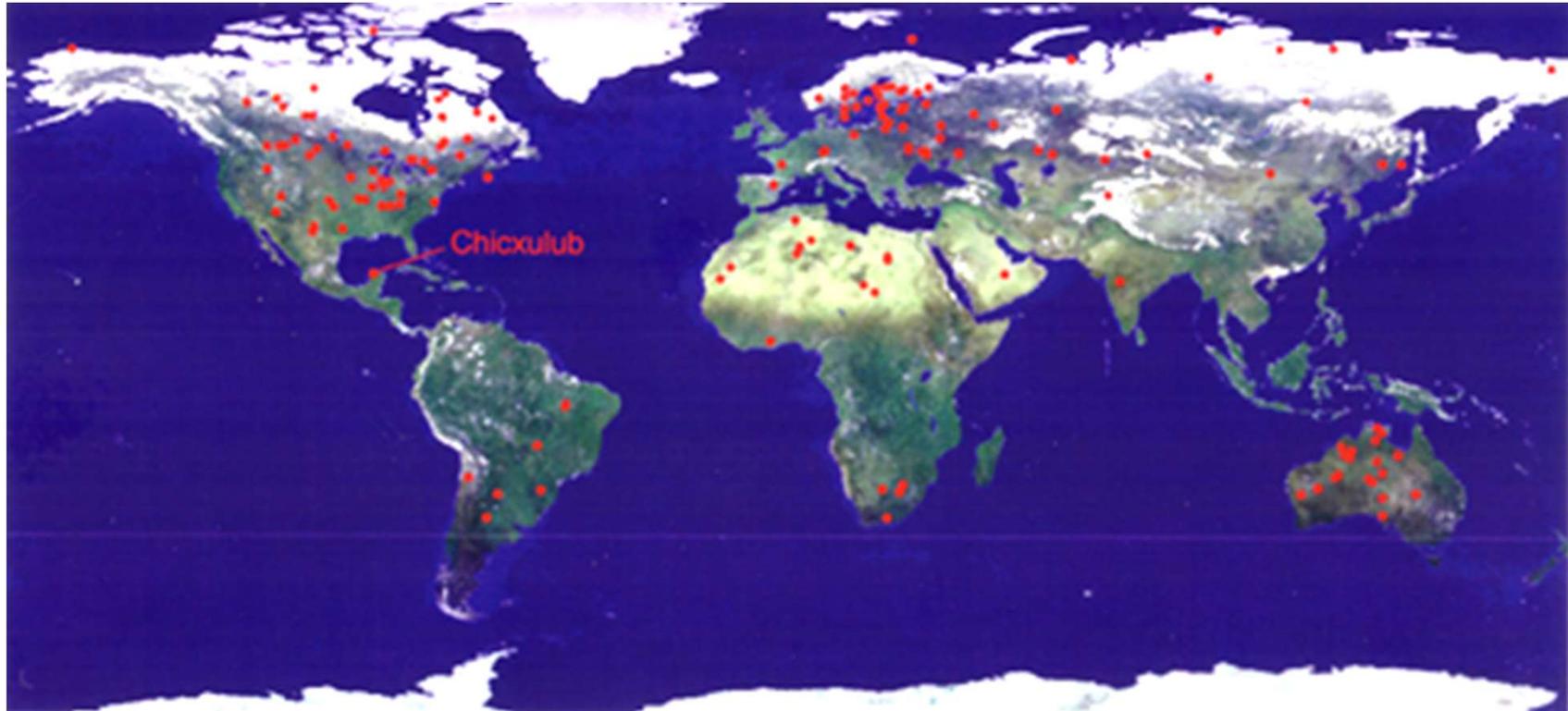
**Il n'y a pas que les grandes crises...**



Corrélations extinctions de masse – impacts météoritiques – volcanisme effusif



Grandes régions basaltiques affleurant en surface



Cratères d'impacts météoriques ayant laissé des traces visibles encore aujourd'hui

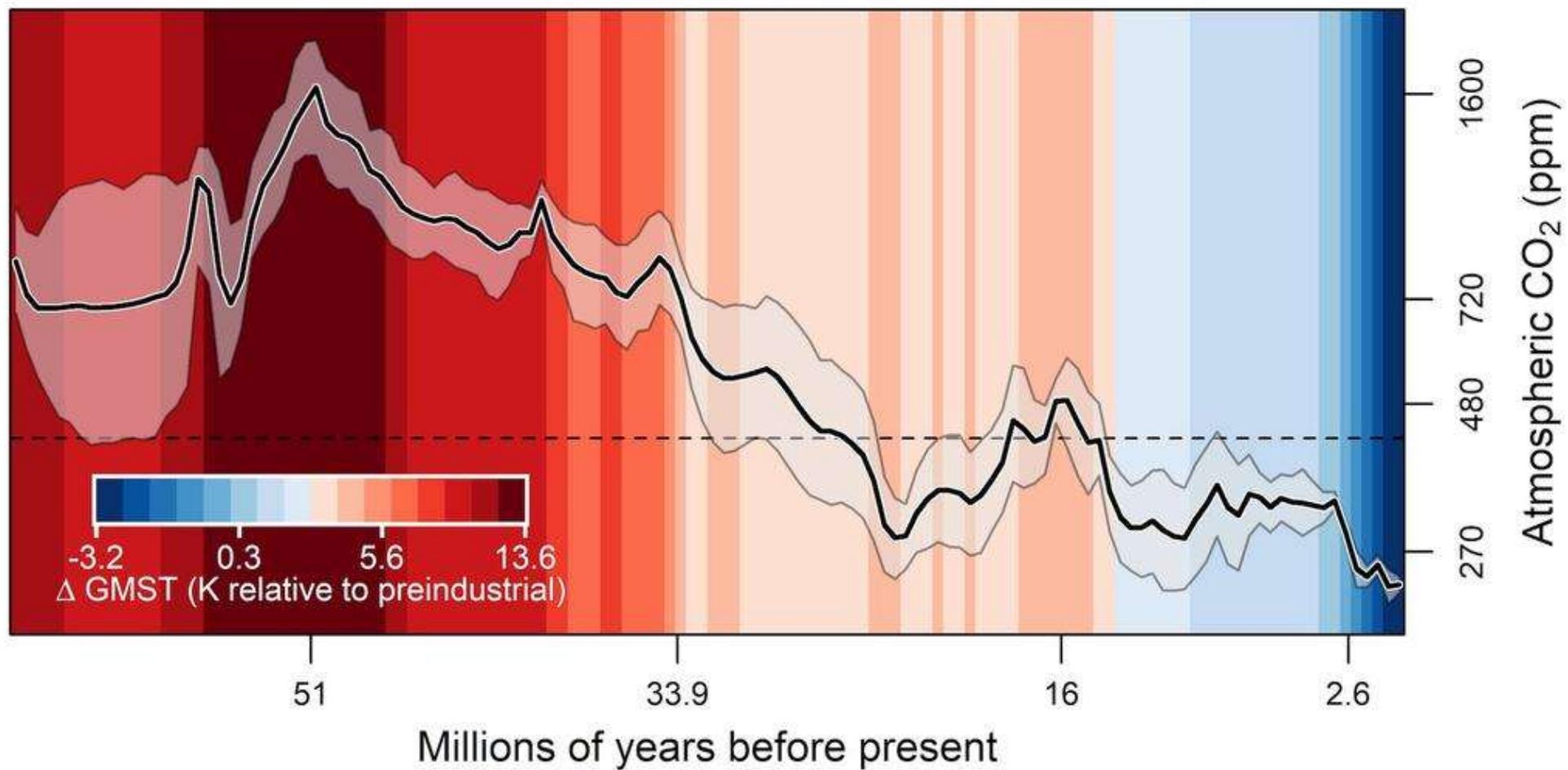
Rochechouart 210 Ma Ø 1Km cratère Ø 20km

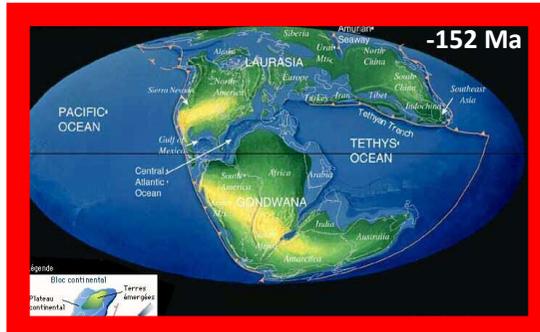
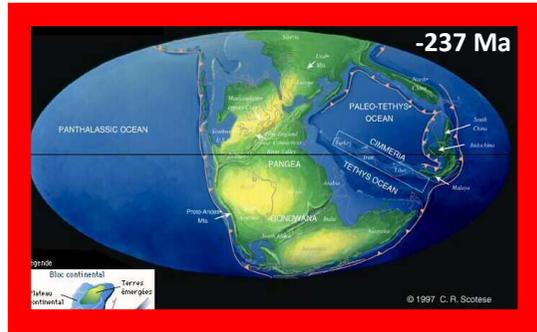
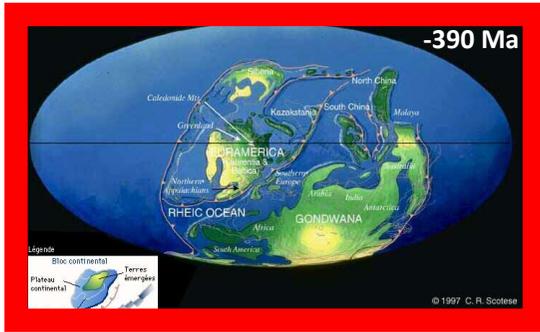
D'autres types de crises peuvent être envisagées :

- geologie
  - les inversions du champ magnétique
    - perte de protection contre le rayonnement cosmique
    - mutations génétiques
- astronomie
  - l'explosion d'étoiles proches
    - rayonnement  $\gamma$
    - destruction de la couche d'ozone
    - radiations UV mortelles
  - le passage du système solaire dans le plan galactique
    - perturbations gravitationnelles et plus de poussières
- biologie
  - la prédation
  - la compétition
  - la disparition d'une ressource

**Et après?**

**des chaleurs infernales**





Le PETM  
Paleocene Eocene Thermal  
Maximum

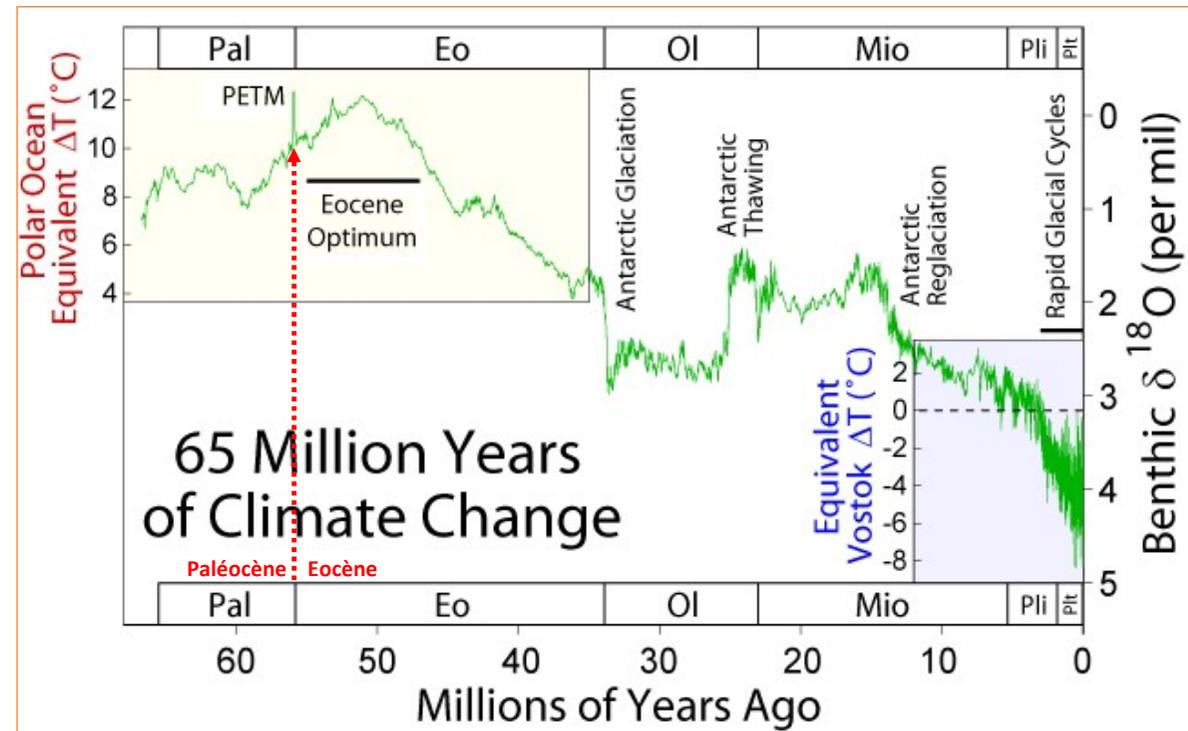
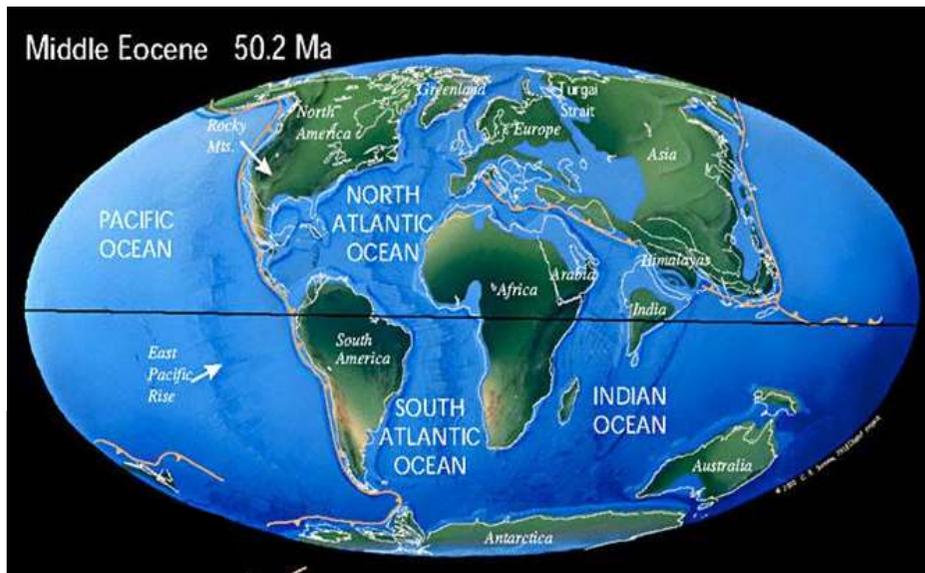
A partir de 56 millions d'années, la Terre a connu sa période la plus chaude:

température moyenne maximum = 32° (rappel: aujourd'hui 15°)

Cette période très chaude a duré 10 millions d'années (mais le pic n'a duré que 200 000 ans), avec des transitions longues.

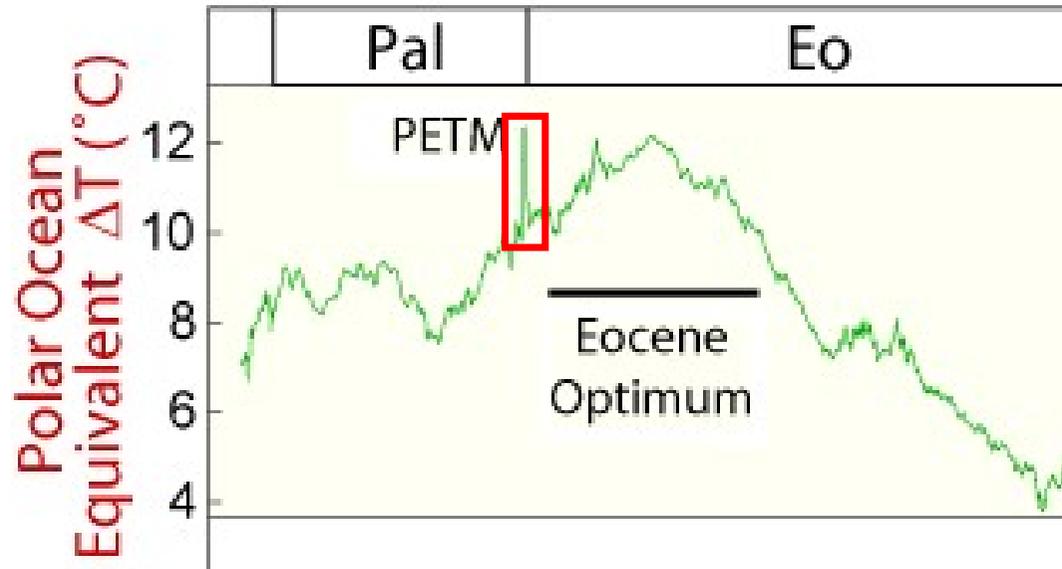
Il n'y a plus de glace polaire.

La vie s'est progressivement adaptée, a migré...



CO<sub>2</sub> ~1600 ppm (410 ppm actuellement).

PETM Maximum thermique Paléocène - Eocène



Perturbation des courants marins

- libération des hydrates de méthane stockés dans les sédiments des fonds marins
- émission de 1 Gt de carbone/an (aujourd'hui 10 x plus)
- température des fonds océaniques > 12°C (3-4°C actuel)
- température du fond de l'océan arctique 20°C
- température atmosphérique globale 32°C
- augmentation de 7°C en quelques milliers d'années ( 1,5°C en 150 ans pour le réchauffement actuel )

Au début du PETM:  $\text{CO}_2 = 2 \times \text{actuel}$   
 Au pic du PETM:  $\text{CO}_2 \times 3$  ] ← en quelques milliers d'années → 150 000 ans pour revenir à l'état antérieur

la communauté scientifique s'inquiète de la vitesse record à laquelle la planète se réchauffe actuellement : le relargage de  $\text{CO}_2$  par l'humanité se fait à une cadence 4 à 10 fois plus élevé que celle du PETM, événement hyperthermal parmi les plus brutaux enregistrés dans notre passé géologique.







Pendant le PETM, des fougères aquatiques (azolla) profitant des eaux chaudes et peu salées prolifèrent à la surface de l'océan arctique sur 4 millions km<sup>2</sup> (4000 x 1000)  
A leur mort → sédimentation au fond de l'océan Arctique → enfouissement du carbone.

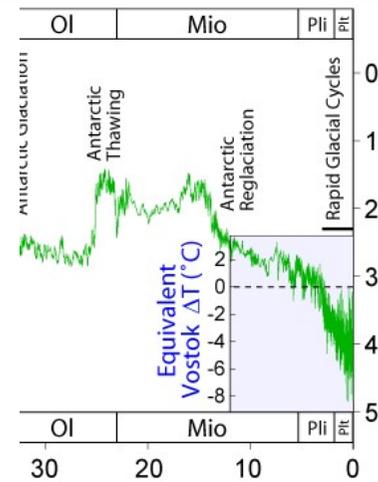
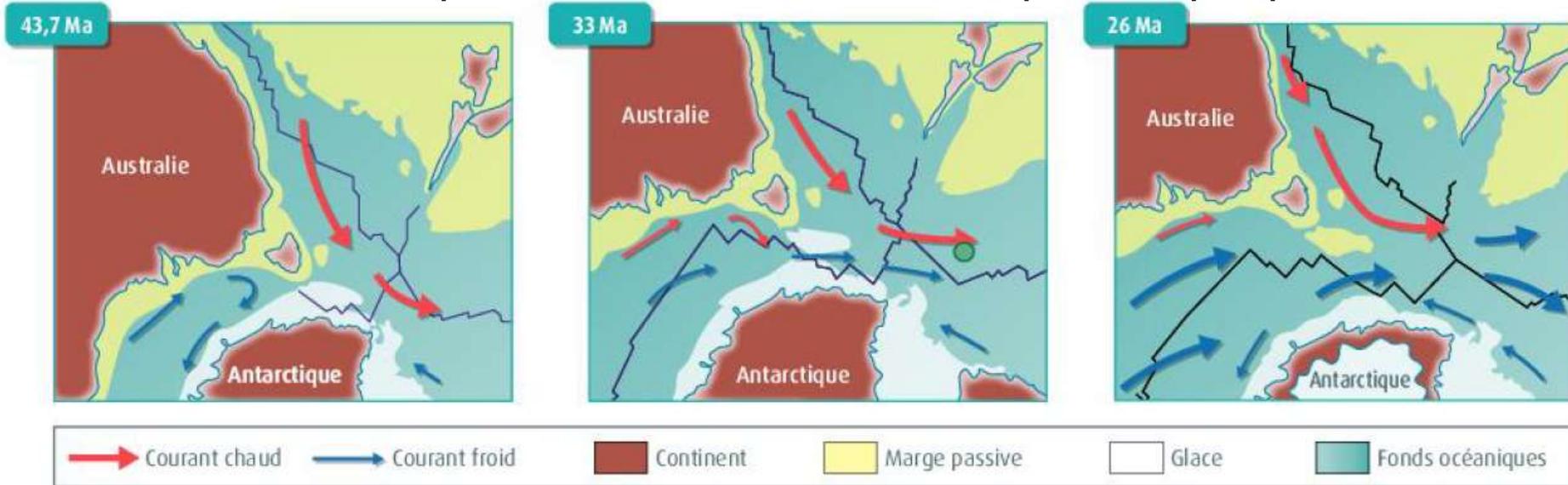
→ baisse du taux de CO<sub>2</sub> de l'atmosphère.

→ refroidissement

→ fin du PETM



# L'englacement de l'Antarctique, conséquence directe de la tectonique des plaques



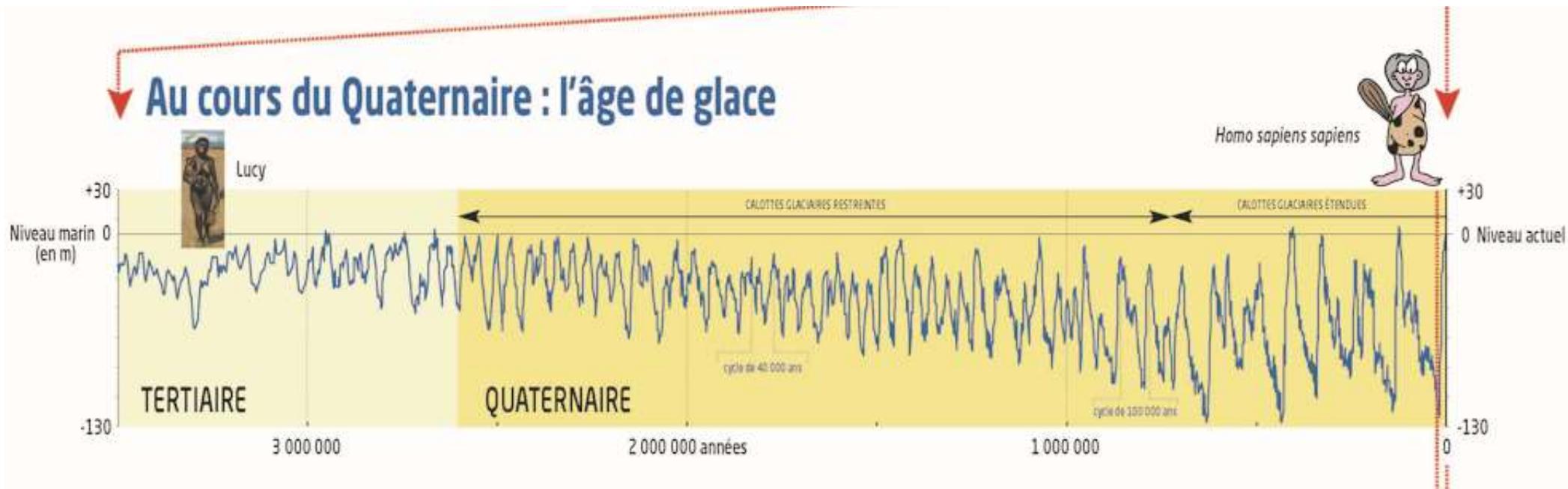
**plus près de nous...**



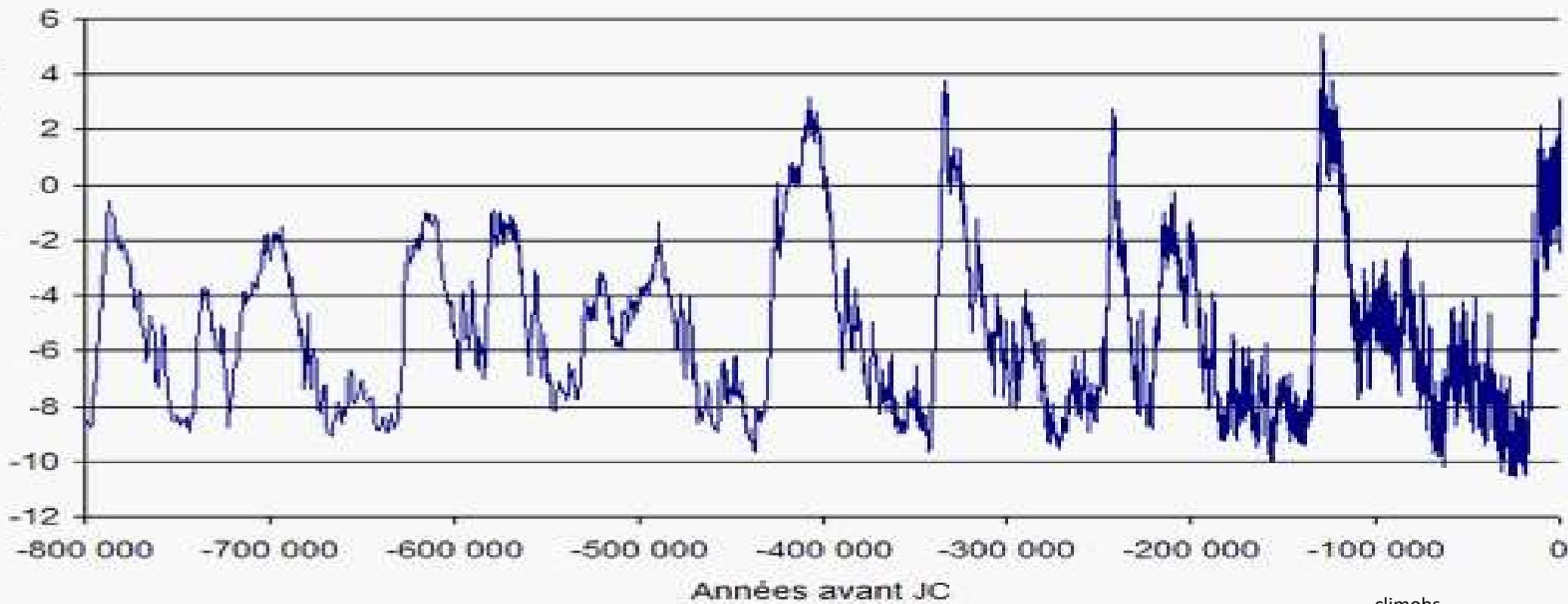
**à l'échelle du million d'années**

**Les glaciations quaternaires...**

## Au cours du Quaternaire : l'âge de glace



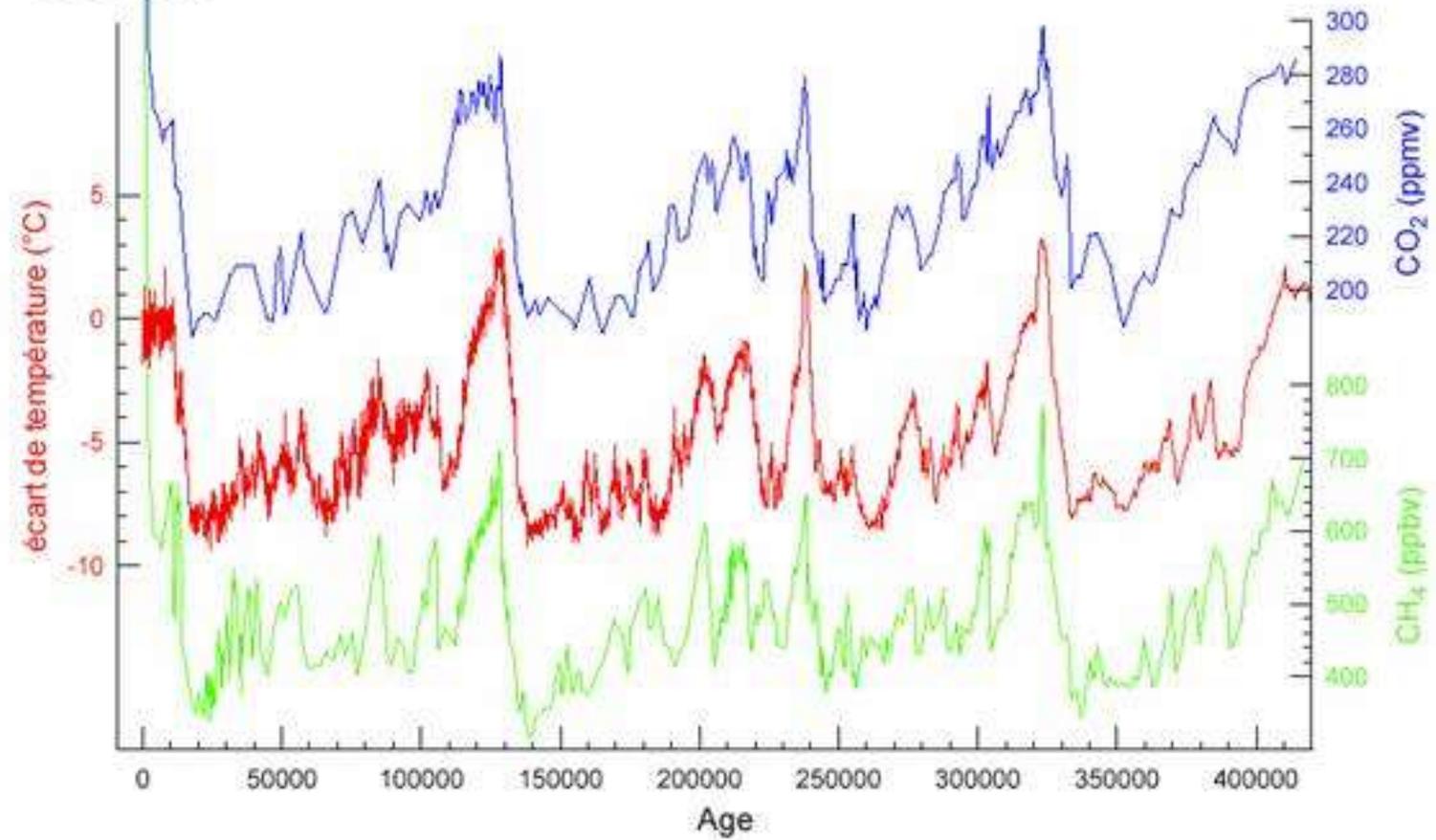
Différence de températures (°C)



Cabanas et al in Science

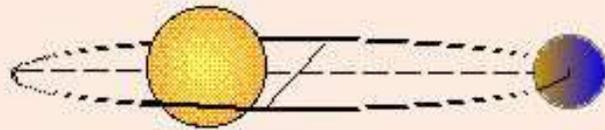
CH<sub>4</sub>  
 1911 en 2022  
 1600 ppbv  
 CO<sub>2</sub>  
 430,5, en mai 2025  
 365 ppmv  
 Teneurs actuelles

CAROTTAGE GLACIAIRE DE 3 500 m A VOSTOK (Antarctique) :  
 Climat et gaz à effet de serre au cours des 400.000 dernières années  
 L.G.G.E. / I.S.C.E. (d'après Petit et al., *Nature*, V. 399, Juin 1999).

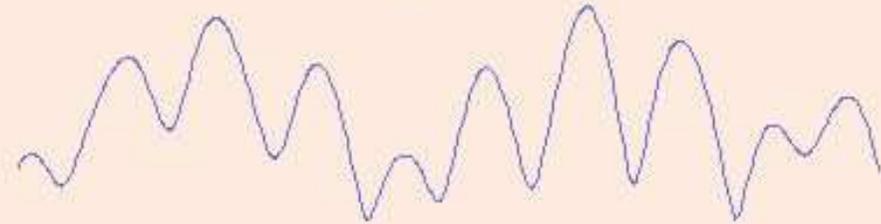


# **L'astronomie à l'origine des glaciations**

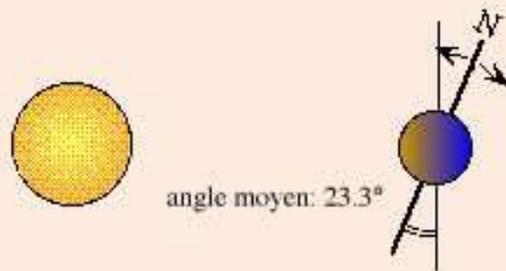
### Variations de l'EXCENTRICITE de l'orbite terrestre



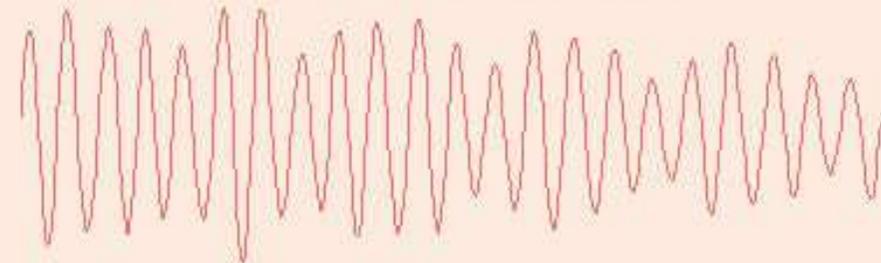
périodicités de 100 et 413 ka



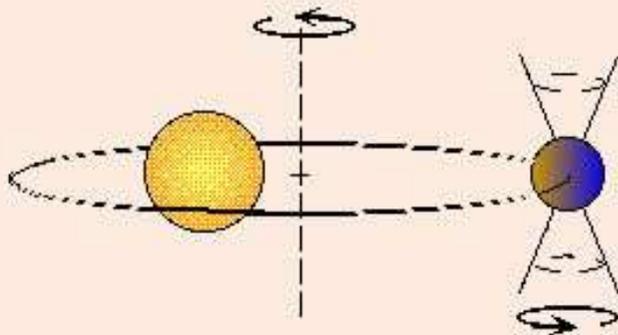
### Variations de l'OBLIQUITE de l'axe de rotation



périodicité de 41 ka

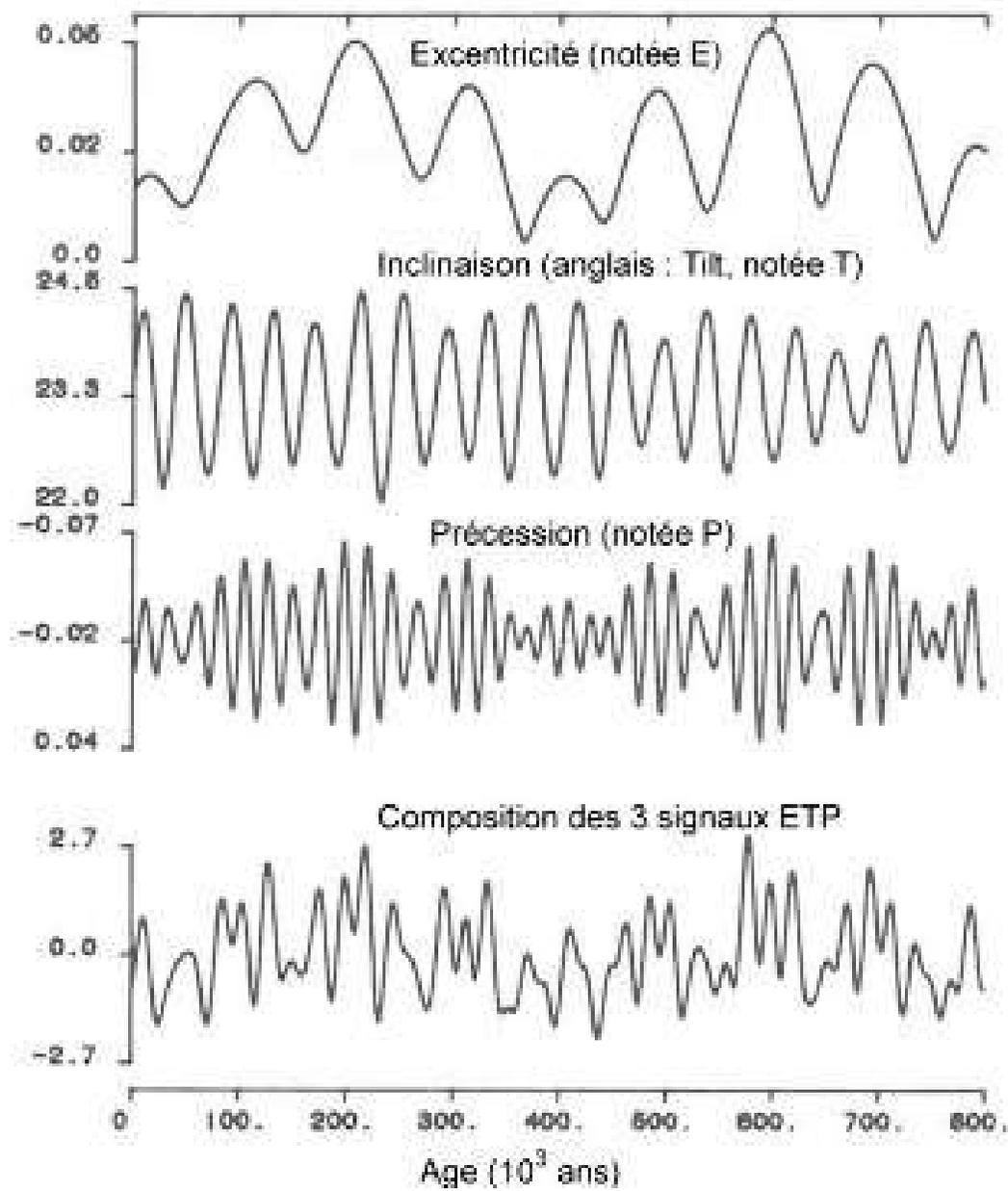


### PRECESSION de l'axe de rotation et ROTATION de l'orbite terrestre



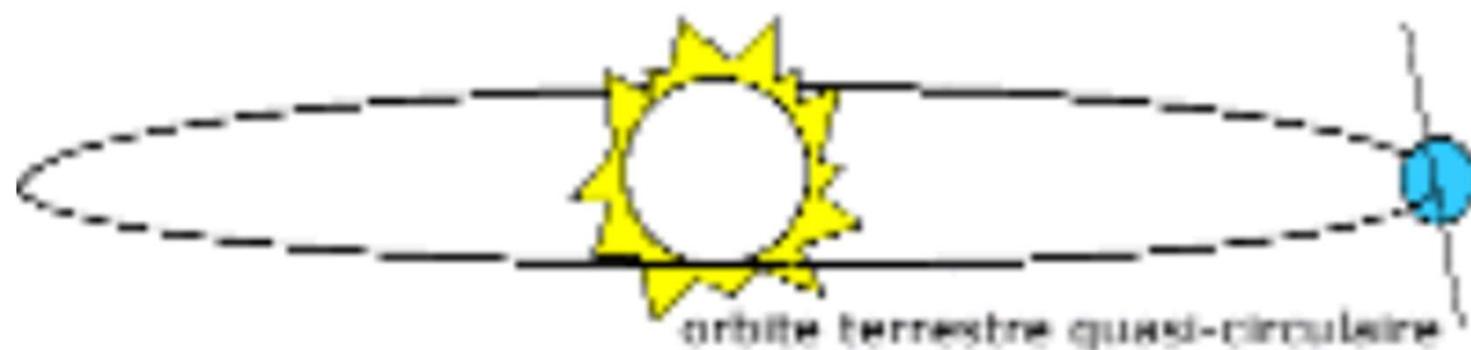
périodicités de 23 et 19 ka





© 1991 — Palaeoclimatology, T.J. Crowley, G. R. North, Oxford University

## Période glaciaire



Excentricité faible

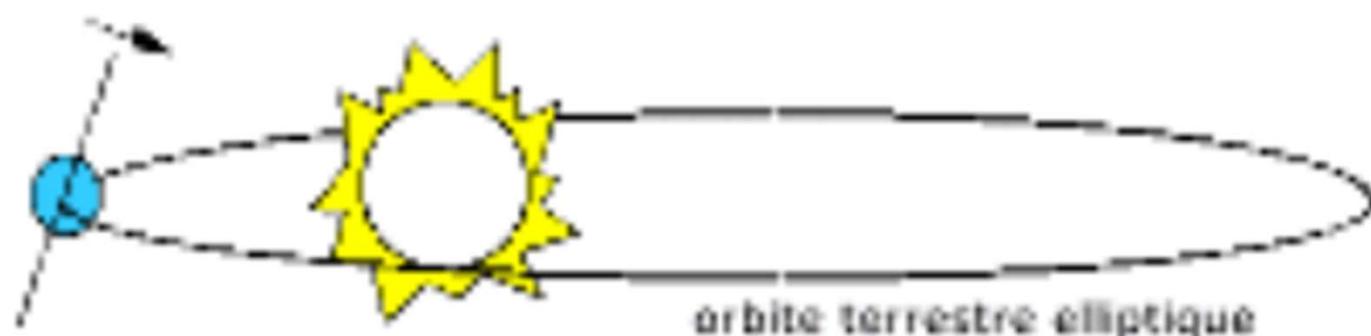
Inclinaison faible

Grande distance Terre-Soleil en été

--> configuration orbitale favorisant une glaciation

--> faible contraste entre les saisons

## Période inter-glaciaire



Excentricité forte

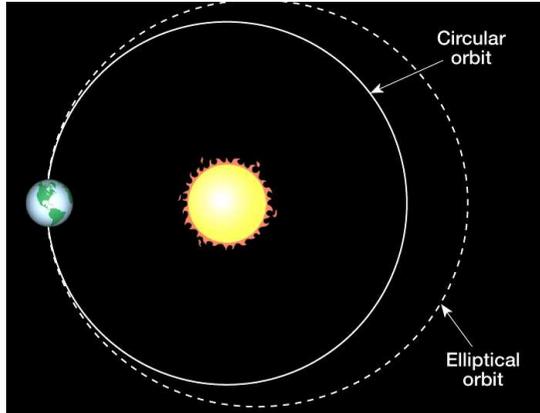
Inclinaison forte

Faible distance Terre-Soleil en été

--> configuration orbitale favorisant une déglaciation

--> saisons contrastées (étés plus chauds, hivers plus froids)

## Un refroidissement lié à des variations de paramètres astronomiques

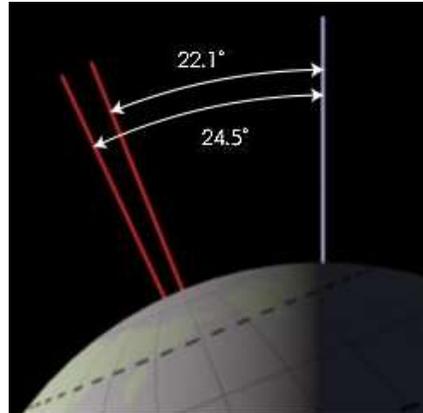


### Excentricité:

période de 413 000 et 100 000 ans



plus l'excentricité est grande, plus les saisons sont contrastées (hiver rigoureux et été chaud)

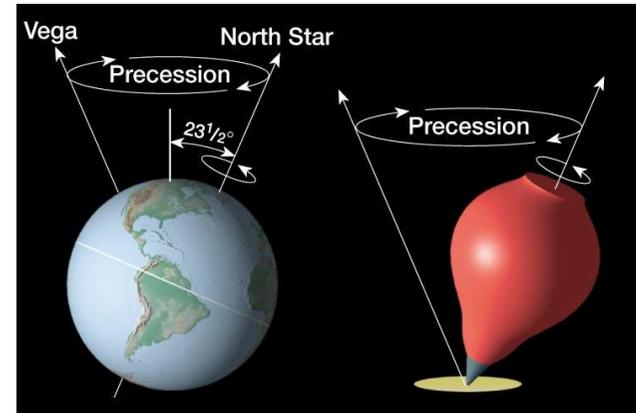


### Inclinaison:

période de 41 000 ans



plus l'inclinaison augmente, plus les saisons sont contrastées aux hautes latitudes



### Précession des équinoxes:

période de 23 000 ans



variation des contrastes saisonniers hivers chauds – étés froids (actuel)  
Hivers froids étés chauds (- 11 000 ans)

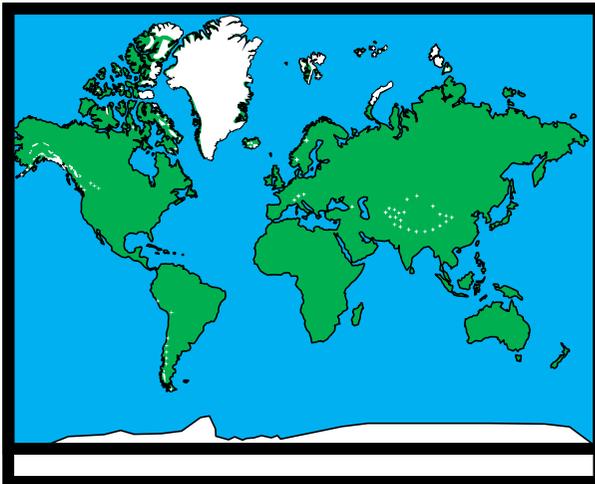
< 0,5 °C

# **La réponse de la Terre à l'astronomie**

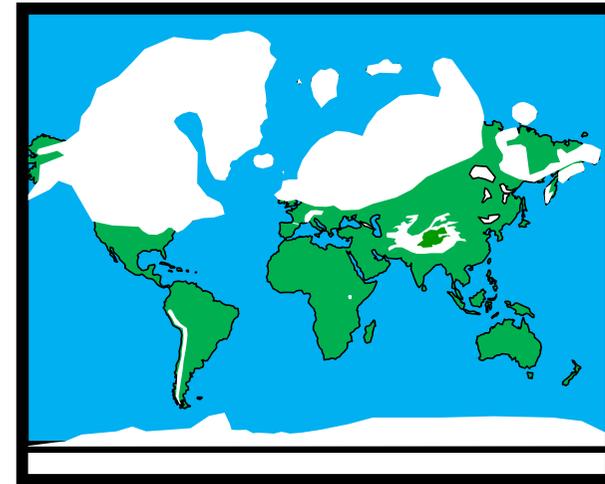
**Refroidissement de 0,5°C quelques siècles avant la baisse du CO<sub>2</sub> et du CH<sub>4</sub>**

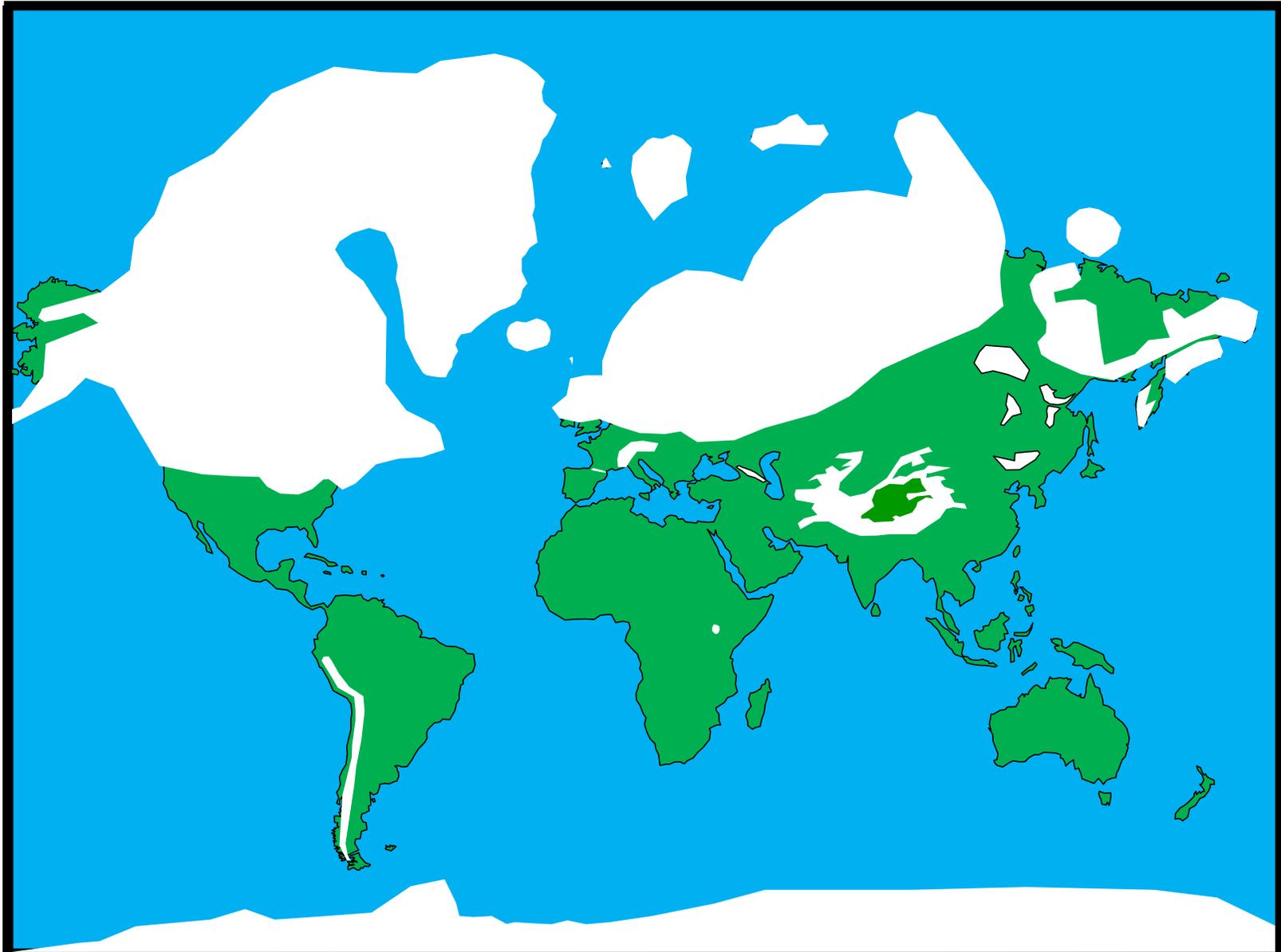
- CO<sub>2</sub> ↓ (océans dégazent moins) → refroidissement
- CH<sub>4</sub> ↓ (marais gelés) → le refroidissement s'accroît
- décomposition du sol ↓ → moins de CO<sub>2</sub>
- albedo ↑ → accentue le refroidissement
- productivité océanique ↓ → accentue le refroidissement

**= effet « boule de neige »**

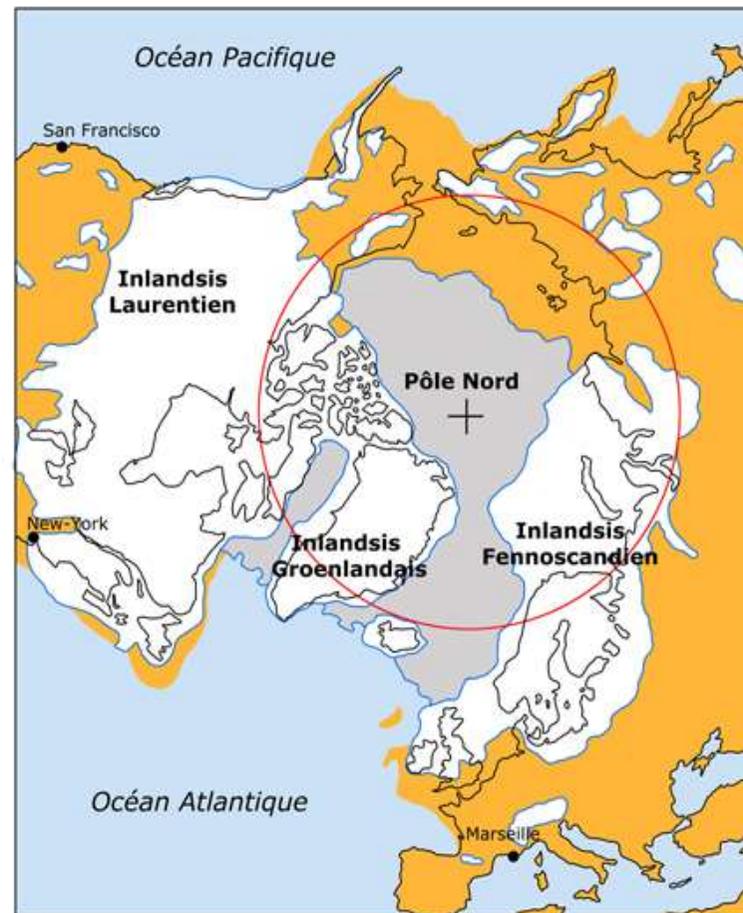


**- 6°C à l'échelle globale**





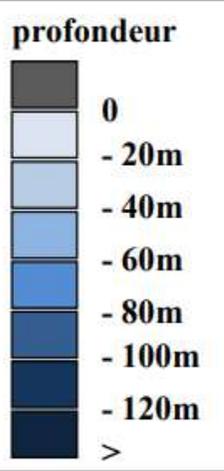
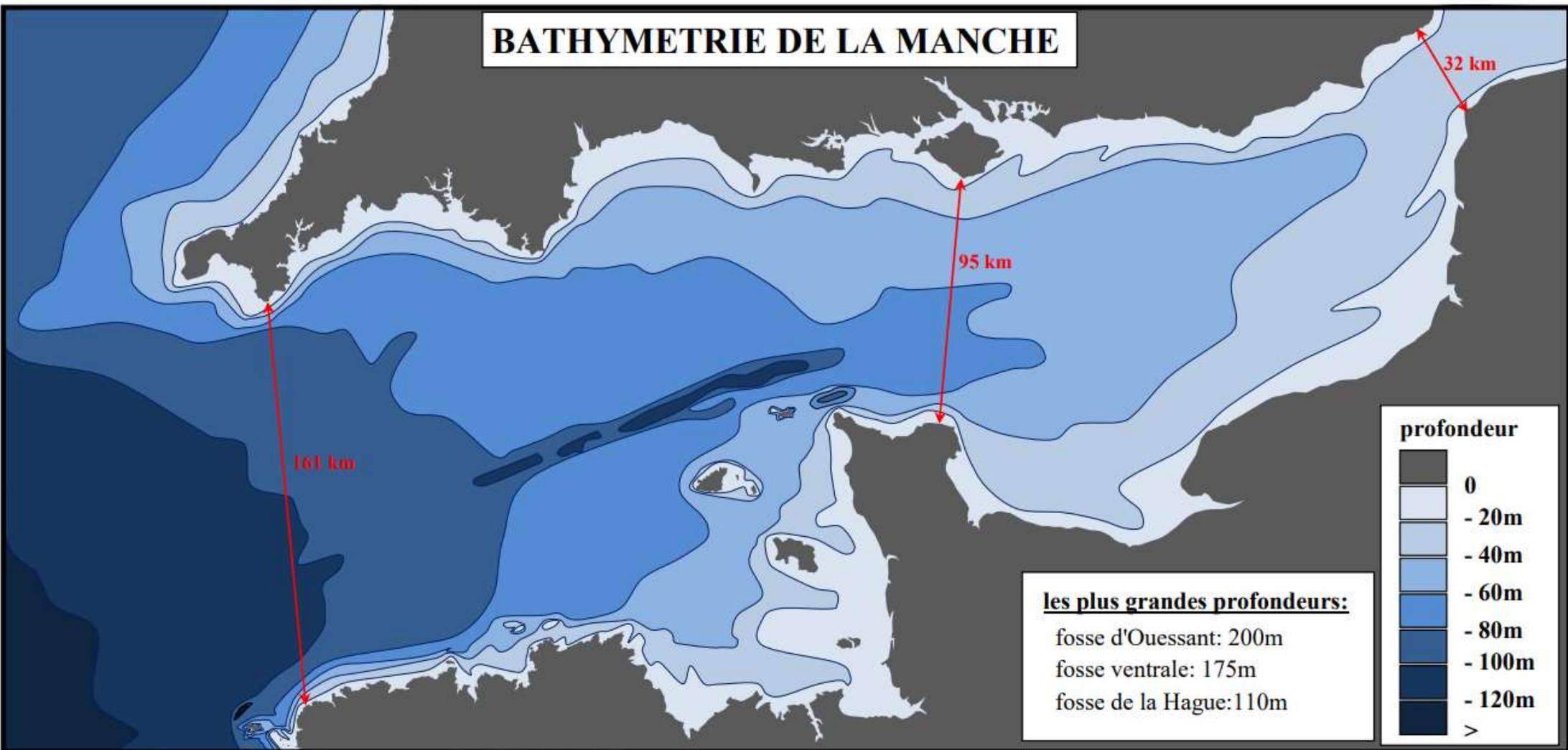
Extension des calottes polaires et des glaciers il y a 18 000 ans



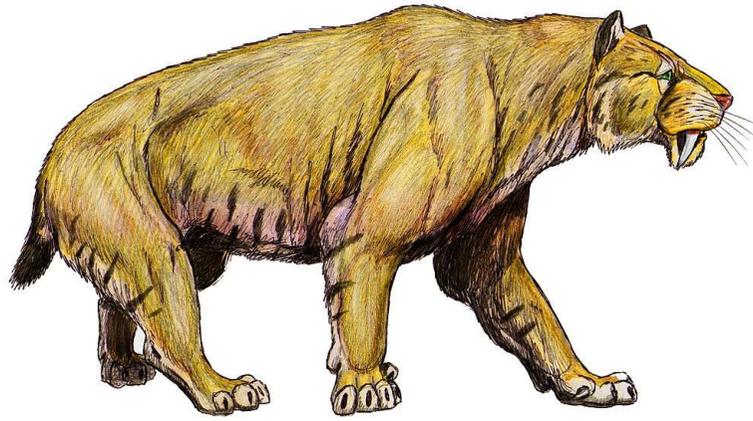
C. Pomerol et al., 2000

## Extension des inlandsis et de la banquise dans l'hémisphère Nord lors du dernier maximum glaciaire

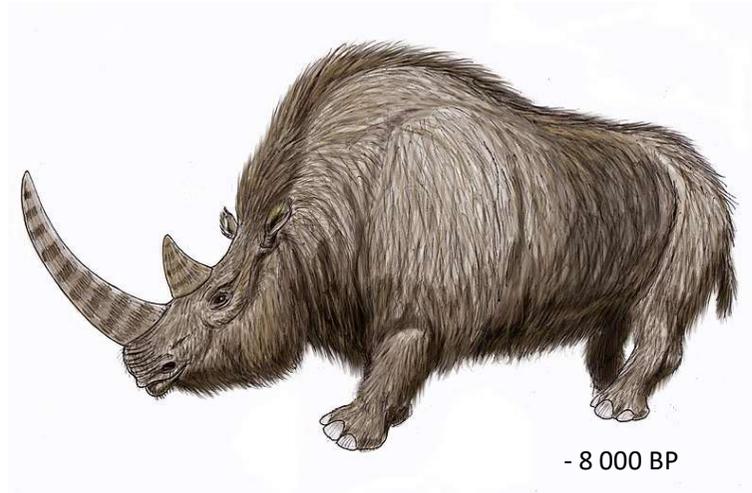
# BATHYMETRIE DE LA MANCHE



**les plus grandes profondeurs:**  
fosse d'Ouessant: 200m  
fosse ventrale: 175m  
fosse de la Hague: 110m



- 12 000 BP



- 8 000 BP



-13500 BP

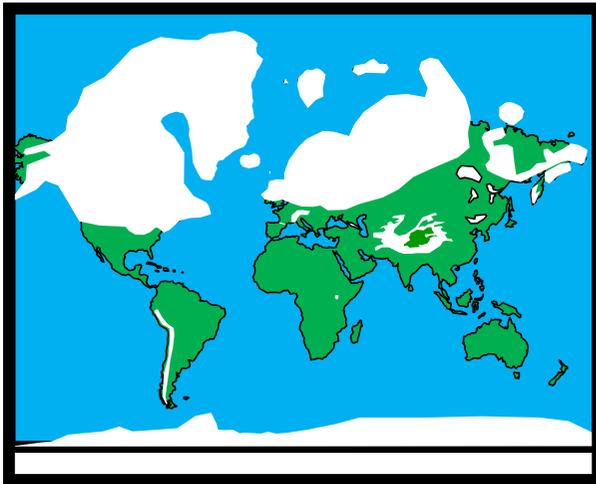


-4000 BP

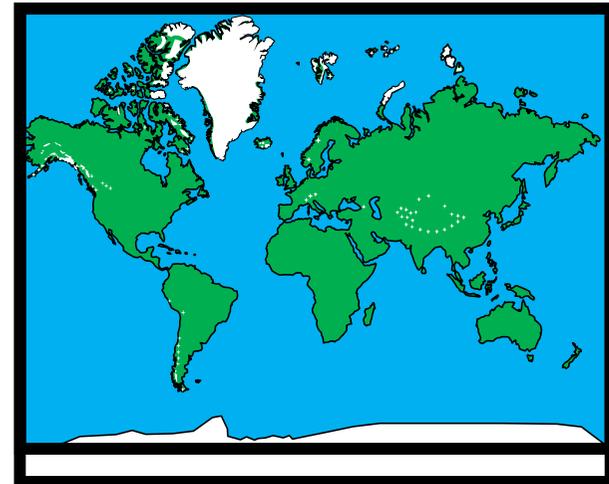


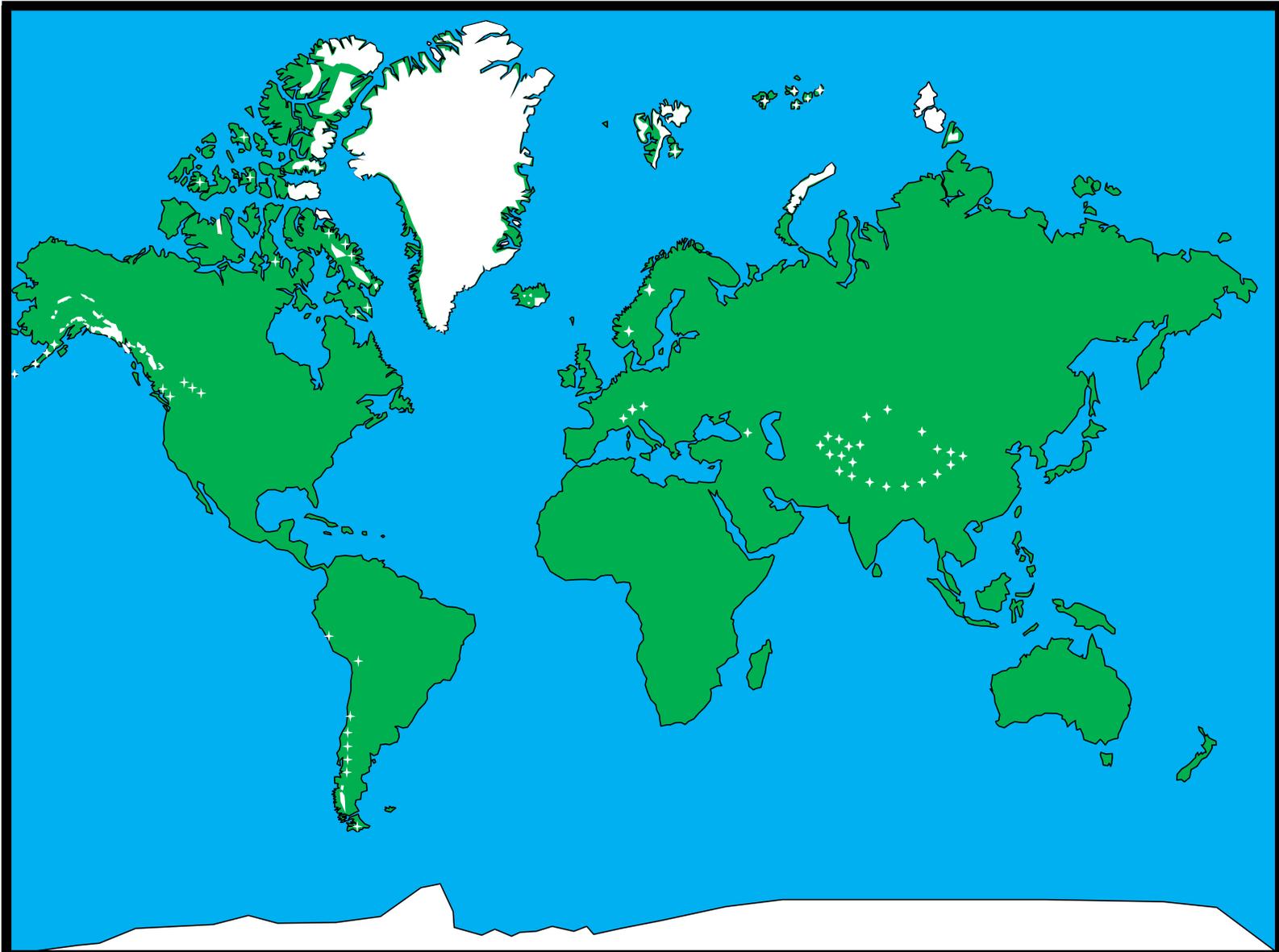
- CO<sub>2</sub> ↑ (océans dégazent plus) → réchauffement
- CH<sub>4</sub> ↑ (marais dégèlent) → le réchauffement s'accroît
- albedo ↓ → accentue le réchauffement
- productivité océanique ↑ → accentue le réchauffement

= effet « boule de neige »

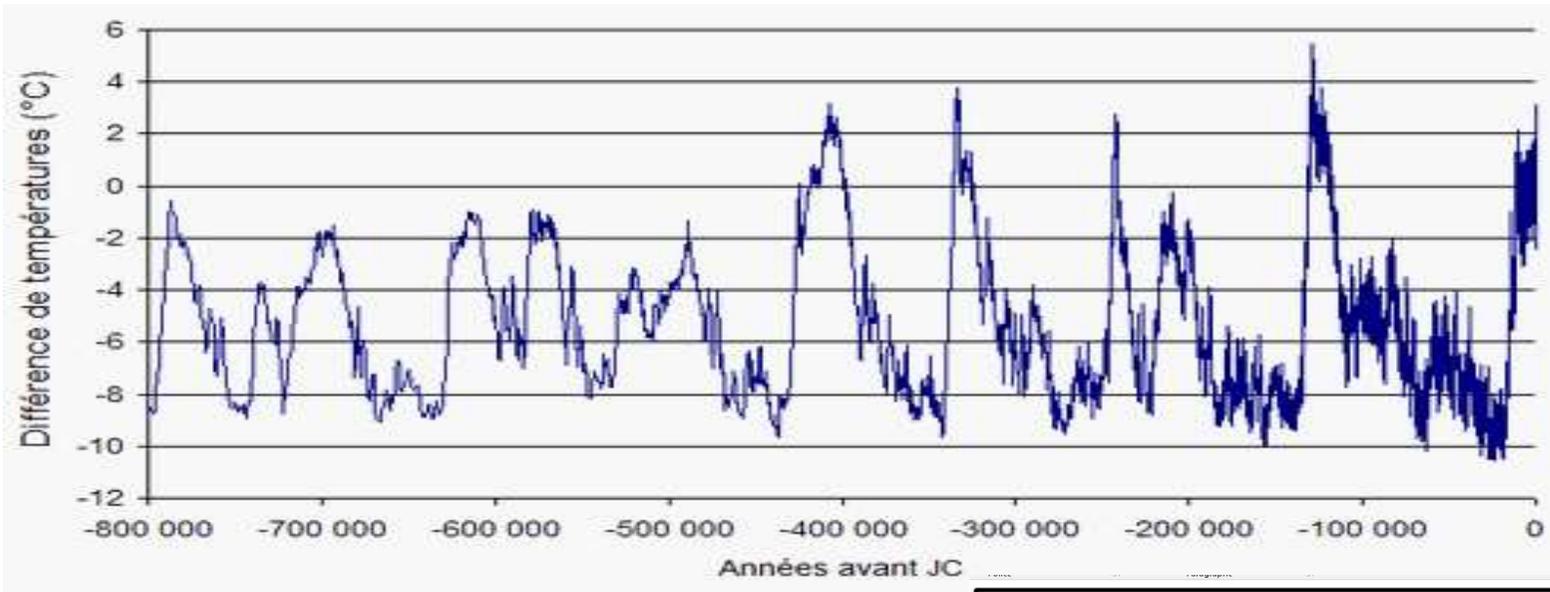


→  
+ 6°C à l'échelle  
globale





**Extension des calottes polaires et des glaciers aujourd'hui**



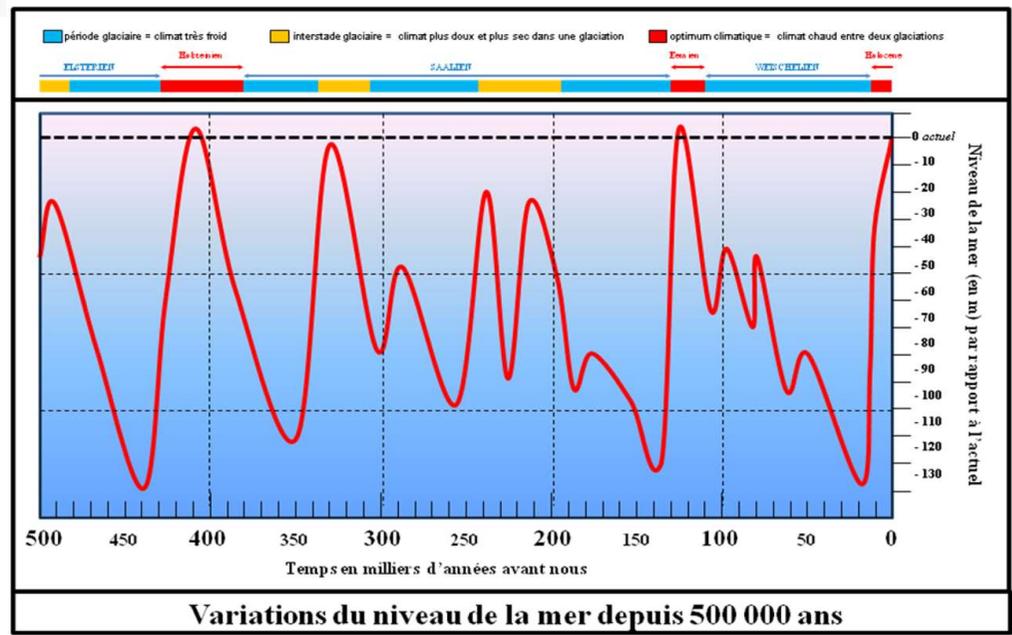
Cabanas et al in  
Science



**variations climatiques quaternaires**

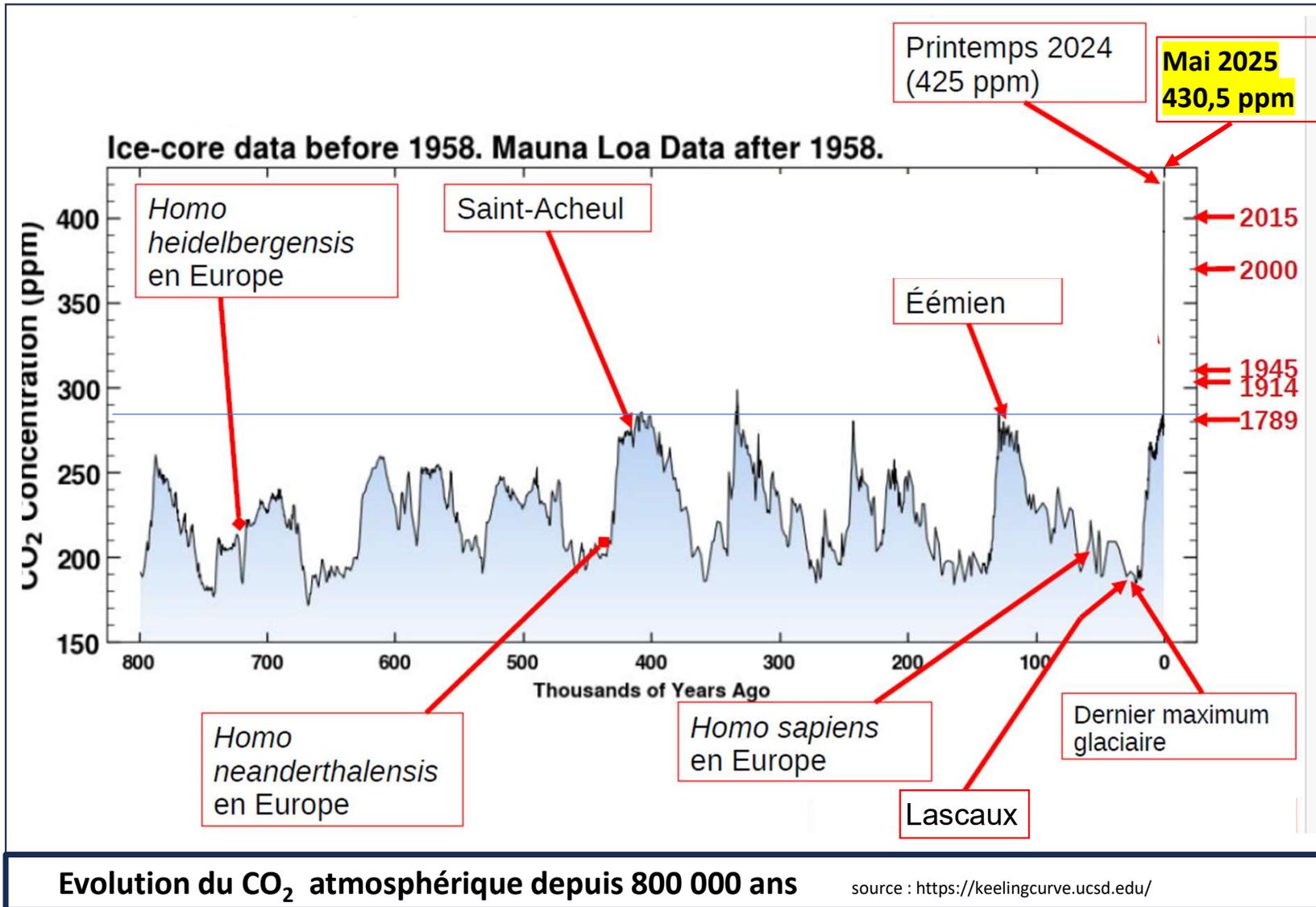


**variations du niveau de la mer**

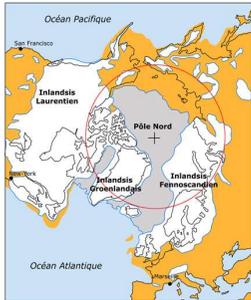


**Variations du niveau de la mer depuis 500 000 ans**





Fonte des glaces continentales

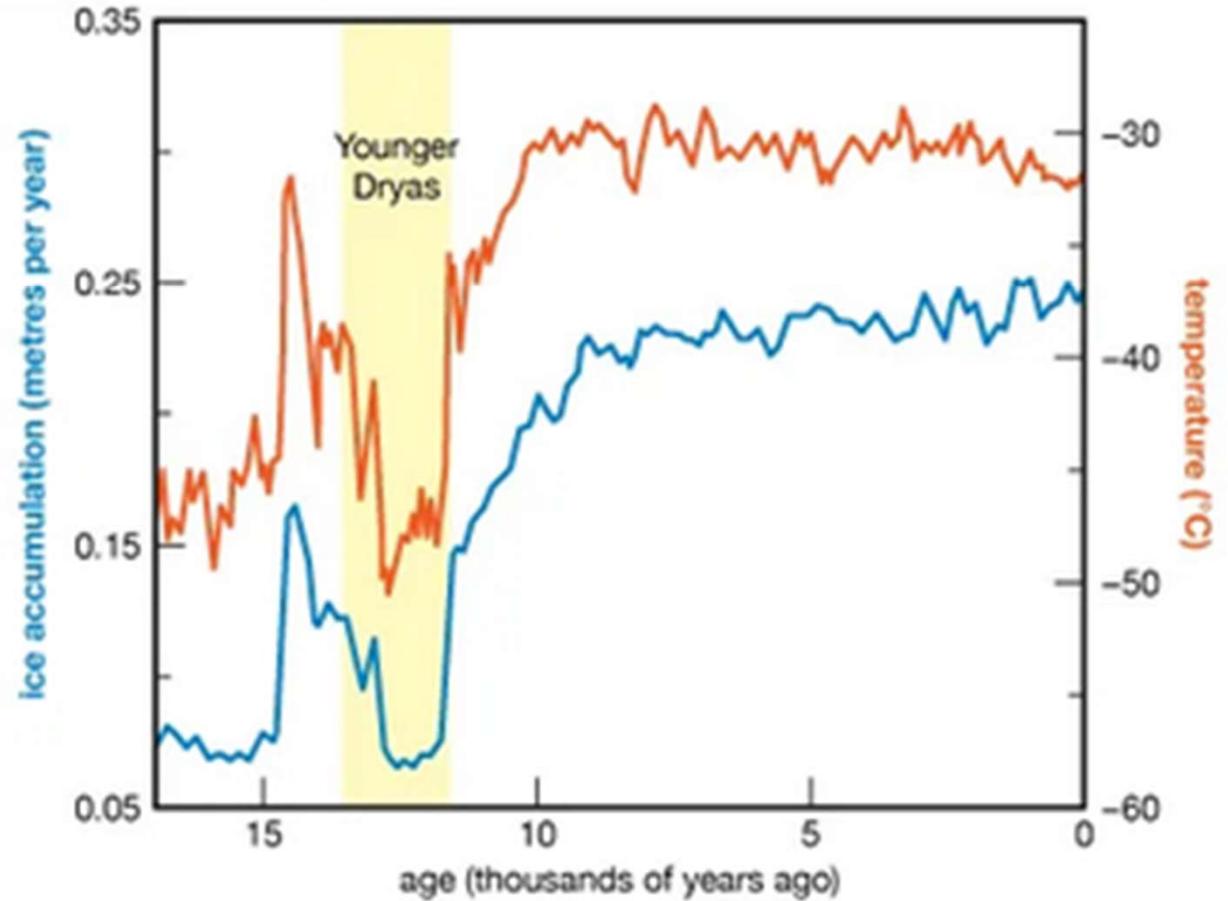


Arrêt de la circulation thermohaline

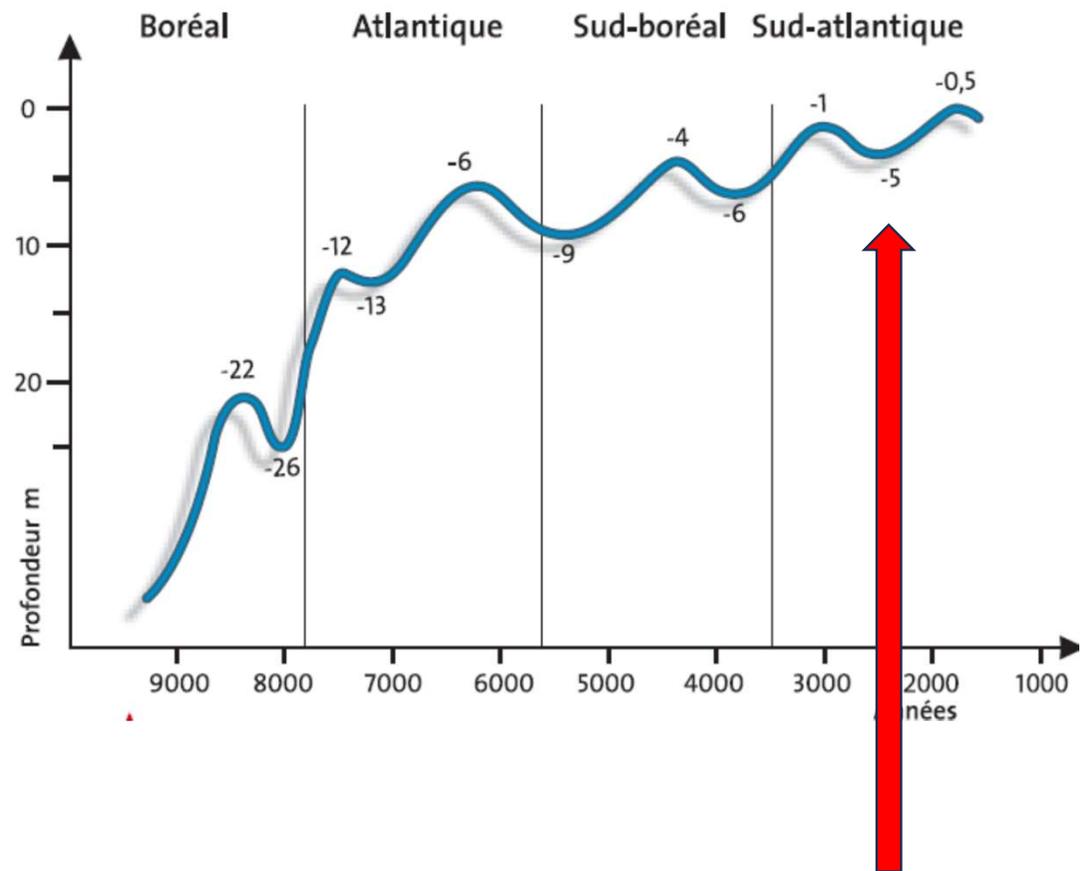
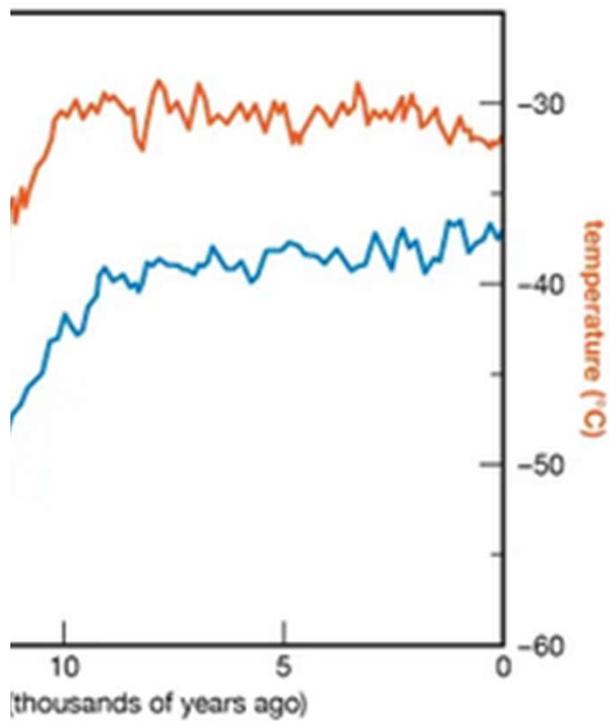


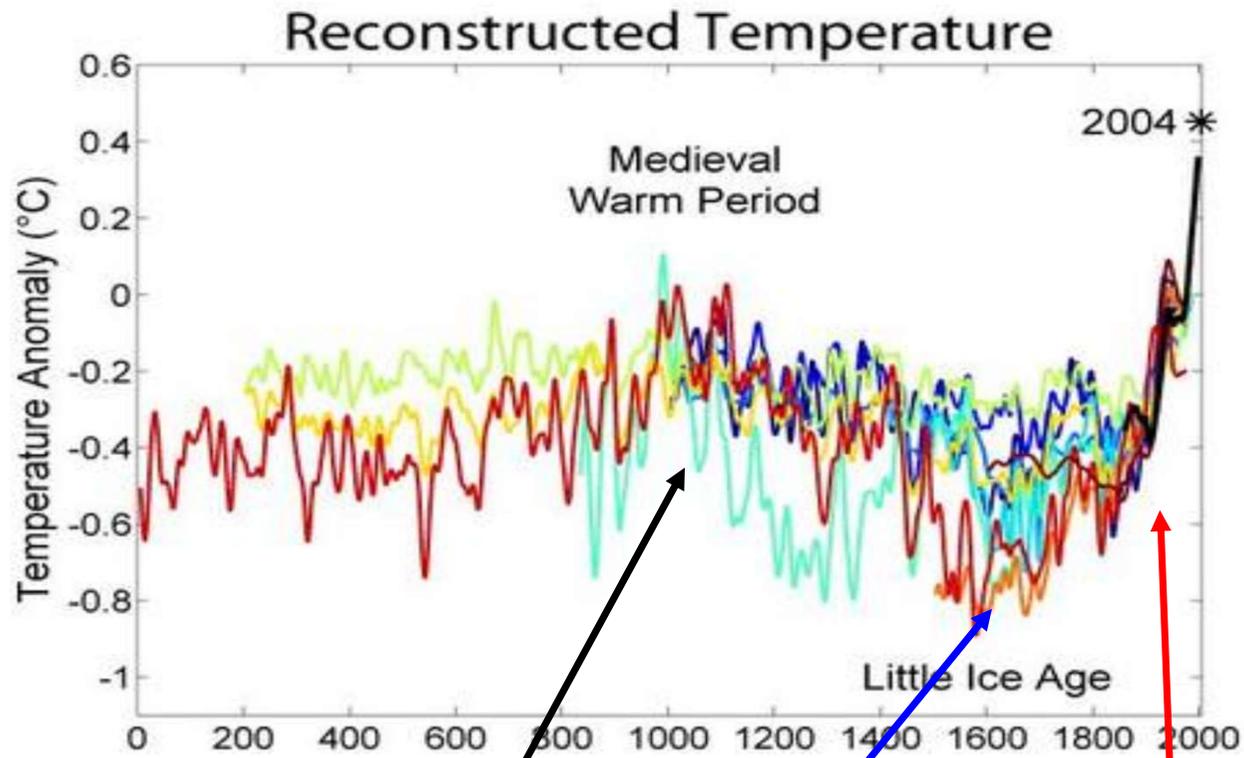
Refroidissement local

### The Younger Dryas in central Greenland



Sources: Lamont-Doherty Earth Observatory at the Earth Institute of Columbia University; and National Research Council, Abrupt Climate Change: Inevitable Surprises (2002).





**Optimum médiéval**

**Petit âge glaciaire**

**Réchauffement actuel**

Forte activité solaire  
Défrichements?



Baisse activité solaire  
Eruptions volcaniques  
Ralentissement de l'AMOC  
Homme ?



Homme



**Le réchauffement actuel**

## météorologie

Science qui étudie les phénomènes affectant la partie la plus basse de l'atmosphère terrestre

Larousse

Étude scientifique des phénomènes atmosphériques

Robert

Science ayant pour objet l'étude des phénomènes atmosphériques et la prévision du temps

\*

Langue française

**Prévision du temps local à court terme**

## climatologie

Science qui étudie les [climats](#).

Larousse

Étude des phénomènes climatiques et météorologiques dans les différentes parties du globe.

Robert

**Etude statistique de longues séries de mesures du temps (température, vent, précipitation, nébulosité...)  
pour en définir les caractéristiques et en apprécier des variations et des tendances dans l'avenir.**

# météorologie

## Prévisions Météo Port Trébeurden

### Tableau des prévisions

	Dim. 13 Lun. 14				Mar. 15								Mer. 16		
	23h	02h	05h	08h	11h	14h	17h	20h	23h	02h	08h	14h	20h	02h	08h
<b>Meteo</b>															
Température	18°	17°	17°	17°	19°	20°	18°	17°	15°	15°	14°	18°	18°	15°	11°
Précipitations (mm/3h)	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Vent à 10m</b>															
Vitesse nœuds	10	12	13	16	16	10	7	9	10	11	9	6	4	5	5
Echelle Beaufort	3	4	4	5	5	3	2	3	3	4	3	2	1	2	2
Rafale nœuds	0	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Mer totale</b>	mer peu agitée	mer peu agitée	mer peu agitée	mer peu agitée	mer peu agitée	mer peu agitée	mer peu agitée	mer peu agitée	mer peu agitée	mer peu agitée	mer peu agitée	mer peu agitée	mer peu agitée	mer belle	mer belle
État de la mer															
Hauteur significative (m)	0.9	0.8	0.9	1	1	0.9	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4
Hauteur max. sur 6h (m)	1.6	1.5	1.5	1.7	1.7	1.6	1.4	1.3	1.2	1.2	1	0.9	0.8	0.8	0.8
<b>Mer du vent</b>	0.1	0.3	0.4	0.5	0.5	0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.2	0	0	0	0
Hauteur significative															
<b>Houle</b>															
Direction															
Hauteur significative	0.9	0.8	0.8	0.8	0.9	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3
Période(s)	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7	8	5	6	6	6

**RÉPUBLIQUE FRANÇAISE** **MÉTÉO FRANCE** **Vigilance météorologique et crues**  
 publiée le 23 août 2023 à 16h05 (heure métropole)  
 valable jusqu'au 24 août 2023 à 00h00 (heure métropole)

Version PDF

Choisissez votre département

**Canicule**

**Orages**

Épisode caniculaire sur une large partie Sud et Est du pays, à caractère exceptionnel de la vallée du Rhône au sud-ouest du pays du fait de son intensité et de sa durée.

Épisode orageux parfois fort sur le nord du pays

Consulter le bulletin

[Voir l'illustration](#)

19 départements en Rouge  
 37 départements en Orange et l'Andorre  
 26 départements en Jaune

**Aujourd'hui, mercredi 23/08**

0h 3h 6h 9h 12h 15h 18h 21h 0h

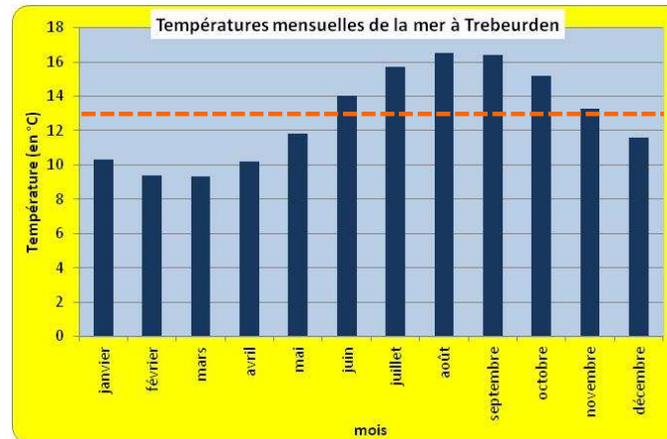
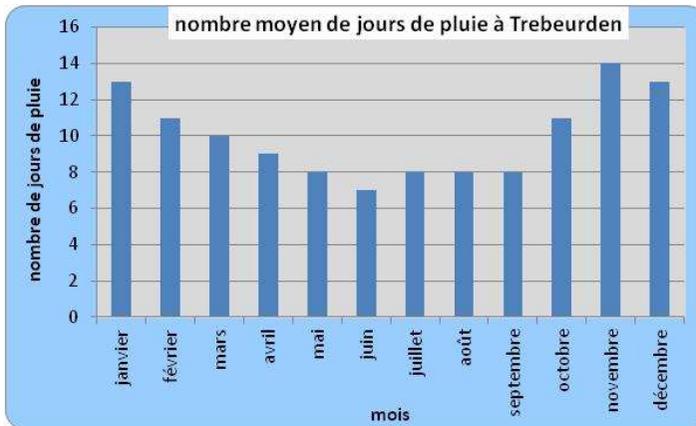
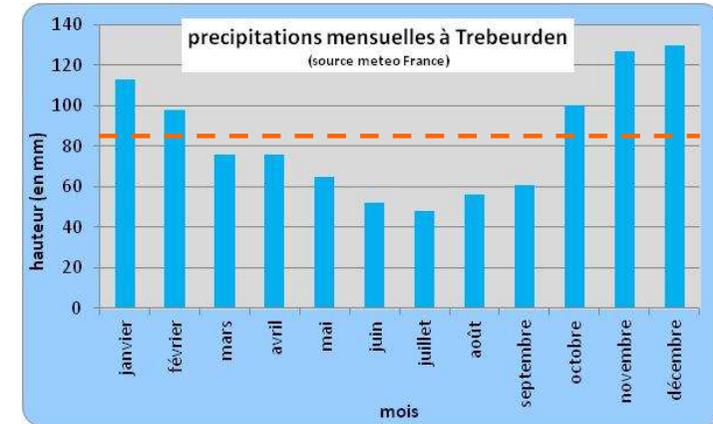
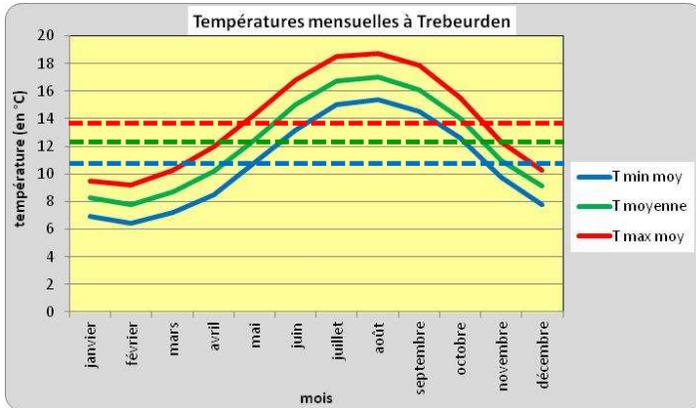
Canicule

Orages

Crues

VIGICRUES Cartes et bulletins Vigicrues

# climatologie



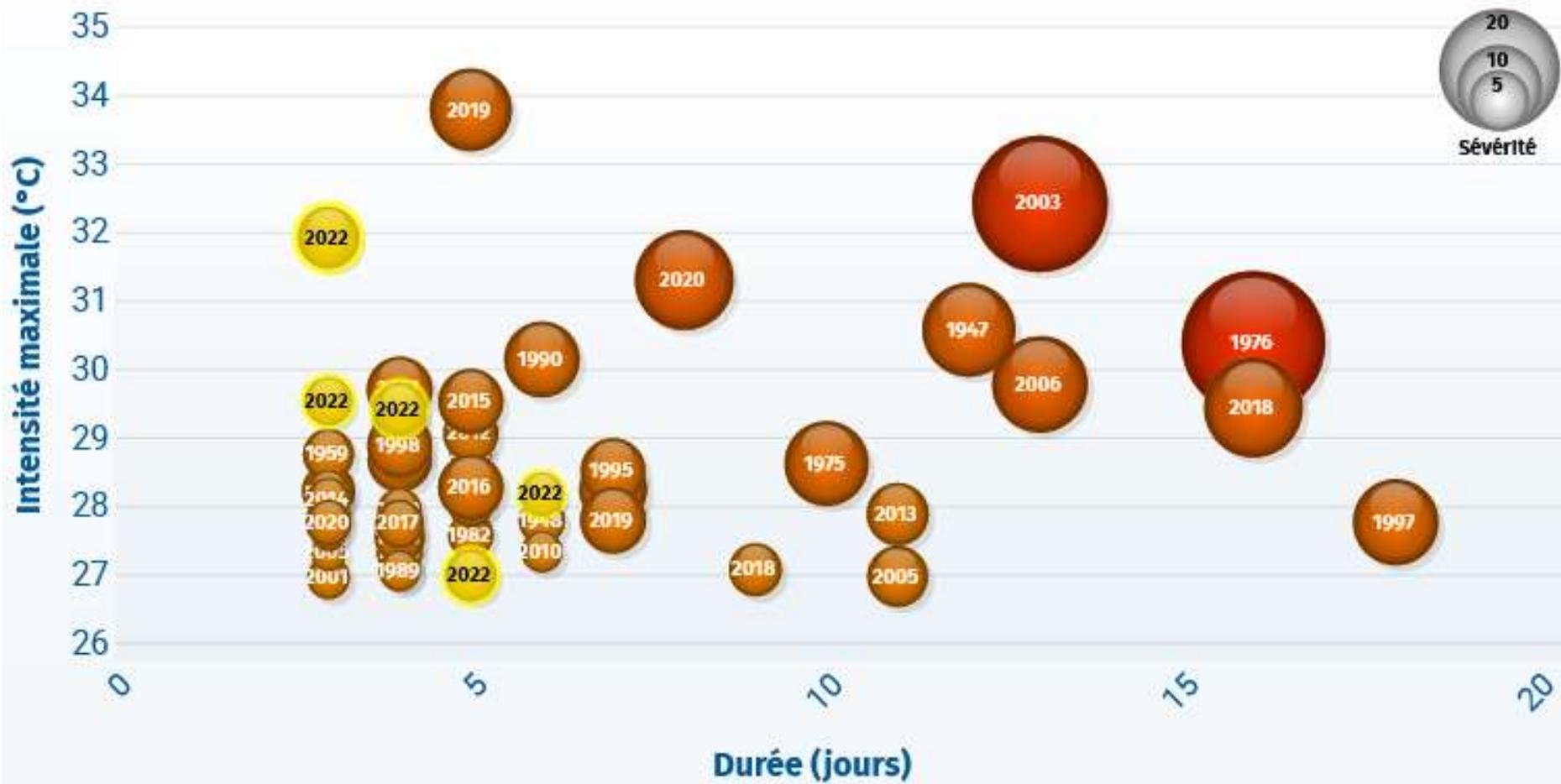
quelques faits du climat actuel

## Evolution des hivers parisiens

MOYENNES en HIVER	1931-1960	1961-1990	1991-2020
T °C	4	4,8	5,7
Nombre de jours de gel	32,3	23,3	17,9
Nombre de jours sans dégel	7,6	5,4	2,3
Nombre de jours avec neige	13	11,6	7,1

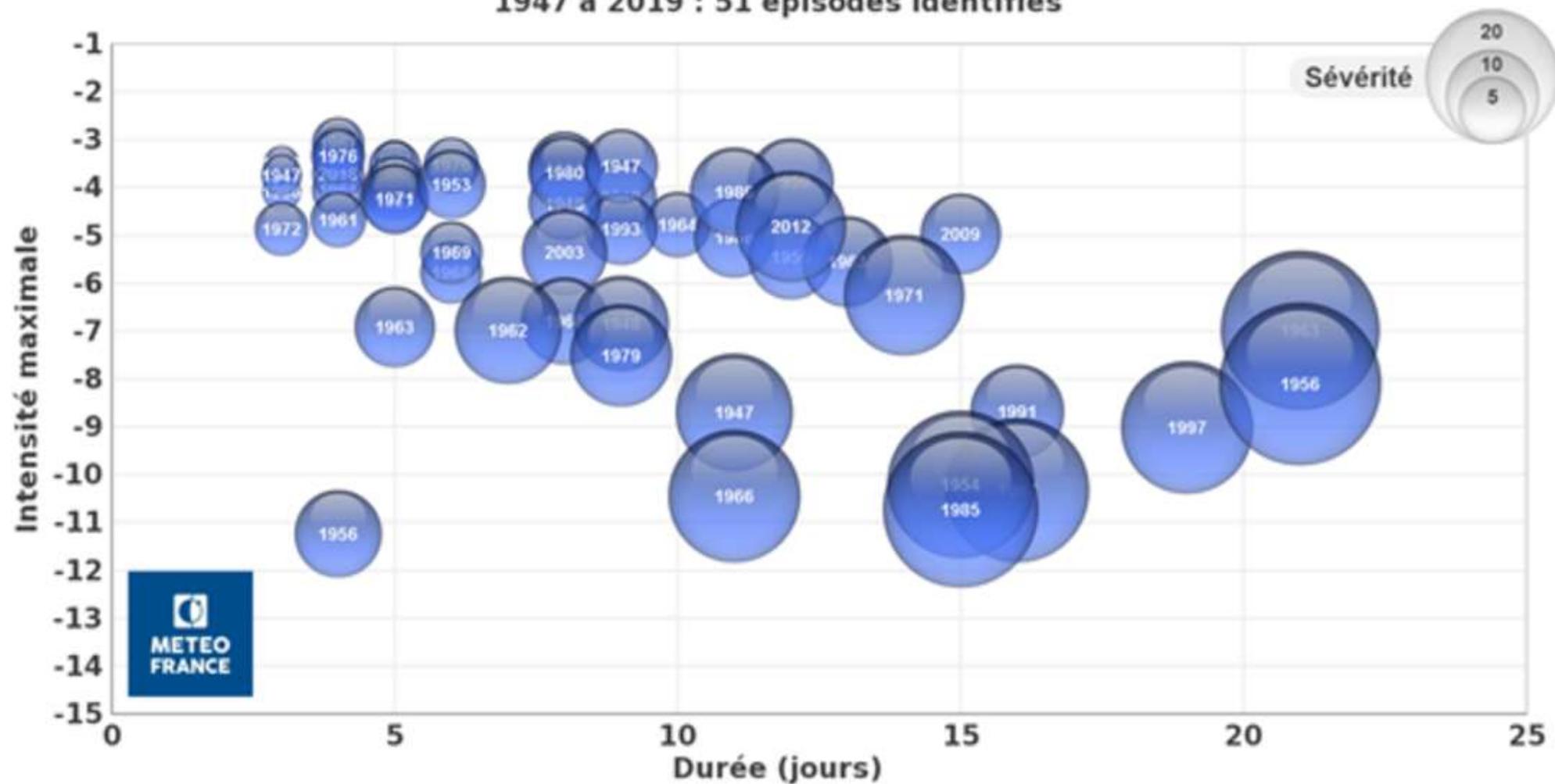
# Vagues de chaleur observées sur le département 75

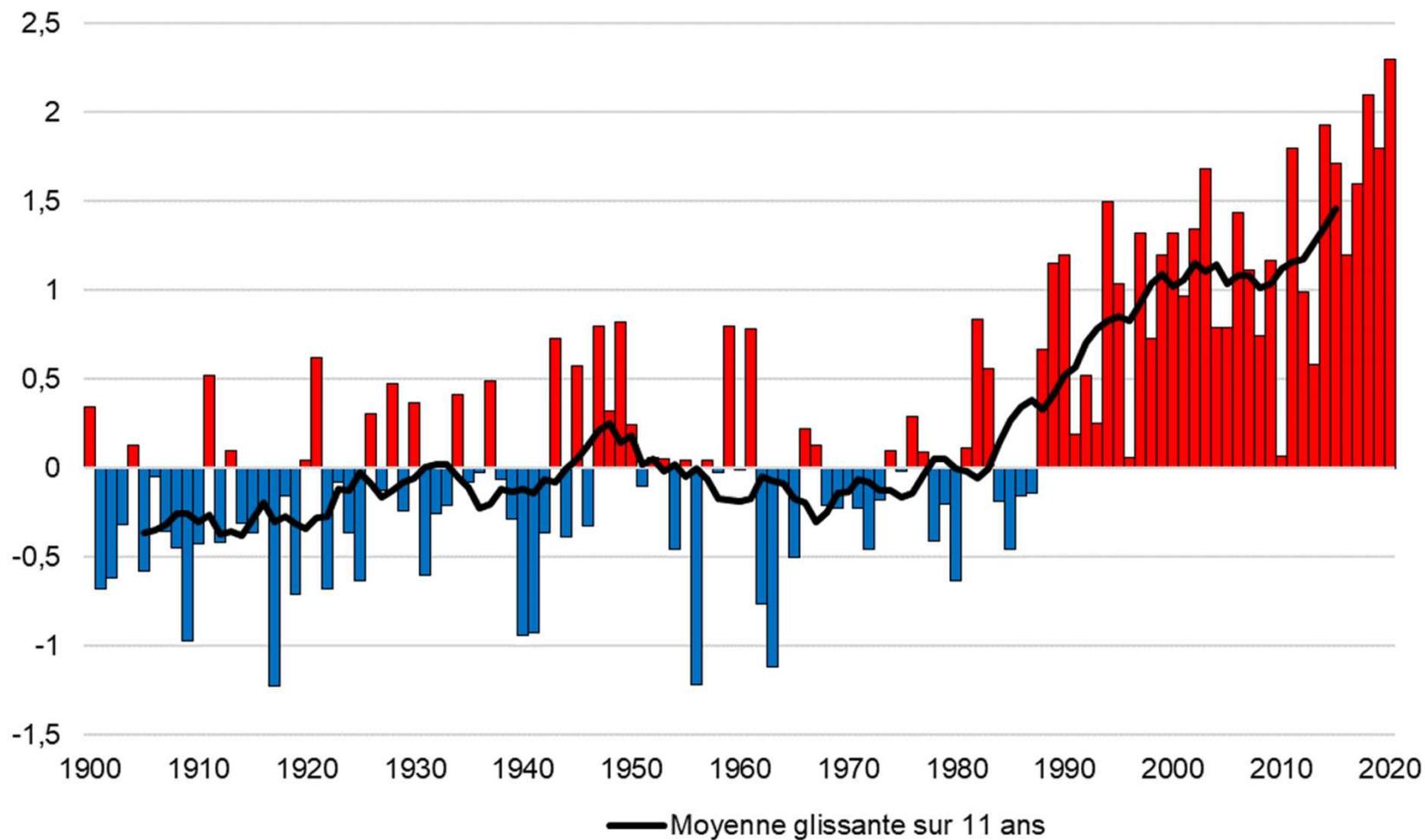
de 1947 à 2022 : **48** épisodes identifiés



## Vagues de froid observées sur le département 75

1947 à 2019 : 51 épisodes identifiés

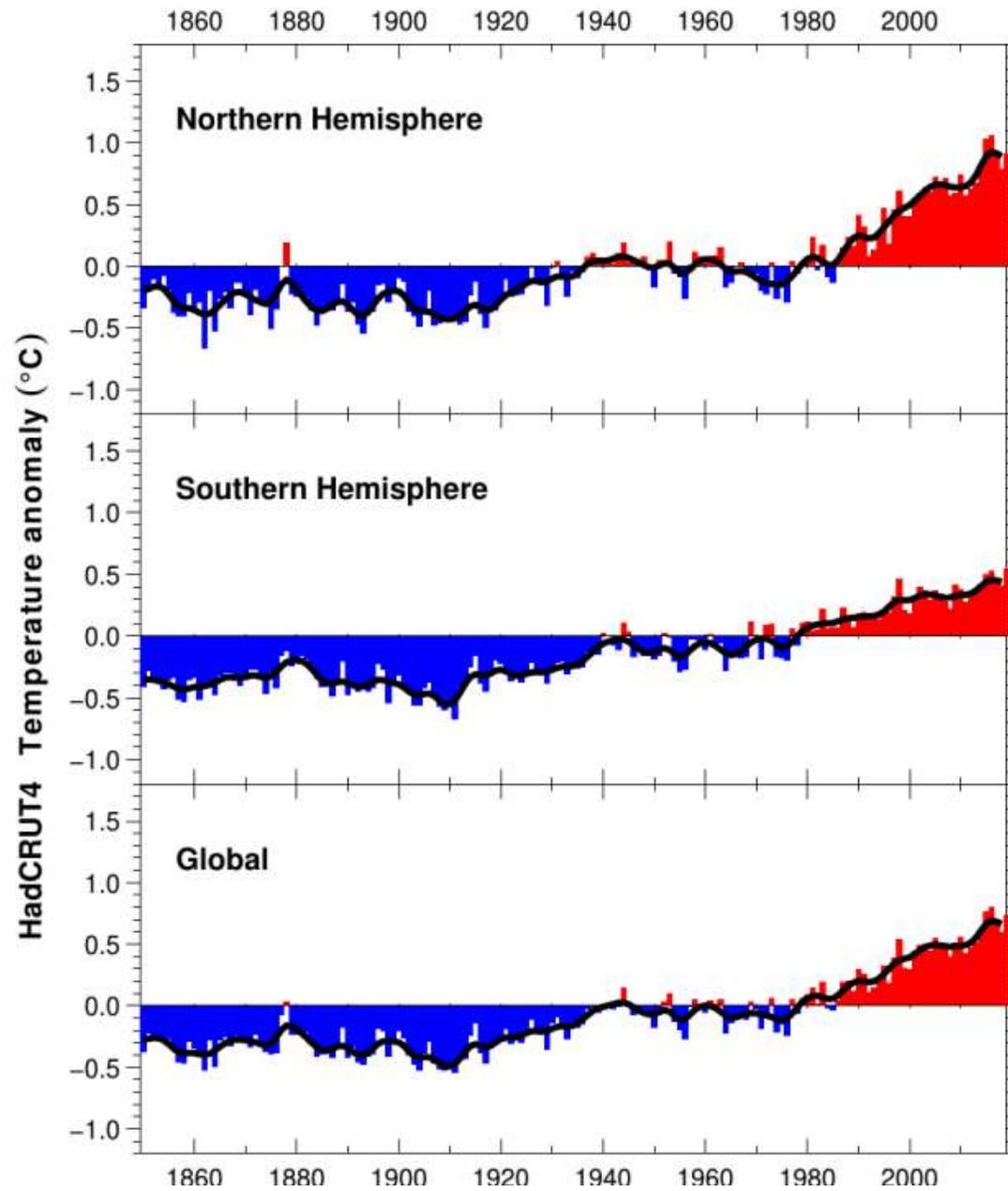




**Écart à la normale des températures moyennes annuelles, en France métropolitaine en °C**

\*normale = moyenne 1961-1990.

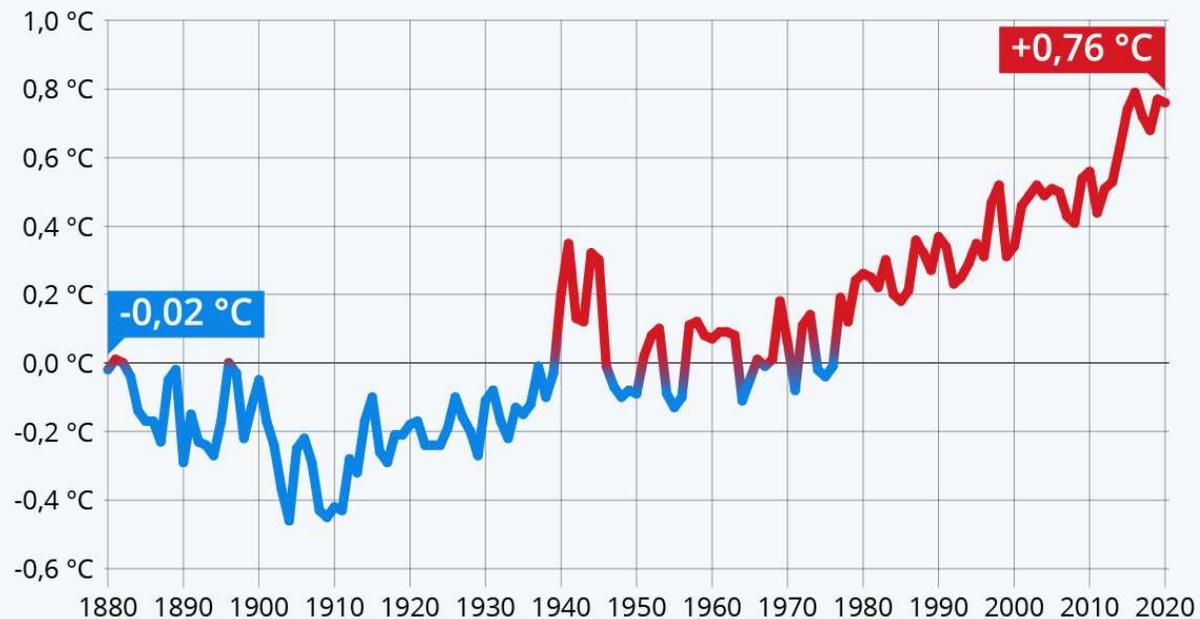
Source : Météo-France, 2021



# L'océan se réchauffe de plus en plus vite

Anomalies de température de l'océan dans le monde par rapport à la moyenne du 20ème siècle (°C) \*

**+ 0,86°C**  
en 2022



\* Température de surface.

Source : NOAA (Agence américaine d'observation océanique et atmosphérique)



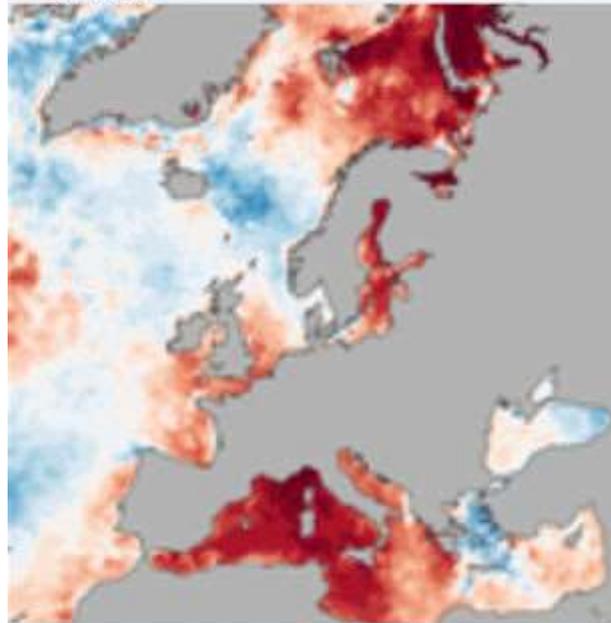
## Climat

### La Méditerranée en surchauffe

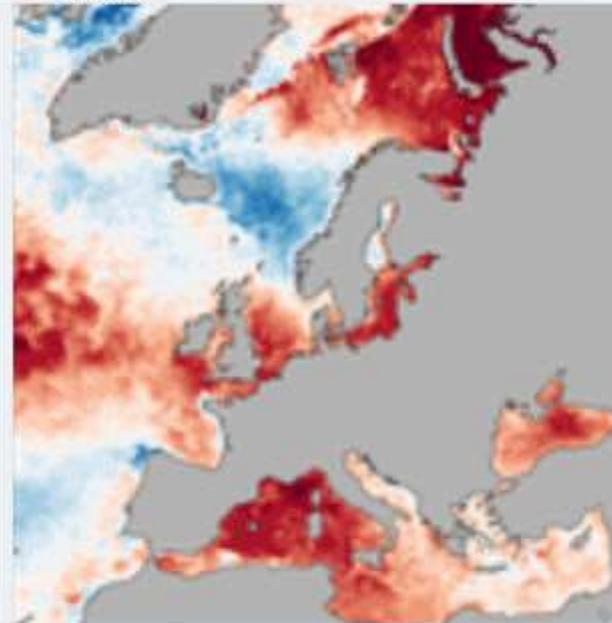
Écart mensuel des températures des eaux de surface en 2022 par rapport aux normales de 1991 à 2020 (en degrés)



Juillet

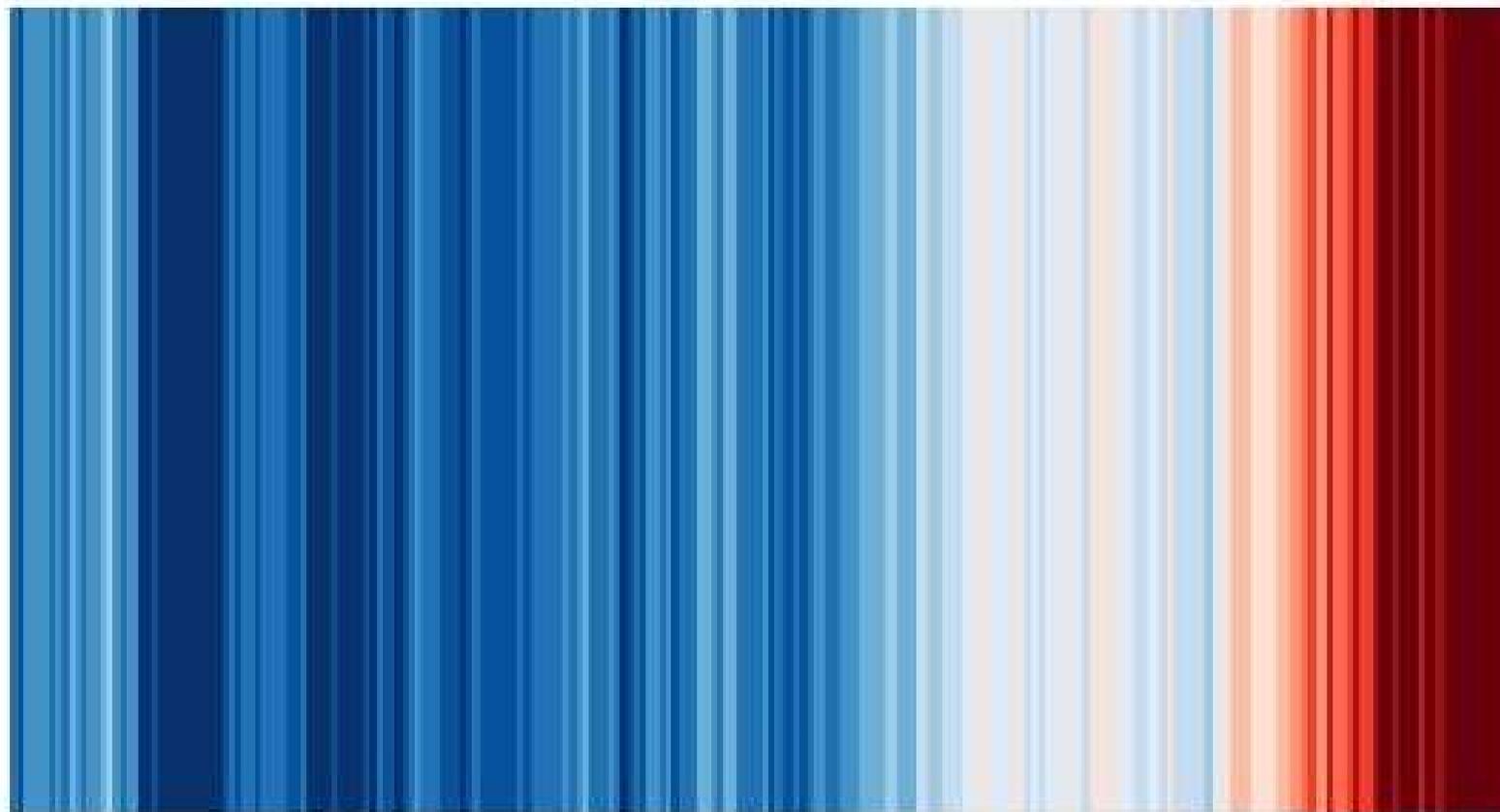


Août



20 avril 2023 - Source : Copernicus.

Le Parisien



1789

1850

1900

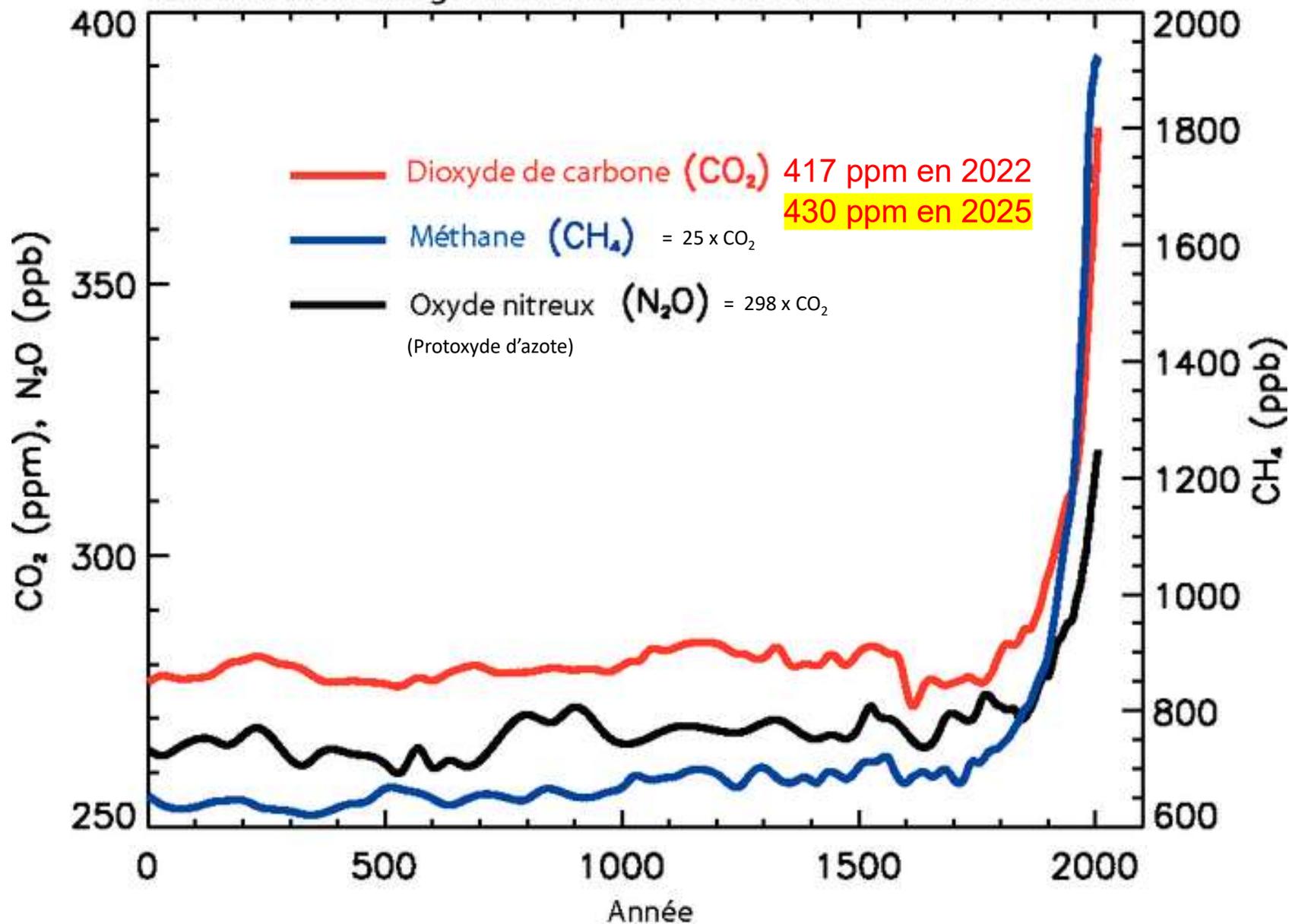
1950

2000

2022

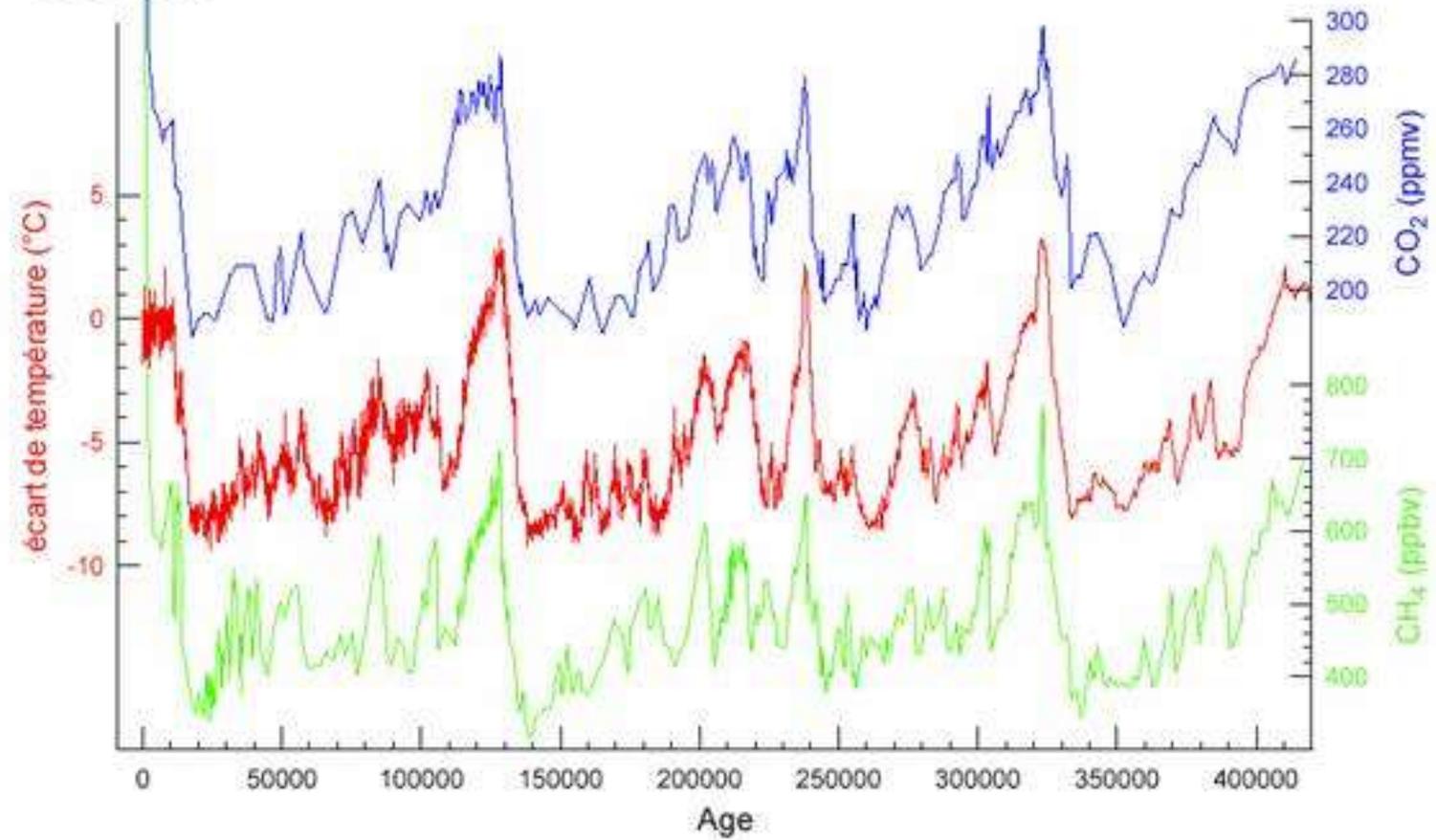
La température moyenne annuelle dans le monde depuis 1789, comparée aux normales 1961-1990.

Concentration des gaz à effet de serre de l'année 0 à l'année 2005



1600 ppbv  
 1911 en 2022  
 365 ppmv  
 430,5, en mai 2025  
 Teneurs

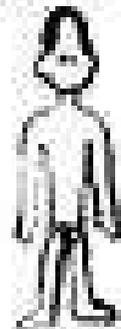
CAROTTAGE GLACIAIRE DE 3 500 m A VOSTOK (Antarctique) :  
 Climat et gaz à effet de serre au cours des 400.000 dernières années  
 L.G.G.E. / I.S.C.E. (d'après Petit et al., *Nature*, V. 399, Juin 1999).



COMMENT L'HOMME  
PROVOQUERAIT-IL  
UN RÉCHAUFFEMENT  
CLIMATIQUE?

RIGORÉUSEMENT  
ET  
SCIENTIFIQUEMENT  
IM-PO-SSIBLE!

TEMPERATURE  
CORPS HUMAIN  
37.2°C

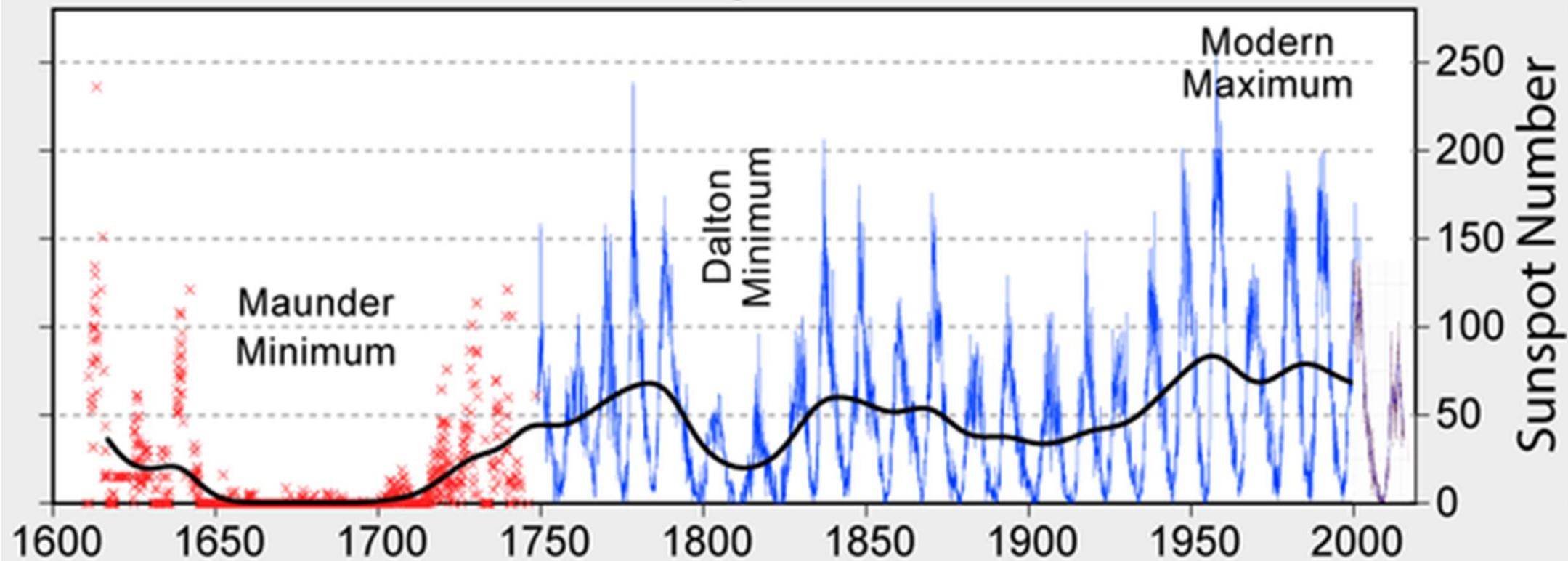


≠ TEMPERATURE  
SOLEIL

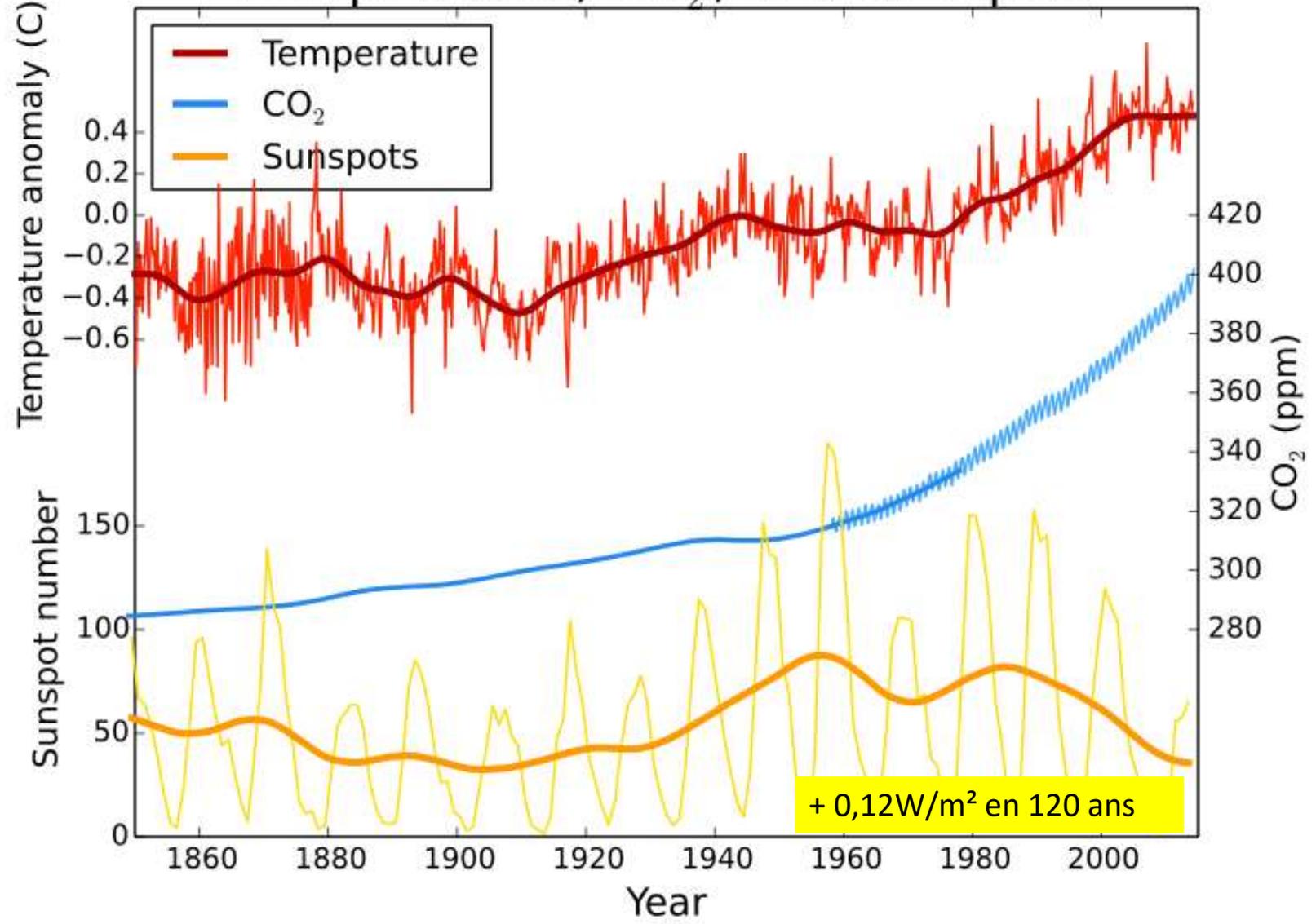
570 000°C



# 400 Years of Sunspot Observations



# Temperature, CO<sub>2</sub>, and Sunspots



# Morale de l'histoire géologique des climats

Pendant 85% de son histoire, la Terre a connu des climats plus chauds qu'aujourd'hui.

Les climats froids sont très minoritaires, même s'ils ont pu avoir de longues durées.

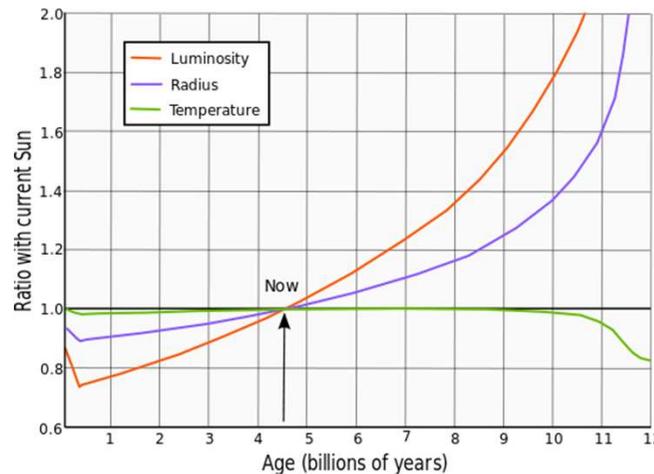
Pendant les ères glaciaires, il y a toujours eu au moins une calotte glaciaire continentale permanente proche d'un des deux pôles.

Depuis 34 millions d'années la Terre est en période glaciaire.

Depuis la formation de la Terre, en 4,5 milliards d'années:

↗ augmentation de la puissance du Soleil de 30%

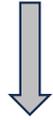
↘ baisse de 10 000 fois de la quantité de gaz carbonique liée à la séquestration du carbone par la formation des roches.



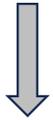
**Evolution de la luminosité, du rayon et de la température du Soleil depuis sa formation (Age=0) jusqu'à sa sortie de la séquence principale**

## dernière glaciation

Refroidissement de 0,5°C en 500 ans  
lié aux paramètres de Milankovitch



Déclenchement de la séquestration  
du CO<sub>2</sub> et du CH<sub>4</sub> ...



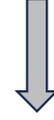
Glaciation sur près de 100 000 ans

## actuel

Réchauffement de 1,5°C en 150 ans  
lié au CO<sub>2</sub> émis par les activités humaines



Libération du CH<sub>4</sub>, des hydrates de  
méthane

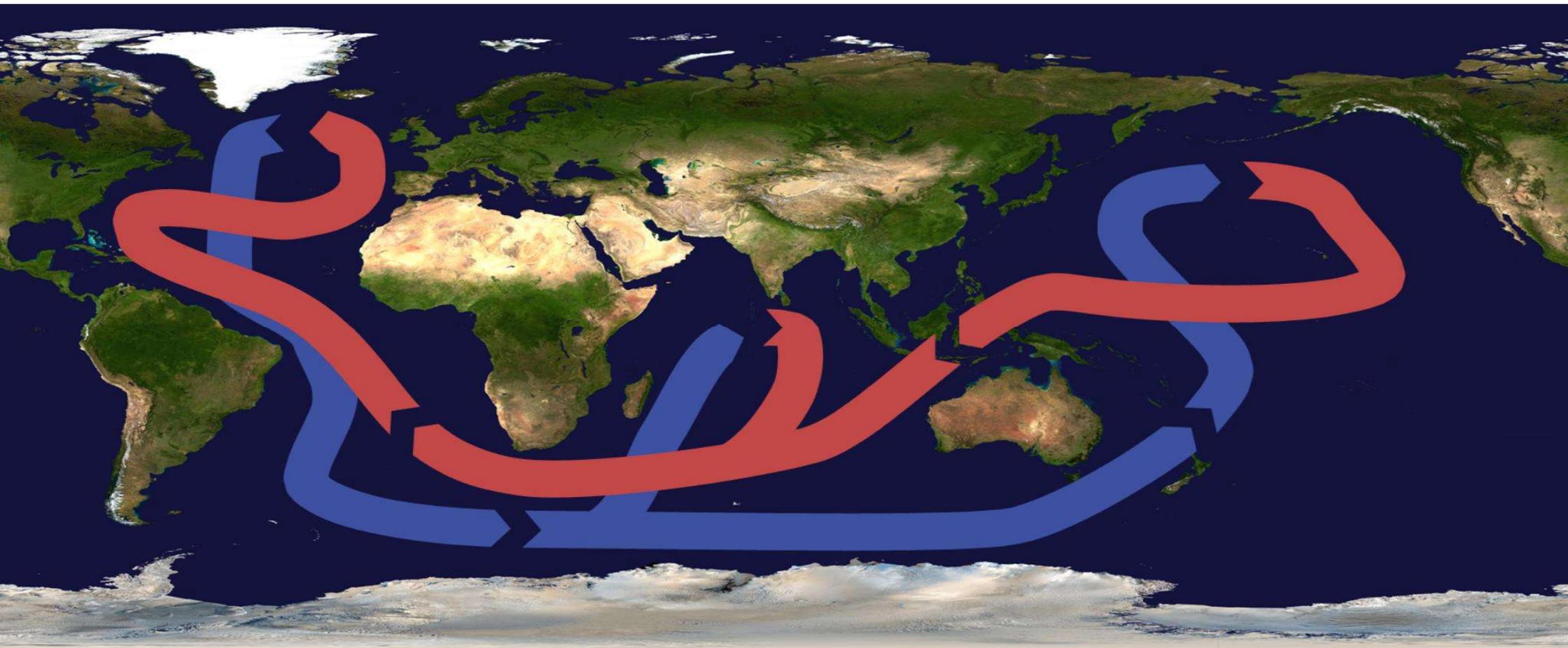


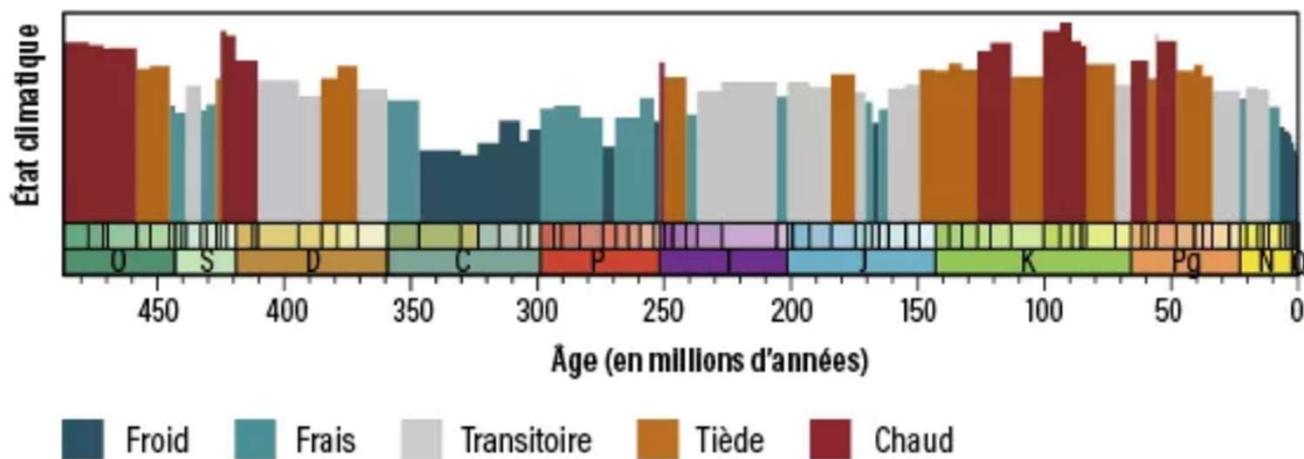
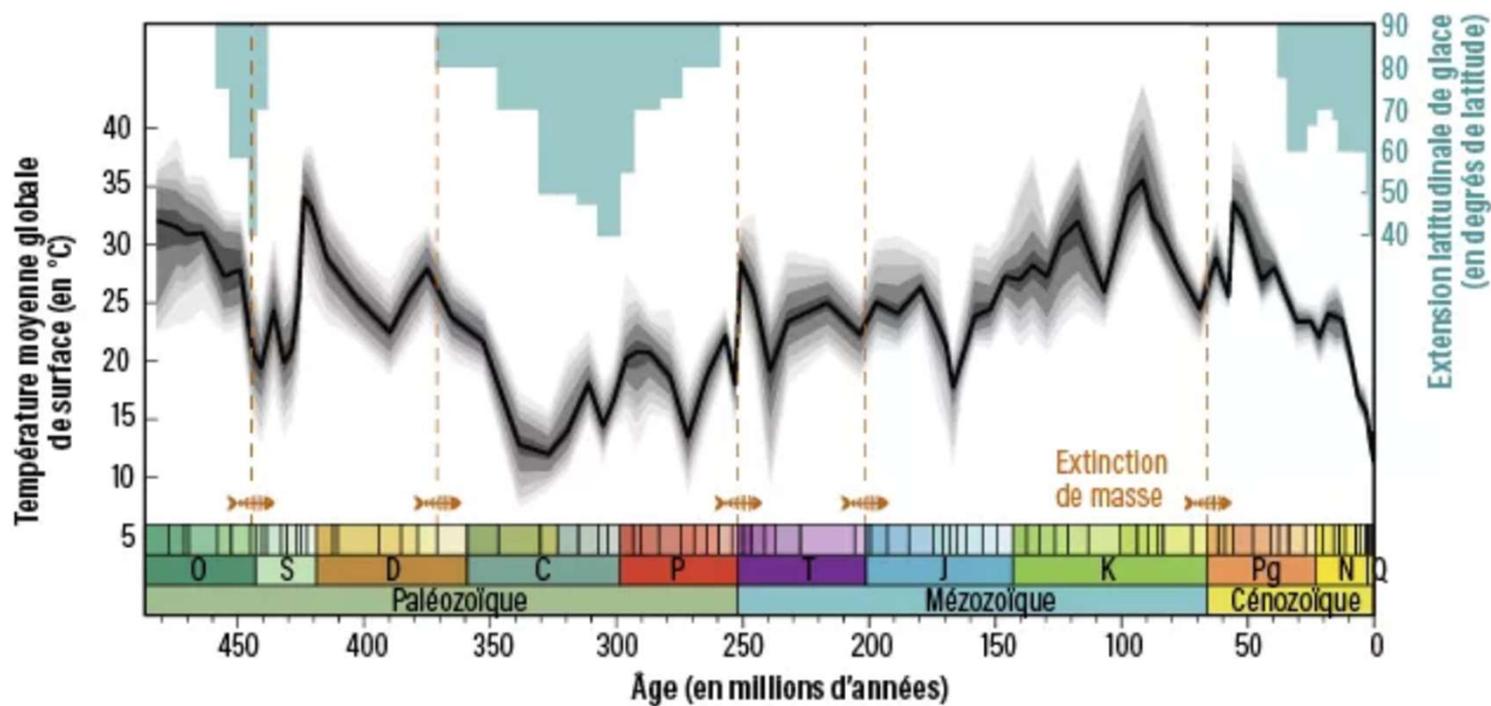
Emballement



Fonte des glaces, modification de l'albedo,  
perturbation de la circulation thermohaline,...

?





© E. J. Judd et al., A 485-million-year history of Earth's surface temperature, Science, 2024, reproduit avec la permission de AAAS

1 - Le réchauffement actuel est, sans contestation possible, lié à l'Homme.

2 - Il se fait à une échelle de temps que la Terre n'a jamais connue.

3 - Il induit des dérèglements qui deviennent incontrôlables.

# Merci de votre attention

