

**PARTIE 2 "Climat, Energies"**

Chapitre 1 - Le système climatique actuel (4 CM + 1 TP)

Chapitre 2 - Les climats du passé (3 CM + 1 TP)

Chapitre 3 - Le GIEC (1 CM + 1 TP)

Chapitre 4 - Les énergies nouvelles (2 CM + 1 TP)

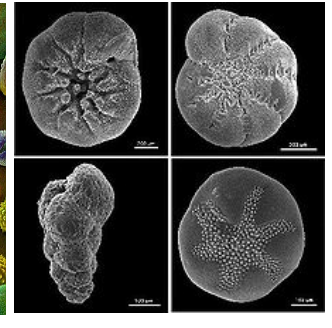
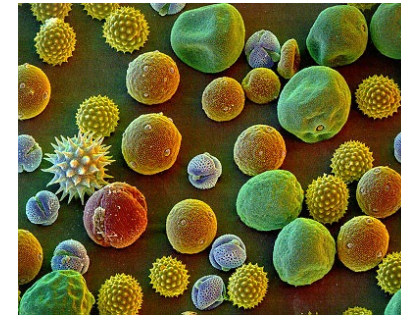
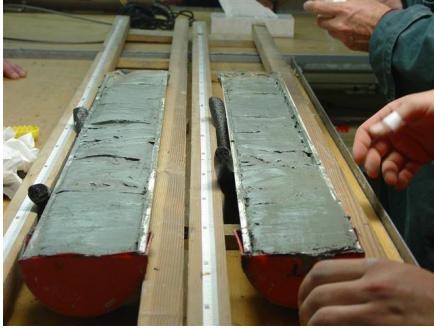
+ 1 TP d'accompagnement

## Chapitre 2 : Les climats du passé :

CM 5 : Les alternances glaciaires-interglaciaires  
(Christophe Colin)

CM 6 et 7 : Les archives et traceurs paléoclimatiques  
(Charlotte Skonieczny)

TP CE2

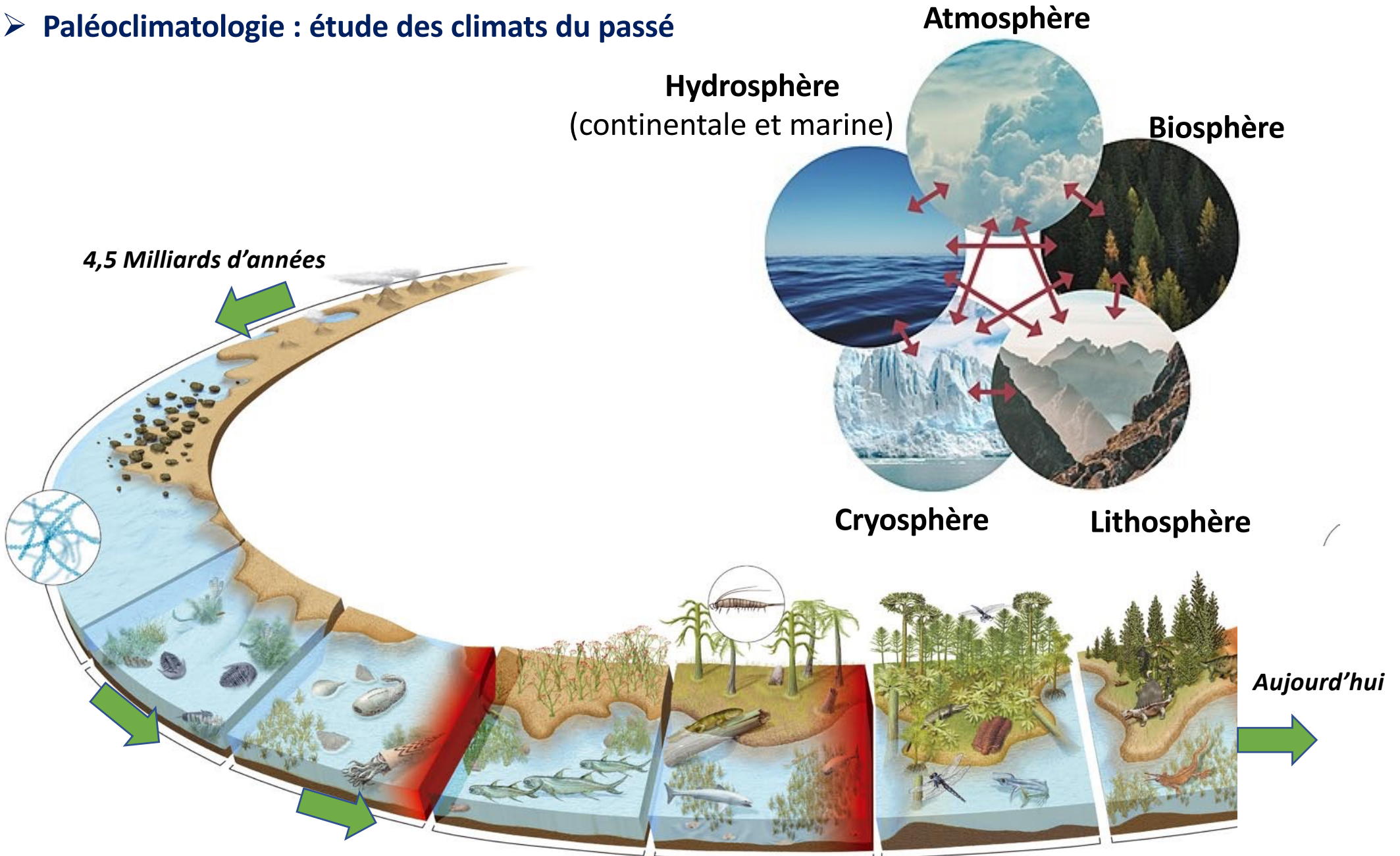


UE GO111  
« Système Terre, Climat, Energies »  
Les archives et traceurs paléoclimatiques

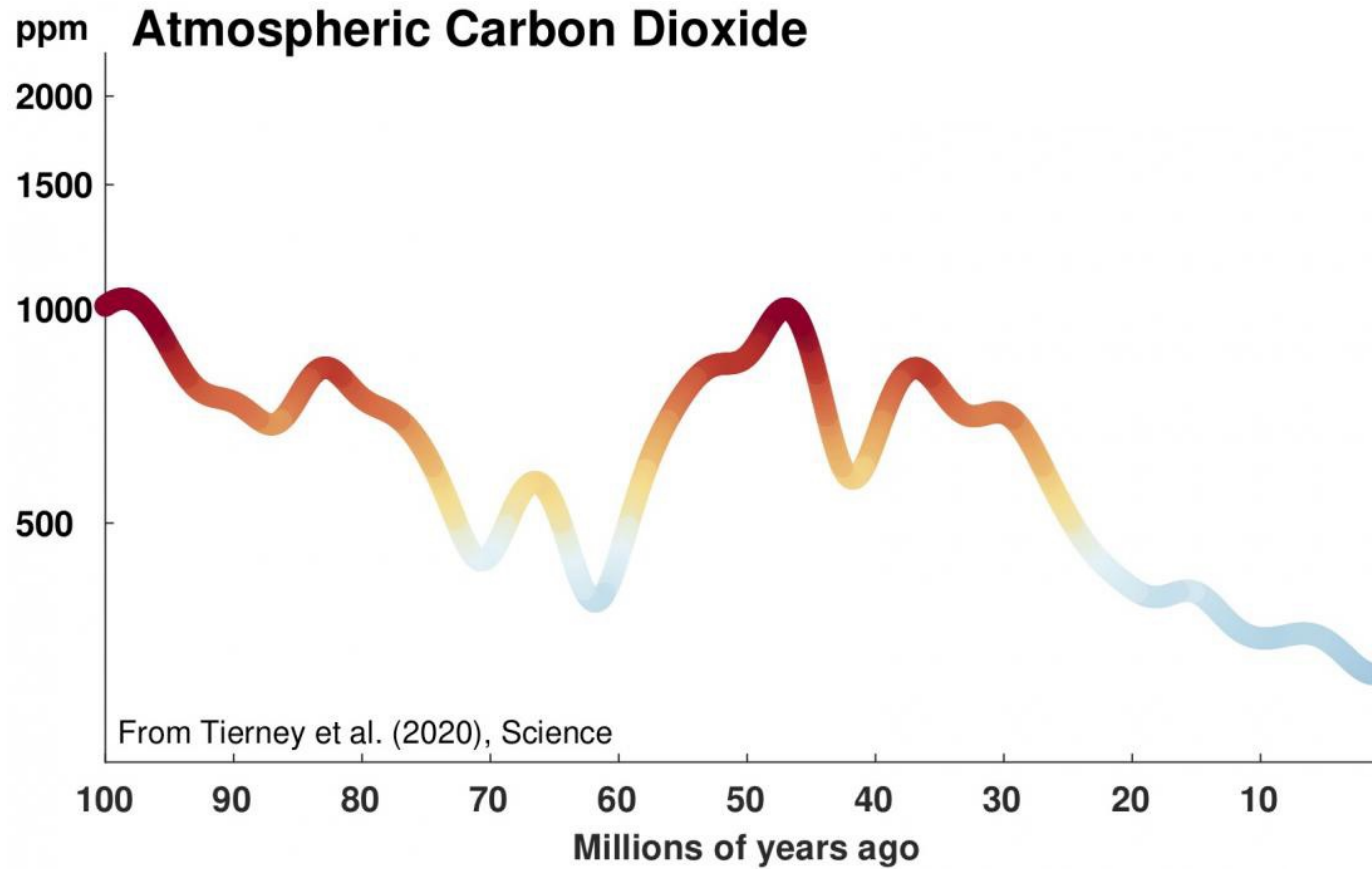
[charlotte.skonieczny@universite-paris-saclay.fr](mailto:charlotte.skonieczny@universite-paris-saclay.fr)



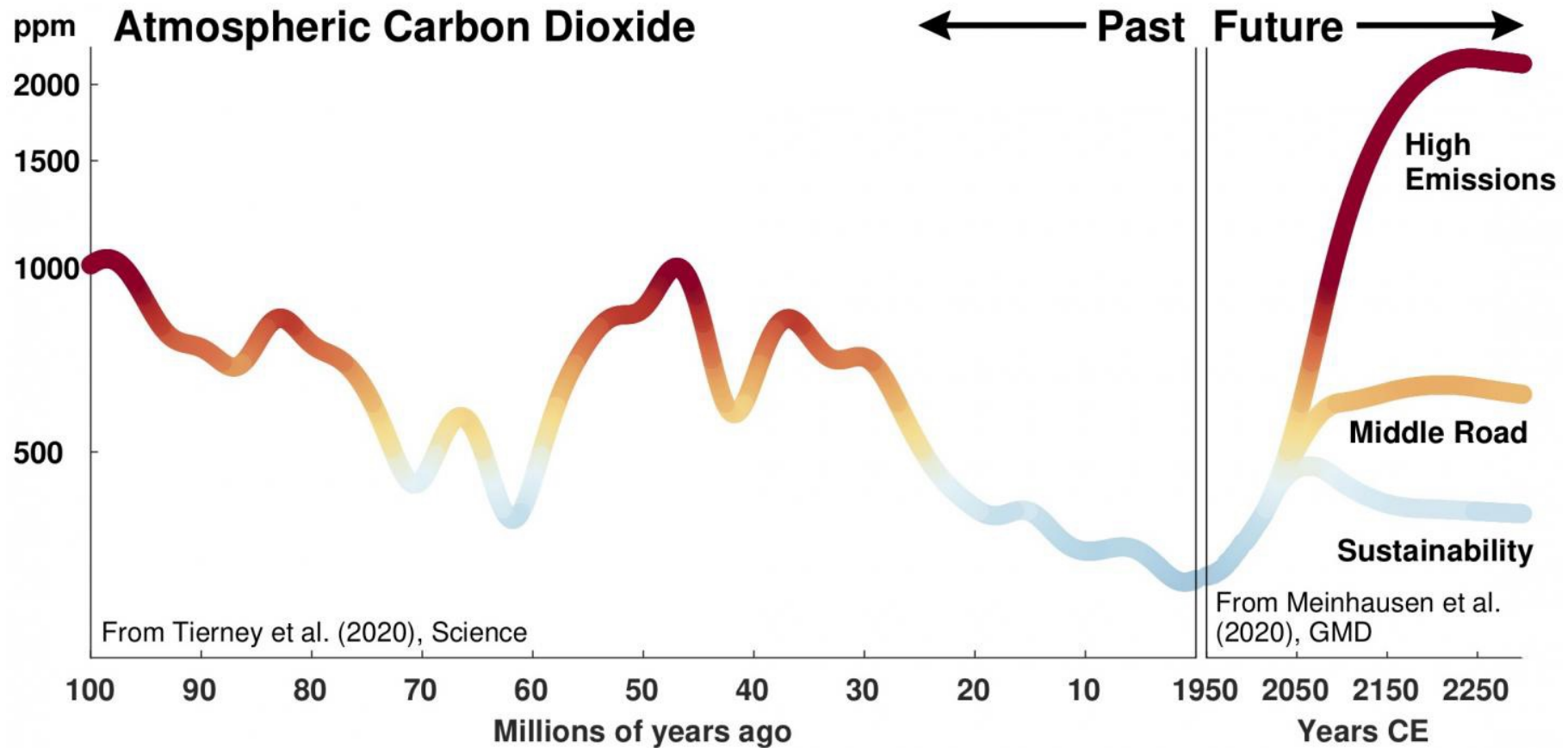
➤ Paléoclimatologie : étude des climats du passé



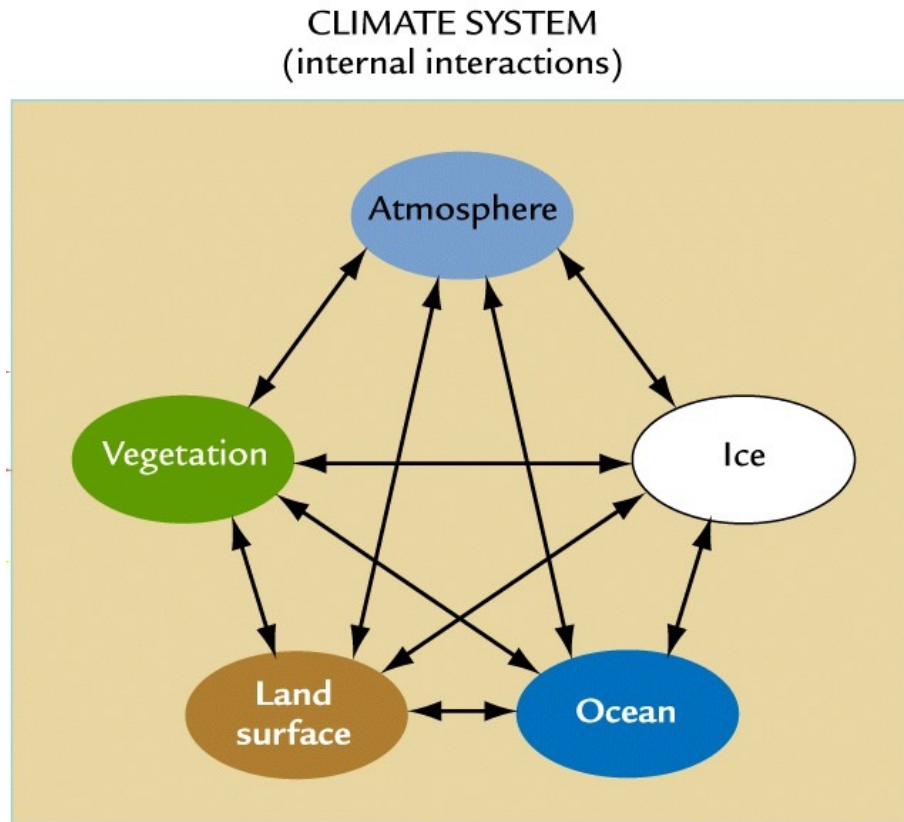
➤ Etude des climats du passé : **POURQUOI s'y intéresser ?**



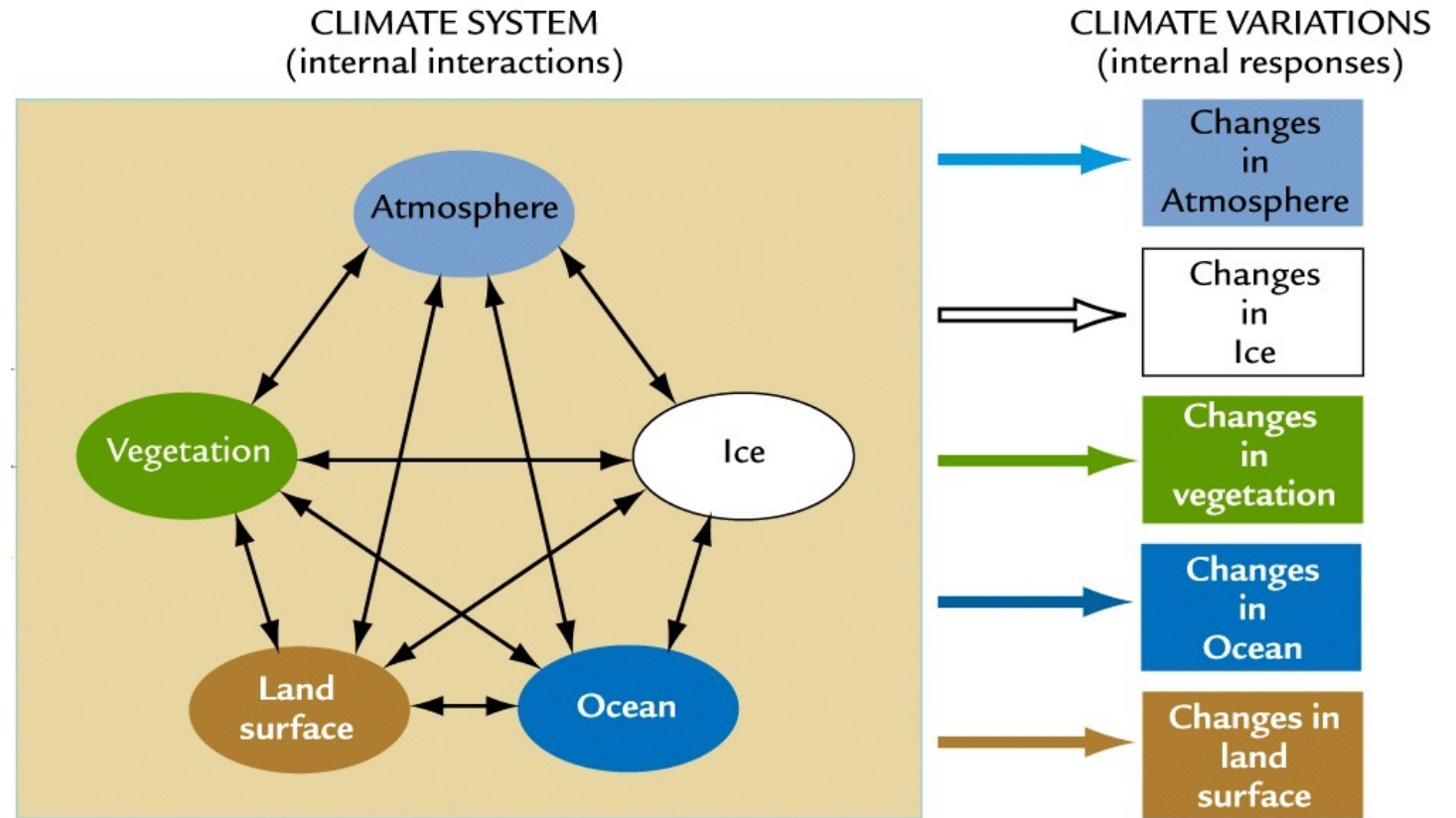
- Etude des climats du passé => nécessaire pour mieux appréhender les changements futurs



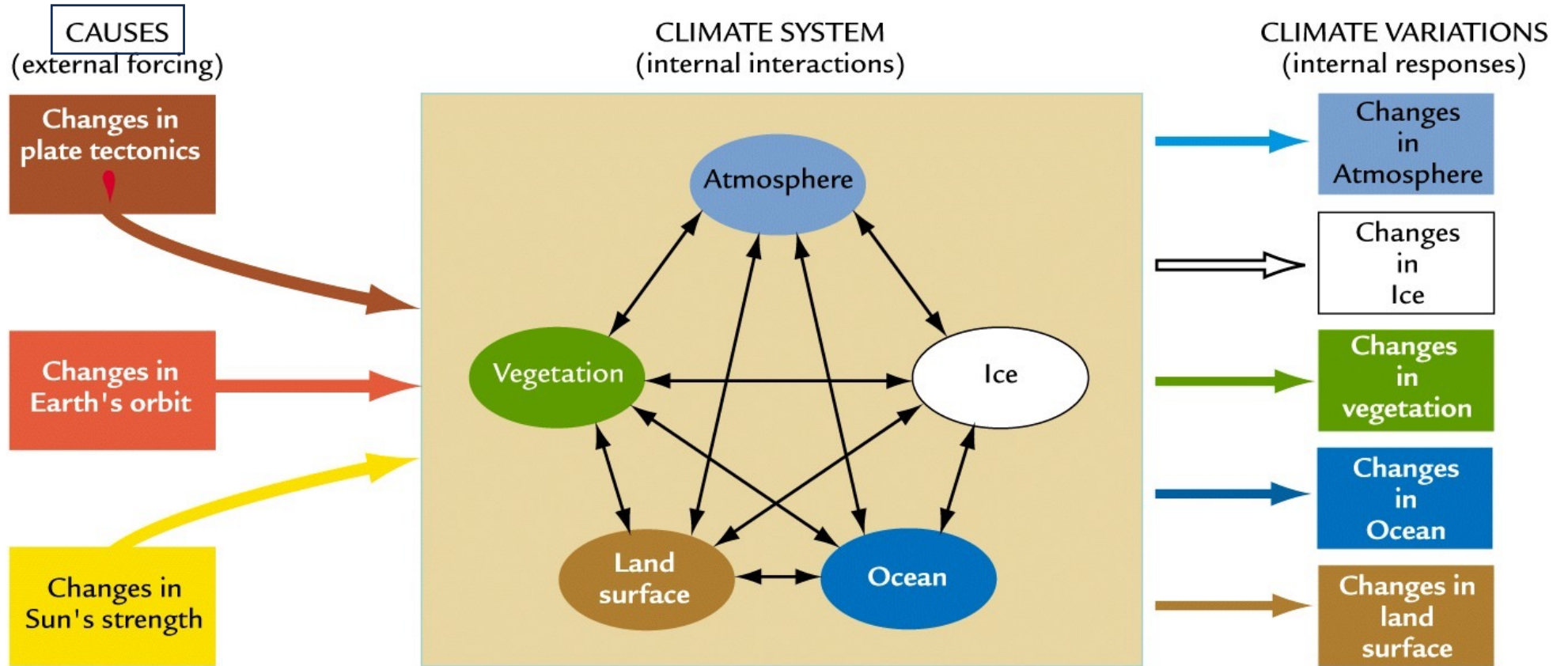
➤ Etude des climats du passé



➤ Etude des climats du passé

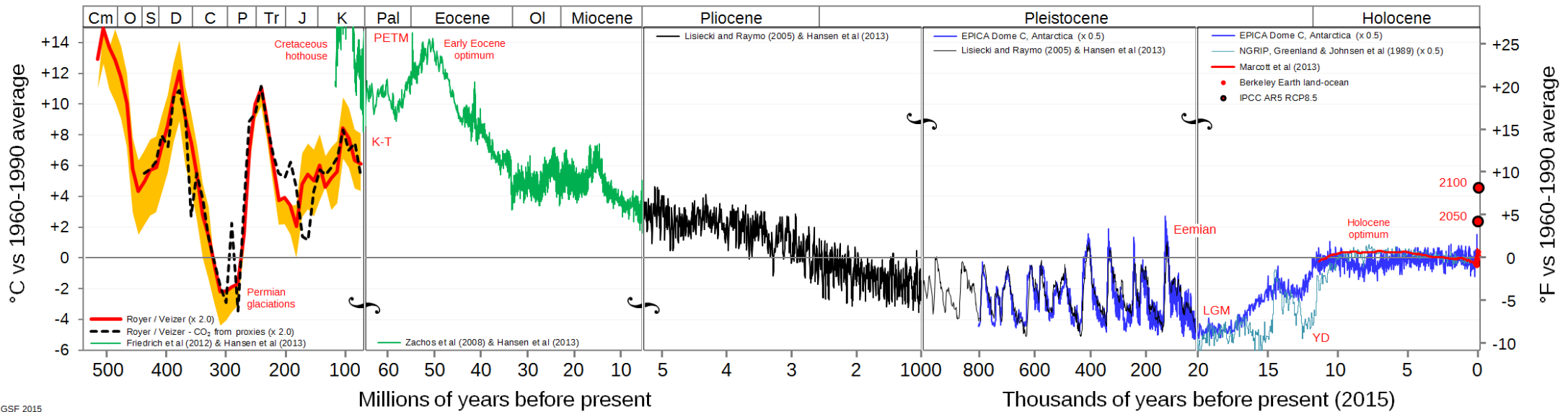


## ➤ Etude des climats du passé

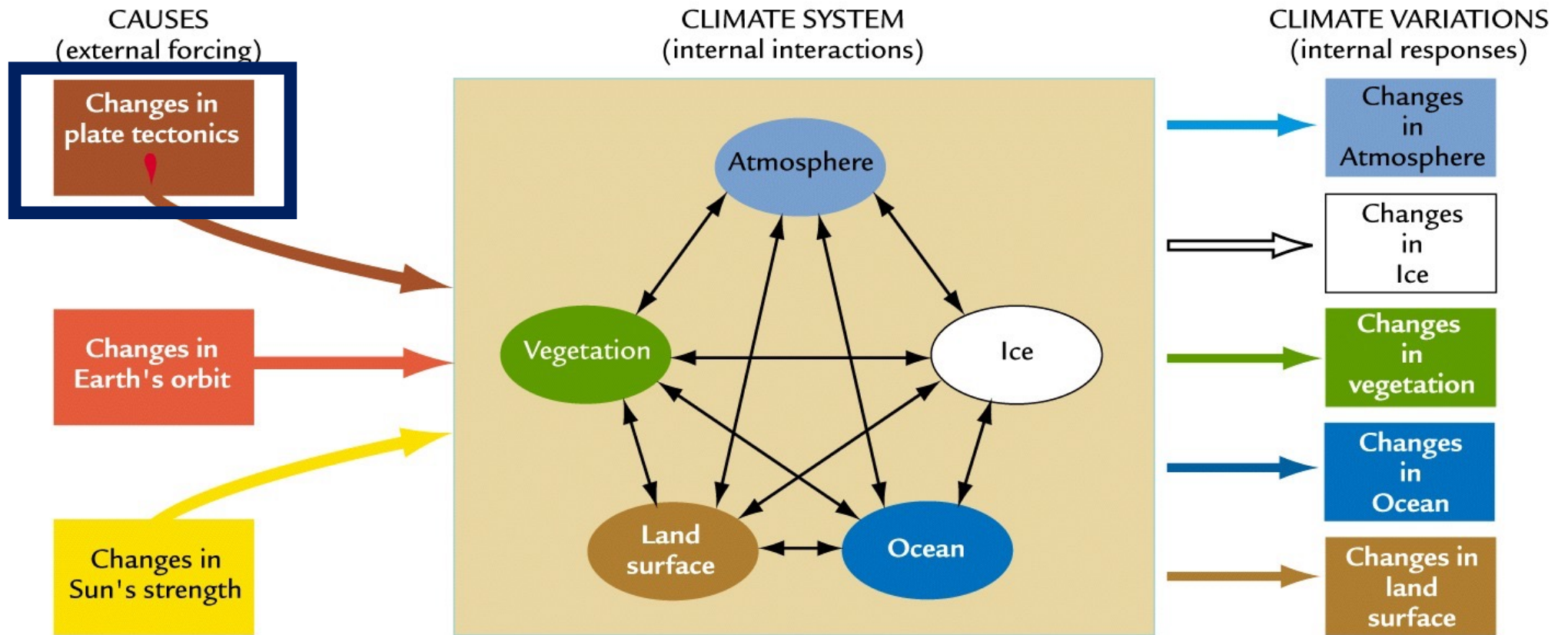


## ➤ Etude des climats du passé - la notion d'échelle de temps

### Temperature of Planet Earth



## ➤ Etude des climats du passé - la notion d'échelle de temps

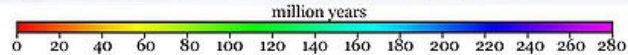
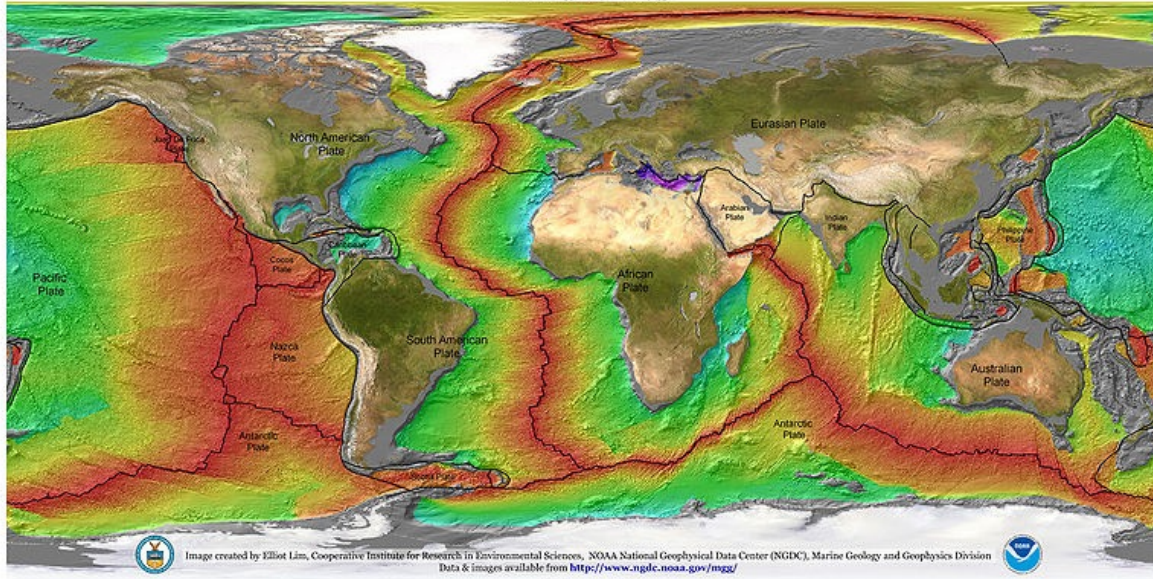


- Etude des climats du passé
  - la notion d'échelle de temps
  - échelle « tectonique »

Age of Oceanic Lithosphere (m.y.)

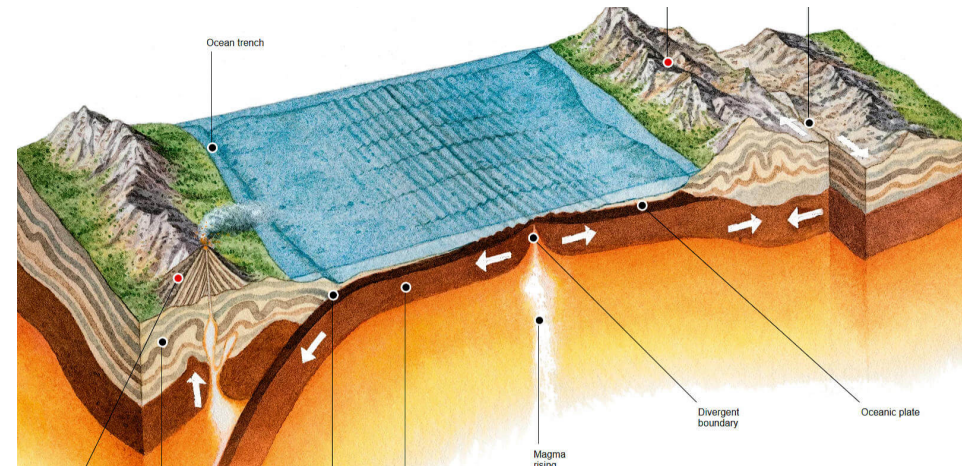
Data source:

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.



## Principe

Existence de plaques tectoniques rigides (lithosphère) flottant et se déplaçant sur l'asthénosphère (manteau ductile en mouvement)

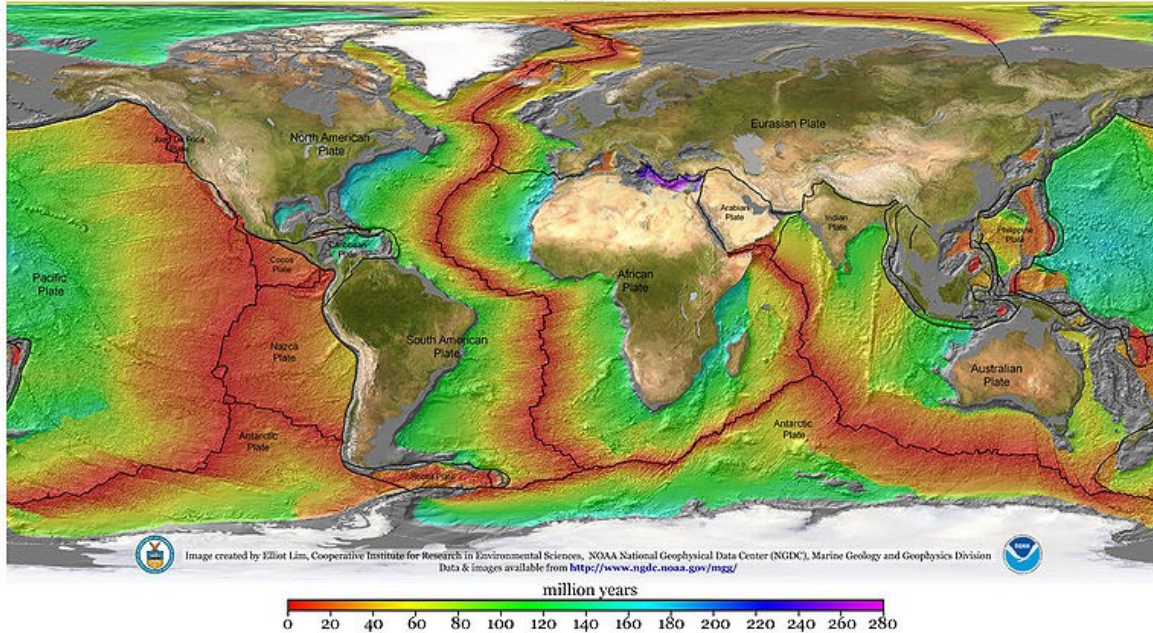


- **Etude des climats du passé**
  - la notion d'échelle de temps
  - échelle « tectonique »

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

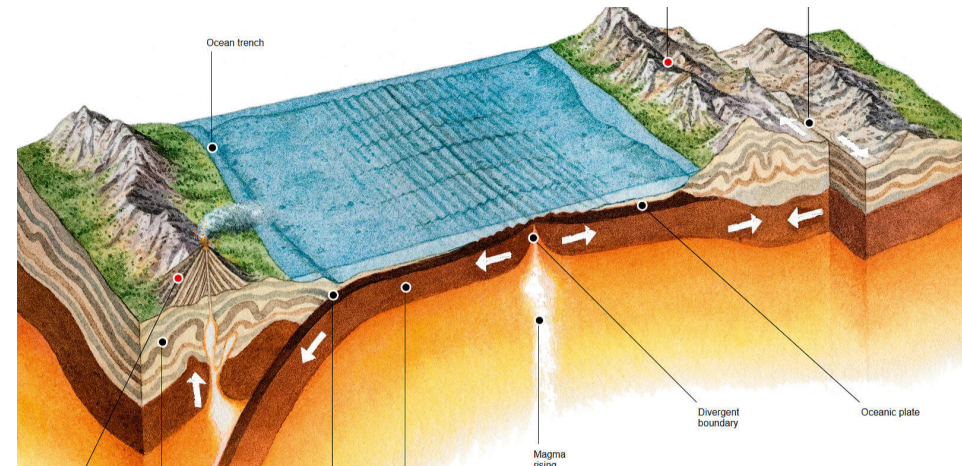
Data source:

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.



## Principe

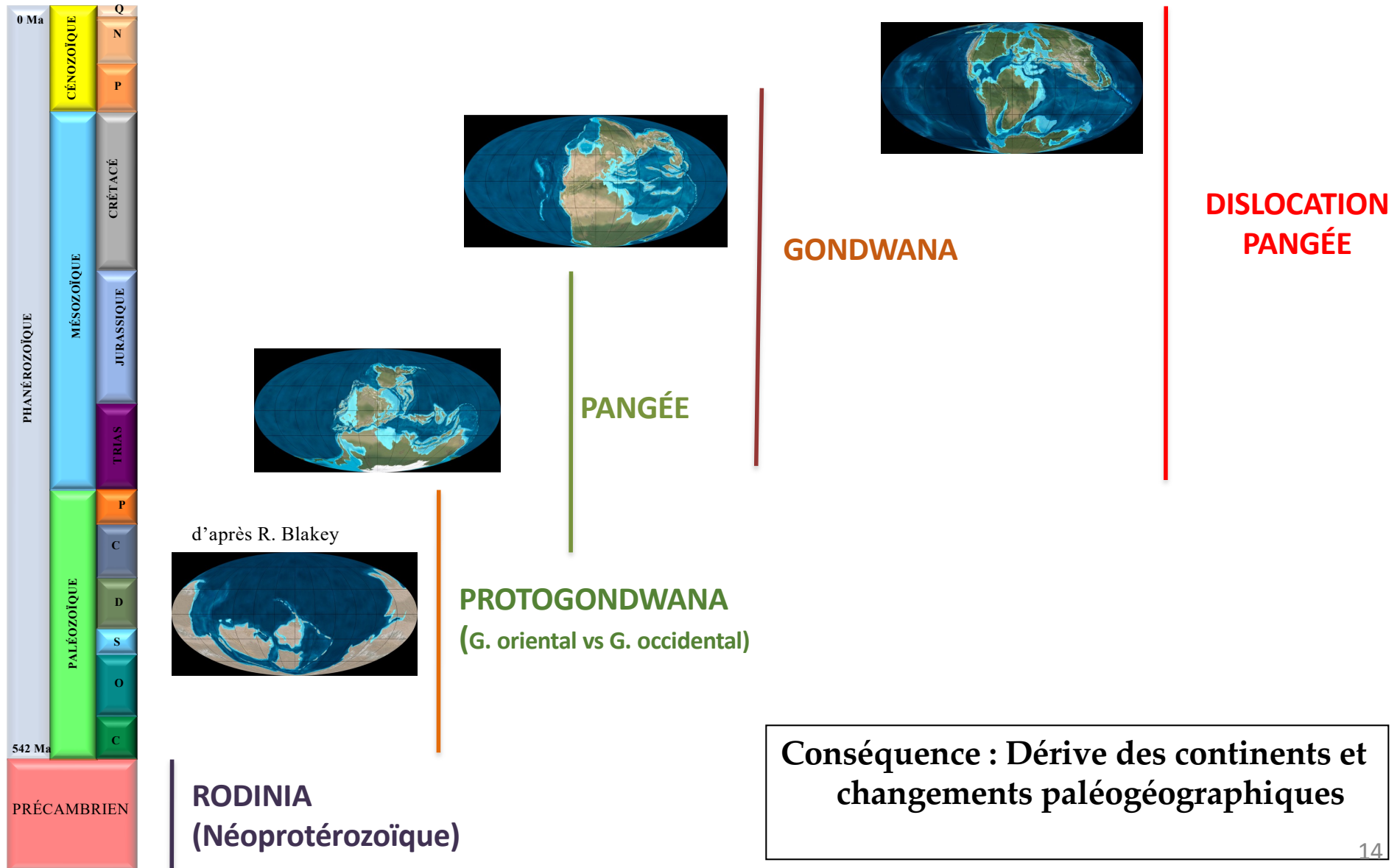
Existence de plaques tectoniques rigides (lithosphère) flottant et se déplaçant sur l'asthénosphère (manteau ductile en mouvement)



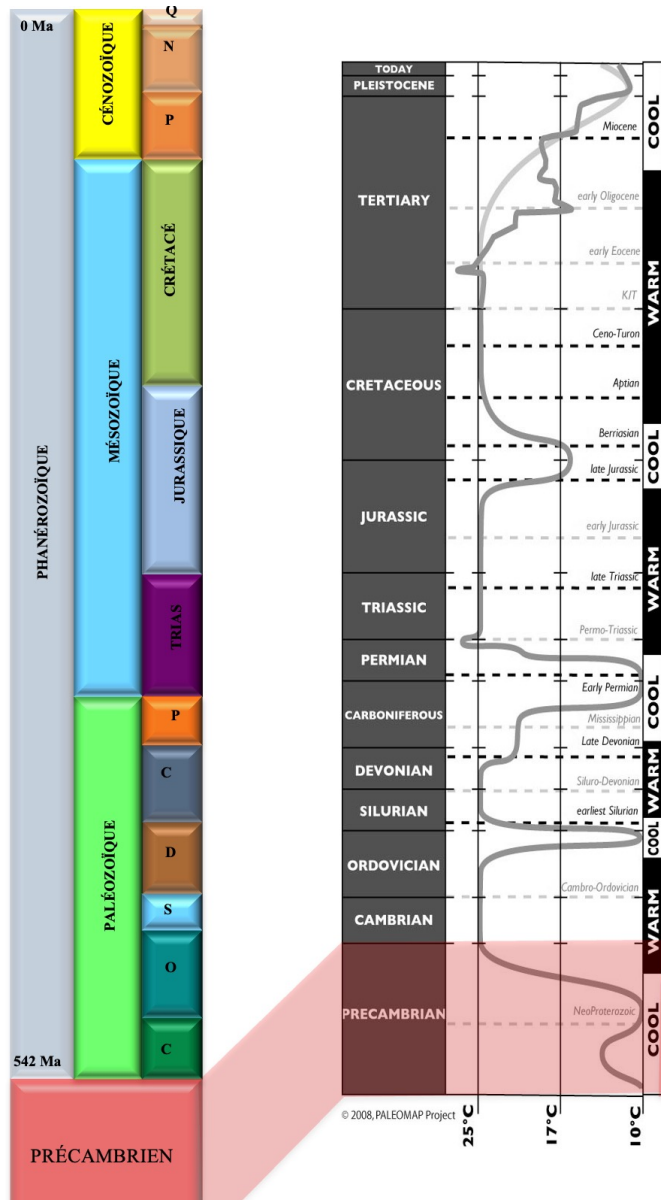
## Conséquences :

- **Changements paléogéographiques**

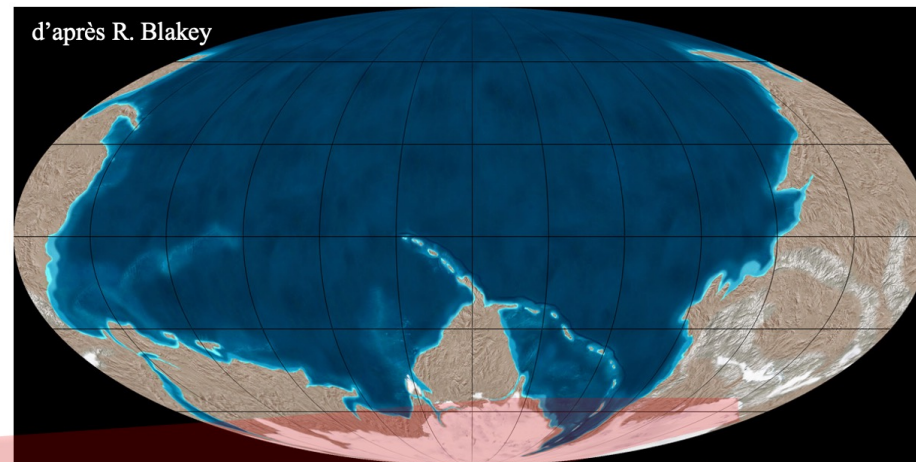
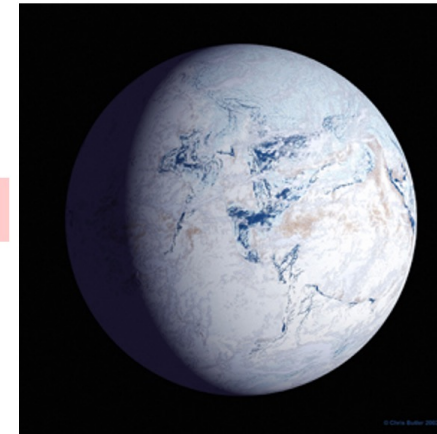
- Etude des climats du passé
  - la notion d'échelle de temps
  - échelle « tectonique »



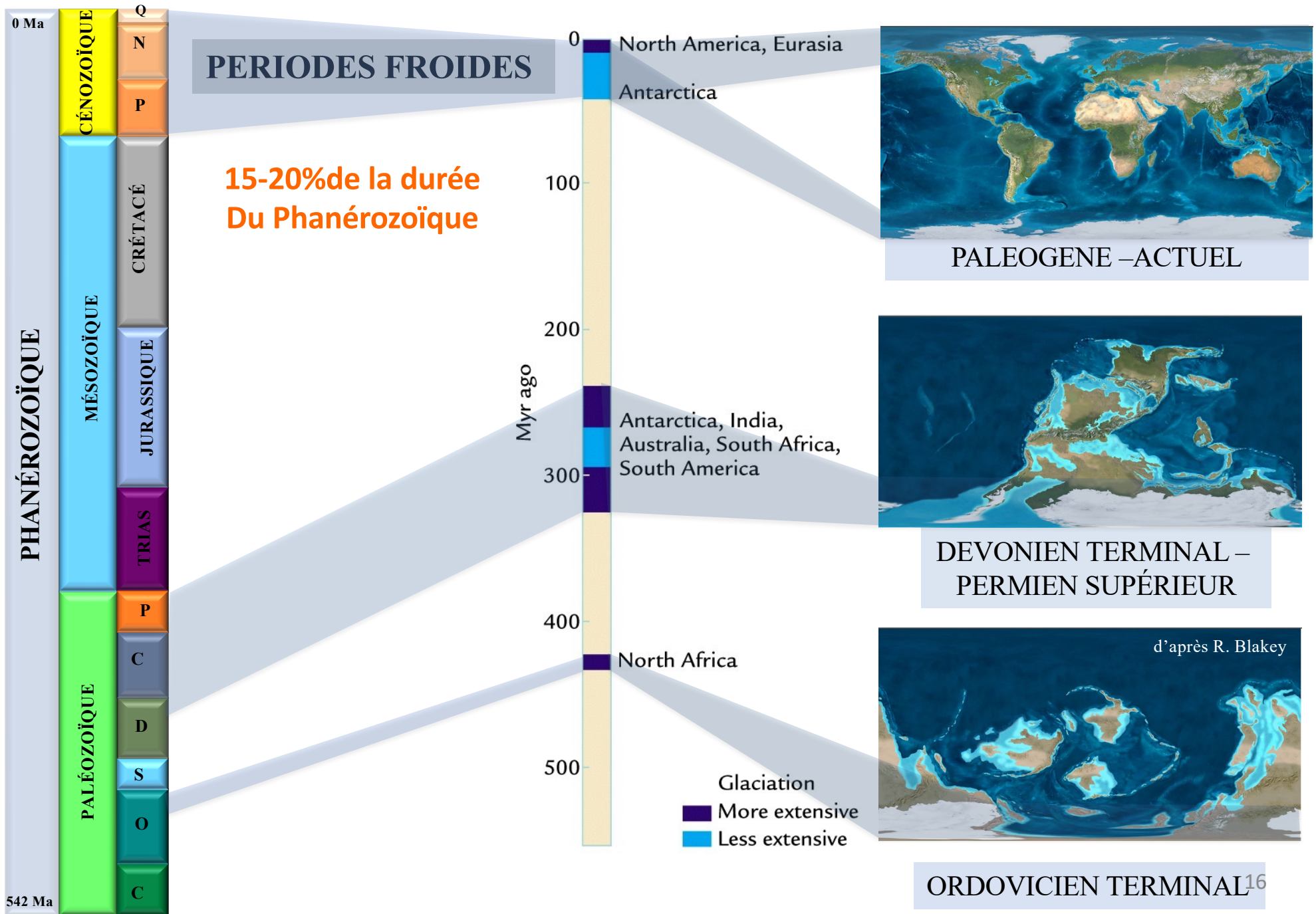
- Etude des climats du passé
  - la notion d'échelle de temps
  - échelle « tectonique »

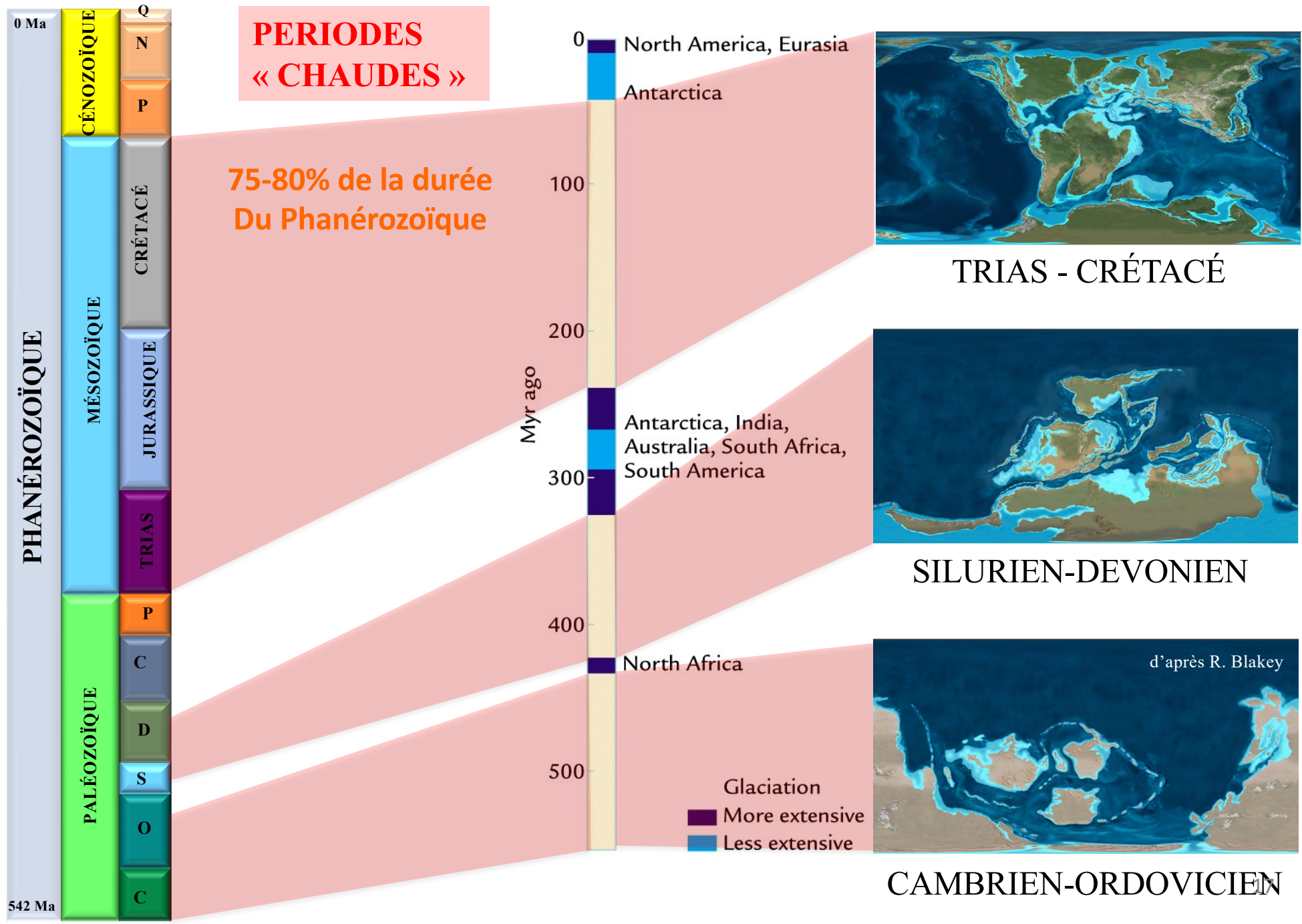


SNOWBALL EARTH?



NÉOPROTEROZOÏQUE  
Et HURONIEN



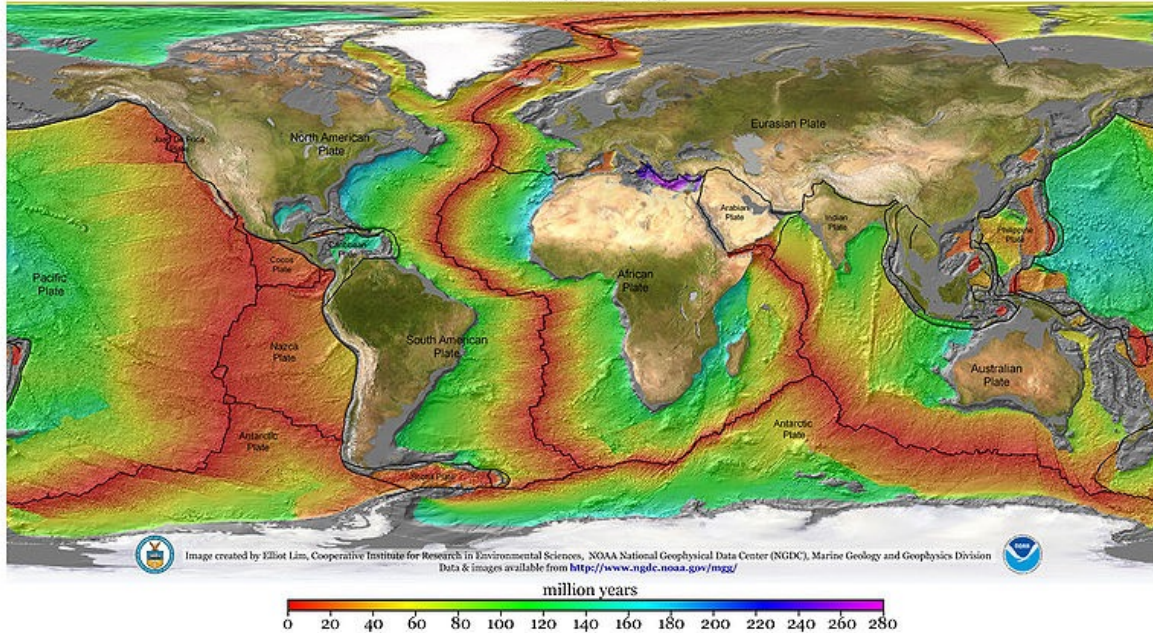


- **Etude des climats du passé**
  - la notion d'échelle de temps
  - échelle « tectonique »

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

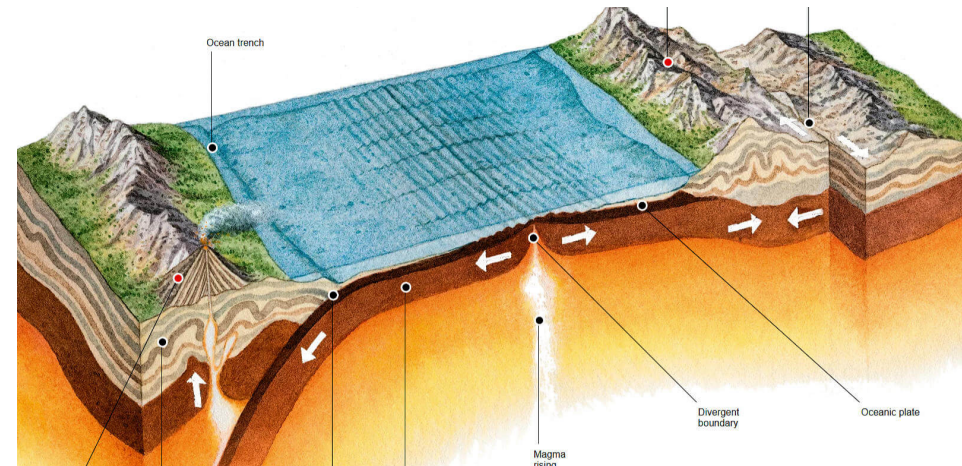
Data source:

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.



## Principe

Existence de plaques tectoniques rigides (lithosphère) flottant et se déplaçant sur l'asthénosphère (manteau ductile en mouvement)



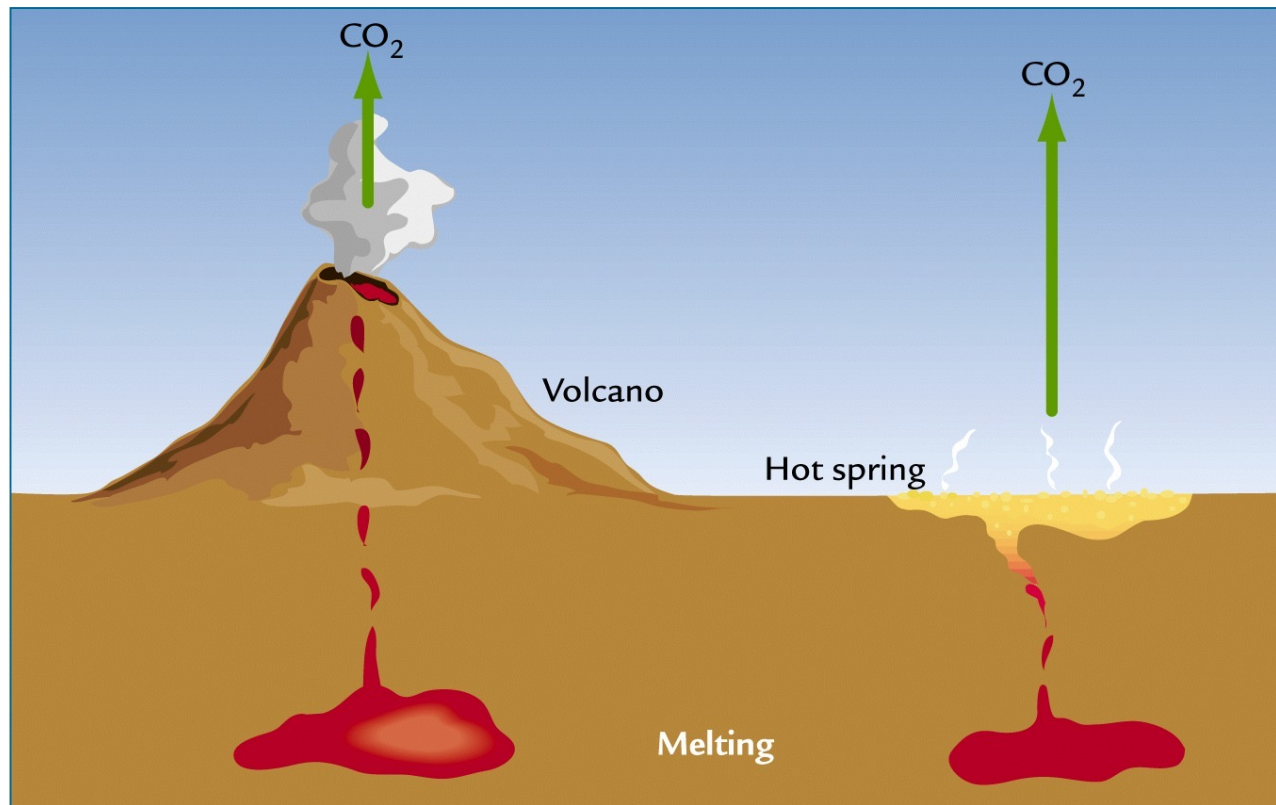
## Conséquences :

- Changements paléogéographiques
- Volcanisme

- Etude des climats du passé
  - la notion d'échelle de temps
    - échelle « tectonique »

Conséquence : influence du volcanisme sur le climat

*-Dégazage de CO<sub>2</sub> dans le système océan-atmosphère*



Ruddiman, 2001

***Réchauffement***

- Etude des climats du passé
  - la notion d'échelle de temps
    - échelle « tectonique »

Conséquence : influence du volcanisme sur le climat

*-Libération de cendres et de  $SO_2$  dans la stratosphère (>20km)*



Pinatubo (Philippine)



Mont Saint Helens (États-Unis)

**INFLUE SUR LE RAYONNEMENT SOLAIRE RECU À LA SURFACE DE LA TERRE**

**(↘ 1 À 5 %)**

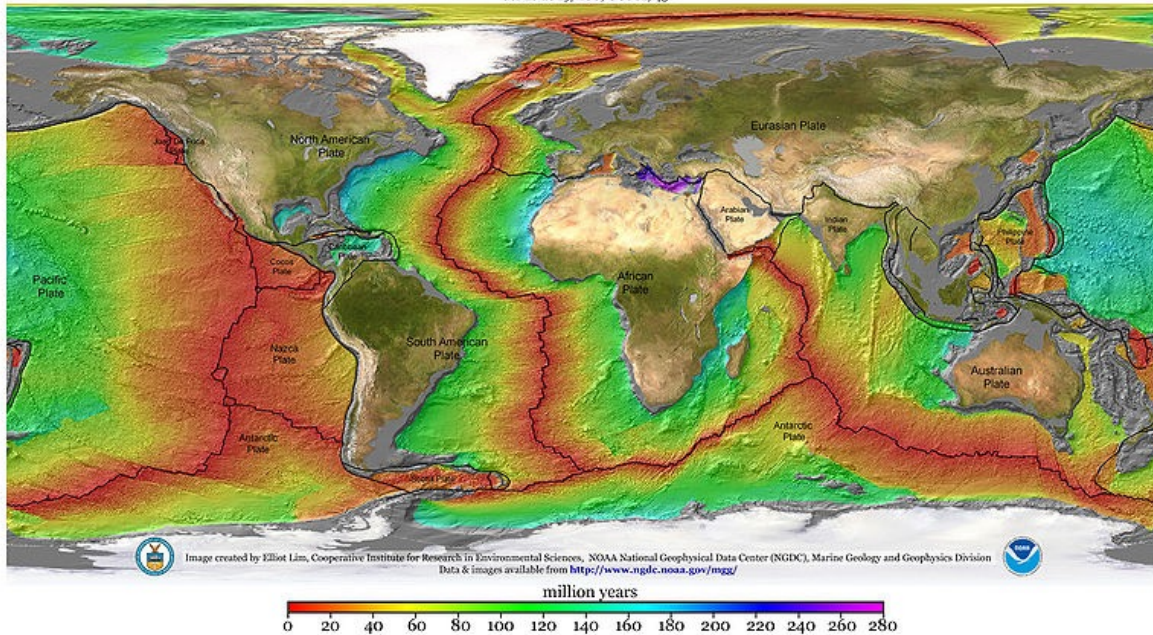
***Refroidissement***

- Etude des climats du passé
  - la notion d'échelle de temps
  - échelle « tectonique »

Age of Oceanic Lithosphere (m.y.)

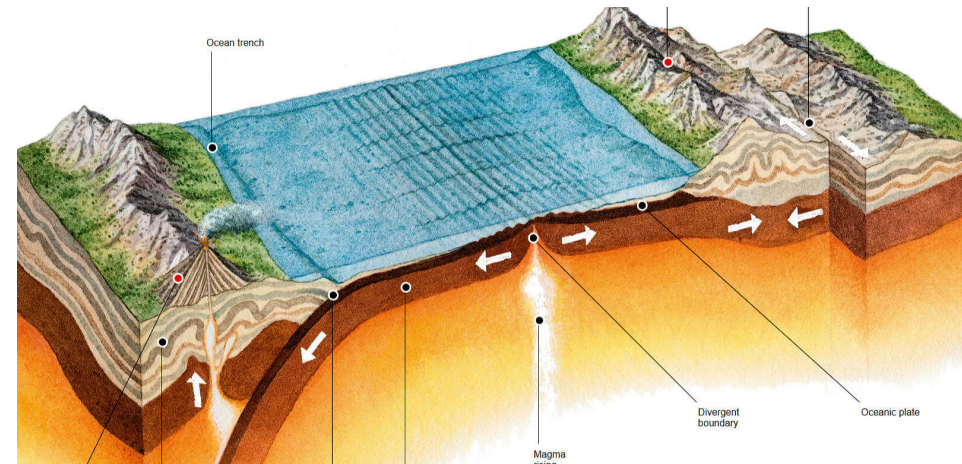
Data source:

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.



## Principe

Existence de plaques tectoniques rigides (lithosphère) flottant et se déplaçant sur l'asthénosphère (manteau ductile en mouvement)



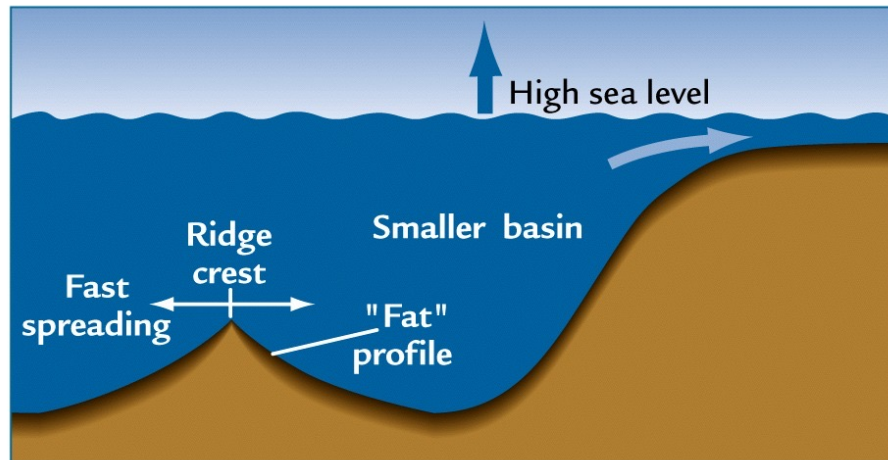
## Conséquences :

- Changements paléogéographiques
- Volcanisme
- Variation du niveau marin

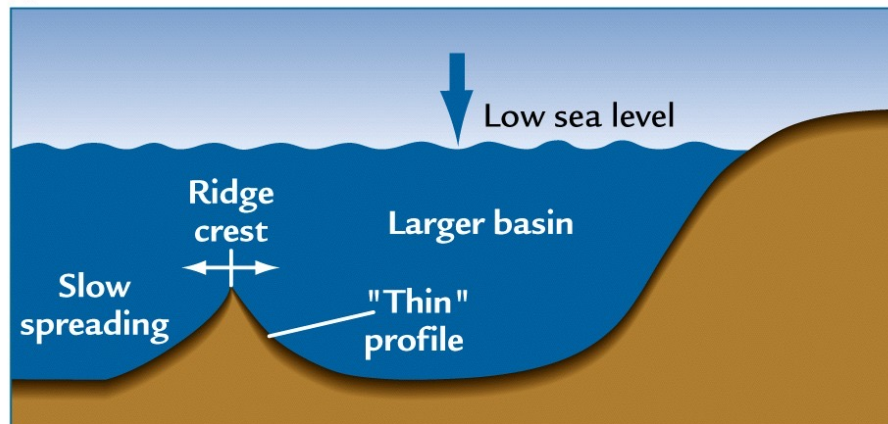
- Etude des climats du passé
  - la notion d'échelle de temps
    - échelle « tectonique »

Conséquence : variation du niveau marin

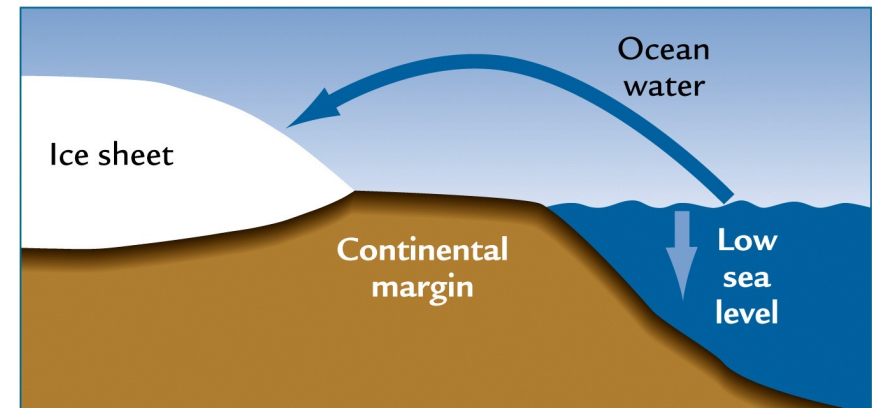
- *Changements des volumes des bassins et des masses d'eau océaniques*



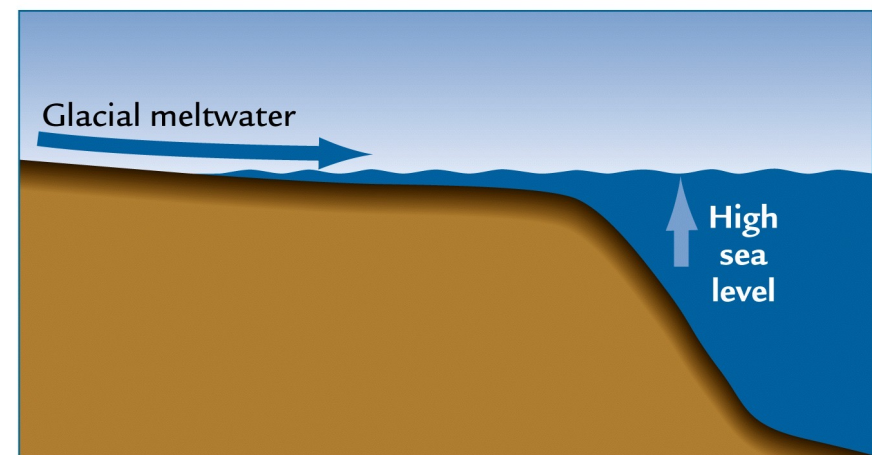
A



B

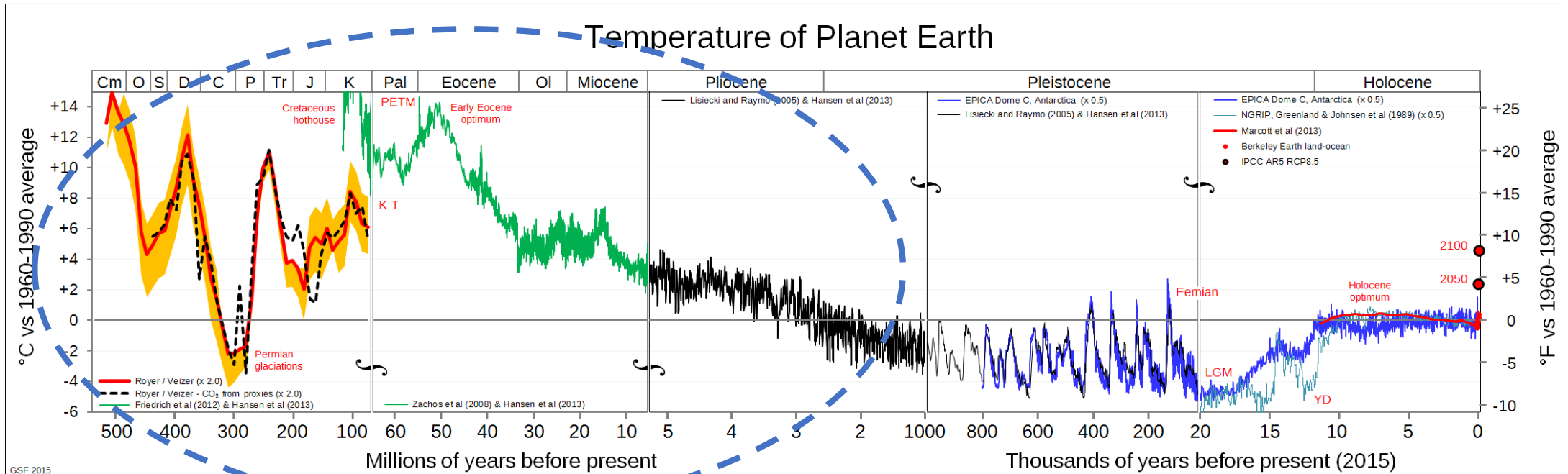


A

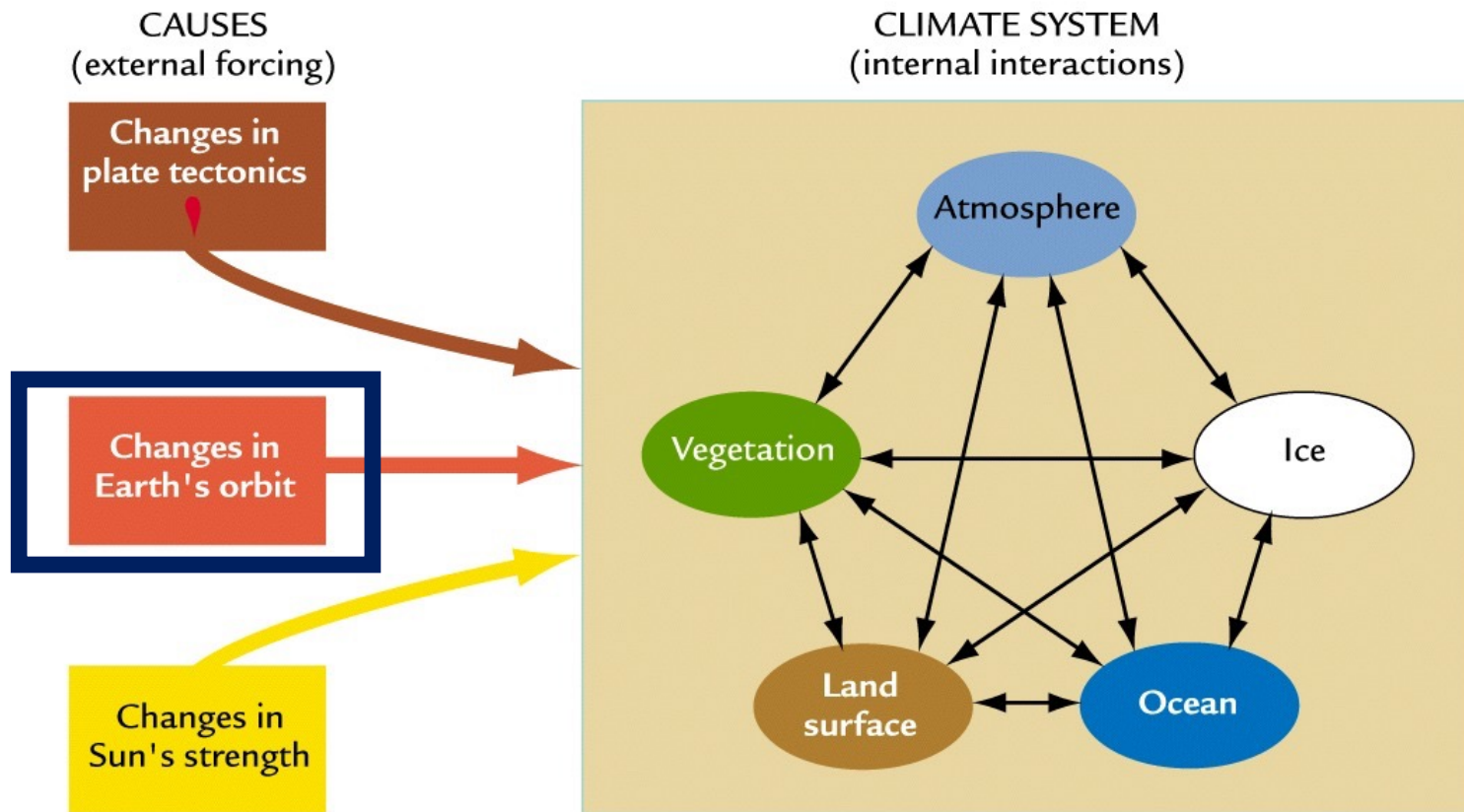


B

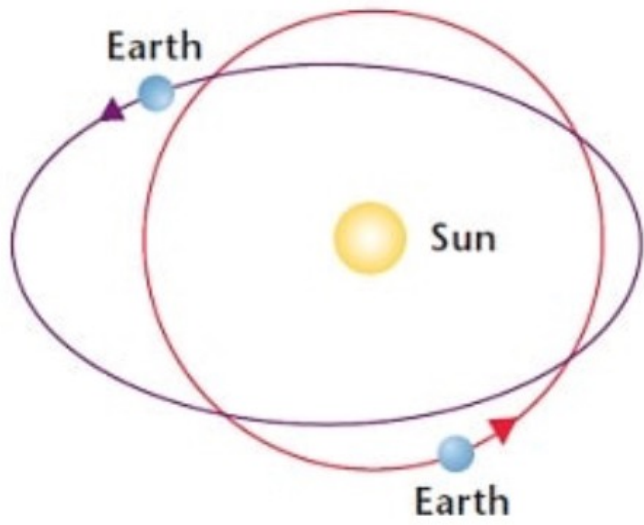
- Etude des climats du passé
  - la notion d'échelle de temps
  - échelle « tectonique »



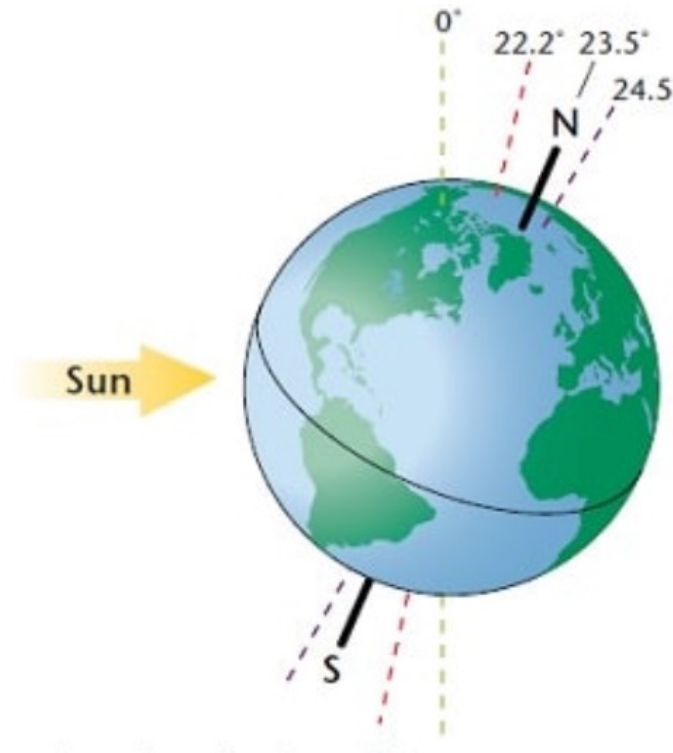
➤ Etude des climats du passé  
- la notion d'échelle de temps



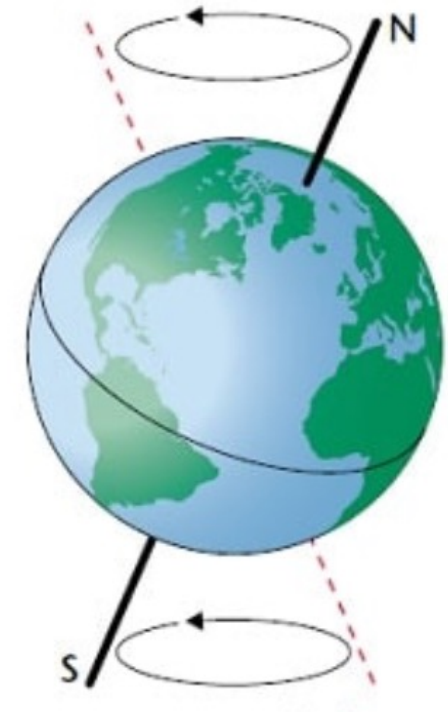
- Etude des climats du passé
  - la notion d'échelle de temps
  - échelle « orbitale »



**Excentricité**  
(400-100 000 ans)

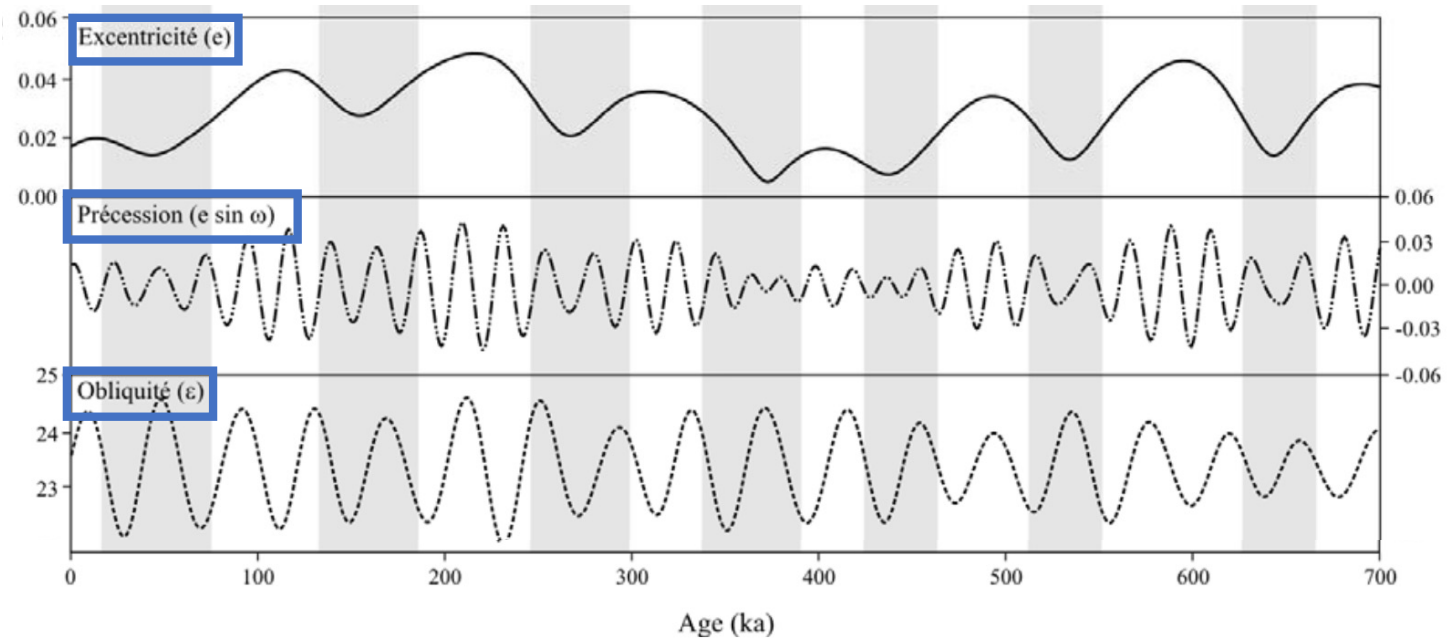
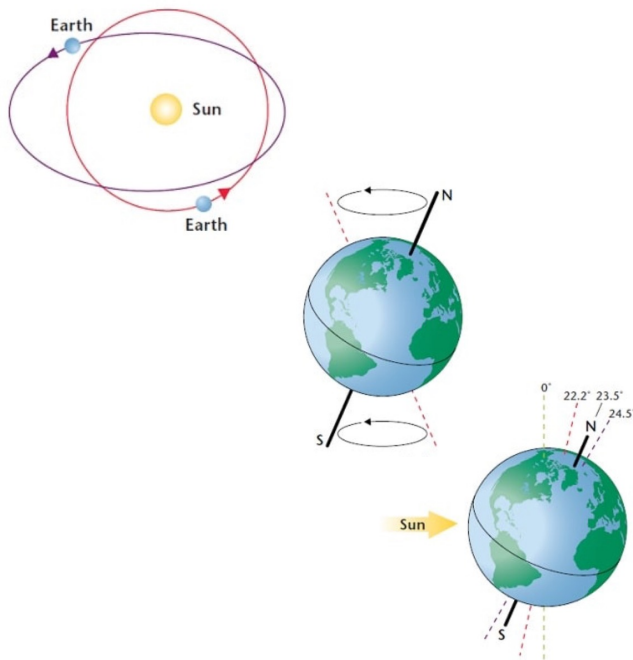


**Obliquité**  
(41 000 ans)

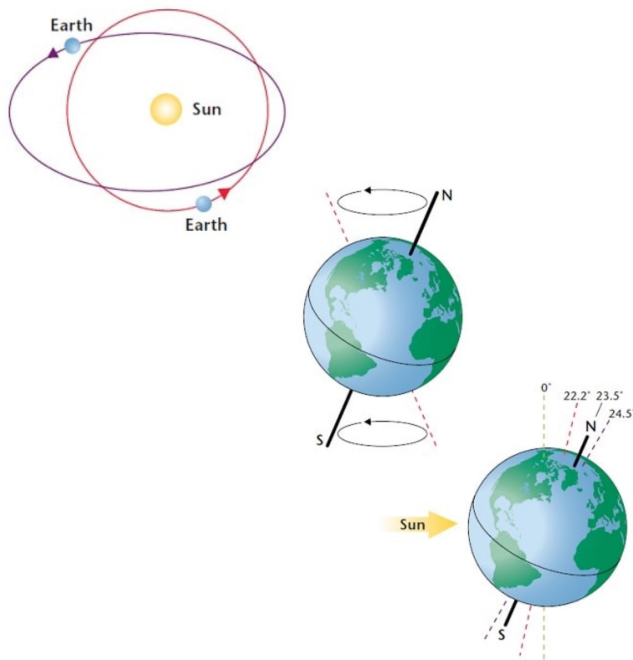


**Précession**  
(19-23 000 ans)

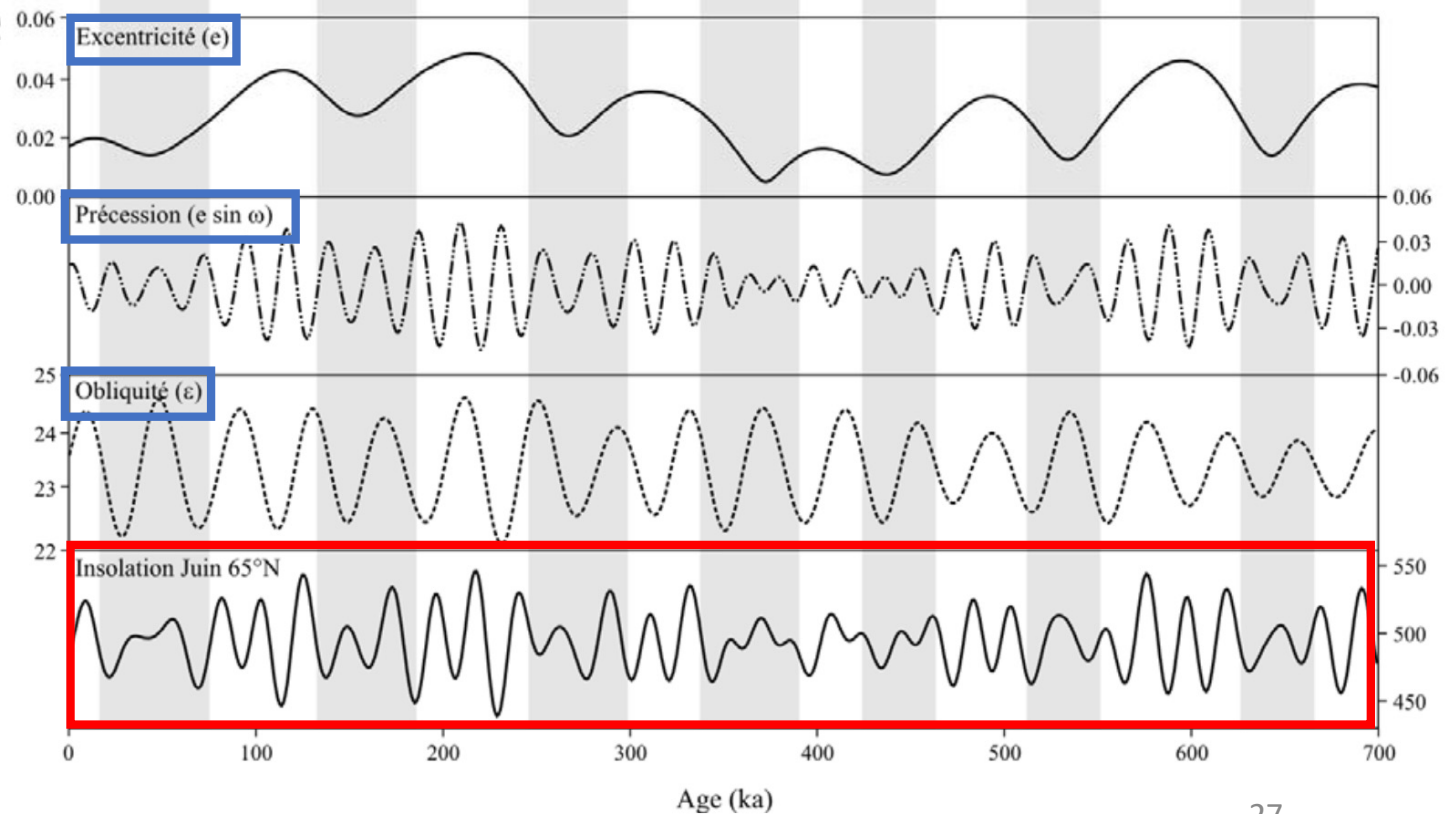
- Etude des climats du passé
  - la notion d'échelle de temps
  - échelle « orbitale »



- Etude des climats du passé
  - la notion d'échelle de temps
  - échelle « orbitale »



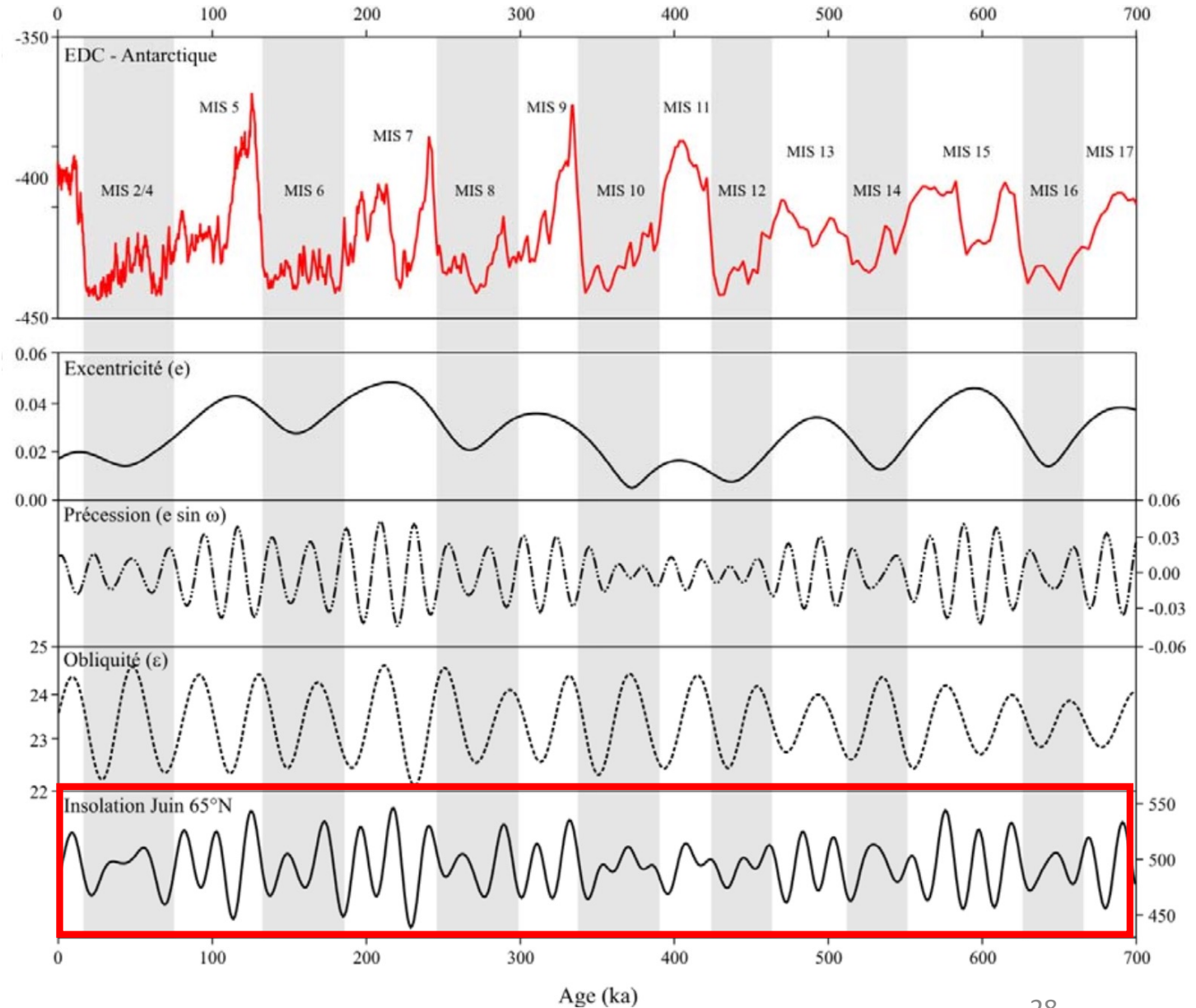
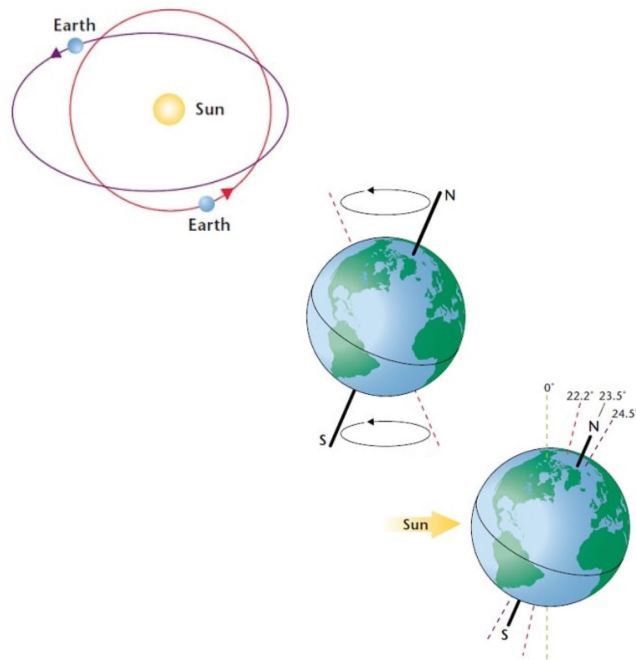
- Variations de l'insolation



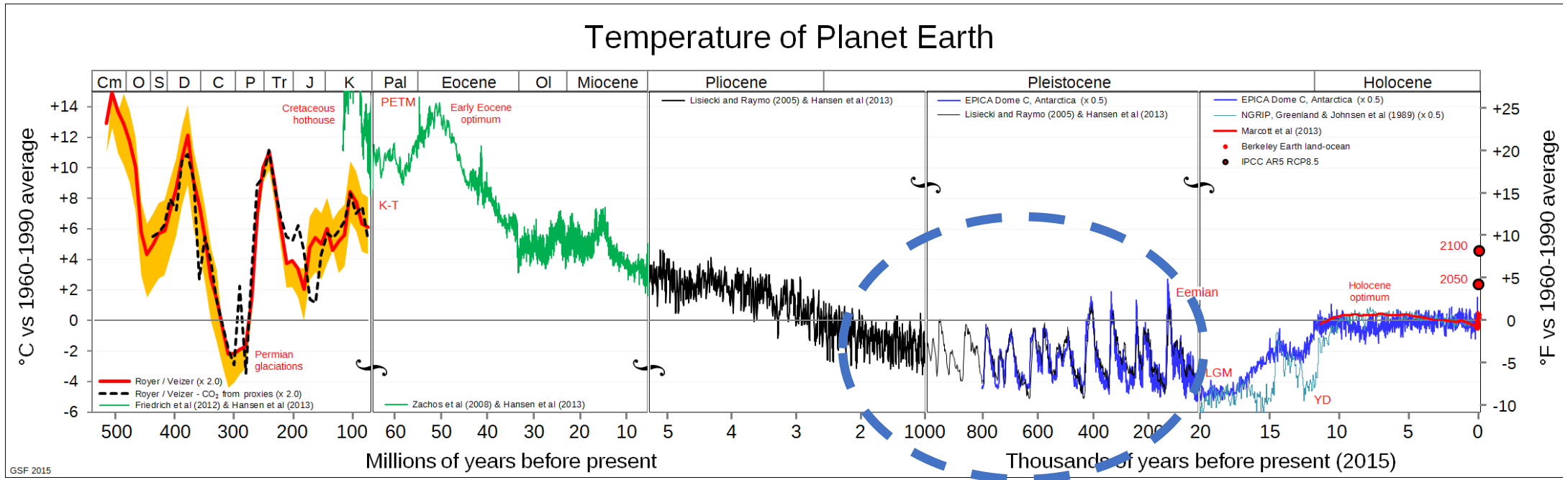
- Etude des climats du passé
  - la notion d'échelle de temps
  - échelle « orbitale »

**Moteur des grandes variabilités climatiques glaciaires/interglaciaires**

### Théorie des paléoclimats (Milankovitch)

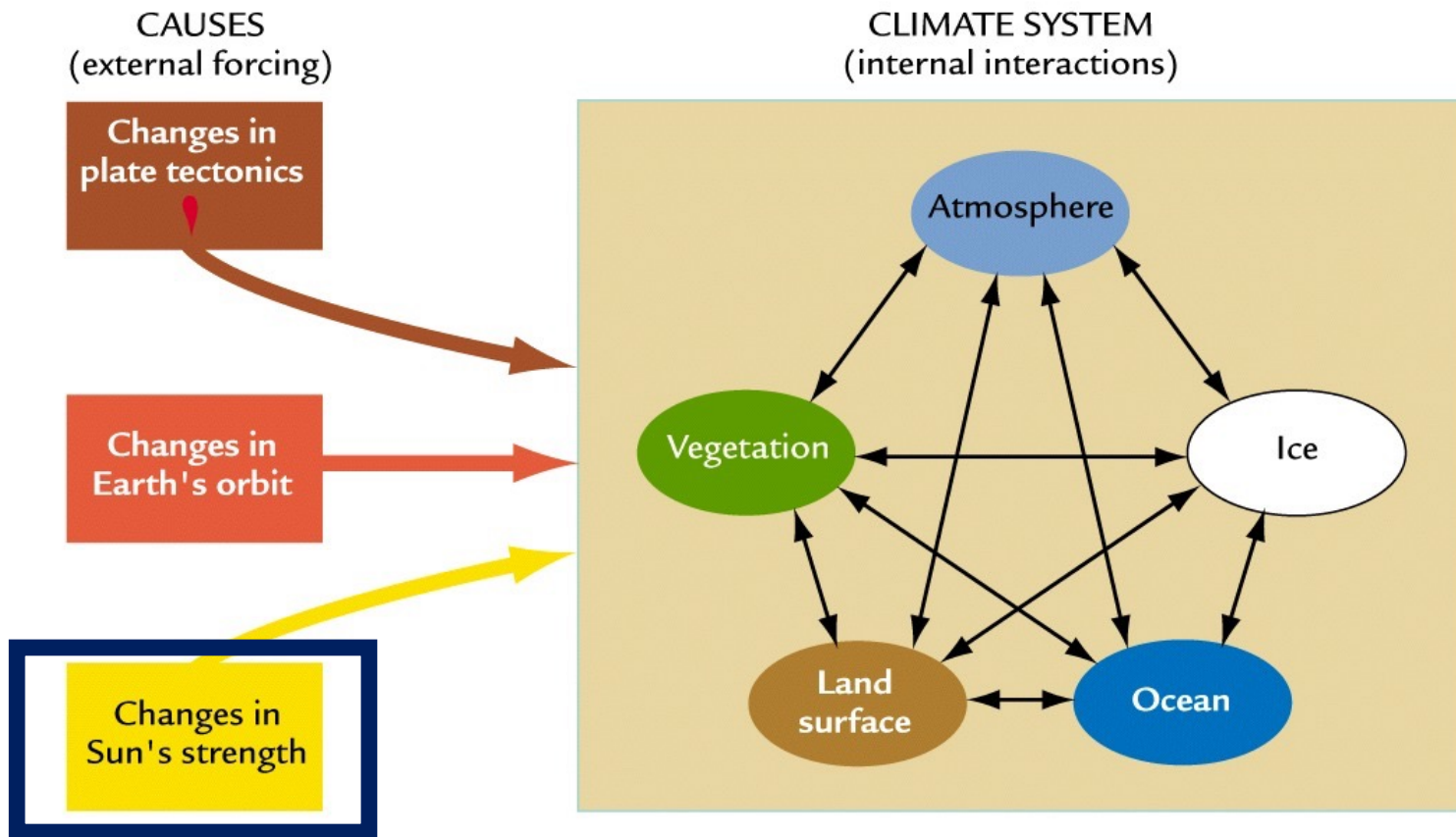


- Etude des climats du passé
  - la notion d'échelle de temps
  - échelle « orbitale »



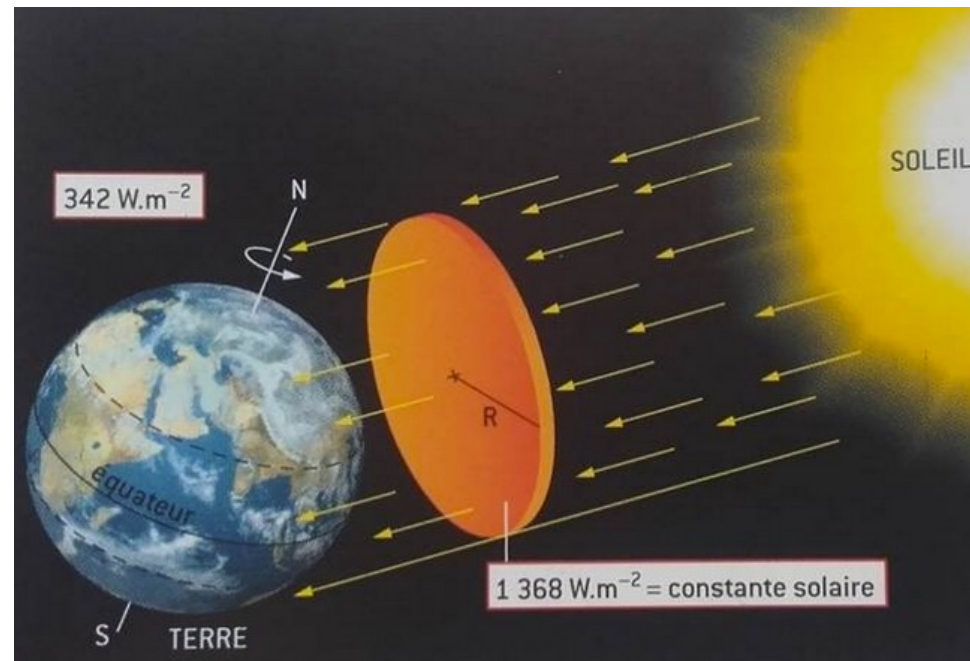
## CM5 – Cycles glaciaires-interglaciaires (Christophe Colin)

➤ Etude des climats du passé  
- la notion d'échelle de temps



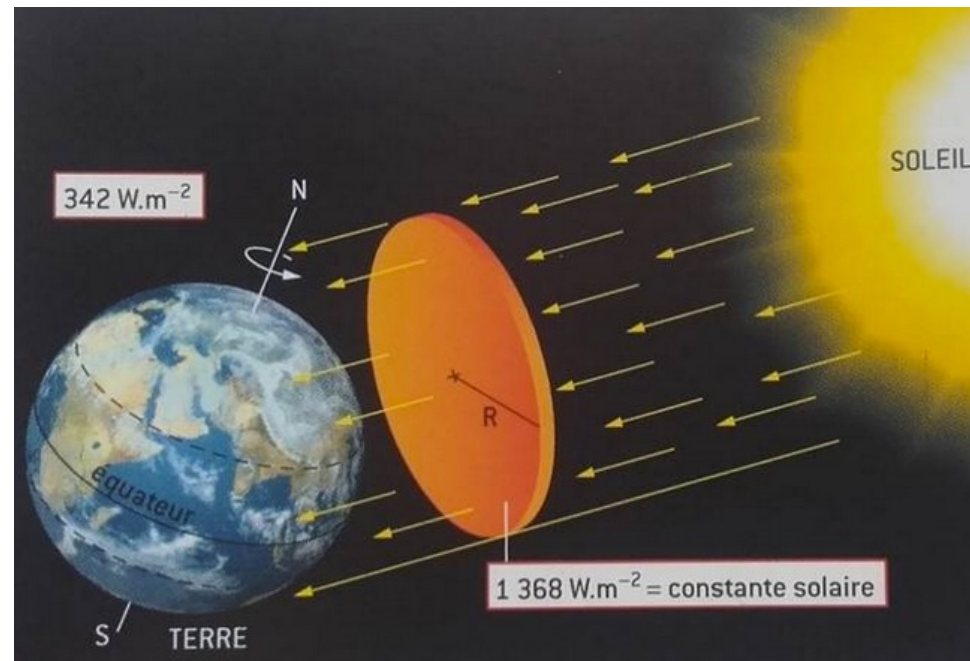
- Etude des climats du passé
  - la notion d'échelle de temps
  - variabilité de l'activité solaire

**Soleil : principale source d'énergie du climat terrestre**  
**Constante solaire (flux solaire) :  $1368 \text{ W/m}^2$**



- Etude des climats du passé
  - la notion d'échelle de temps
  - variabilité de l'activité solaire

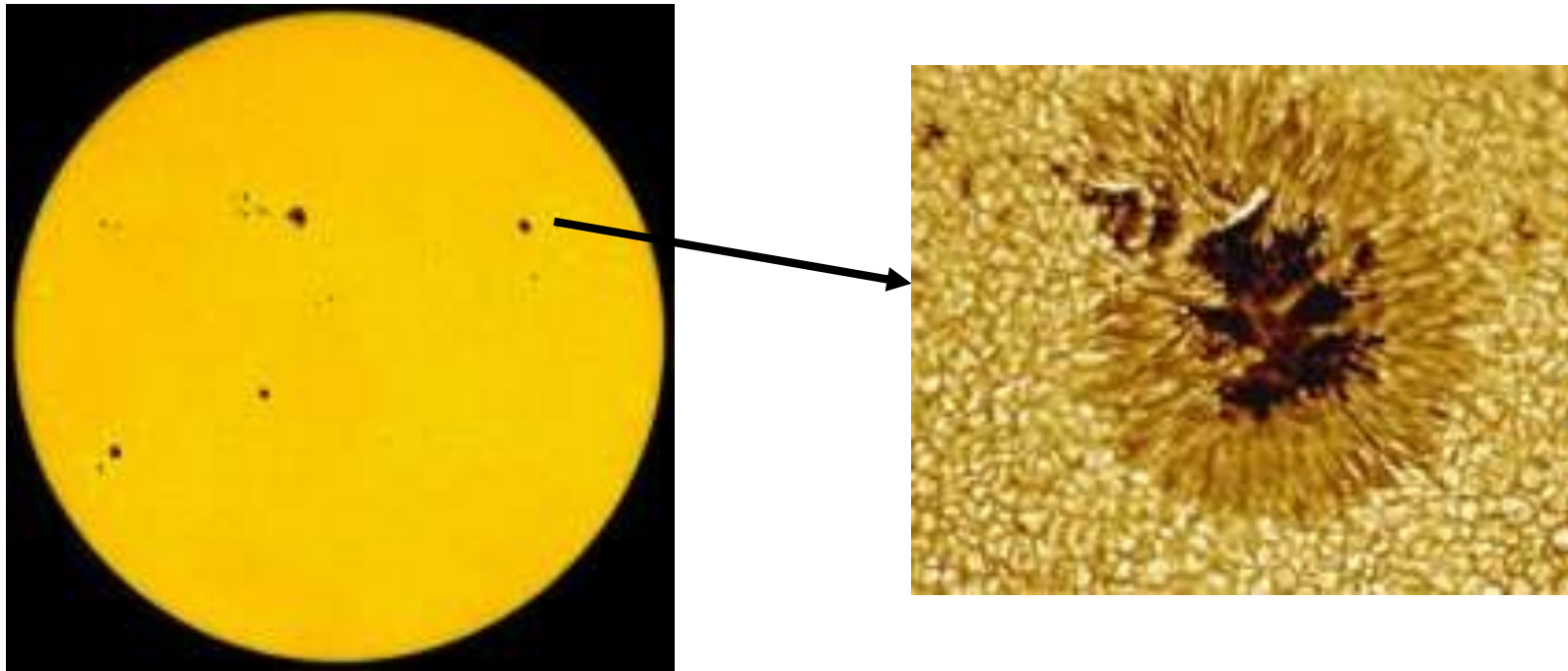
**Soleil : principale source d'énergie du climat terrestre**  
**Constante solaire (flux solaire) :  $1368 \text{ W/m}^2$**



**Toutefois, des mesures réalisées grâce aux satellites ont montré que cette constante présentait en réalité des fluctuations au cours du temps!**

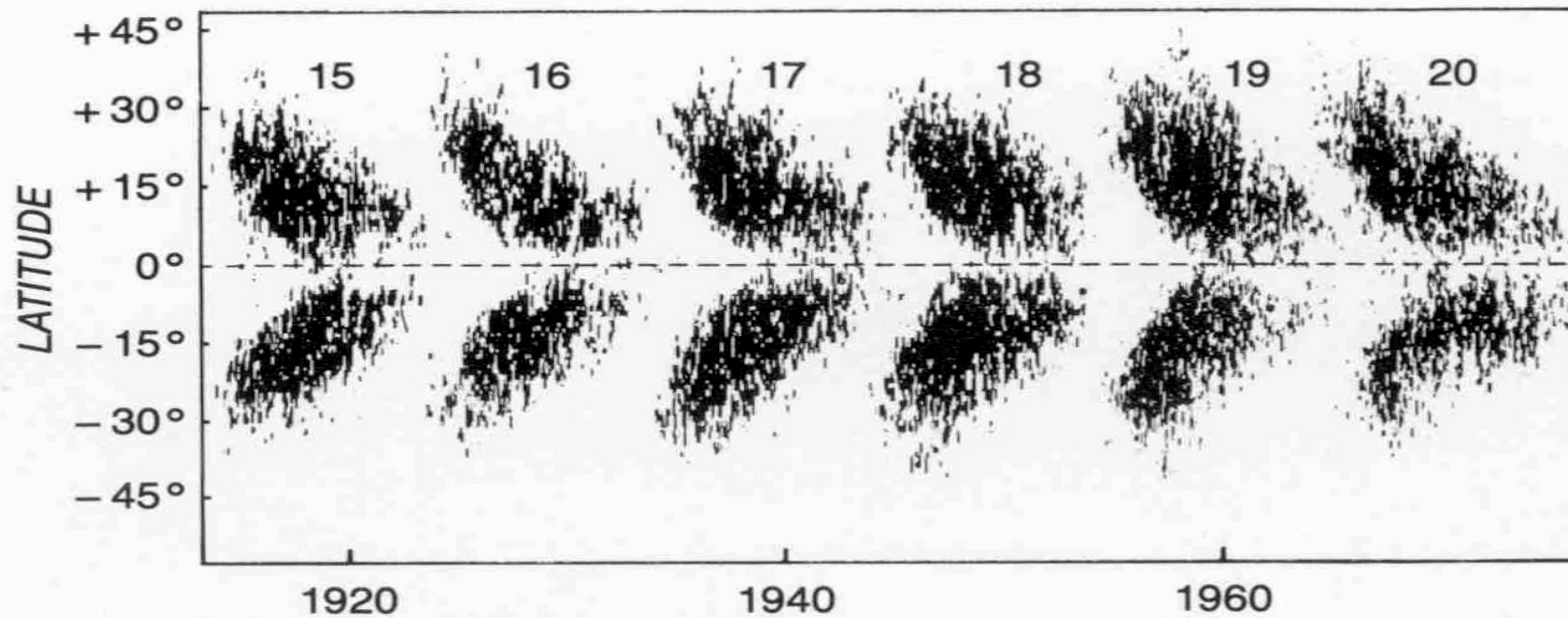
- Etude des climats du passé
  - la notion d'échelle de temps
  - variabilité de l'activité solaire

Les **fluctuations de la constante solaire** sont en phase avec l'apparition et la disparition de **taches solaires** sur la photosphère (couche externe du soleil).



- Etude des climats du passé
  - la notion d'échelle de temps
  - variabilité de l'activité solaire

L'apparition et la disparition des taches solaires suit un cycle de 11 ans

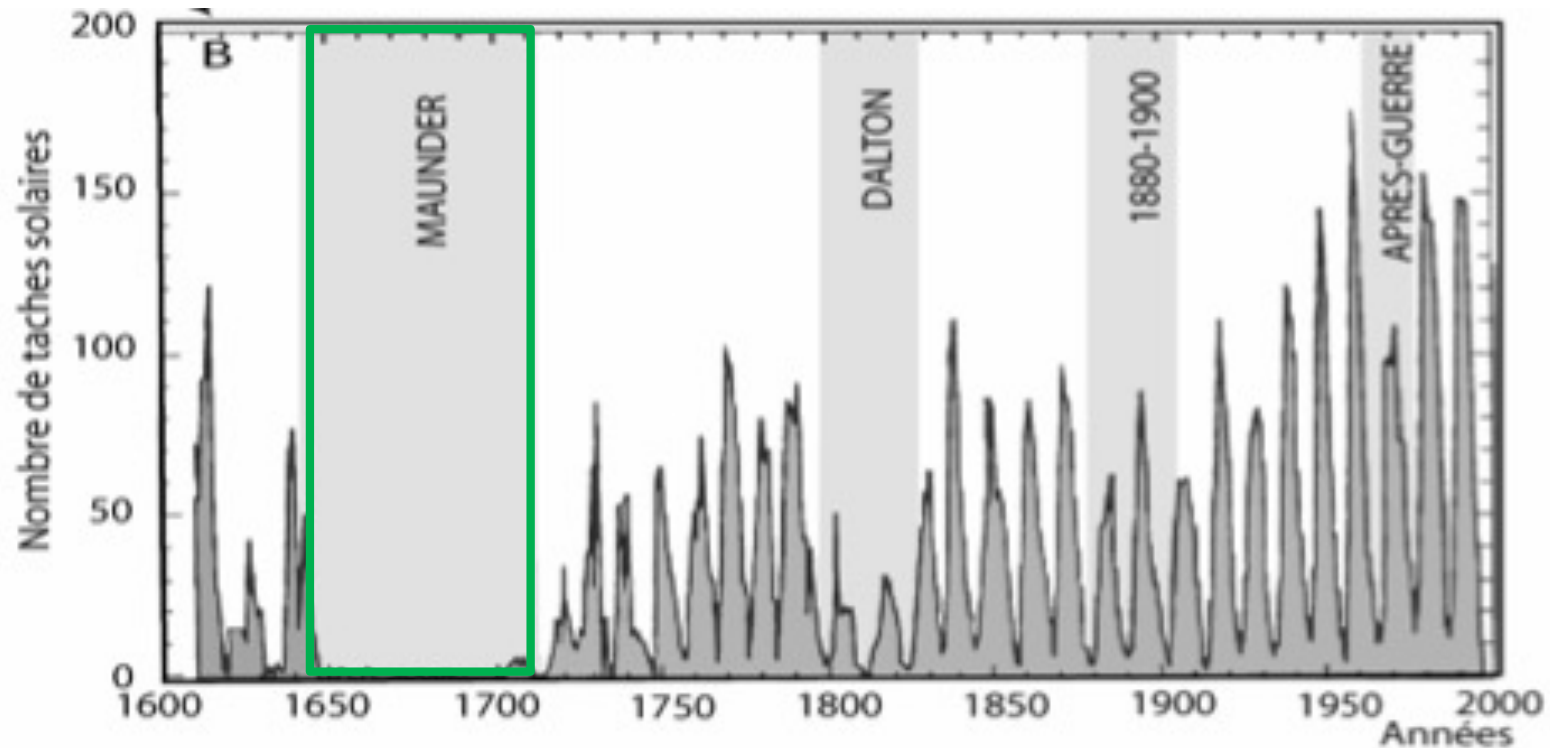


Plus les taches sont nombreuses,  
plus on intensifie l'énergie magnétique émise par le soleil  
et donc on augmente la constante solaire.

➤ La présence de taches indique une forte activité solaire

- Etude des climats du passé
  - la notion d'échelle de temps
  - variabilité de l'activité solaire

Les taches sont observées et comptées depuis le 17ème siècle



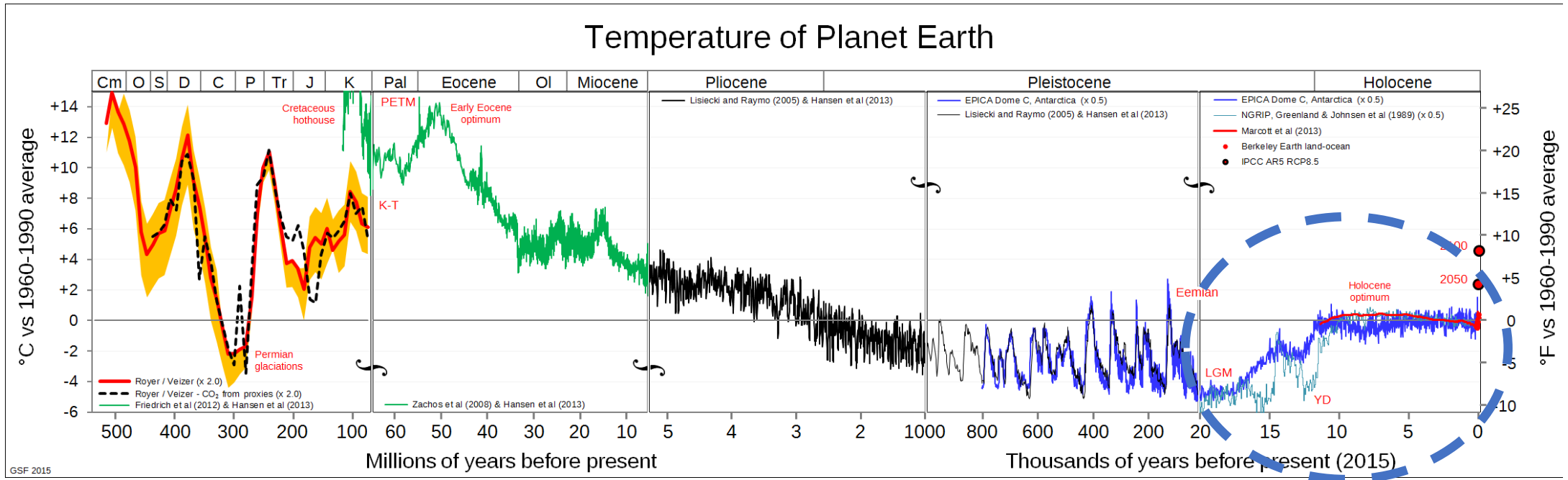
1645-1715 => Minimum de Maunder => Petit Age Glaciaire

- Etude des climats du passé
  - la notion d'échelle de temps
  - variabilité de l'activité solaire

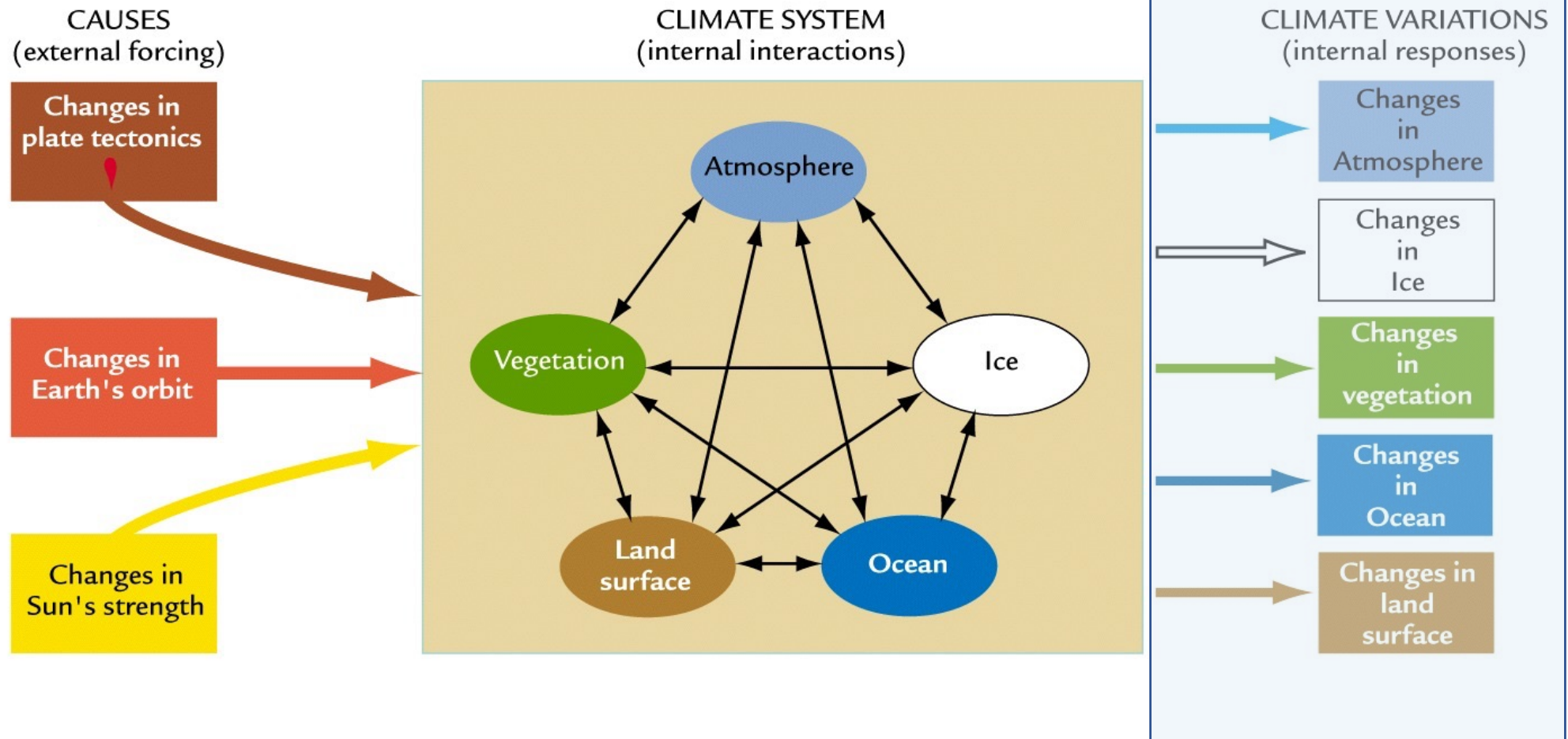
## La Belgique au 17<sup>ème</sup> siècle : Peintures Flamandes



- Etude des climats du passé
  - la notion d'échelle de temps
  - variabilité de l'activité solaire

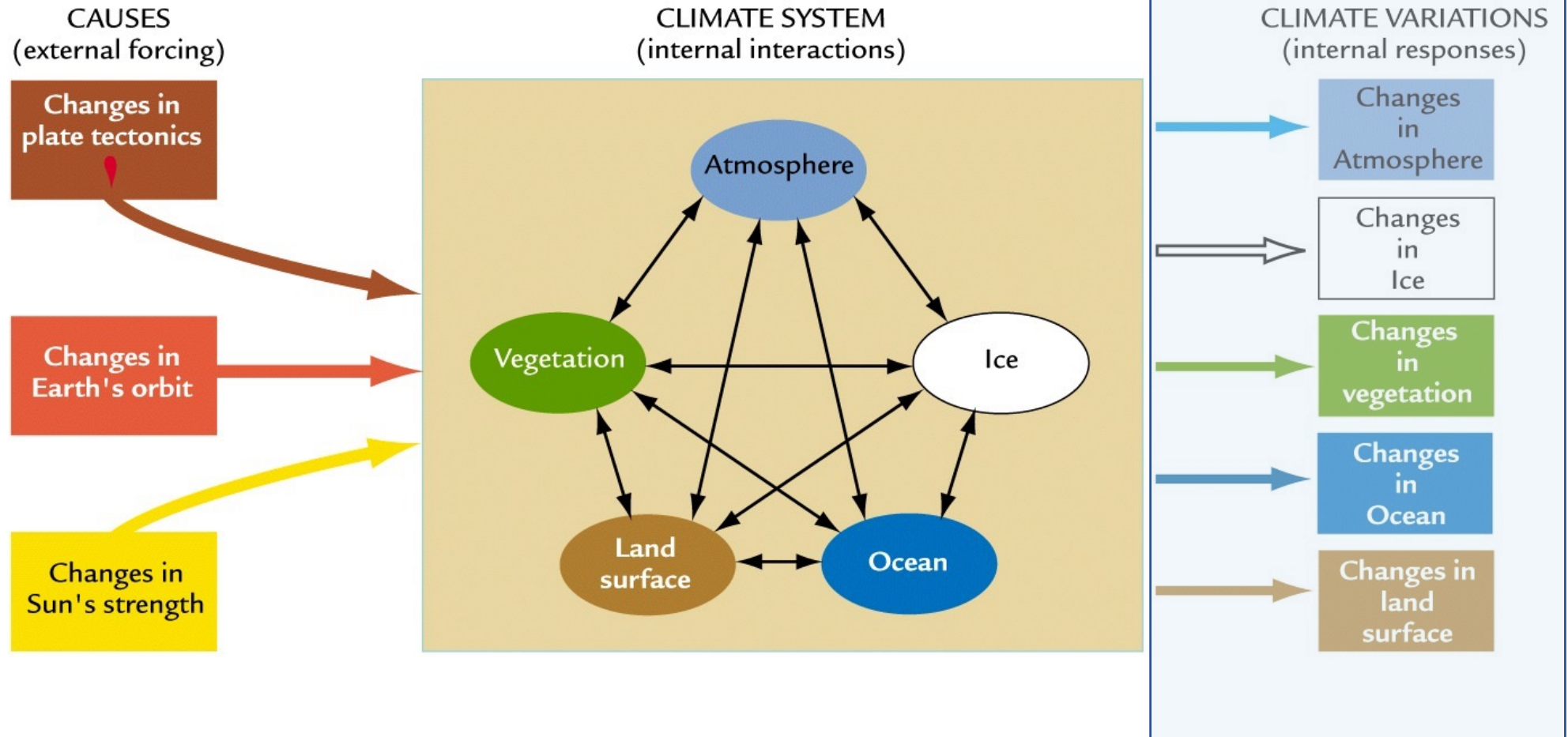


➤ Etude des climats du passé



➤ Variabilités climatiques naturelles sur différentes échelles de temps

➤ Etude des climats du passé



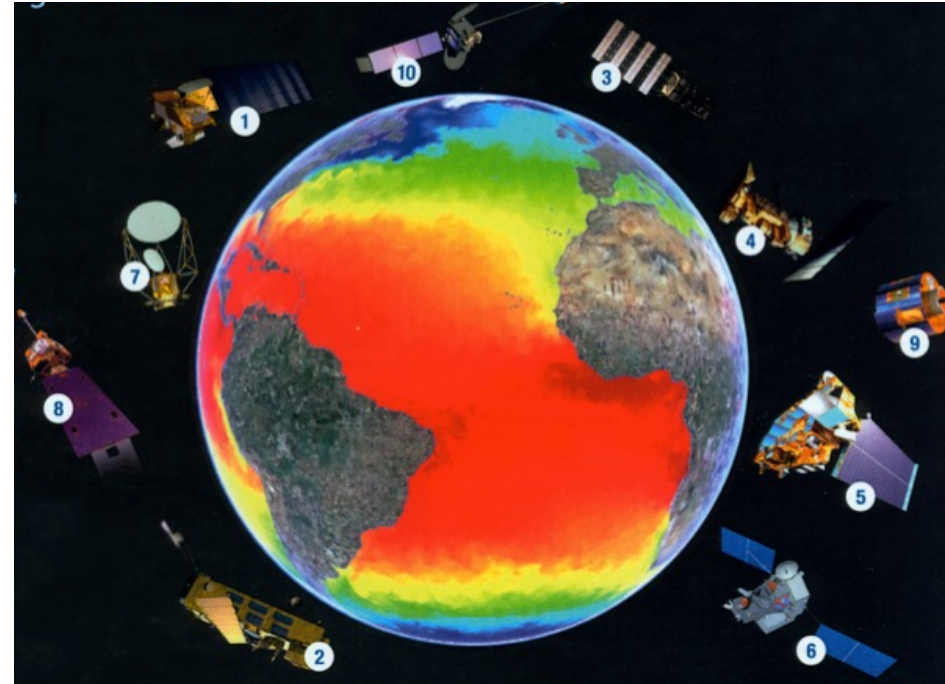
**Comment reconstruire ces variabilités climatiques sur ces différentes échelles de temps ?**

➤ **Les données : mesures directes versus mesures indirectes**

### ➤ Les données : mesures directes versus mesures indirectes

A l'actuel, les observations du système climatique s'appuient sur :

- des **mesures directes** (données physiques, chimiques, météorologiques)
- des **mesures indirectes** (télédétection).



Ex: mesures de la température de la surface océanique

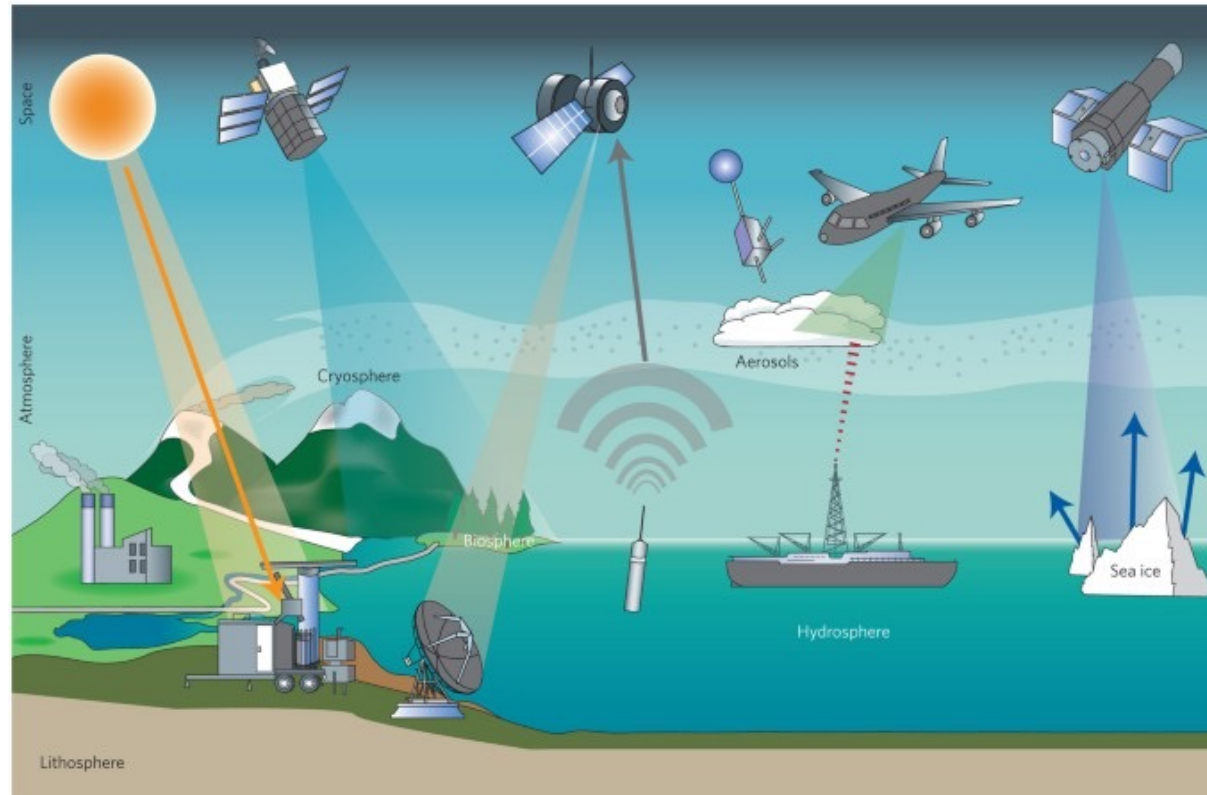
### ➤ Les données : mesures directes versus mesures indirectes

L'observation de la Terre par satellite a débuté il y a **environ 40 ans**.

Les satellites représentent aujourd'hui des outils puissants et irremplaçables pour :

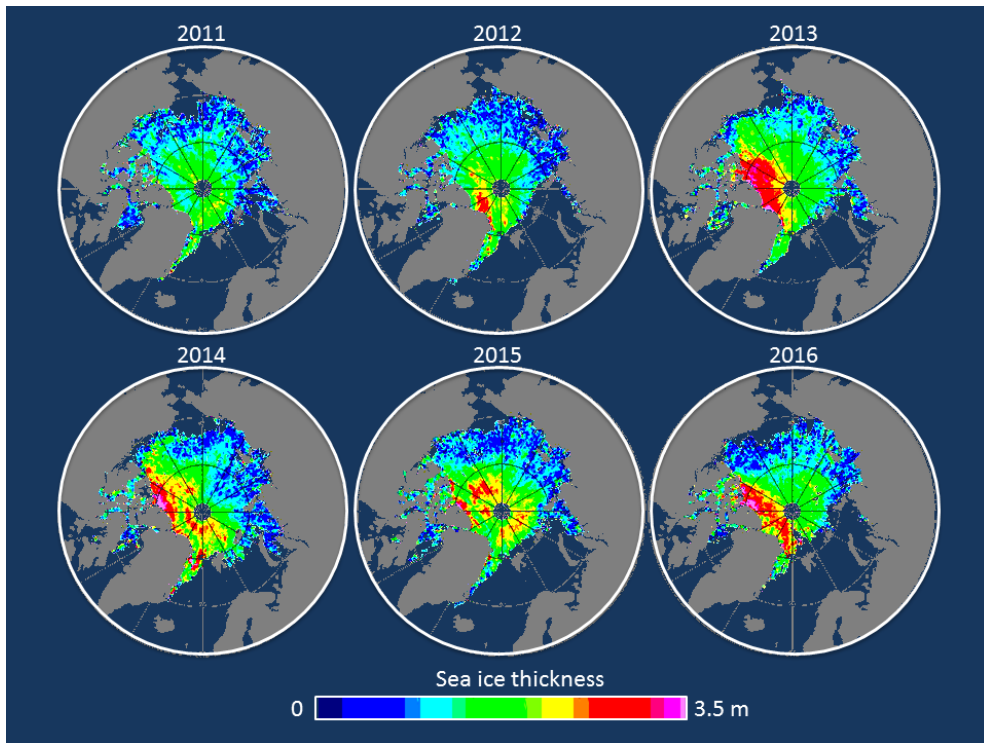
- la surveillance de la composition atmosphérique,
- l'étude des océans et des glaces,
- la cartographie des terres émergées,
- le suivi des cultures, des forêts,

Et plus généralement l'étude des enveloppes fluides de la Terre.

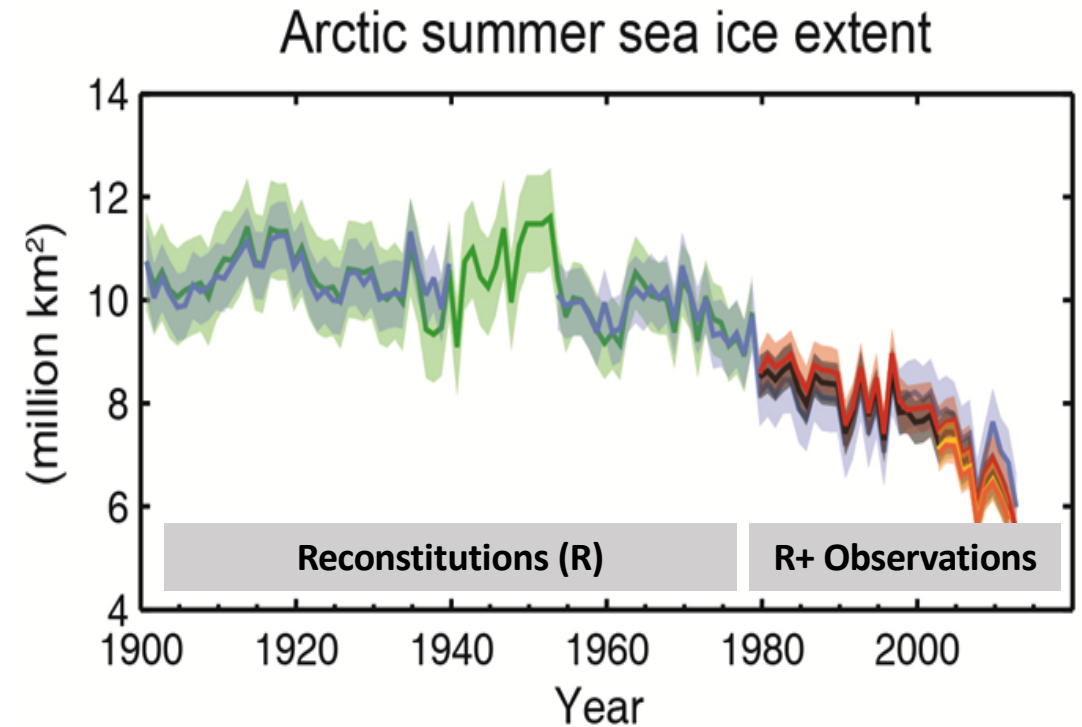


➤ Les données : mesures directes versus mesures indirectes

ex : Suivi de l'extension de la glace de mer en Arctique



Maps of November Arctic sea ice thickness recorded by CryoSat-2.

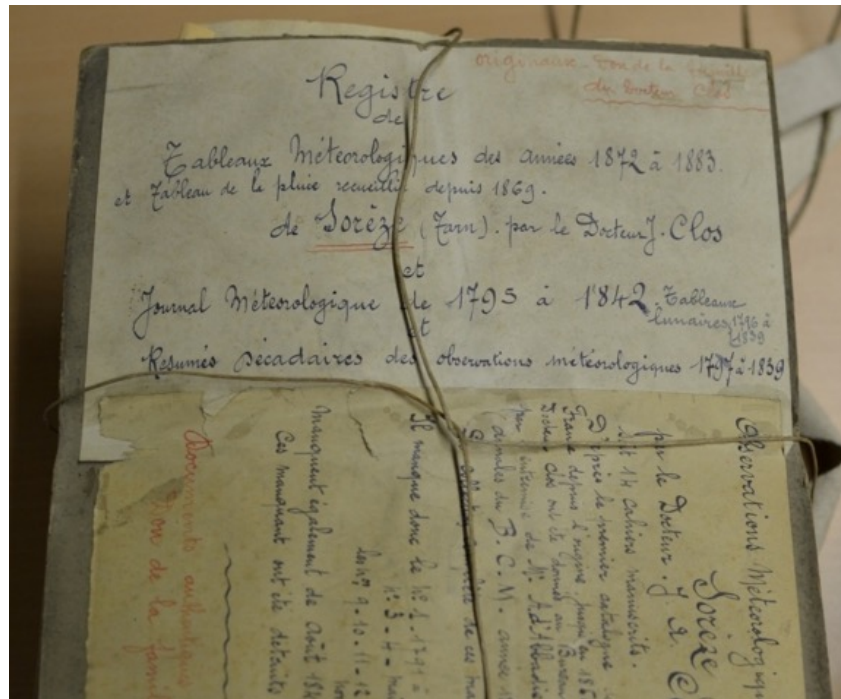


IPCC report, 2013

- Les données : mesures directes versus mesures indirectes
  - Les documents historiques



Ex: premier thermomètre  
*Premier instrument inventé pour mesurer le climat directement.*



Ex: Registre de mesures météorologiques de 1795 à 1883

- Les données : mesures directes versus mesures indirectes
  - Les documents historiques



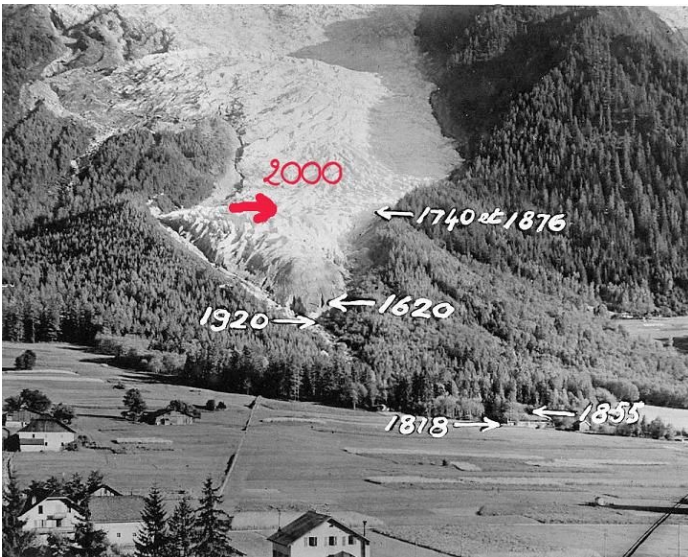
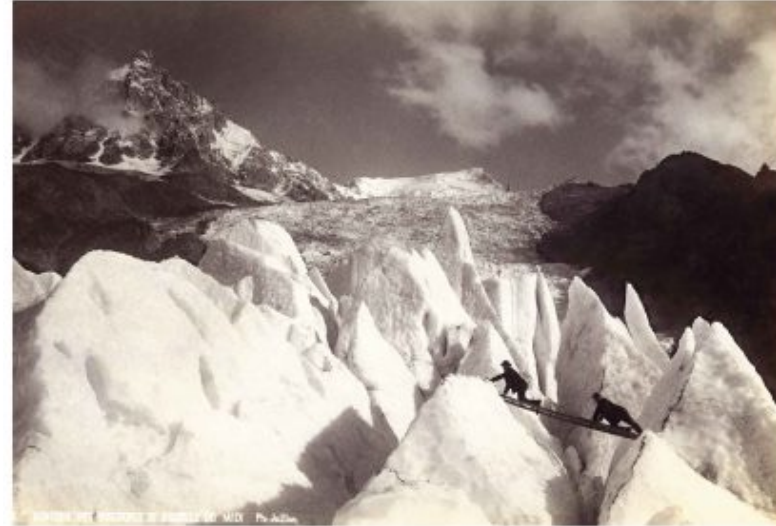
Ex : Peintures médiévales

Pieter Bruegel (1525-1569)



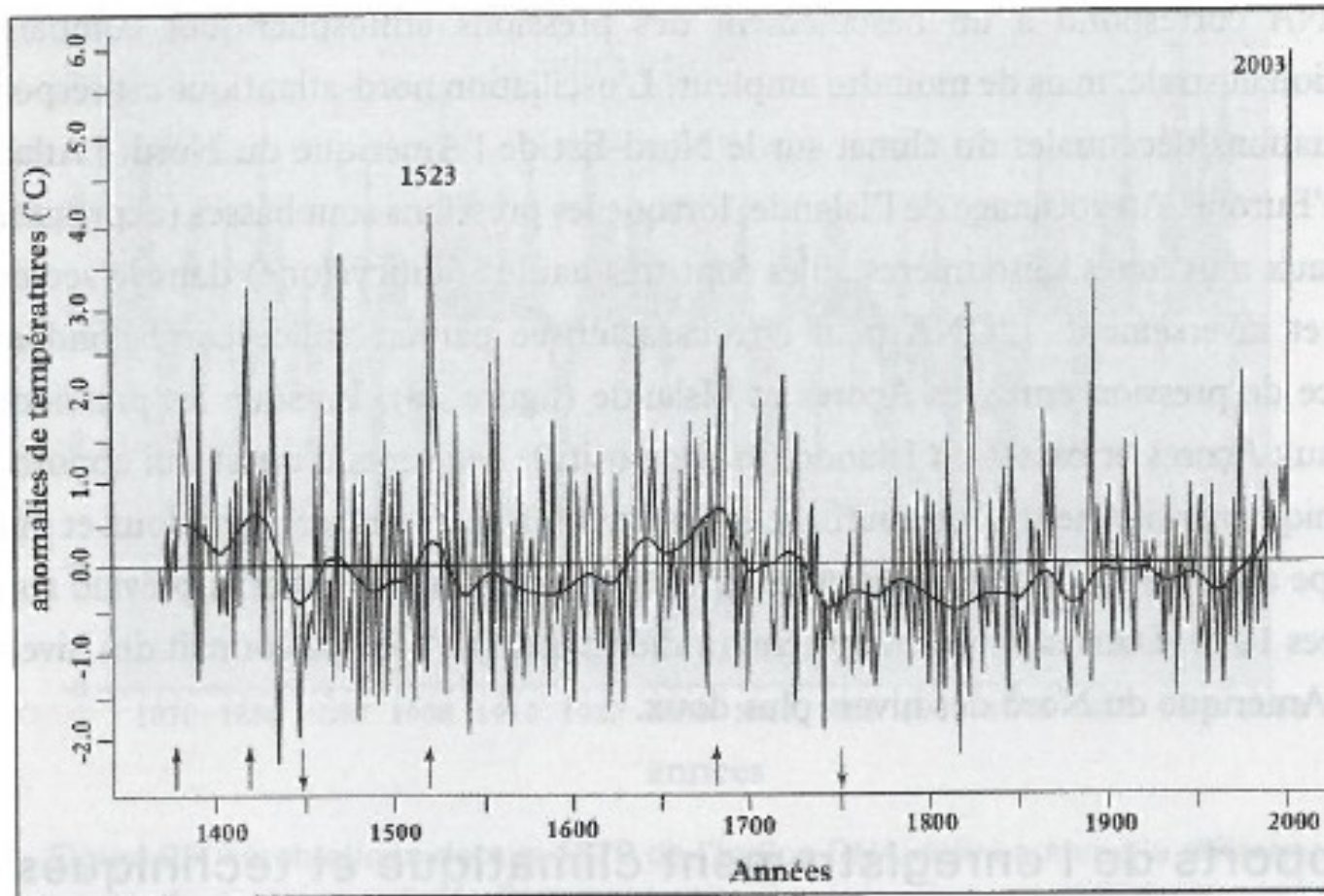
- Les données : mesures directes versus mesures indirectes
  - Les documents historiques

Comparaison peintures/photographies



- Les données : mesures directes versus mesures indirectes
  - Les documents historiques

Informations issues de l'agriculture



Anomalies de température estivale en Bourgogne déduites de la date des vendanges de 1370 à 2003



## ➤ Les données : mesures directes versus mesures indirectes

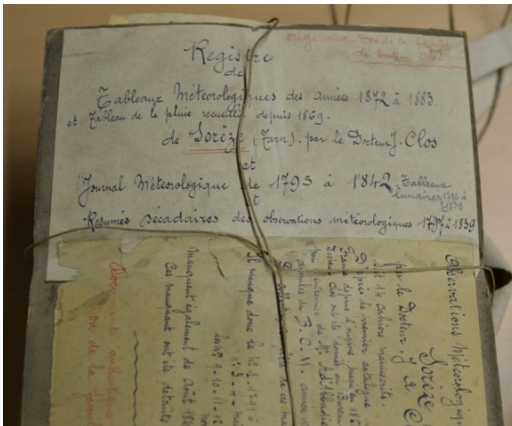
### - Les documents historiques

-> Observations réalisées par l'Homme

-> Informations souvent **indirectes** des conditions climatiques

-> Informations extrêmement variées, souvent discontinues.

-> Permettent de remonter aux derniers siècles, parfois un peu plus loin.  
(ex : relevés des crues du Nile par les Égyptiens, derniers millénaires).



## ➤ Les données : mesures directes versus mesures indirectes

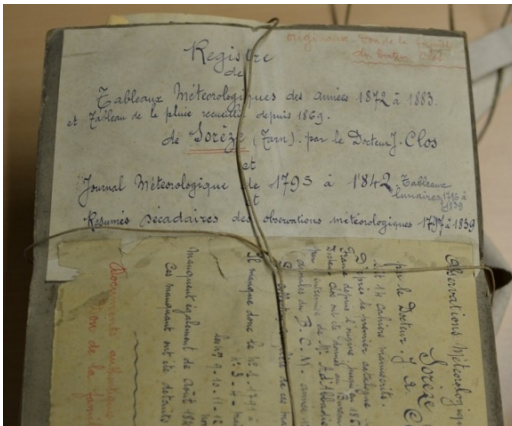
### - Les documents historiques

-> Observations réalisées par l'Homme

-> Informations souvent **indirectes** des conditions climatiques

-> Informations extrêmement variées, souvent discontinues.

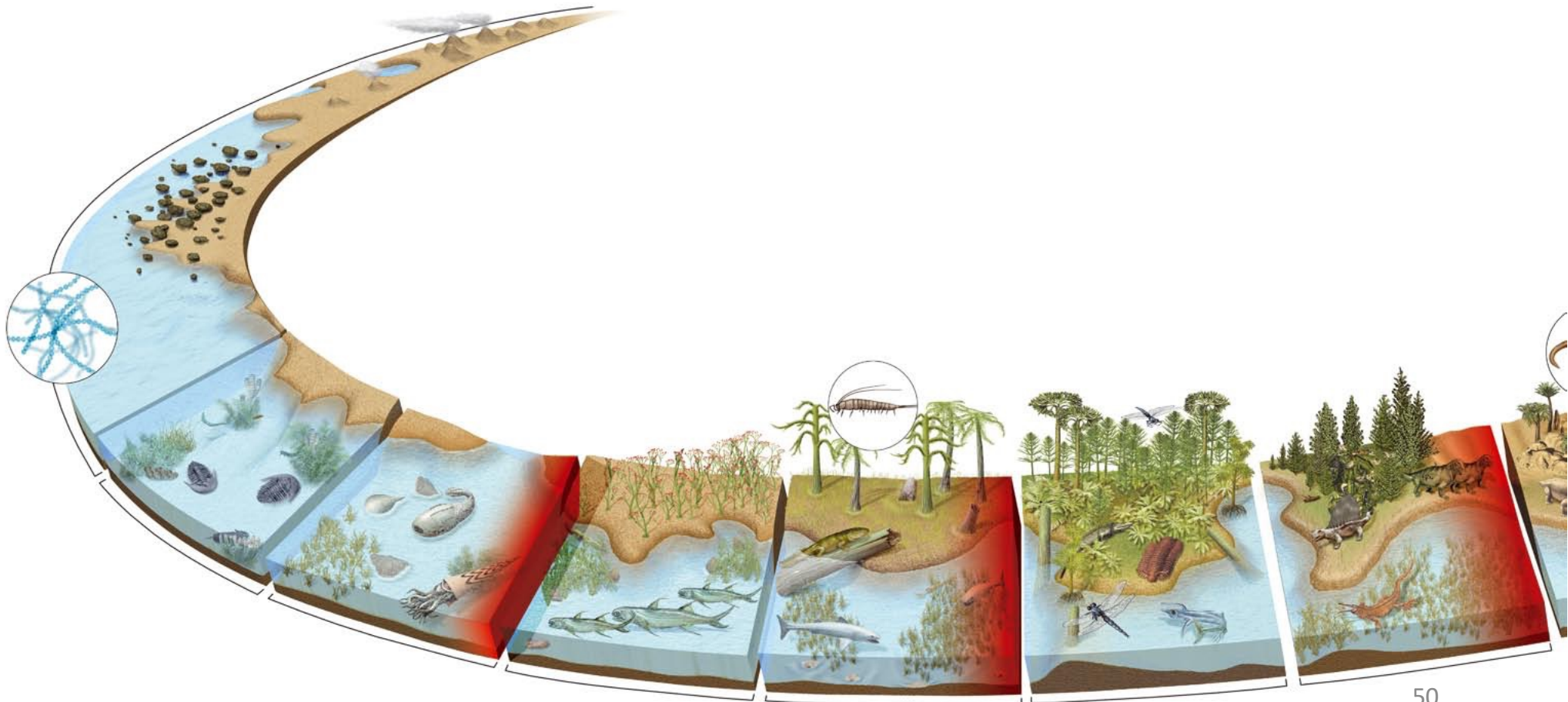
-> Permettent de remonter aux derniers siècles, parfois un peu plus loin.  
(*ex : relevés des crues du Nile par les Égyptiens, derniers millénaires*).



**La reconstitution des climats de périodes plus anciennes a donc nécessité le développement de techniques particulières, à partir de supports biologiques et physico-chimiques.**

**Quels supports/outils peuvent renseigner  
les variabilités climatiques sur le plus long terme ?**

**C'est-à-dire au-delà des derniers siècles (et de façon continue)...**



➤ **Notions d'archives et de traceurs climatiques**

**Archive climatique** : support qui enregistre les variabilités climatiques au cours du temps

**Traceur** : outil à partir duquel les variabilités climatiques sont reconstruites au sein d'une archive

## ➤ Notions d'archives et de traceurs climatiques

### ✓ Grande variété d'archives climatiques naturelles couvrant diverses périodes temporelles

- Arbres
- Coraux, bivalves
- Dépôts sédimentaires continentaux et marins
- Glace...



## ➤ Notions d'archives et de traceurs climatiques

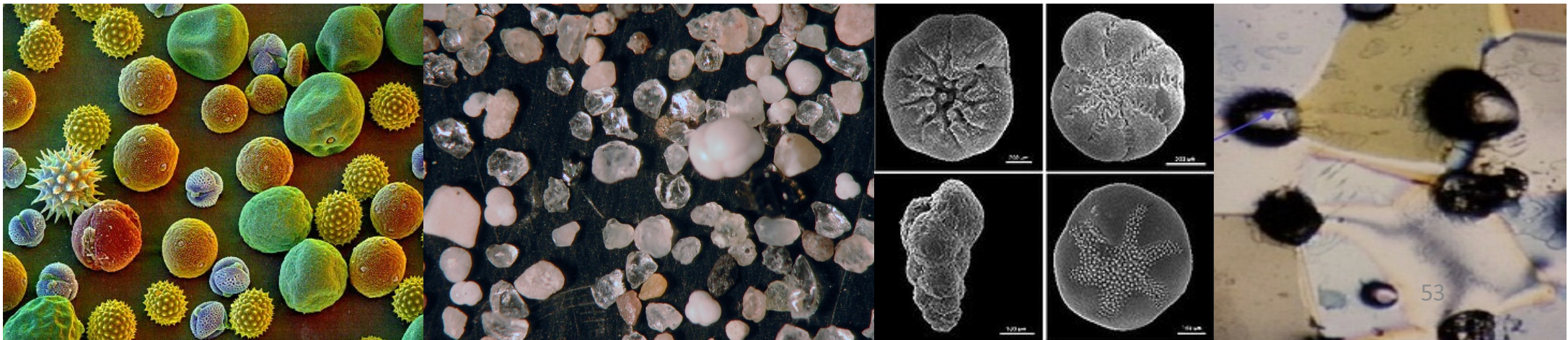
### ✓ Grande variété d'archives climatiques naturelles couvrant diverses périodes temporelles

- Arbres
- Coraux, bivalves
- Dépôts sédimentaires continentaux et marins
- Glace...



### ✓ Grande variabilité de traceurs à étudier dans chacune de ces archives

- Fraction organique, inorganique
- Paramètres physiques, composition minéralogique, chimique...



➤ **Tour d'horizon des archives climatiques**

✓ **Grande variété d'archives climatiques naturelles couvrant diverses périodes temporelles**

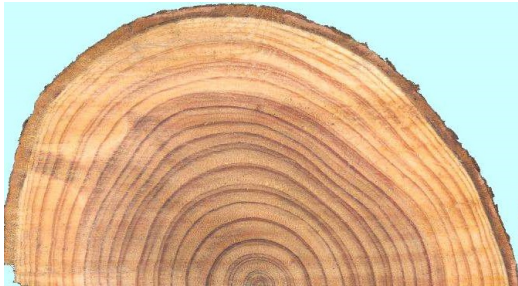
- **Arbres**
- **Coraux, bivalves**
- **Dépôts sédimentaires continentaux et marins**
- **Glace**

## ➤ Tour d'horizon des archives climatiques

### - Les arbres

#### Dendroclimatologie

- ✓ On étudie la variation de la largeur **des cernes (rythme de croissance)** qui peut être influencée par :
  - l'espèce de l'arbre
  - l'âge de l'arbre
  - l'environnement (topographie, climat...)
  - les effets anthropiques



Eté = cerne plus longue

Hiver = cerne plus courte

**Les arbres sont des archives climatiques couvrant l'intervalle des dernières dizaines, centaines ou (cas exceptionnel) de milliers d'années.**

➤ Tour d'horizon des archives climatiques

- Les arbres

Dendroclimatologie

On peut ainsi proposer des reconstructions paléoclimatiques à partir des changements de rythme de croissance des cernes.

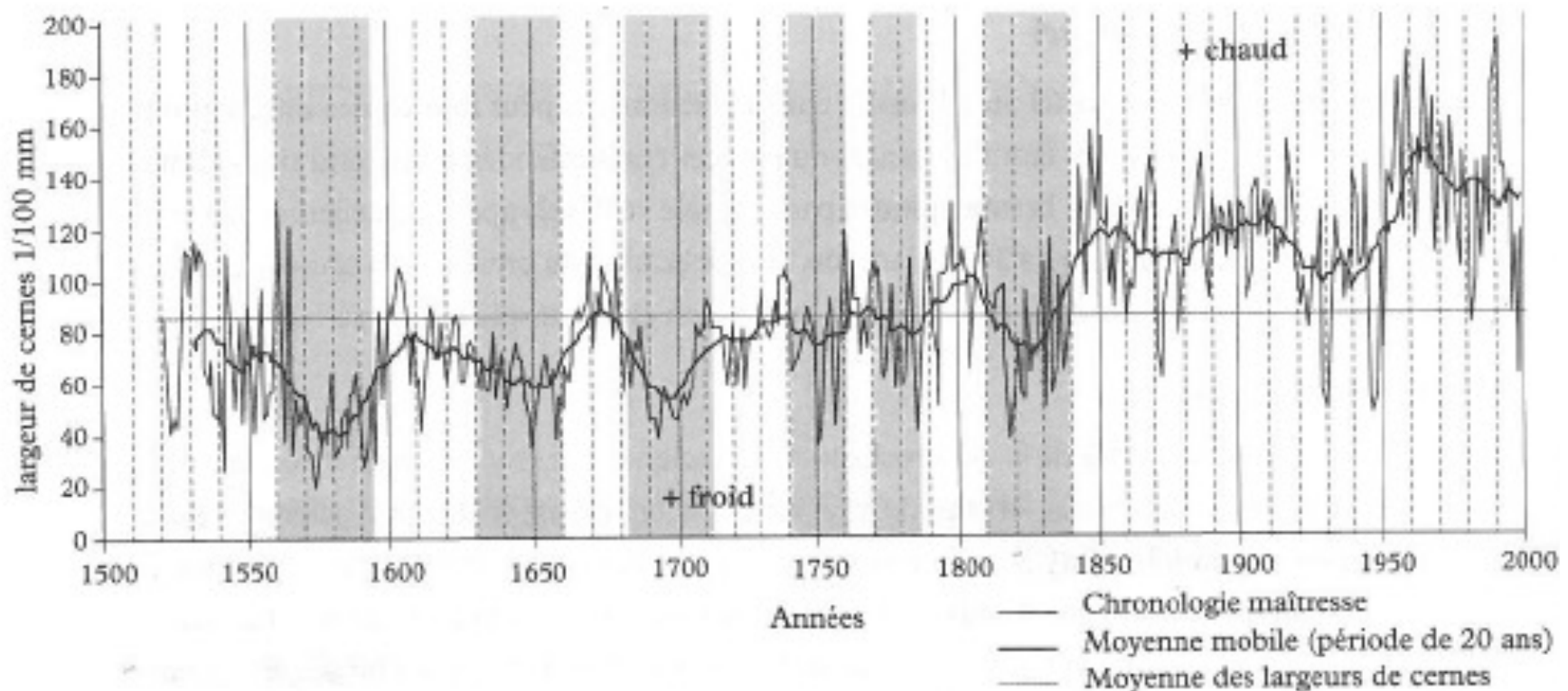


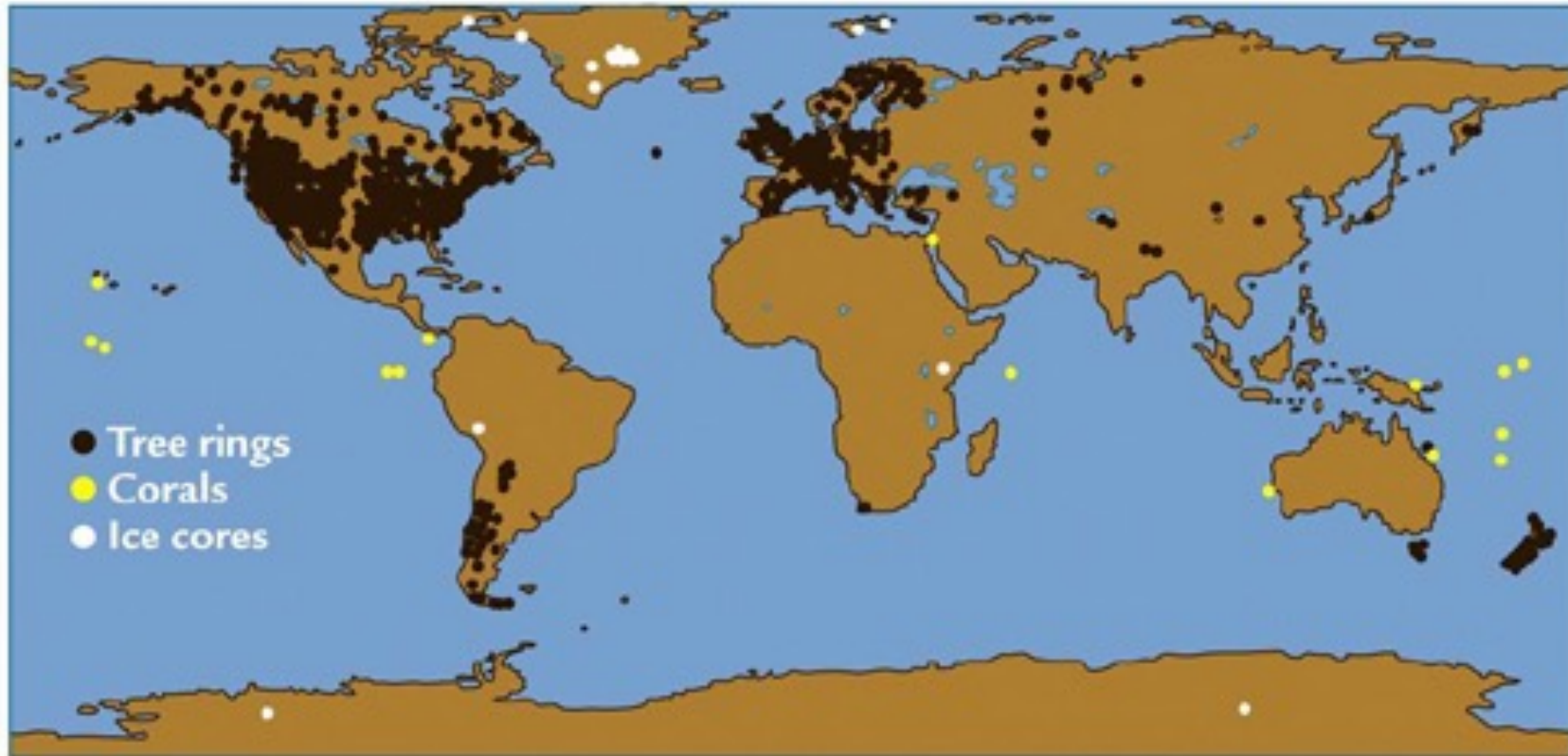
Figure 30. Évolution de la largeur des cernes des hêtres de la forêt d'Iraty (Pays basque) depuis 1520 AD (d'après Bourquin-Mignot et Girardclos, 2001)

### ➤ Tour d'horizon des archives climatiques

#### - Les arbres

#### Dendroclimatologie

La dendroclimatologie est davantage étudiée aux moyennes et hautes latitudes puisque la saisonnalité dans les cernes y est davantage contrastée.

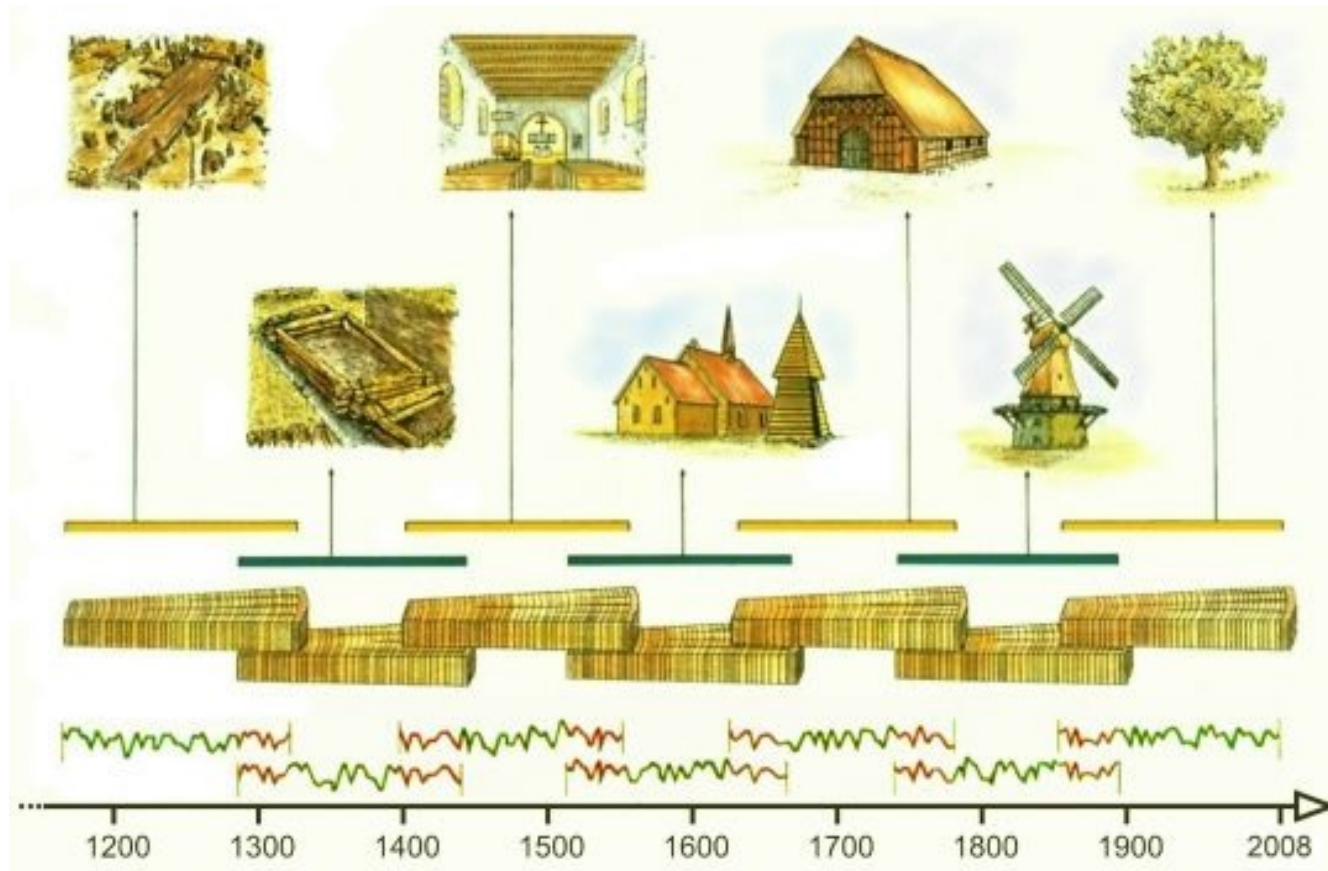


## ➤ Tour d'horizon des archives climatiques

### - Les arbres

#### Dendrochronologie

On peut également utiliser des arbres coupés isolés ou des matériaux en bois trouvés sur un chantier (ex : charpente de bâtiments historiques, œuvres d'art..) pour fabriquer une chronologie moyenne régionale.



### ➤ Tour d'horizon des archives climatiques

#### ✓ Grande variété d'archives climatiques naturelles couvrant diverses périodes temporelles

- Arbres
- Coraux, bivalves
- Dépôts sédimentaires continentaux et marins
- Glace

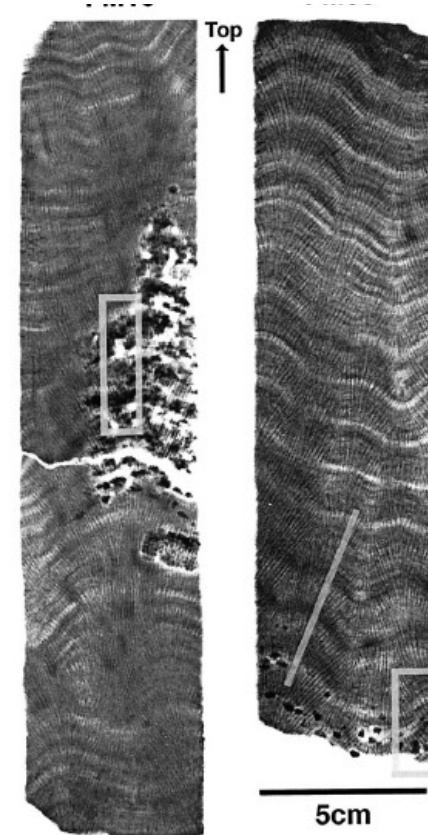
➤ **Tour d'horizon des archives climatiques**

- Les coraux, bivalves

**Scléroclimatologie**

Principe: Etude des stries de croissances annuelles de coraux, de bivalves...

- ✓ reconstruction des **températures de surface des océans (des basses latitudes)**.
- ✓ reconstruction des **variations du niveau marin**

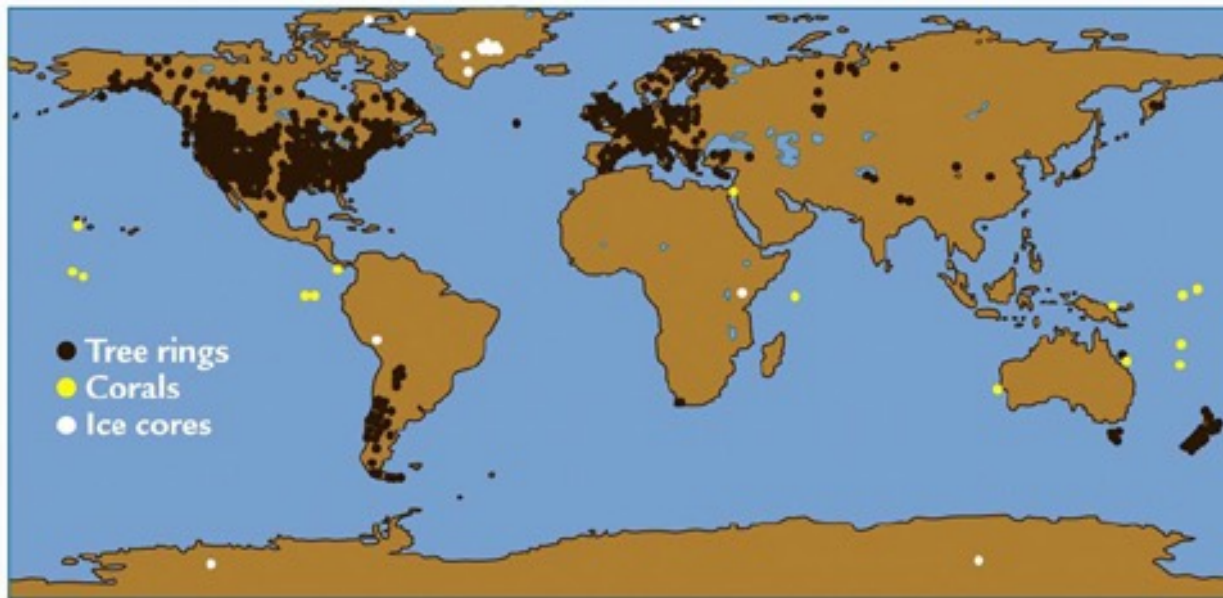


➤ **Tour d'horizon des archives climatiques**

- Les coraux, bivalves

**Scléroclimatologie**

Les coraux sont majoritairement prélevés dans les eaux chaudes de surface de la bande intertropicale.



➤ **Tour d'horizon des archives climatiques**

- Les coraux, bivalves

**Scléroclimatologie**

Toutefois, des coraux d'eau froides ont été découverts il y a 250 ans par des pêcheurs. Champs de recherche assez récents pour les reconstructions paléocéanographiques.



### ➤ Tour d'horizon des archives climatiques

#### ✓ Grande variété d'archives climatiques naturelles couvrant diverses périodes temporelles

- Arbres
- Coraux, bivalves
- Dépôts sédimentaires continentaux et marins
- Glace

## ➤ Tour d'horizon des archives climatiques

### - Les dépôts sédimentaires

#### Les sédiments caractéristiques d'un paramètre climatique

- Les évaporites (gypse, anhydrite, halite)  
=> évaporation importante + **aridité**
- Les sédiments glaciaires (moraines ou tillites)  
=> **climats froids**
- Les dépôts de carbonates de plateforme  
=> **climats chauds**
- Certaines roches sédimentaires comme la bauxite  
=> indicatrices d'**humidité** (climats hydrolysant, chaud et humide)
- Les charbons (roches sédimentaires biochimiques)  
=> se forme par accumulation de végétaux en zones **humides**



➤ **Tour d'horizon des archives climatiques**

- Les dépôts sédimentaires

**Les spéléothèmes**

Définition : concrétions calcaires présentes dans les grottes (stalagmite et stalactite) construites à partir des eaux de percolation.



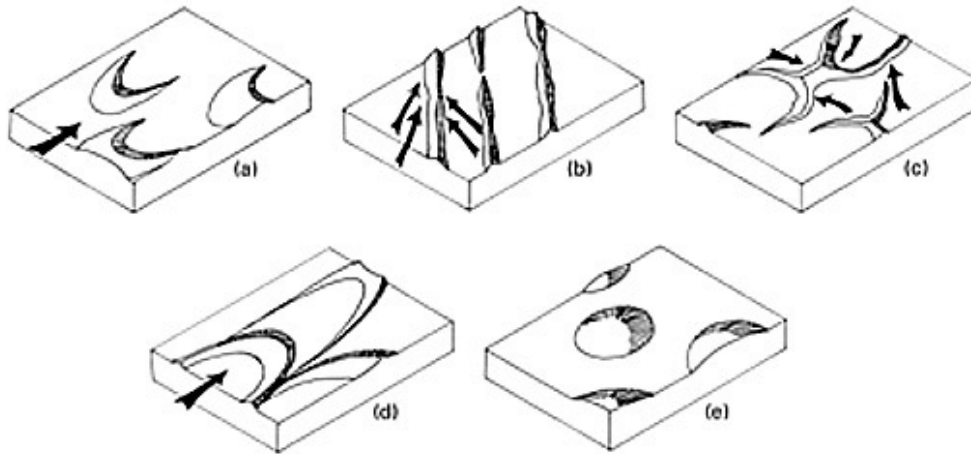
- ✓ Vitesses de concrétion assez rapides (0,1 à 1mm/an) = *bonne résolution temporelle*
- ✓ Eaux de percolation => *renseigne sur les précipitations et températures atmosphériques*
- ✓ Concrétions souvent *discontinues*
- ✓ Se développent majoritairement lors de *périodes climatiques chaudes et humides*

➤ **Tour d'horizon des archives climatiques**

- Les dépôts sédimentaires

**Les figures sédimentaires éoliennes**

- ✓ Caractérisent les zones arides (désert) et les régions périglaciaires



- ✓ Etude des **dépôts dunaires fossiles** => reconstruction de la **direction des vents**.

- ✓ Etude de l'accumulation de dépôts éoliens (poussières minérales) : **loess**

=> reconstruction de la **circulation atmosphérique d'une région**

## ➤ Tour d'horizon des archives climatiques

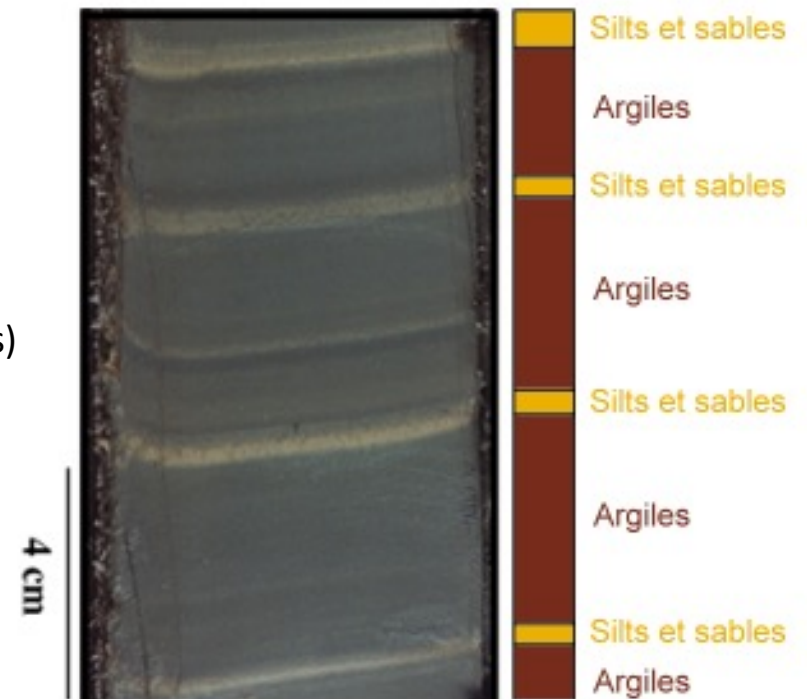
### - Les dépôts sédimentaires

#### Les carottes sédimentaires lacustres

Lac :

- ✓ Piège à particules biogènes et terrigènes
- ✓ Très sensibles aux fluctuations du climat
- ✓ Taux de sédimentation des dépôts très élevé  
=> *haute résolution temporelle*
  
- ✓ Présence de **varves** (qq mm/an)  
(variations saisonnières de la granulométrie des apports sédimentaires)

Un doublet = une année

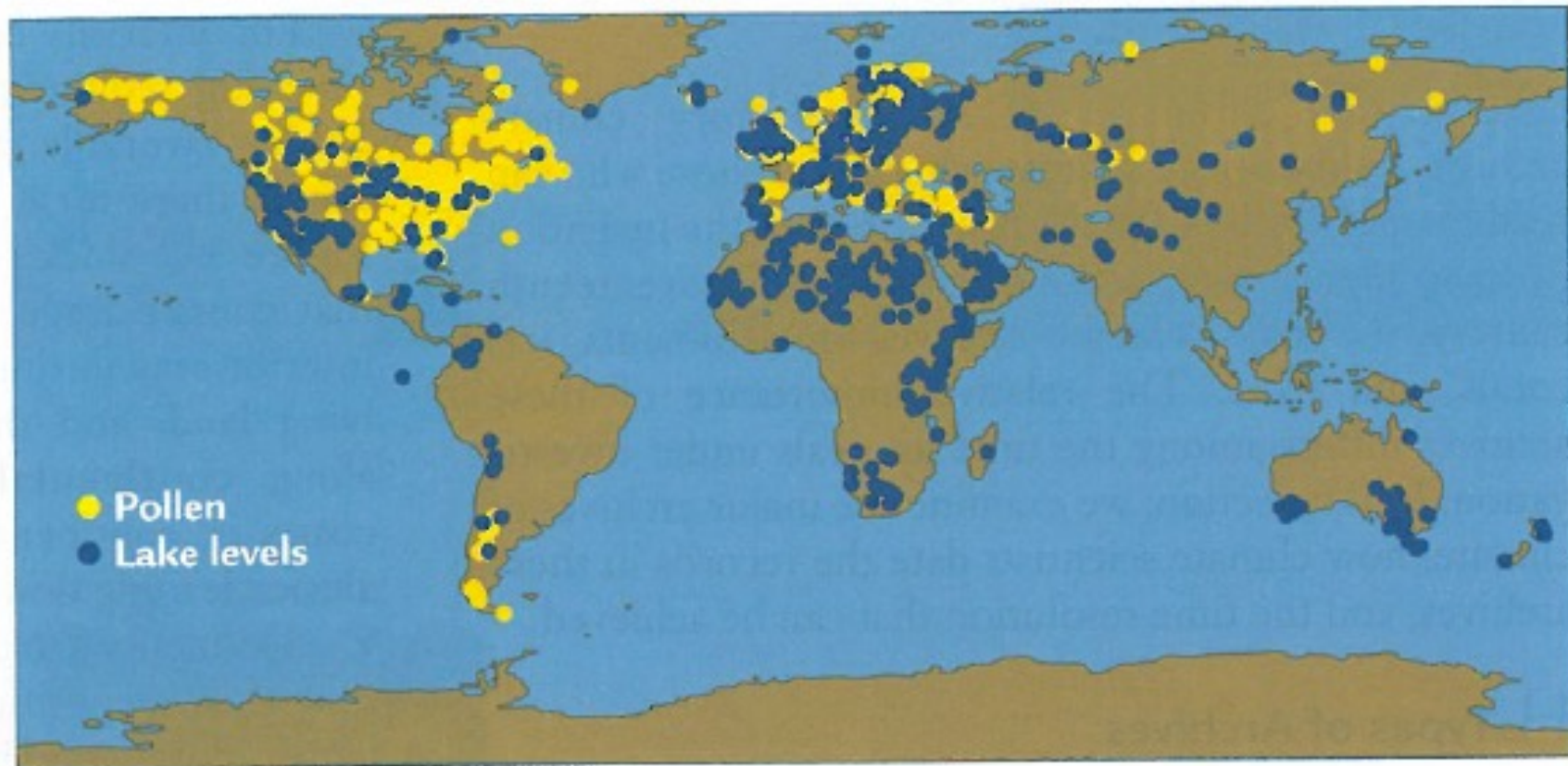


➤ **Tour d'horizon des archives climatiques**

- Les dépôts sédimentaires

Les carottes sédimentaires lacustres

Lacs actuels (et paléolacs)



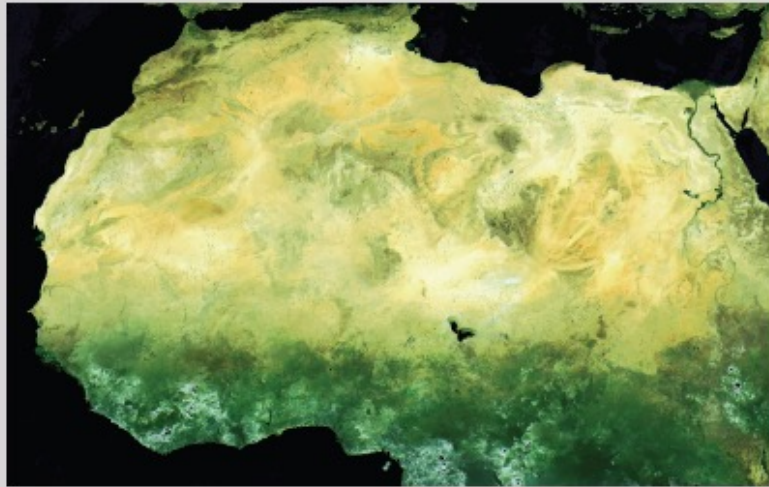
➤ **Tour d'horizon des archives climatiques**

- Les dépôts sédimentaires

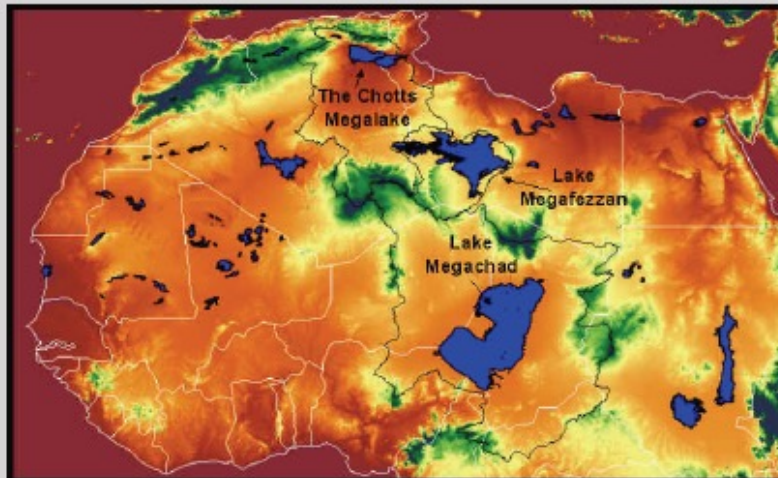
**Les carottes sédimentaires lacustres**

**Ex : Paléolac Tchad – Sahara vert (8000 ans)**

Modern



Holocene  
Lake basins

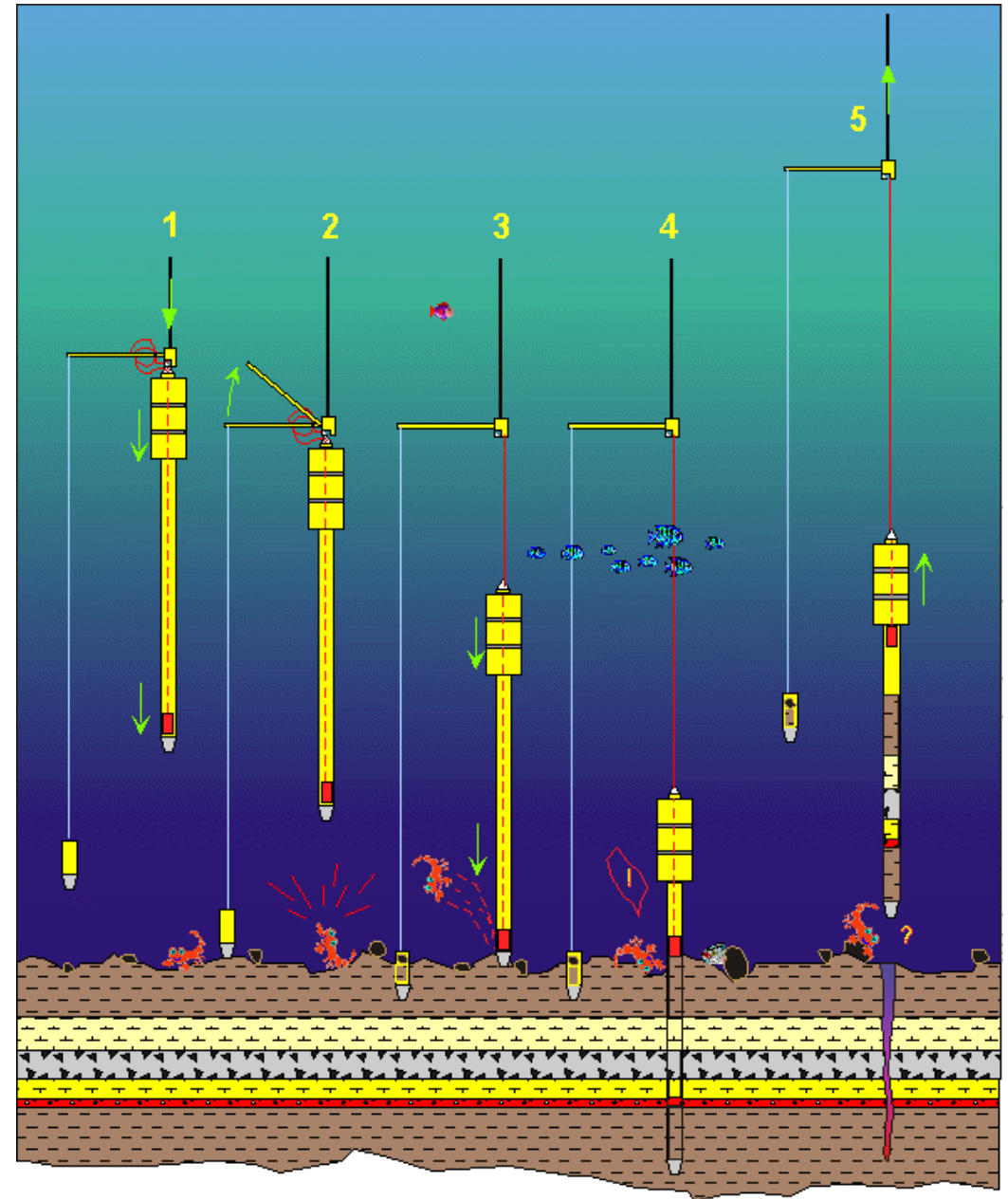


- **Tour d'horizon des archives climatiques**
  - Les dépôts sédimentaires
  - Les carottes sédimentaires marines**



Navire océanographique français  
(Marion Dufresne)

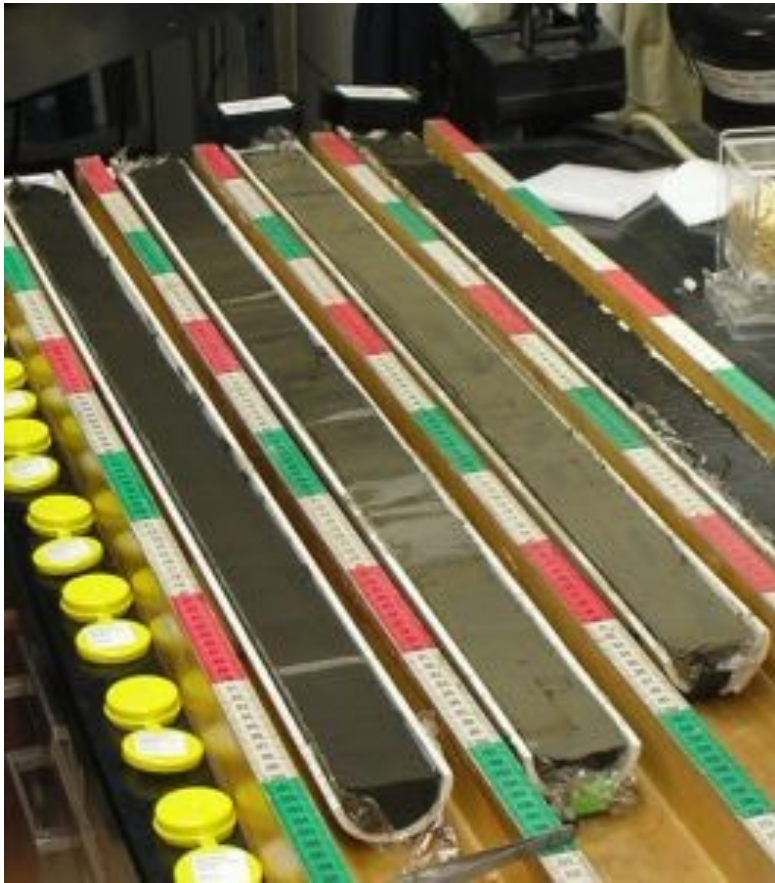
Carottier à piston Calypso  
(système unique au monde)



- **Tour d'horizon des archives climatiques**
    - Les dépôts sédimentaires
- Les carottes sédimentaires marines**



- **Tour d'horizon des archives climatiques**
  - Les dépôts sédimentaires
    - Les carottes sédimentaires marines**

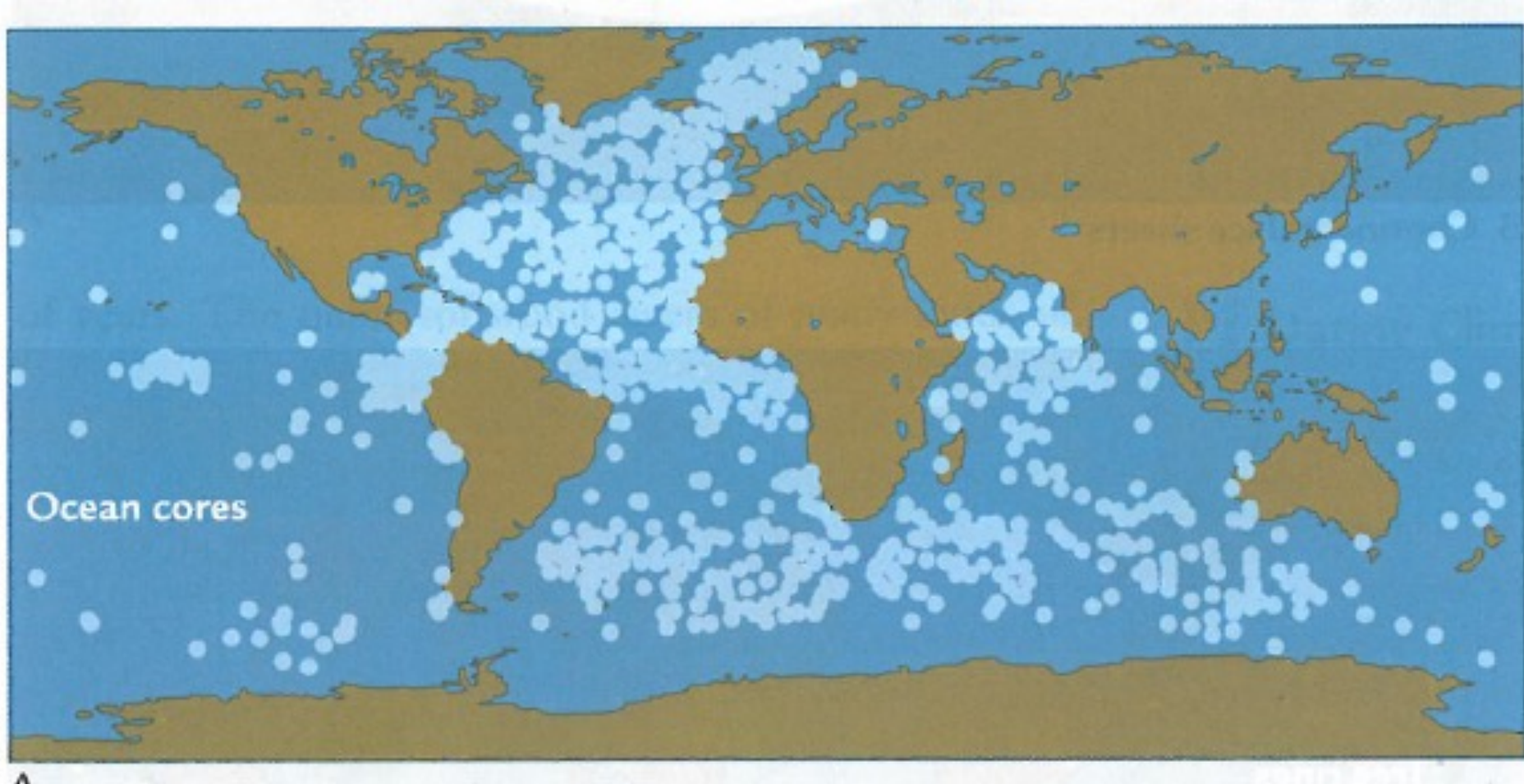


➤ **Tour d'horizon des archives climatiques**

- Les dépôts sédimentaires

Les carottes sédimentaires marines

**Archives climatiques les plus nombreuses**



170Ma = croûte océanique la plus ancienne (Jurassique supérieur)

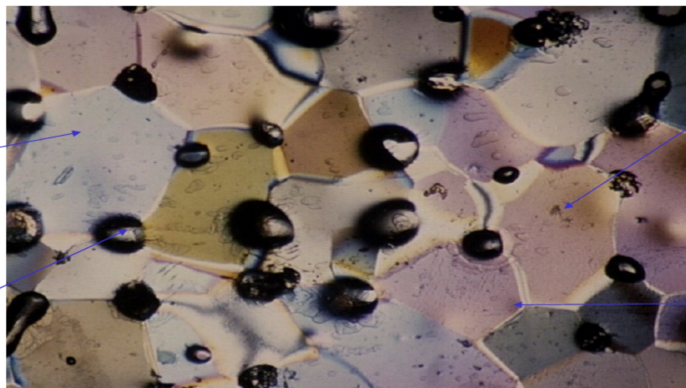
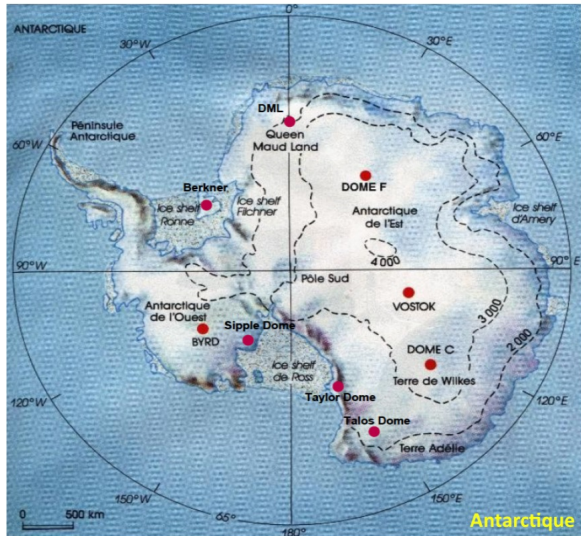
### ➤ Tour d'horizon des archives climatiques

- ✓ Grande variété d'archives climatiques naturelles couvrant diverses périodes temporelles
  - (Documents historiques)
  - Arbres
  - Coraux, bivalves
  - Dépôts sédimentaires continentaux et marins
  - Glace

➤ Tour d'horizon des archives climatiques

- Les dépôts sédimentaires

Les forages glaciaires (carottes de glace)



**Glace:**  
H<sub>2</sub>O  
H<sub>2</sub><sup>18</sup>O  
HDO

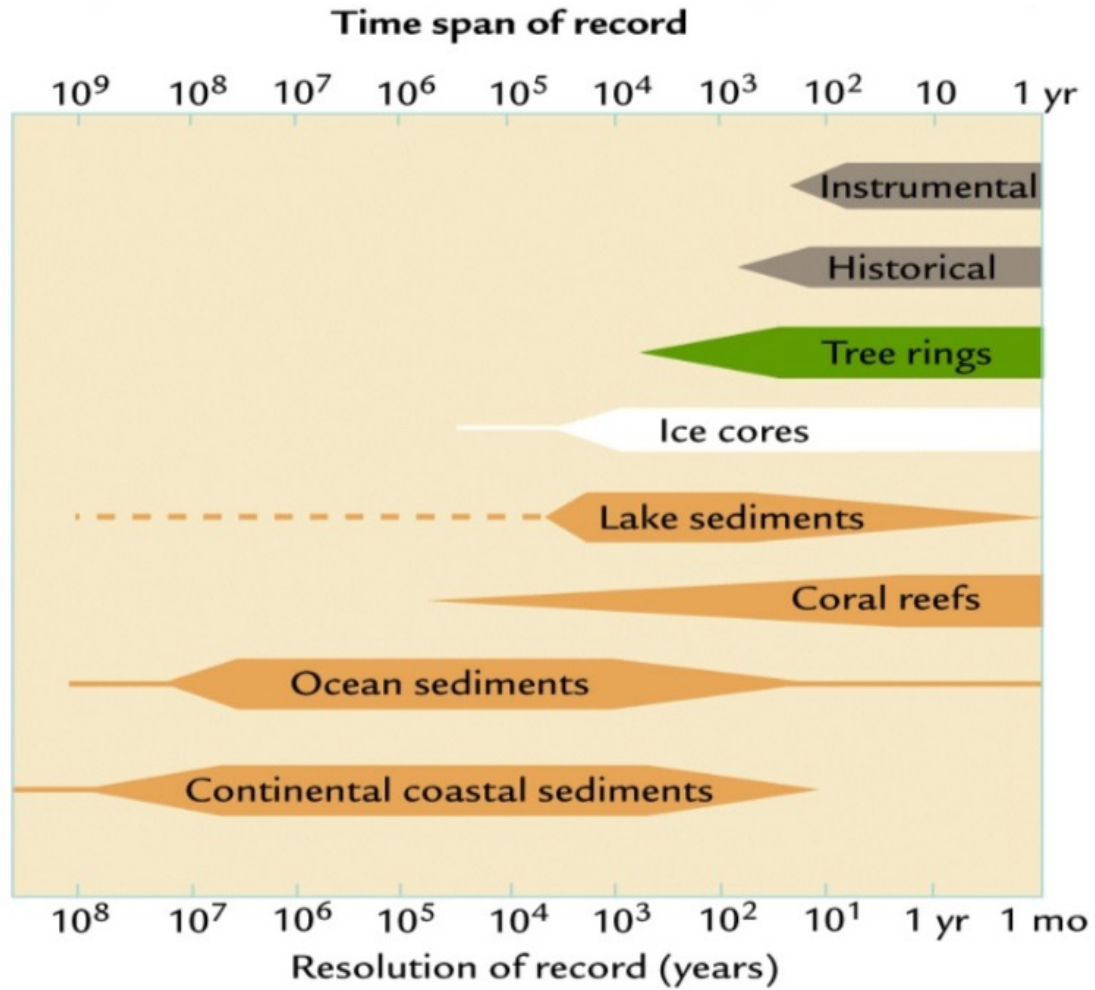
**Air:**  
CO<sub>2</sub>  
CH<sub>4</sub>  
N<sub>2</sub>O  
δ <sup>15</sup>N  
δ <sup>40</sup>Ar  
δ <sup>18</sup>O...

**Impuretés:**  
Poussières,  
Sel marin,  
<sup>10</sup>Be,  
Aérosols  
volcaniques

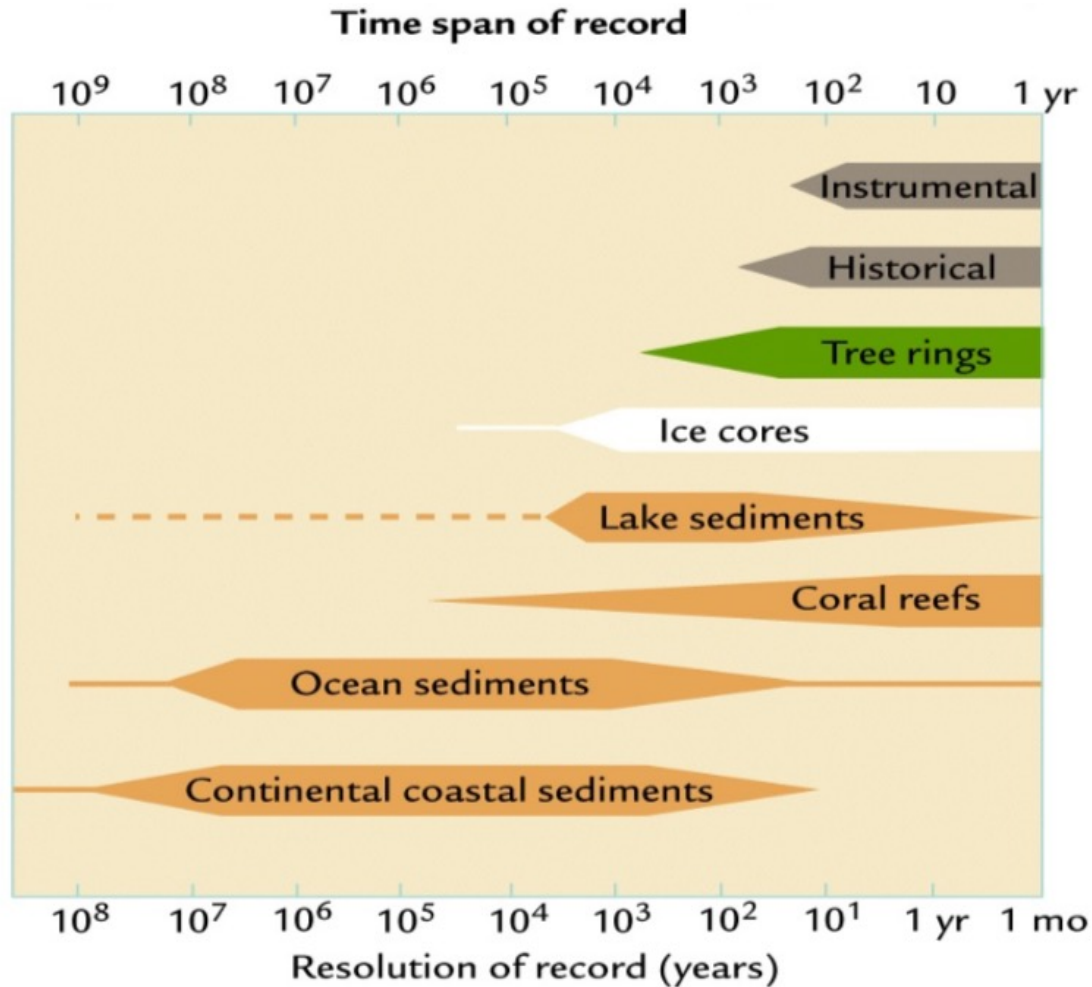
**cristaux :**  
tailles,  
formes,  
orientation

✓ Reconstruction de la composition atmosphérique (gaz, aérosols, isotopes de l'eau...)

➤ Notion d'archive climatique



➤ Notion d'archive climatique



L'archive climatique à étudier sera ainsi choisie en fonction de la **question scientifique** et la période de temps visées.

L'établissement du **cadre chronostratigraphique** de l'archive est une étape cruciale avant toute reconstruction paléoclimatique.

(méthodes de datation variées)

### ➤ Notions d'archives et de traceurs climatiques

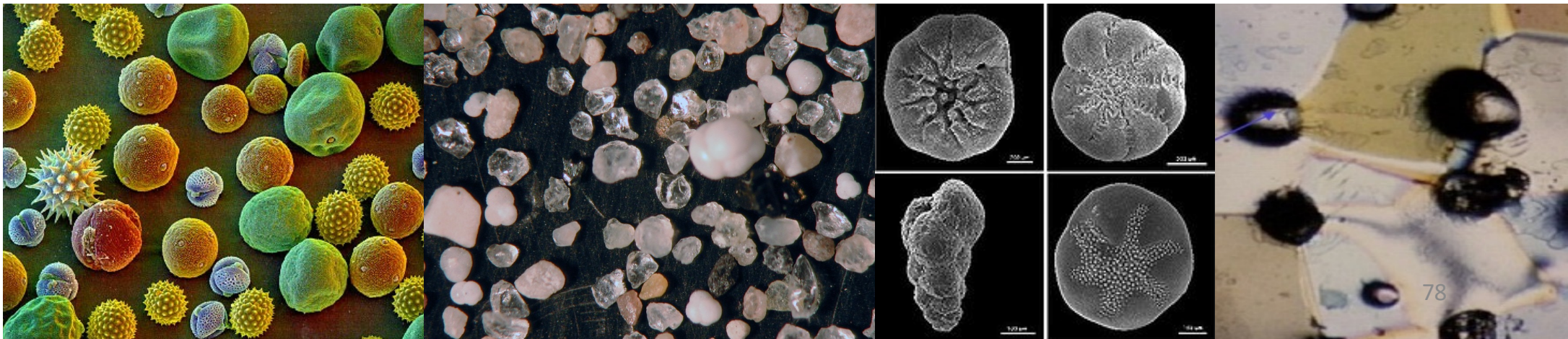
#### ✓ Grande variété d'archives climatiques naturelles couvrant diverses périodes temporelles

- Arbres
- Coraux, bivalves
- Dépôts sédimentaires continentaux et marins
- Glace...



#### ✓ Grande variabilité de traceurs à étudier dans chacune de ces archives

- Fraction organique, inorganique
- Paramètres physiques, composition minéralogique, chimique...



➤ Quelques exemples de traceurs climatiques...  
- Données paléobotaniques et palynologie

De manière générale, les restes fossiles des plantes sont plus abondants que ceux des animaux dans les enregistrements géologiques.

La **végétation** joue un **rôle clé** dans la **reconstruction des paléoclimats continentaux**.



- ✓ Principe de l'actualisme (analogie à l'actuel)
- ✓ Forme dépendante d'une condition environnementale (température, humidité..) = **bioindicateur climatique** dans les dépôts sédimentaires.

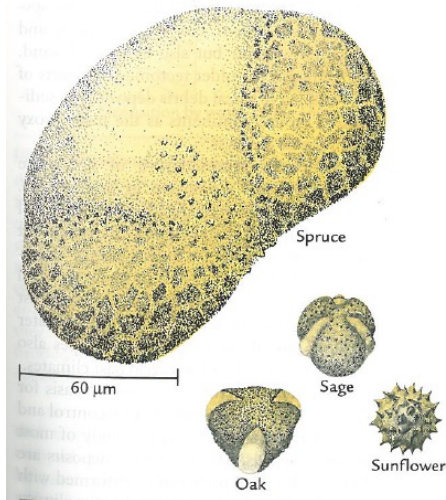
**Ex: forme proche du palmier actuel retrouvé en Sibérie et daté d'il y a 45 Ma  
-> climat chaud il y a 45 Ma dans un lieu actuellement froid**

## ➤ Quelques exemples de traceurs climatiques... - Données paléobotaniques et palynologie

Le pollen constitue chez les plantes à graines le gamétophyte mâle mobile produit par la fleur.

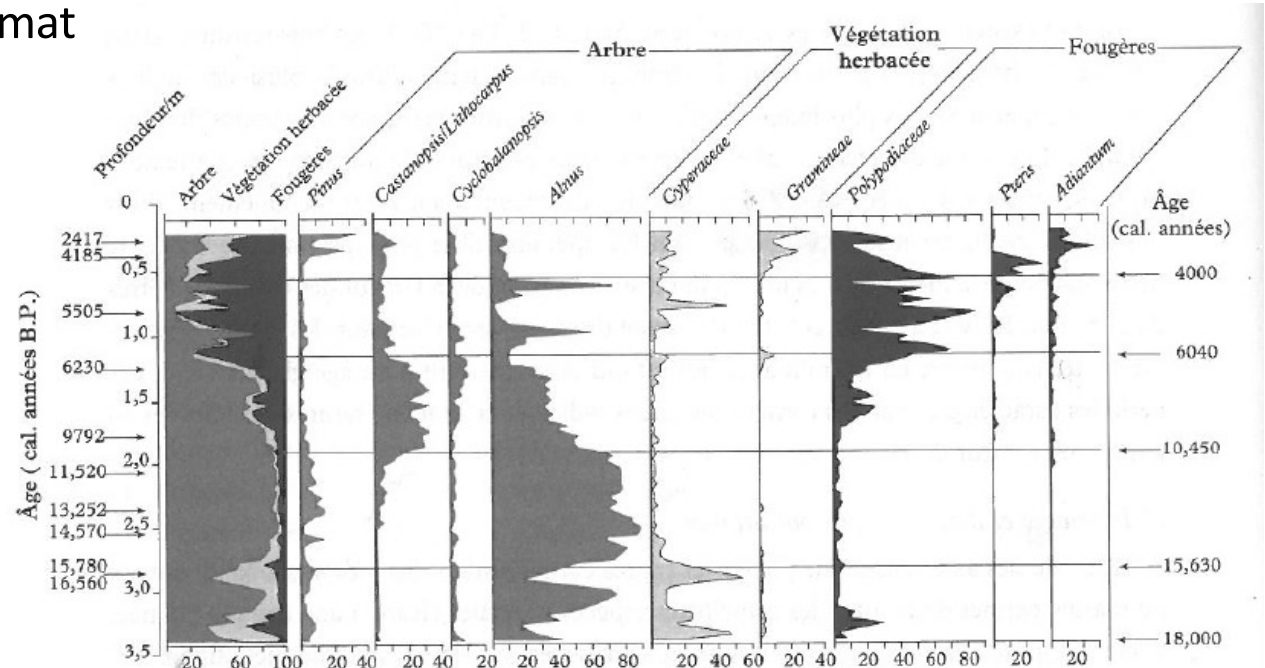
### 1. Identification des pollens

- ✓ généralement <10-15 µm
- ✓ Omniprésent et très abondants
- ✓ Une espèce = inféodé à un type de climat
- ✓ Agents de transport: vent et fleuves



### 2. Construction du diagramme pollinique

- reconstruction paléoclimatique continentale



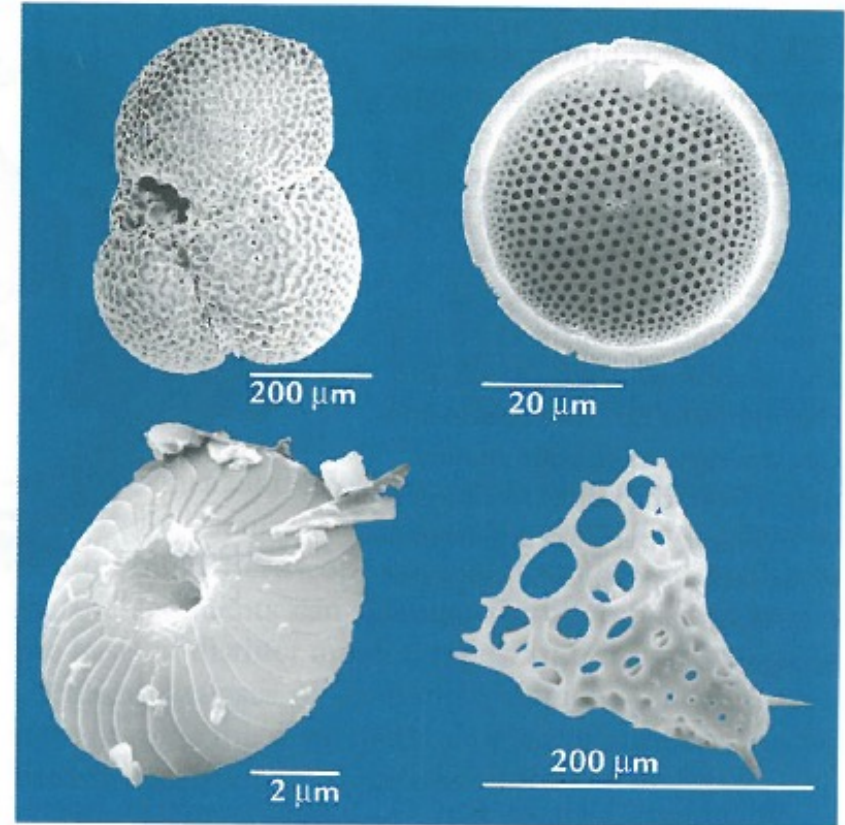
Exemple de diagramme pollinique établi à partir d'une séquence sédimentaire tourbeuse de Chine du Sud, correspondant aux derniers 18 000 ans (d'après Zhou *et al.* 2004)

➤ Quelques exemples de traceurs climatiques...

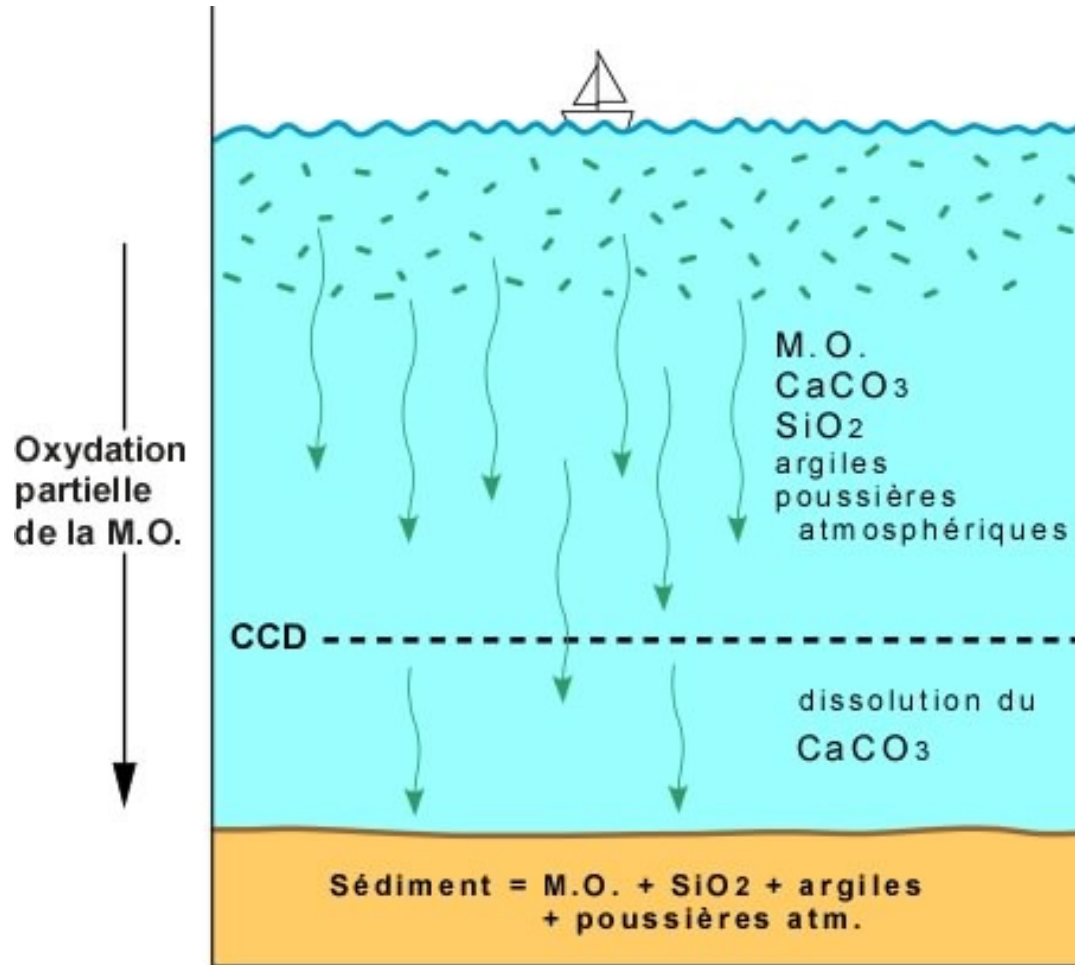
- Micropaléontologie (exemple du milieu marin)

Dans les océans, 4 groupes majeurs de plancton animal et végétal fossiles sont utilisés pour les reconstructions paléoclimatiques :

- 2 groupes à coquilles de calcite ( $\text{CaCO}_3$ )
  - ⇒ Les foraminifères (animal)
  - ⇒ Les coccolithes (algues)
  
- 2 groupes à coquille siliceuse ( $\text{SiO}_2$ )
  - ⇒ Les radiolaires (animal)
  - ⇒ Les diatomées (algues)
  
- ✓ Même principe que pour la palynologie :
  - Reconnaissance des espèces
  - Diagrammes d'assemblages d'espèces
  - Reconstructions paléoenvironnementales

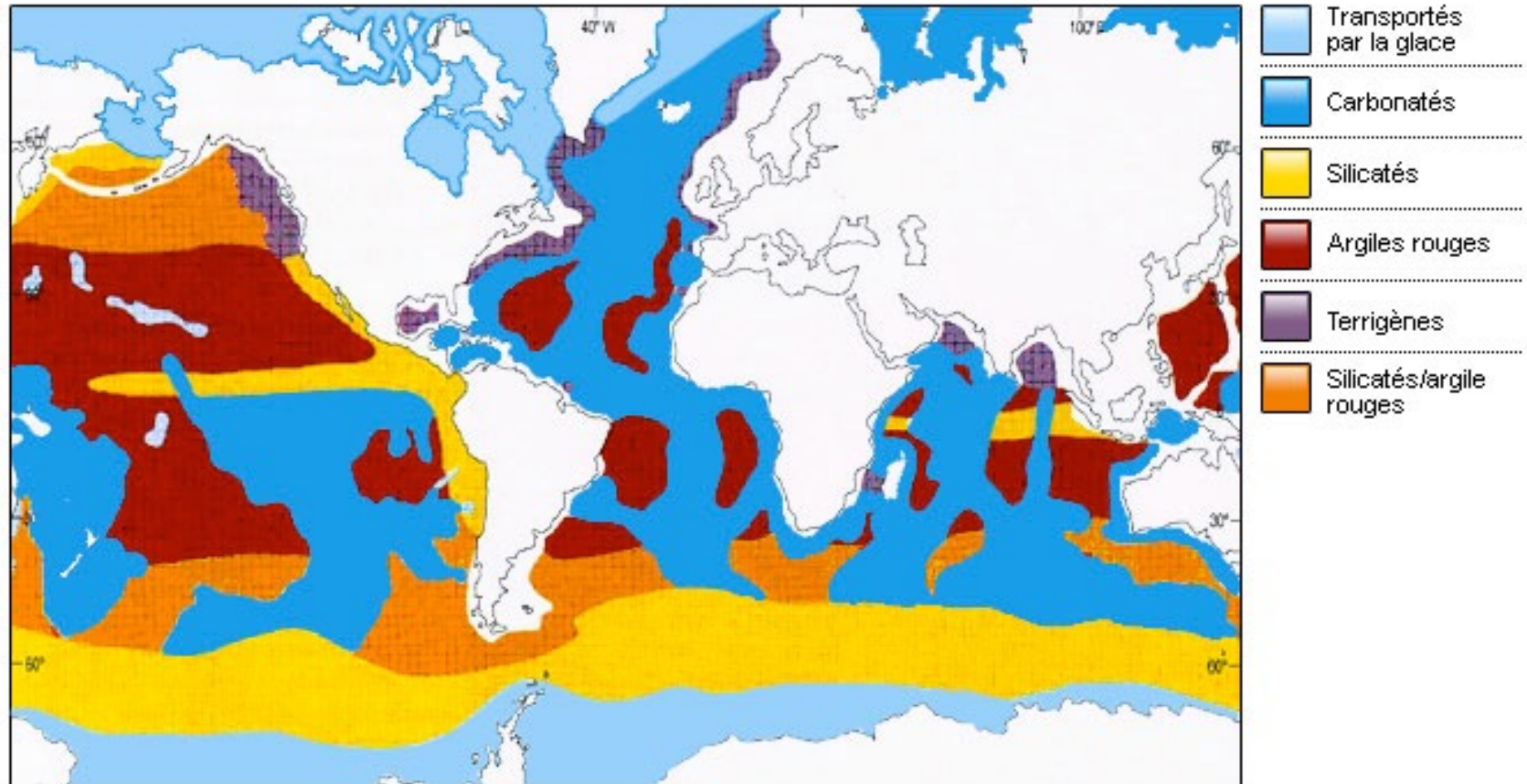


- Quelques exemples de traceurs climatiques...
  - Micropaléontologie (exemple du milieu marin)



CCD : Profondeur de compensation des carbonates

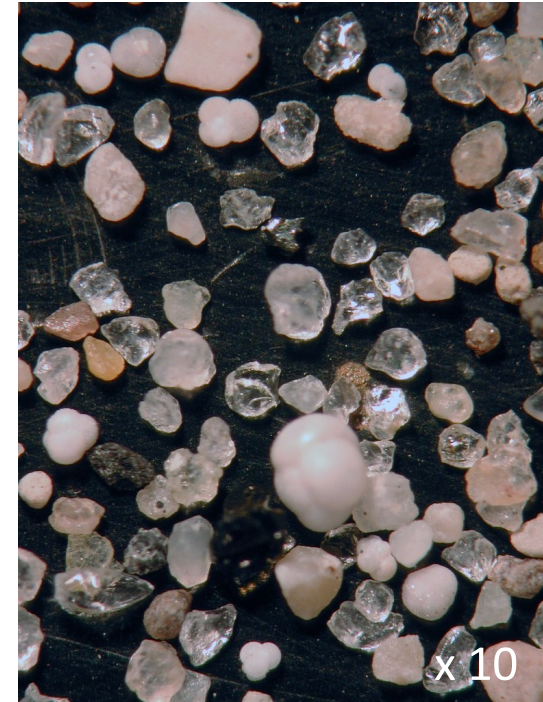
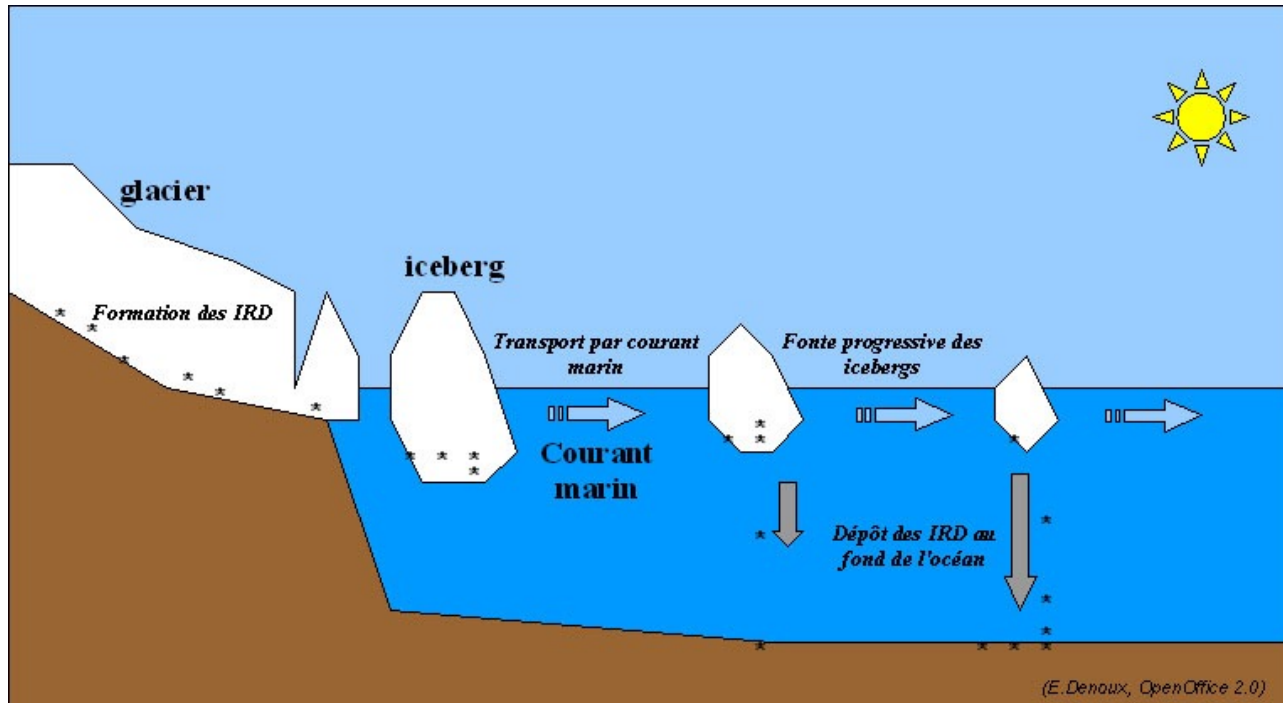
- Quelques exemples de traceurs climatiques...
  - Micropaléontologie (exemple du milieu marin)



➤ Quelques exemples de traceurs climatiques...

- Les Ice rafted detritus (IRD)

Grains détritiques grossiers (minéraux, >150um) transportés par les icebergs

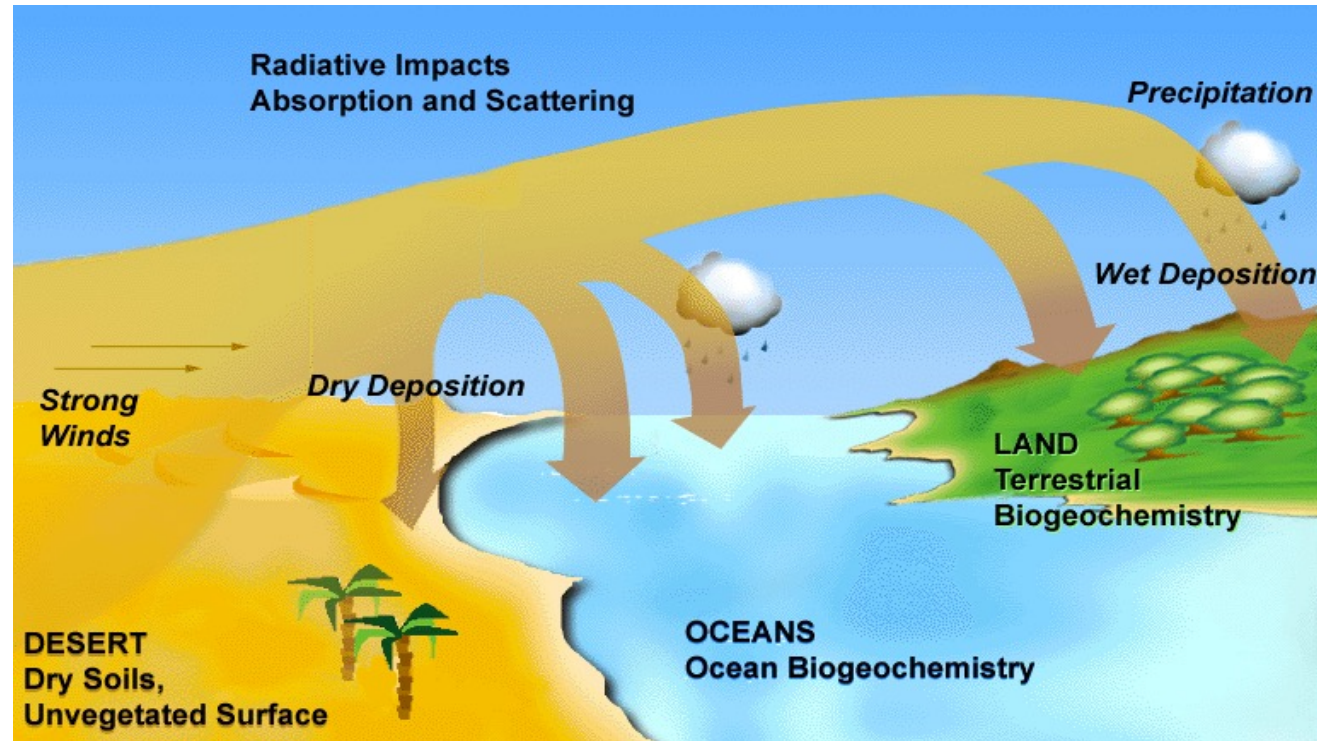
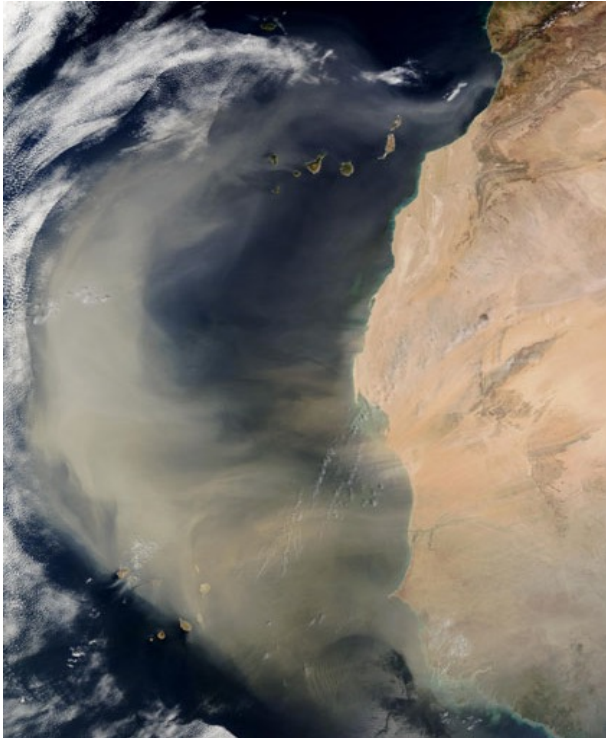


- ✓ Reconstruction de l'extension des calottes de glaces et de l'intensité des débâcles glaciaires

➤ Quelques exemples de traceurs climatiques...

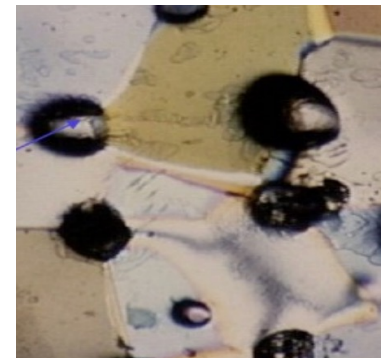
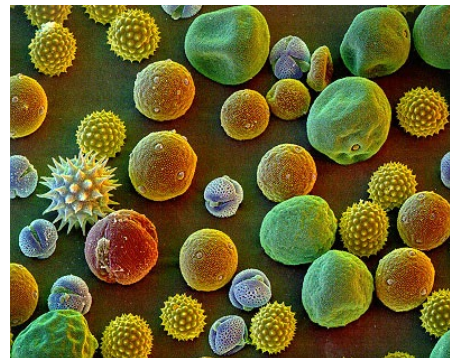
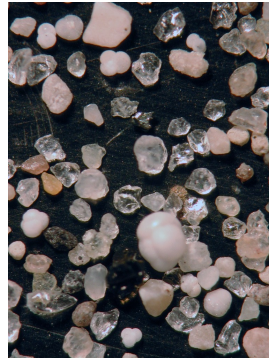
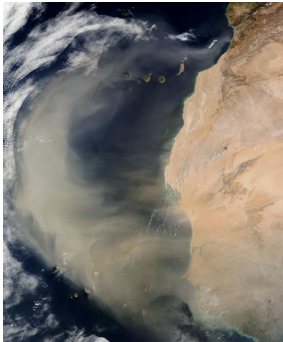
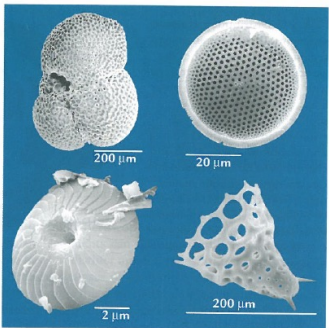
- Les poussières minérales

Fines particules détritiques (aérosols) transportés par les vents



✓ Reconstruction de la circulation atmosphérique et du cycle hydrologique

- Quelques exemples de traceurs climatiques...
  - > Analyses destructrices versus non destructrices

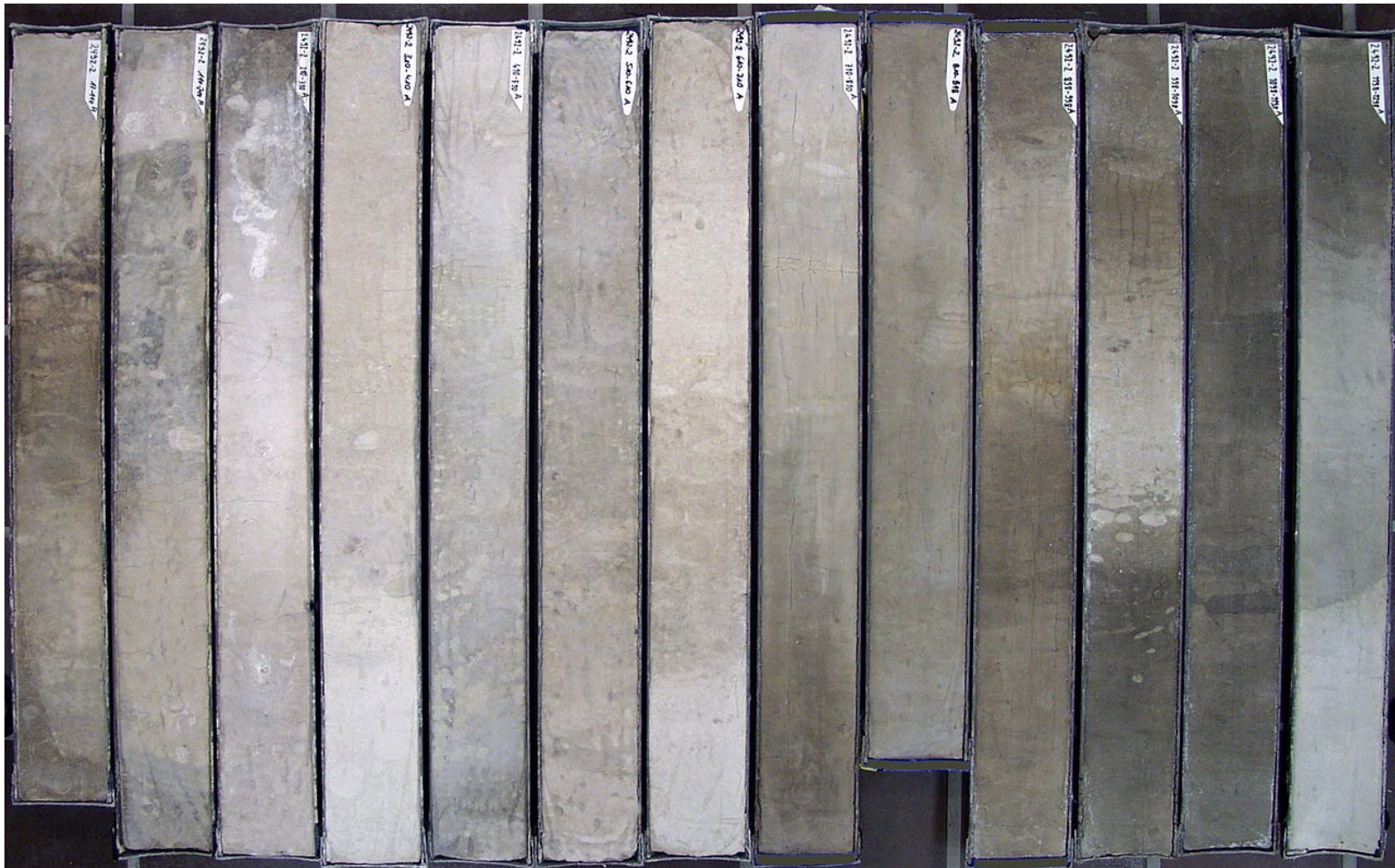


➤ Quelques exemples de traceurs climatiques...

-> **Analyses non destructrices**

✓ **Sédiments marins**

**Photographie des tronçons**

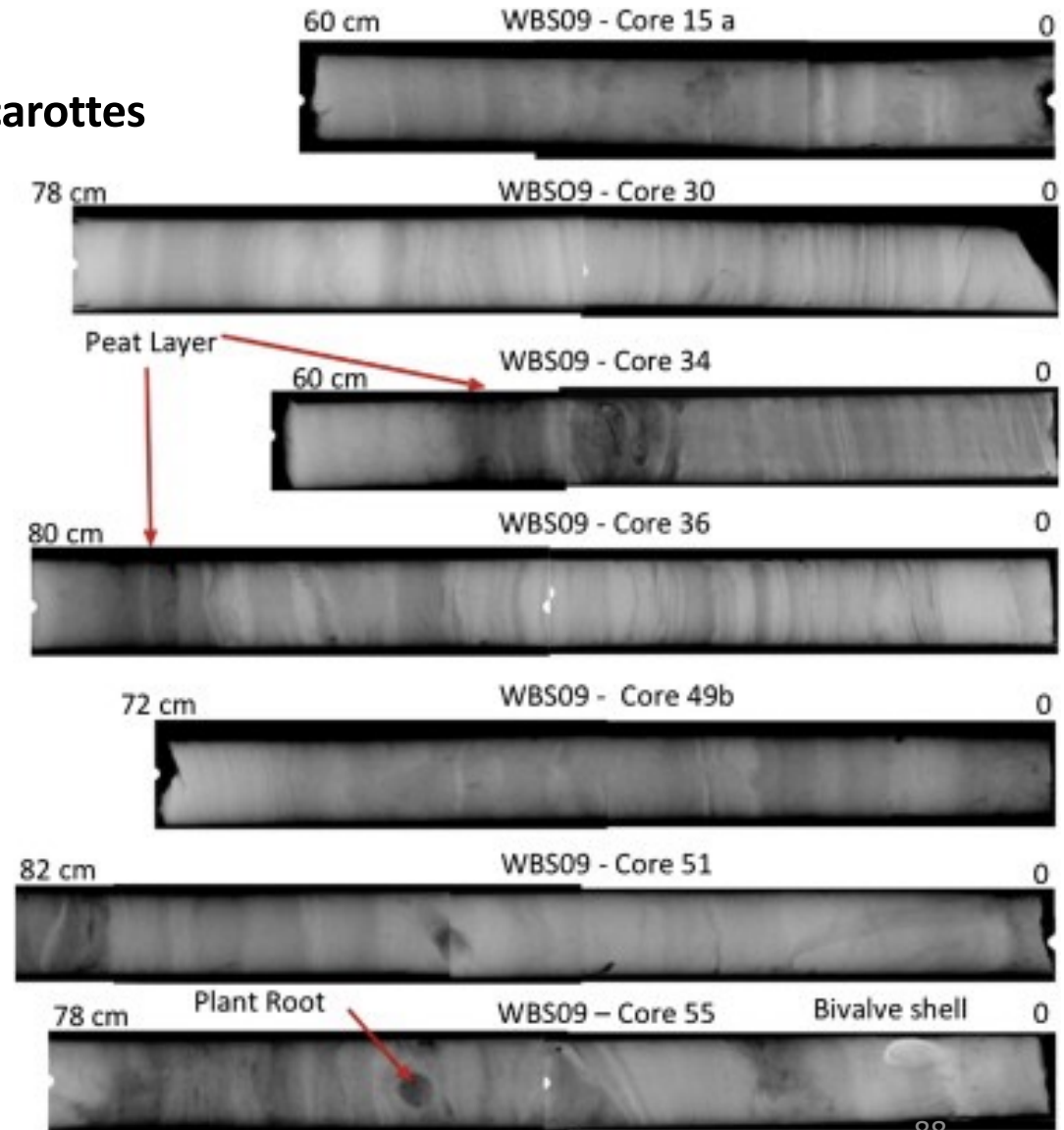


➤ Quelques exemples de traceurs climatiques...

-> Analyses non destructrices

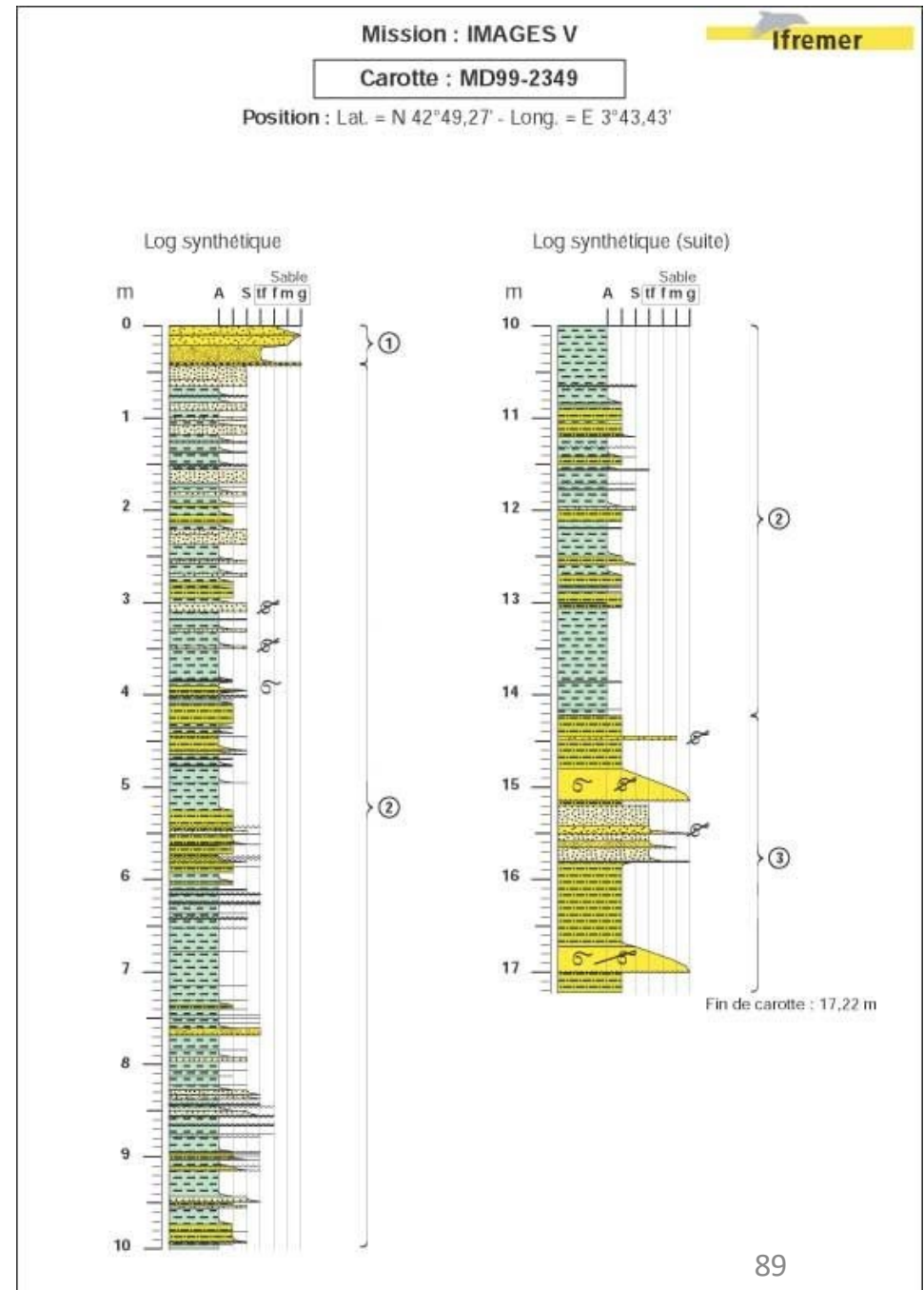
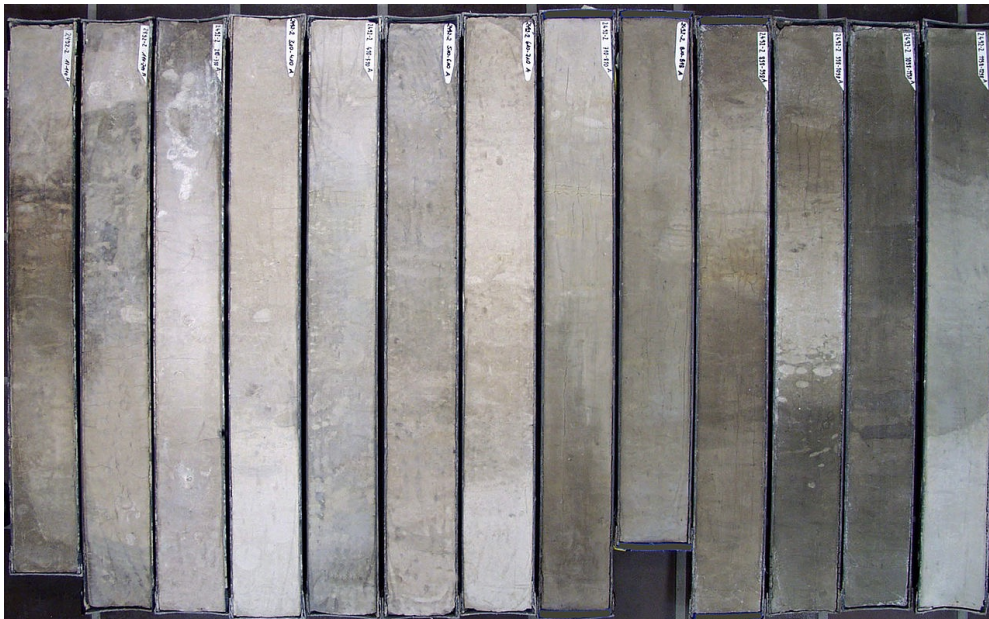
✓ Sédiments marins

Radioscopie RX des tronçons de carottes



- Quelques exemples de traceurs climatiques...
  - > Analyses non destructrices

✓ Sédiments marins  
Log lithologique

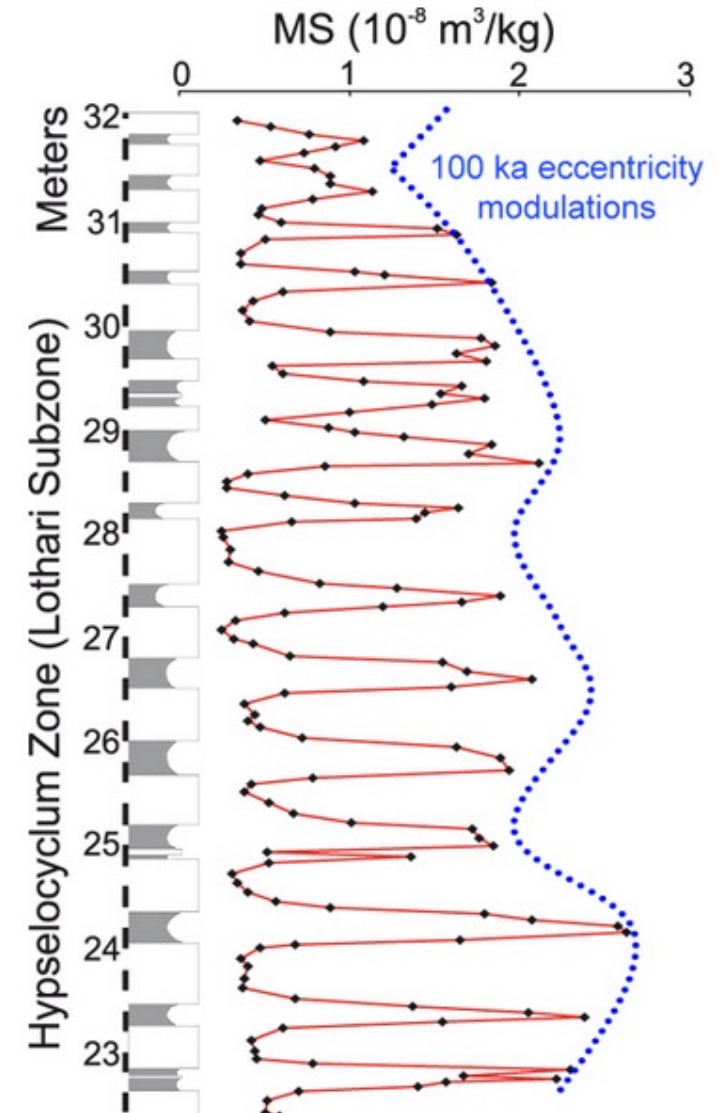


➤ Quelques exemples de traceurs climatiques...

-> Analyses non destructrices

✓ Sédiments marins

Susceptibilité Magnétique (banc)



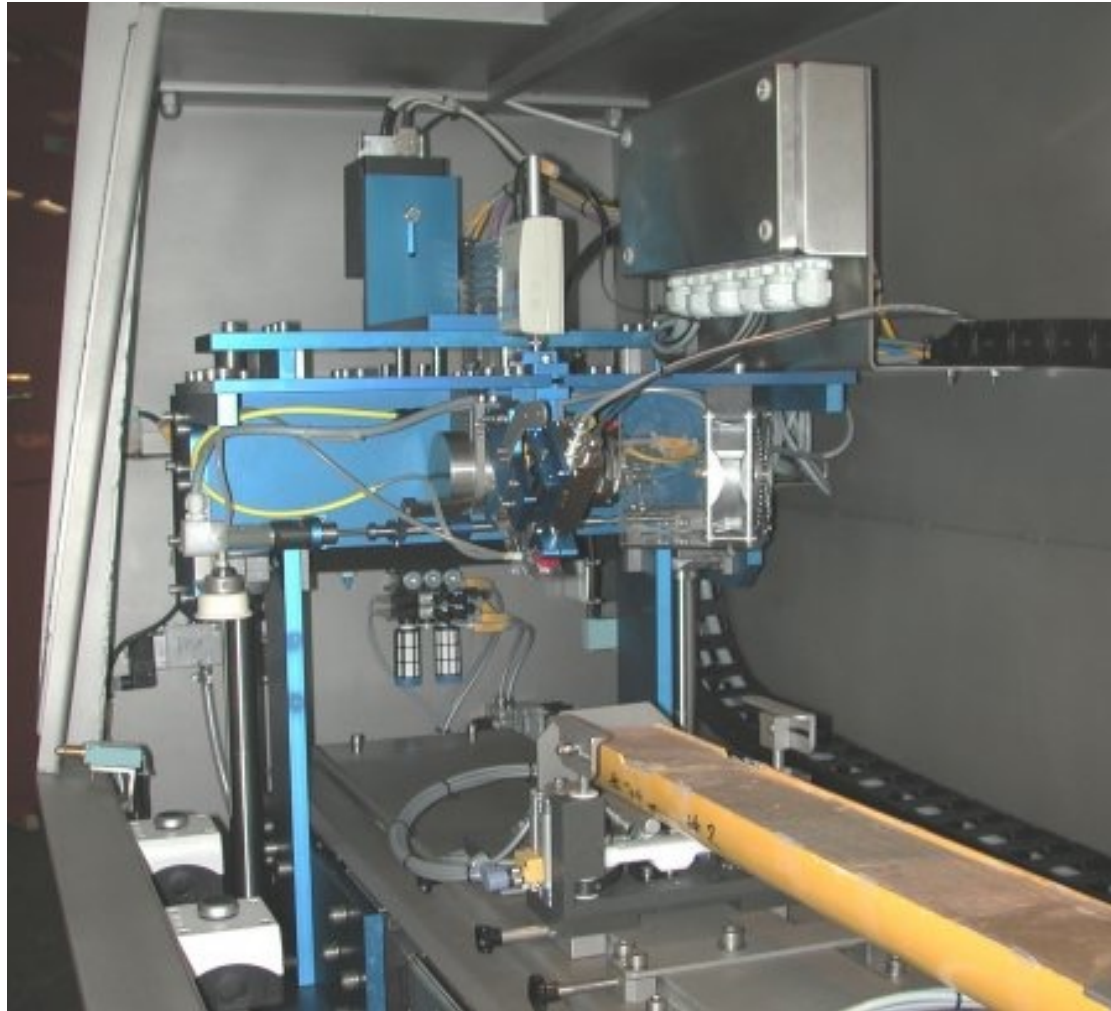
=> Cyclicité de l'orbite terrestre

➤ Quelques exemples de traceurs climatiques...

-> **Analyses non destructrices**

✓ **Sédiments marins**

**Analyses géochimiques par XRF (banc)**

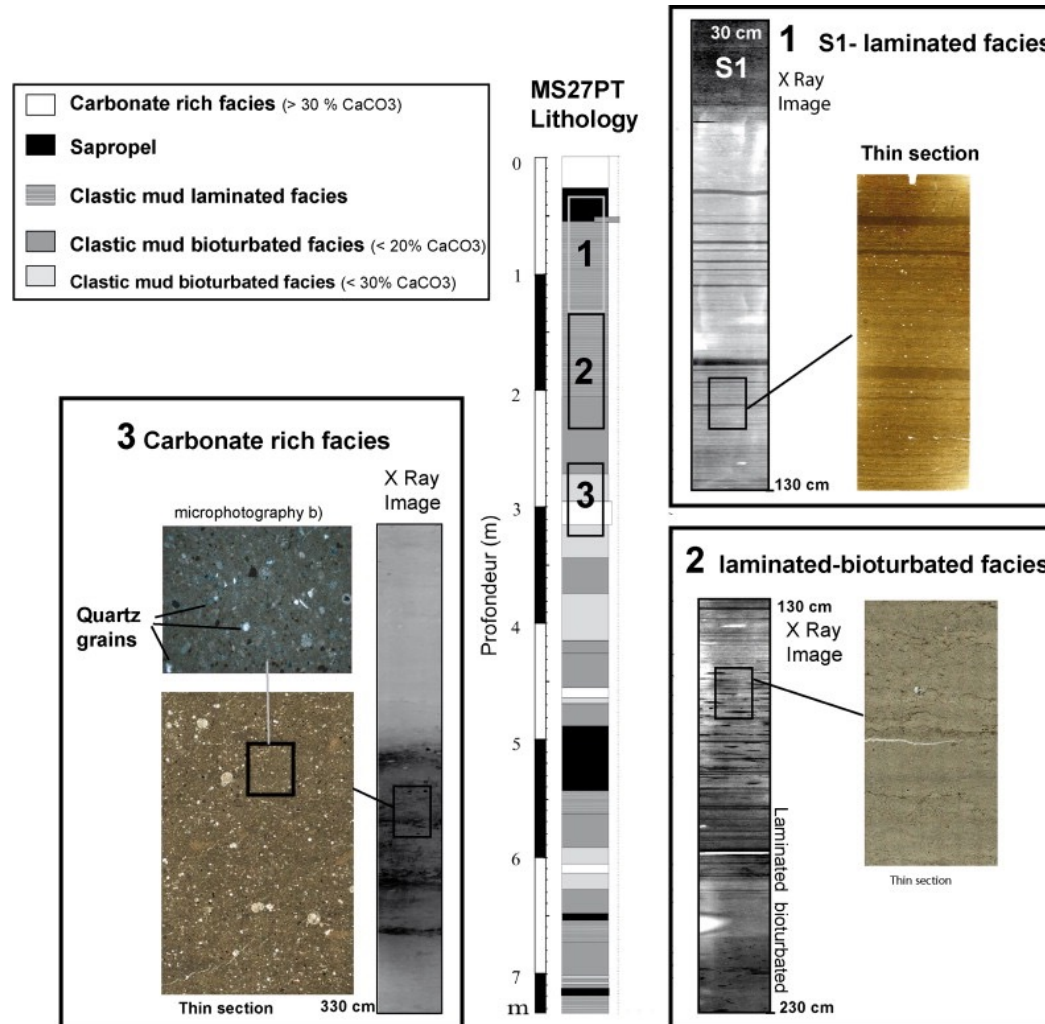


## ➤ Quelques exemples de traceurs climatiques...

-> **Analyses destructrices**

### ✓ **Sédiments marins**

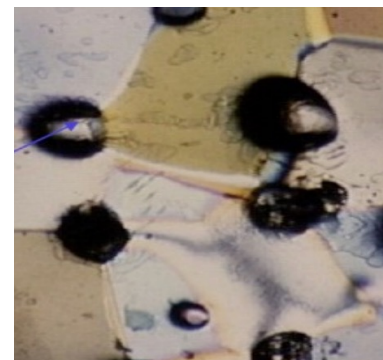
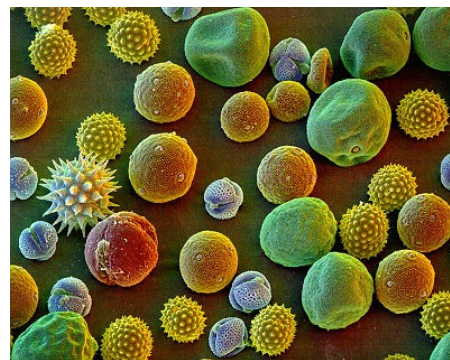
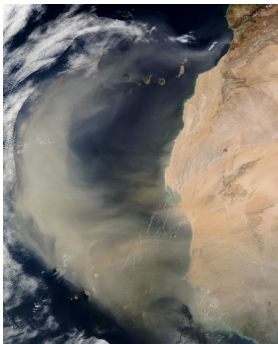
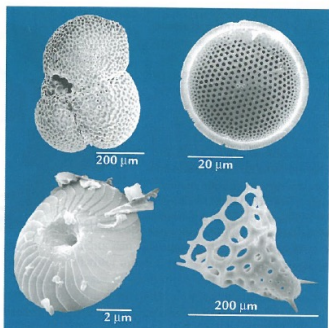
#### **Induration de sédiments et observations microscopiques**



➤ Quelques exemples de traceurs climatiques...

- Analyses destructrices

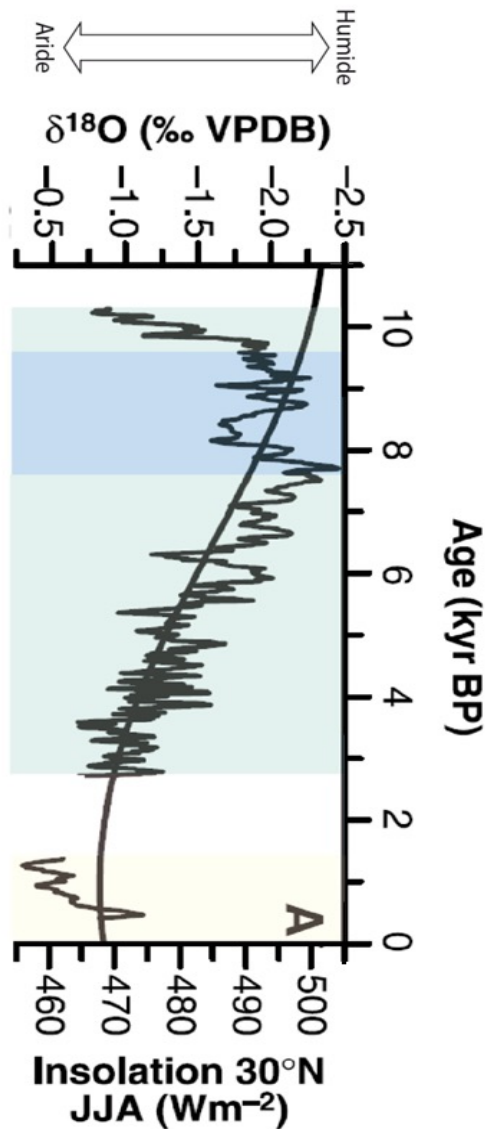
ex : composition en éléments majeurs, traces, terres rares, isotopes stables et radiogéniques



➤ Quelques exemples de traceurs climatiques...

- Analyses destructrices

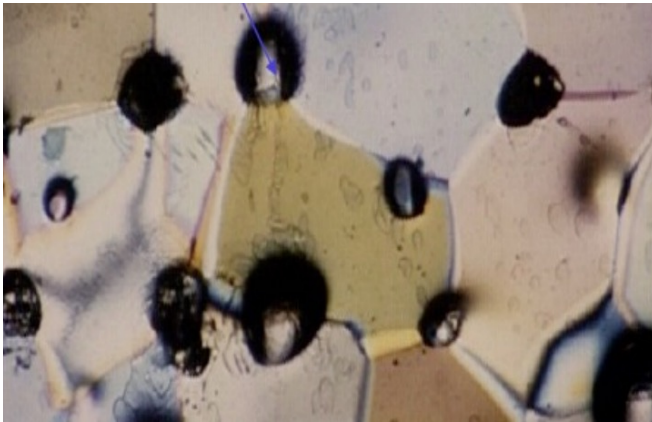
ex : étude des isotopes de l'oxygène dans les spéléo



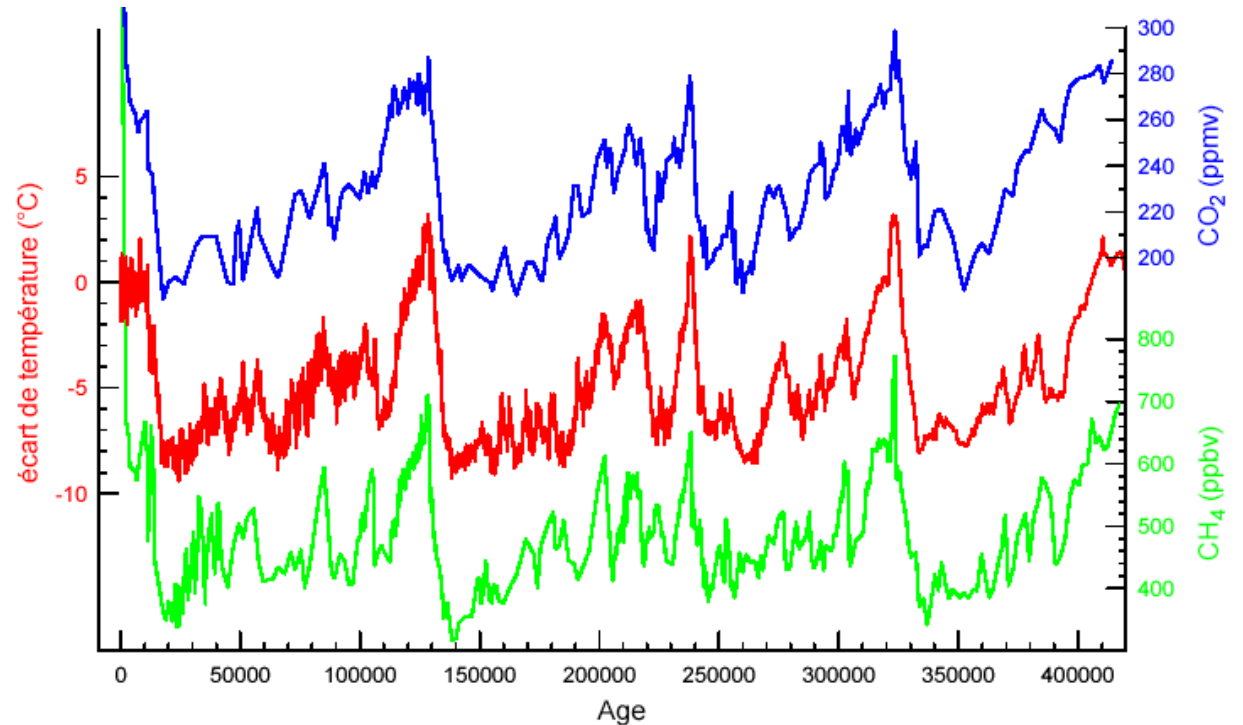
## ➤ Quelques exemples de traceurs climatiques...

### - Analyses destructrices

ex : étude des bulles d'air contenues dans les carottes de glace

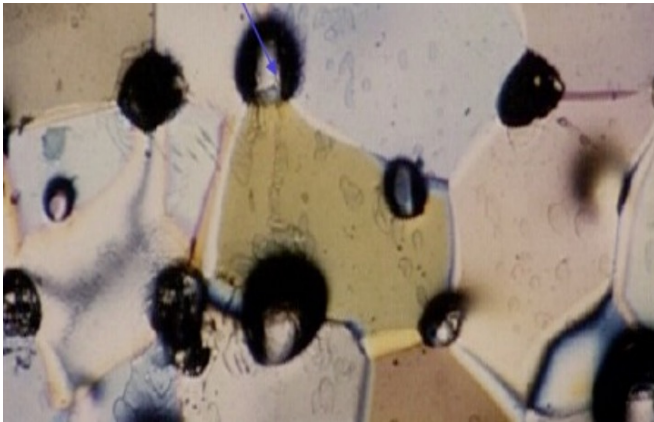


CAROTTAGE GLACIAIRE DE 3 500 m A VOSTOK (Antarctique) :  
Climat et gaz à effet de serre au cours des 400.000 dernières années  
L.G.G.E. /L.S.C.E. (d'après Petit et al., *Nature*, V. 399, Juin 1999).

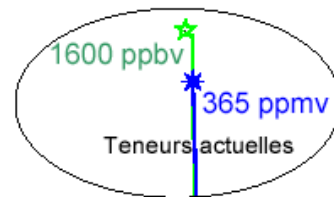


- Quelques exemples de traceurs climatiques...
  - Analyses minéralogiques et géochimiques

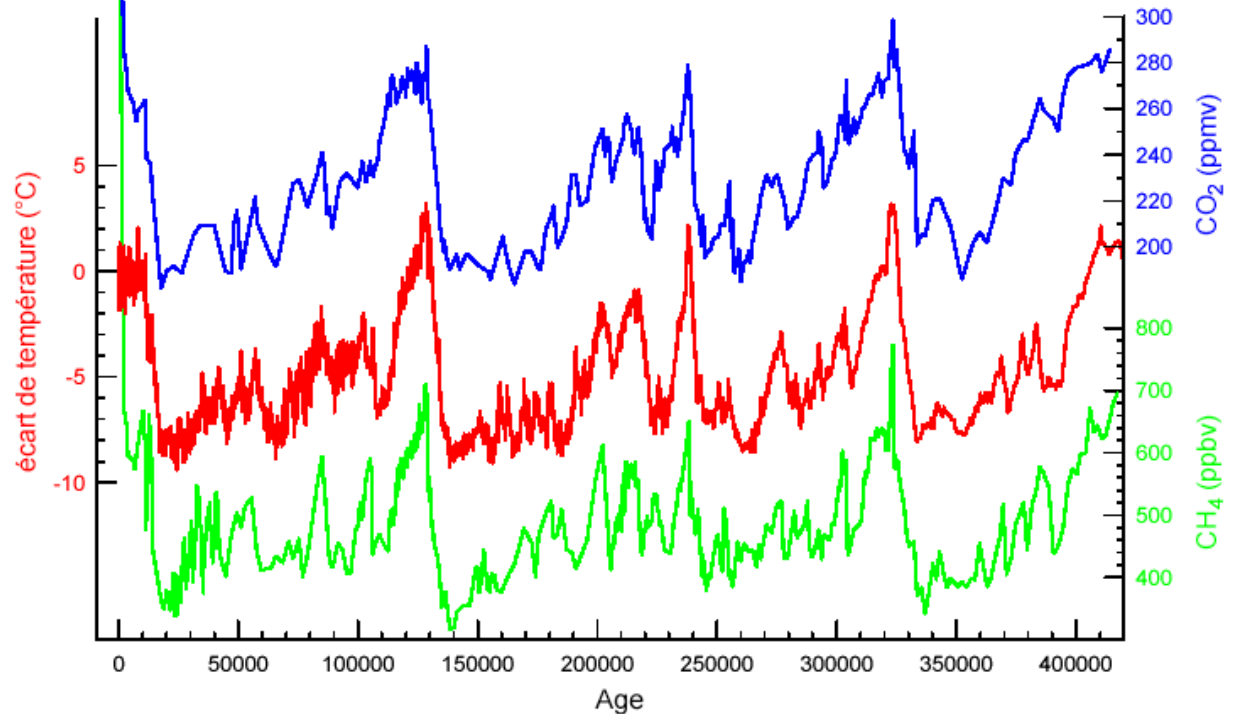
ex : étude des bulles d'air contenues dans les carottes de glace



425 ppm en 2024

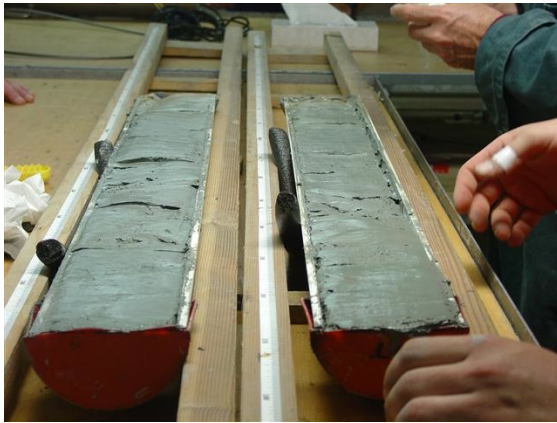


CAROTTAGE GLACIAIRE DE 3 500 m A VOSTOK (Antarctique) :  
Climat et gaz à effet de serre au cours des 400.000 dernières années  
L.G.G.E. /L.S.C.E. (d'après Petit et al., *Nature*, V. 399, Juin 1999).

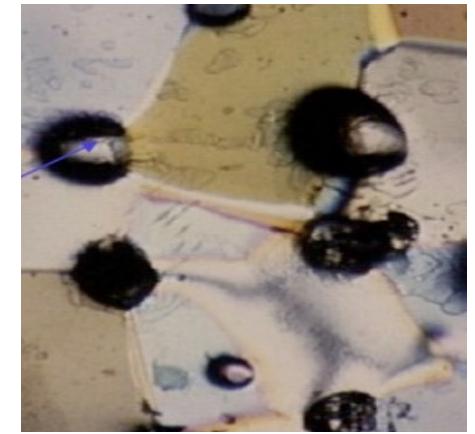
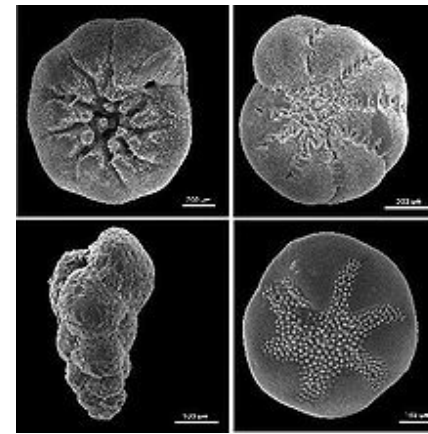
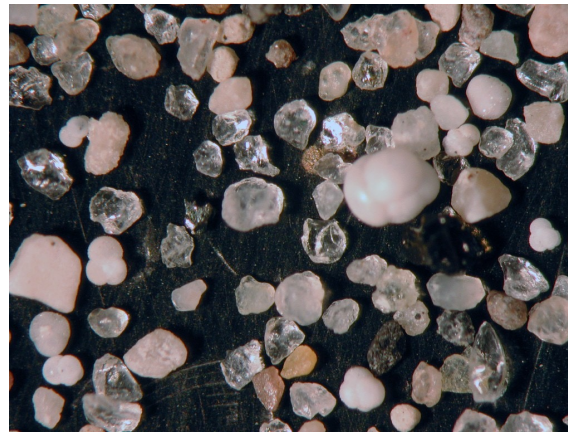
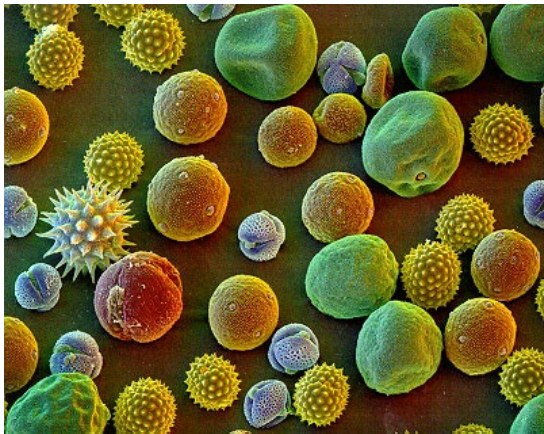


## ➤ Notions d'archives et de traceurs climatiques

### ✓ Grande variété d'archives climatiques naturelles couvrant diverses périodes temporelles



### ✓ Grande variabilité de traceurs à étudier dans chacune de ces archives

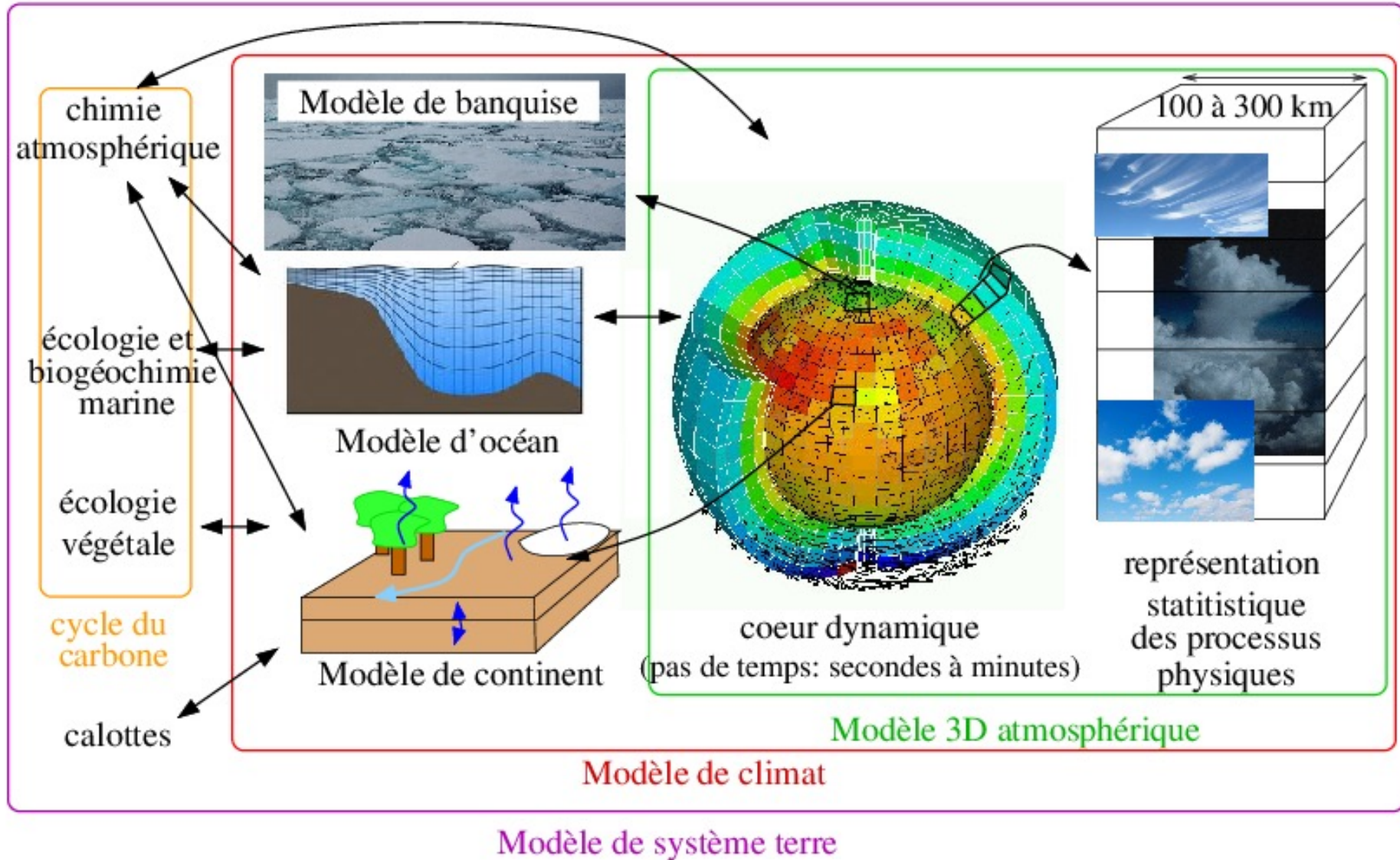


➤ Le choix de l'archive et du traceur dépendra de la problématique scientifique.

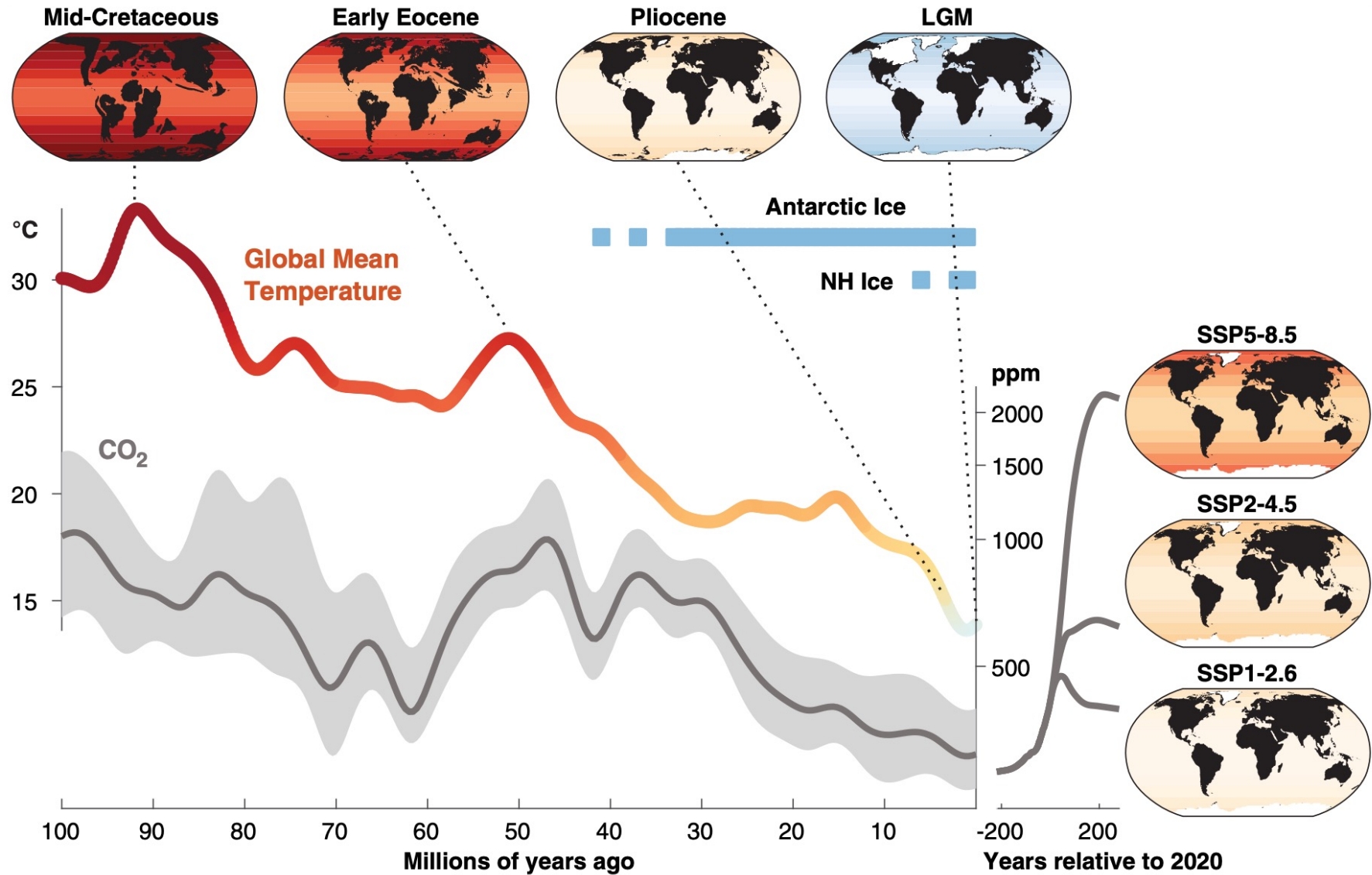
➤ Approches multi-traceurs (et même multi-archives) => reconstructions paléoclimatiques robustes

➤ **La modélisation du climat**

➤ La modélisation du climat



➤ La modélisation des climats passés, actuel et futurs





# INSTITUT PIERRE-SIMON LAPLACE

Sciences du climat

[L'IPSL](#) [RECHERCHE](#) [FORMATION](#) [SCIENCE & SOCIÉTÉ](#) [DÉCOUVRIR](#)

## La formation

L'ÉCOLE UNIVERSITAIRE DE RECHERCHE  
IPSL-CLIMATE GRADUATE SCHOOL

Un choix de formation par  
la recherche en sciences  
du climat et en  
planétologie

## À la Une



CAMPAGNE AWACA : MIEUX COMPRENDRE L'ÉVOLUTION DE LA CALOTTE GLACIAIRE

## Nous rejoindre

Nos offres d'emploi, de  
CDD, de stages...

## Découvrir



## La recherche

Des spécialistes de  
l'environnement, du  
climat et de l'exploration  
du système solaire

## La modélisation

Le Centre de modélisation  
du climat de l'IPSL (CMC)

## L'observation

Le Centre d'observation  
de la Terre de l'IPSL (CEO)

## L'accès aux données

Ensemble de Services  
Pour la Recherche à l'IPSL  
(ESPRI)

## Paléoclimats



Ce thème étudie l'évolution du climat de la Terre, ses mécanismes, et les réponses environnementales associées au cours des temps géologiques, pour comprendre la variabilité naturelle du climat.

 Explorer

Pour aller plus loin...

