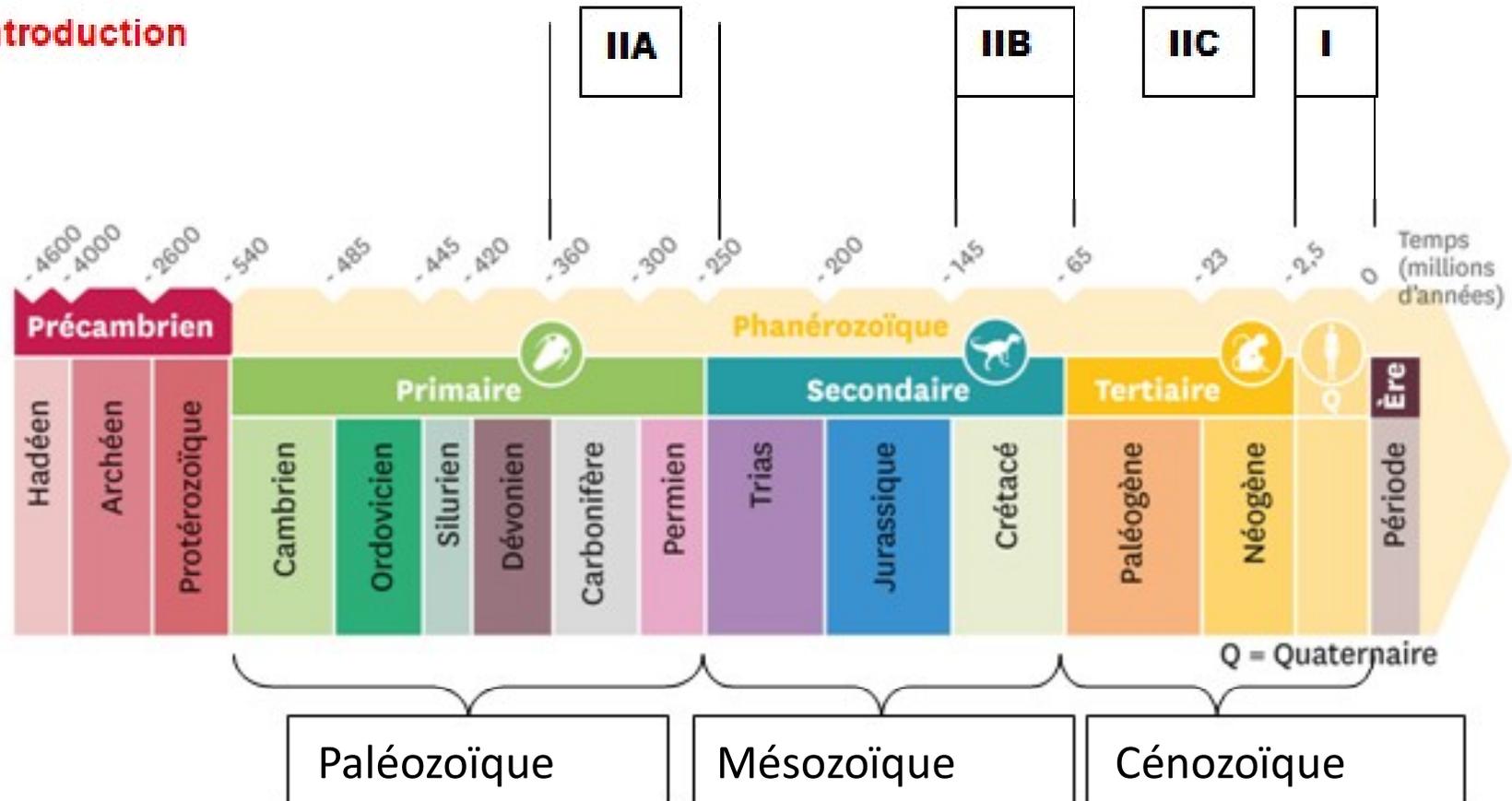


**Thème : Les climats de la Terre:
comprendre le passé pour agir
aujourd'hui et demain**

Chapitre 1 : Reconstituer et comprendre les variations climatiques passées

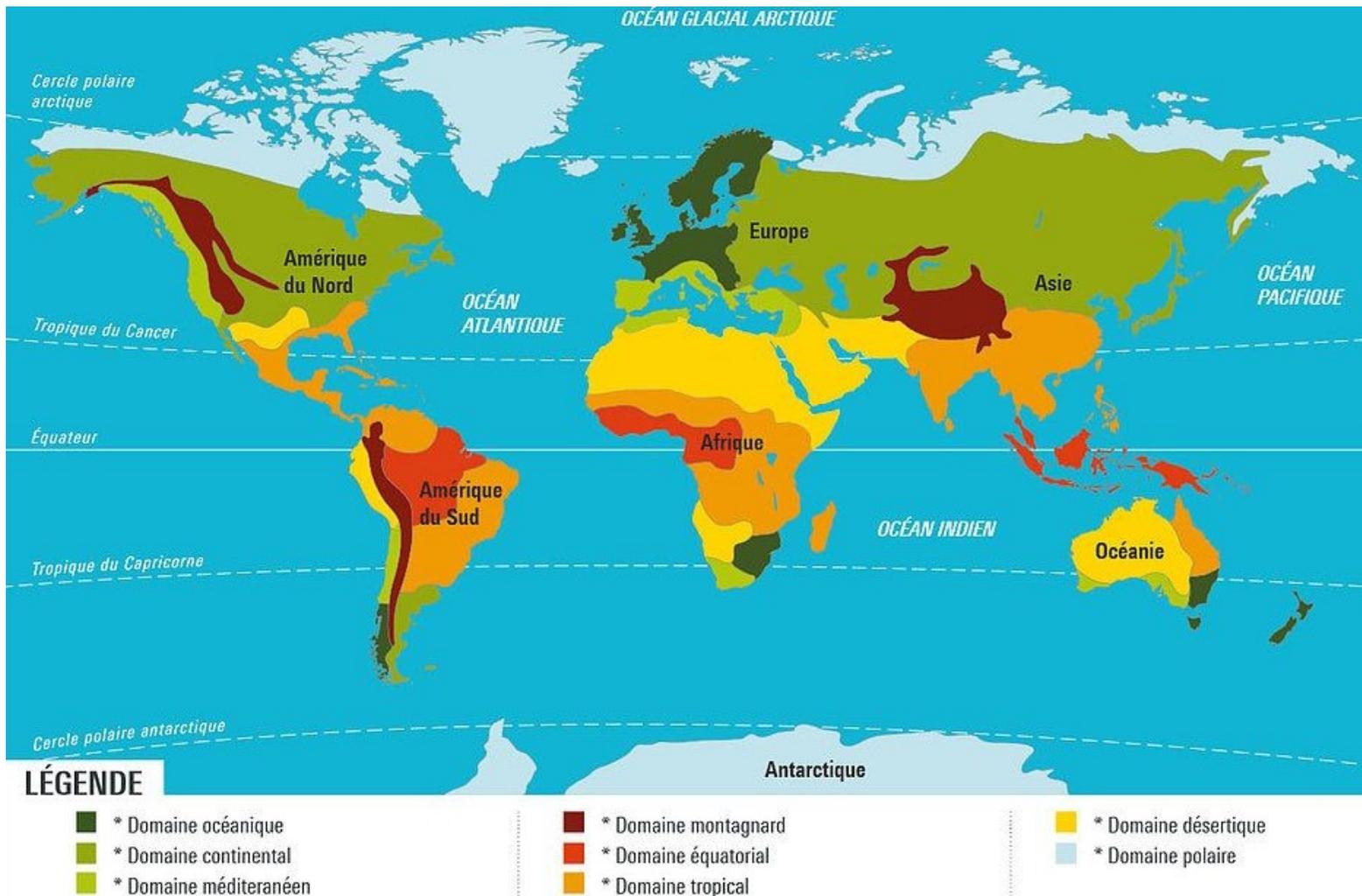
Introduction





Carte météo du 16 février 2020

La météorologie est une science qui étudie les phénomènes atmosphérique dans le but de faire des prévisions à court terme (jours ou semaines)



Principales zones climatiques actuelles de la Terre

La climatologie est une science qui étudie les variations du climat (défini par des conditions météorologiques – T°C, pluviométrie, ensoleillement, vents, pression atmosphérique – en un lieu sur un temps long) dans l’espace et le temps à moyen et long terme (années, siècles, périodes géologiques)

Problématique :

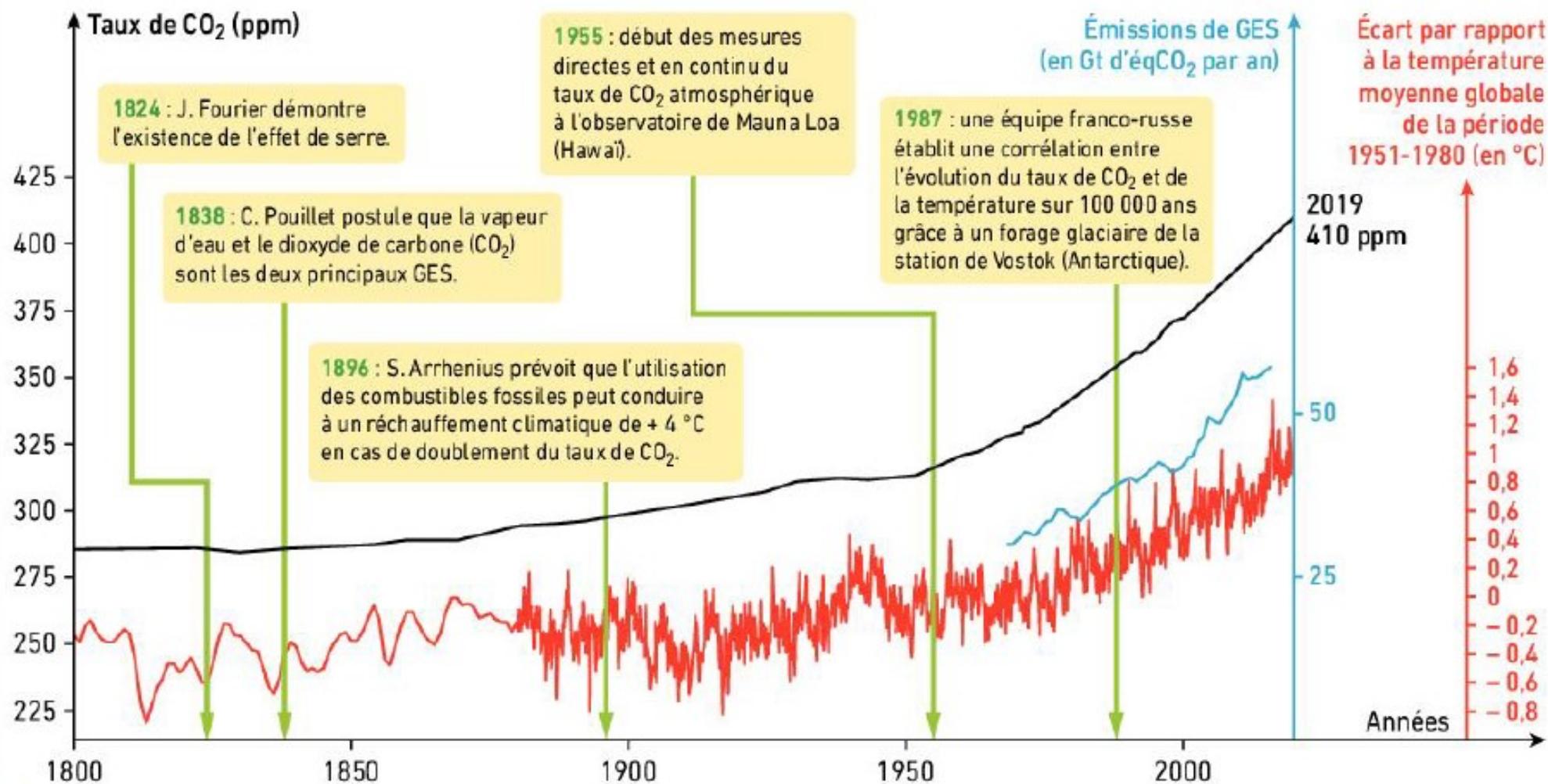
**Comment les scientifiques
reconstituent-t-ils les variations
climatiques passées ?**

Thème : Les climats de la Terre: comprendre le passé pour agir aujourd'hui et demain

Chapitre 1 : Reconstituer et comprendre les variations climatiques passées

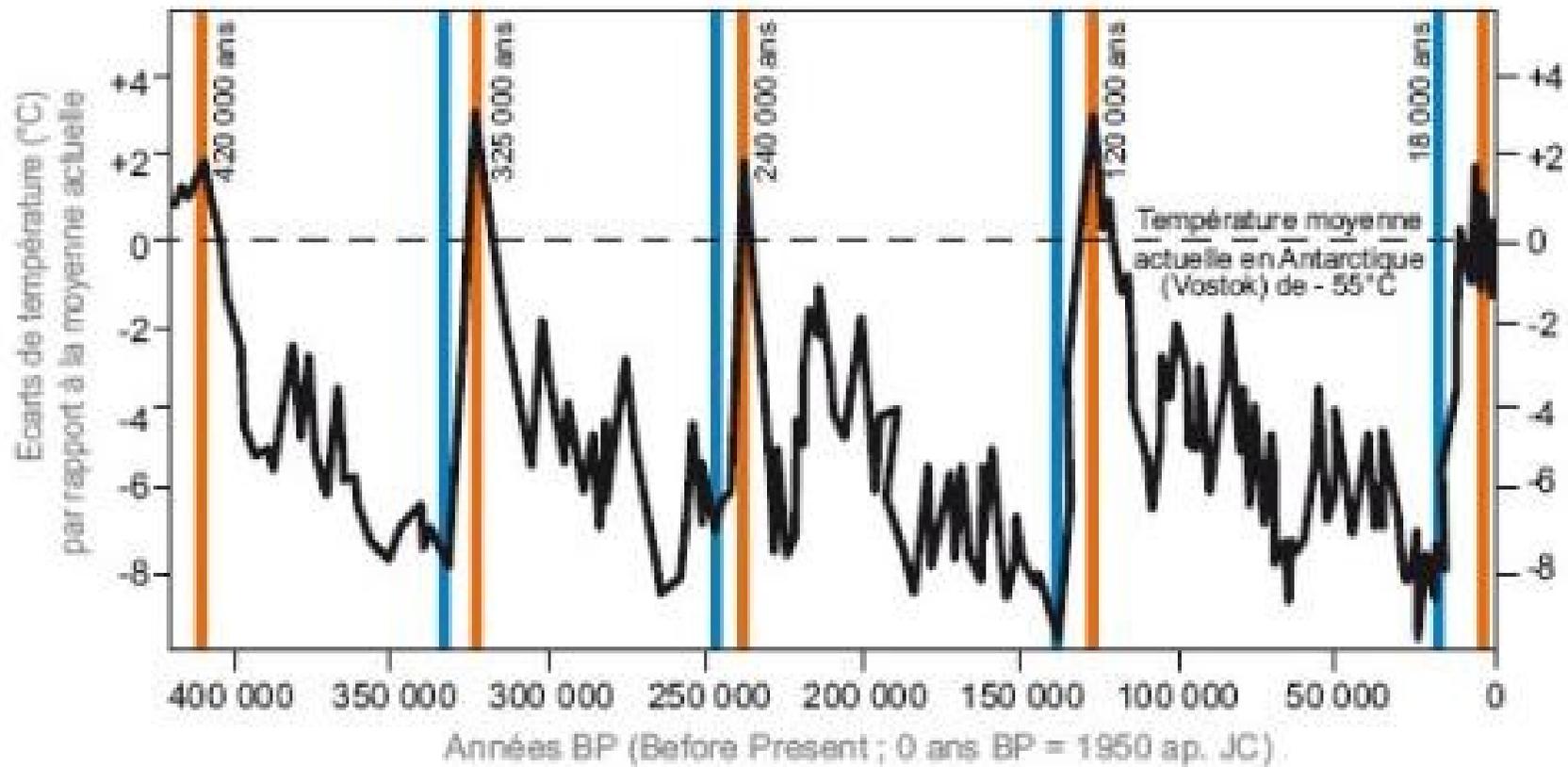
I. Les variations climatiques du quaternaire et leurs origines

A. les changements climatiques récents



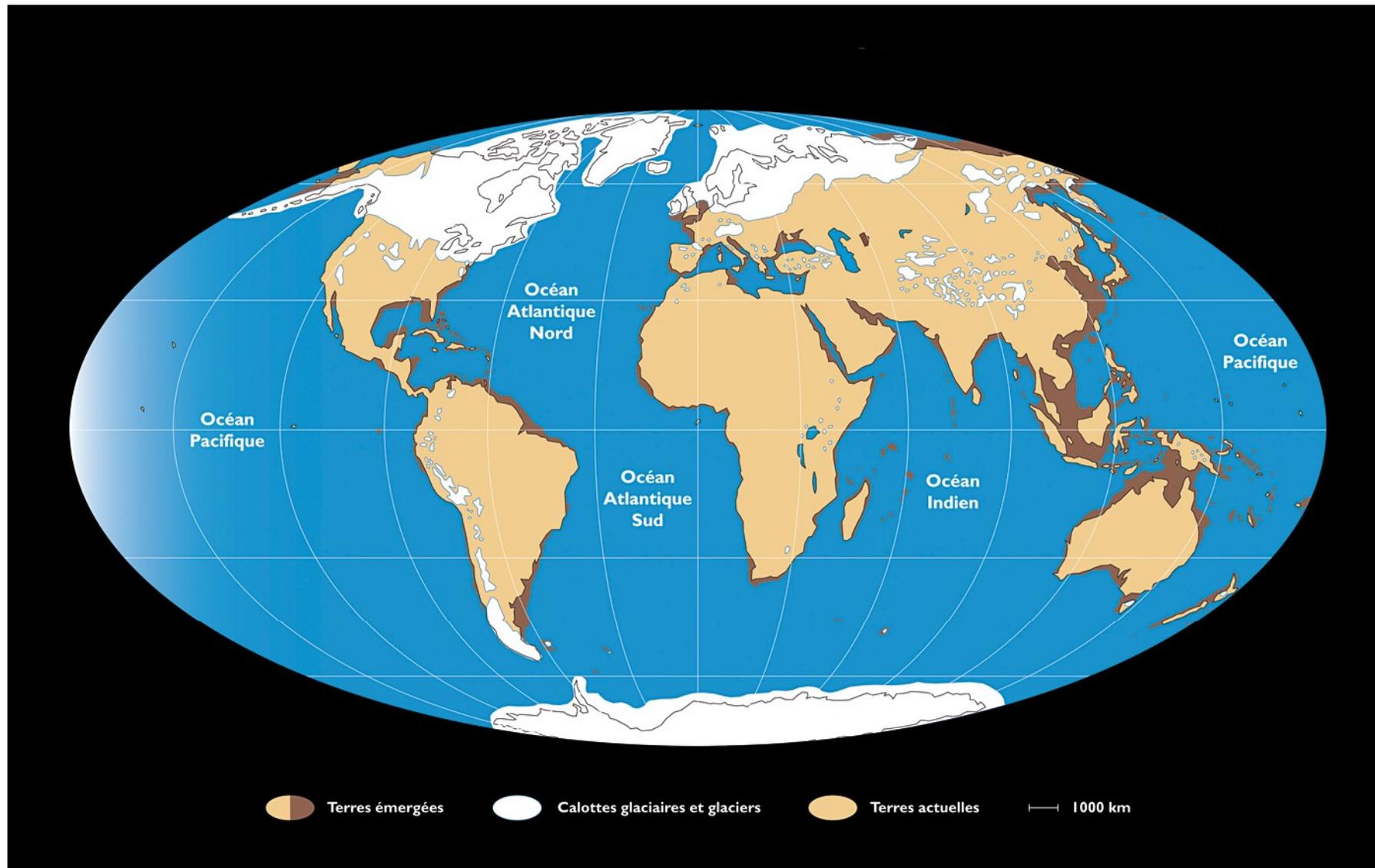
A Quelques repères historiques.

Des cycles climatiques réguliers



Reconstitution pour l'Antarctique (site de Vostock) de l'évolution des écarts de températures par rapport à la moyenne actuelle en Antarctique (Source : d'après Petit & al., 2000)

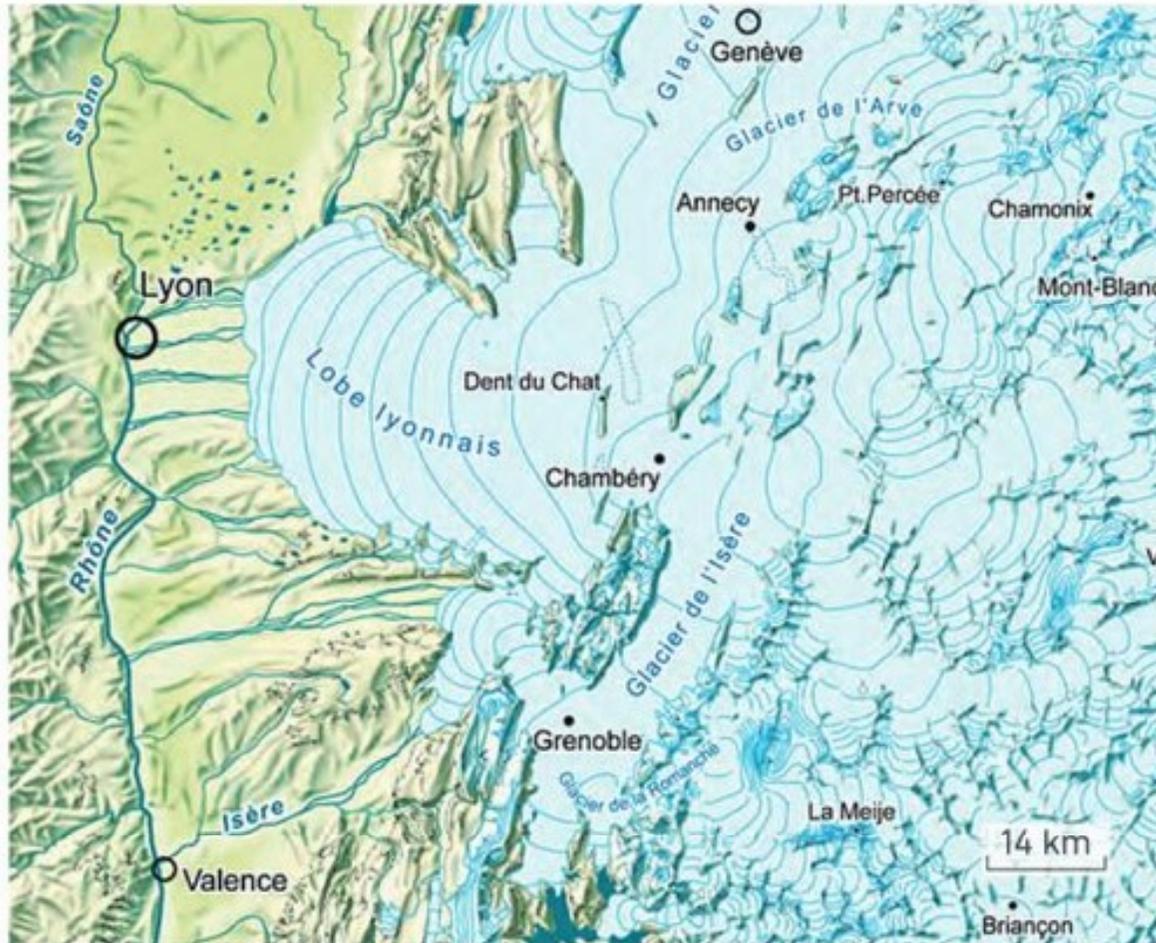
Würm : dernière phase glaciaire (-120000ans / - 11000ans)



Würm : dernière phase glaciaire (-120000ans / - 110000ans)



Würm : dernière phase glaciaire (-120000ans / - 11000ans)



D Extension des glaciers du nord des Alpes lors du dernier maximum glaciaire.

Thème : Les climats de la Terre: comprendre le passé pour agir aujourd'hui et demain

Chapitre 1 : Reconstituer et comprendre les variations climatiques passées

I. Les variations climatiques du quaternaire et leurs origines

A. les changements climatiques récents

B. les marqueurs de ces changements climatiques

1. les rapports isotopiques dans les cristaux de glace

Il est possible de retrouver les températures du passés

concentration des isotopes

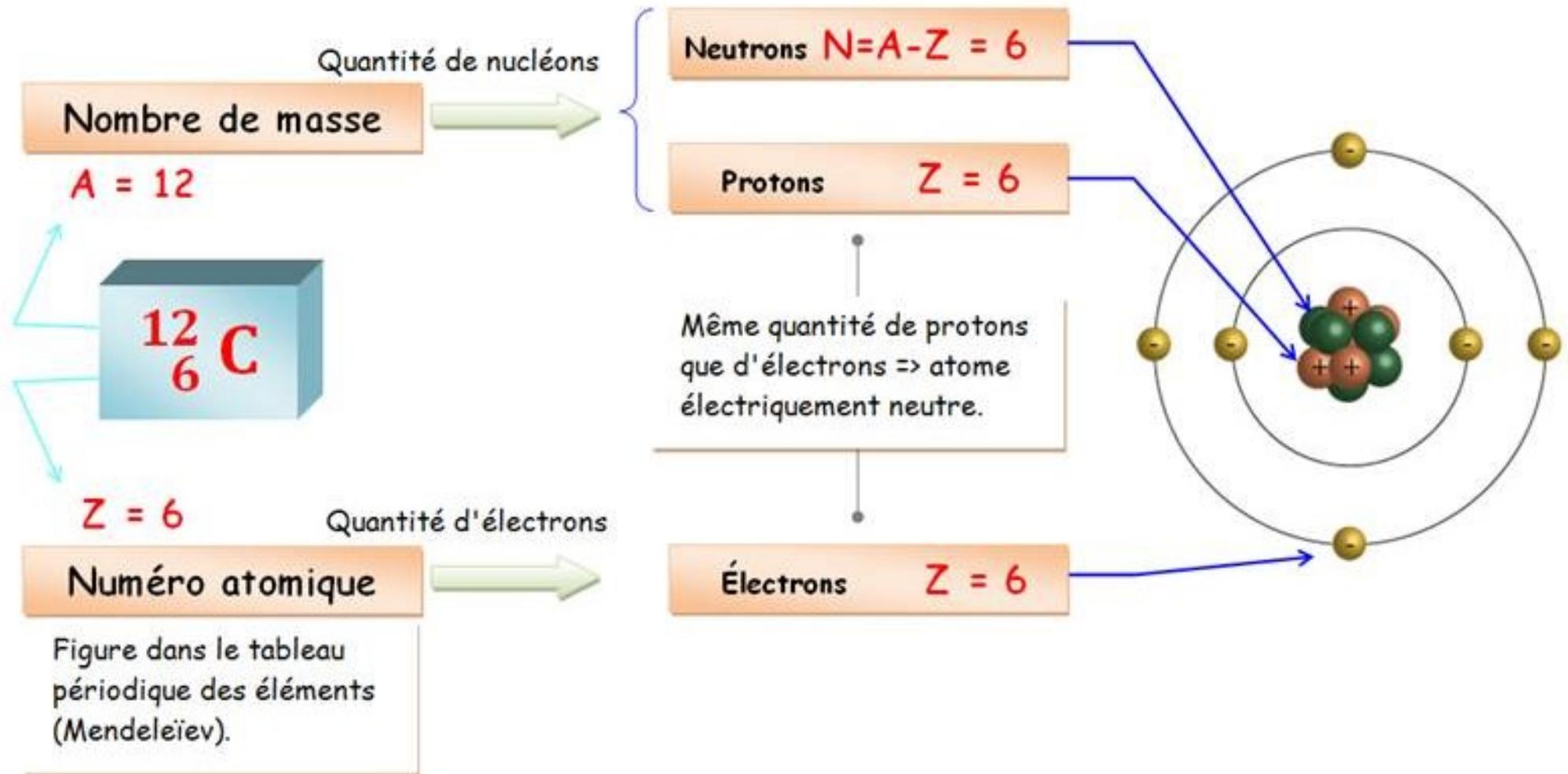
- de l'oxygène (^{16}O et ^{18}O)
- de l'hydrogène (^2H (D) et ^1H)

dans l'eau
donc dans la
glace....

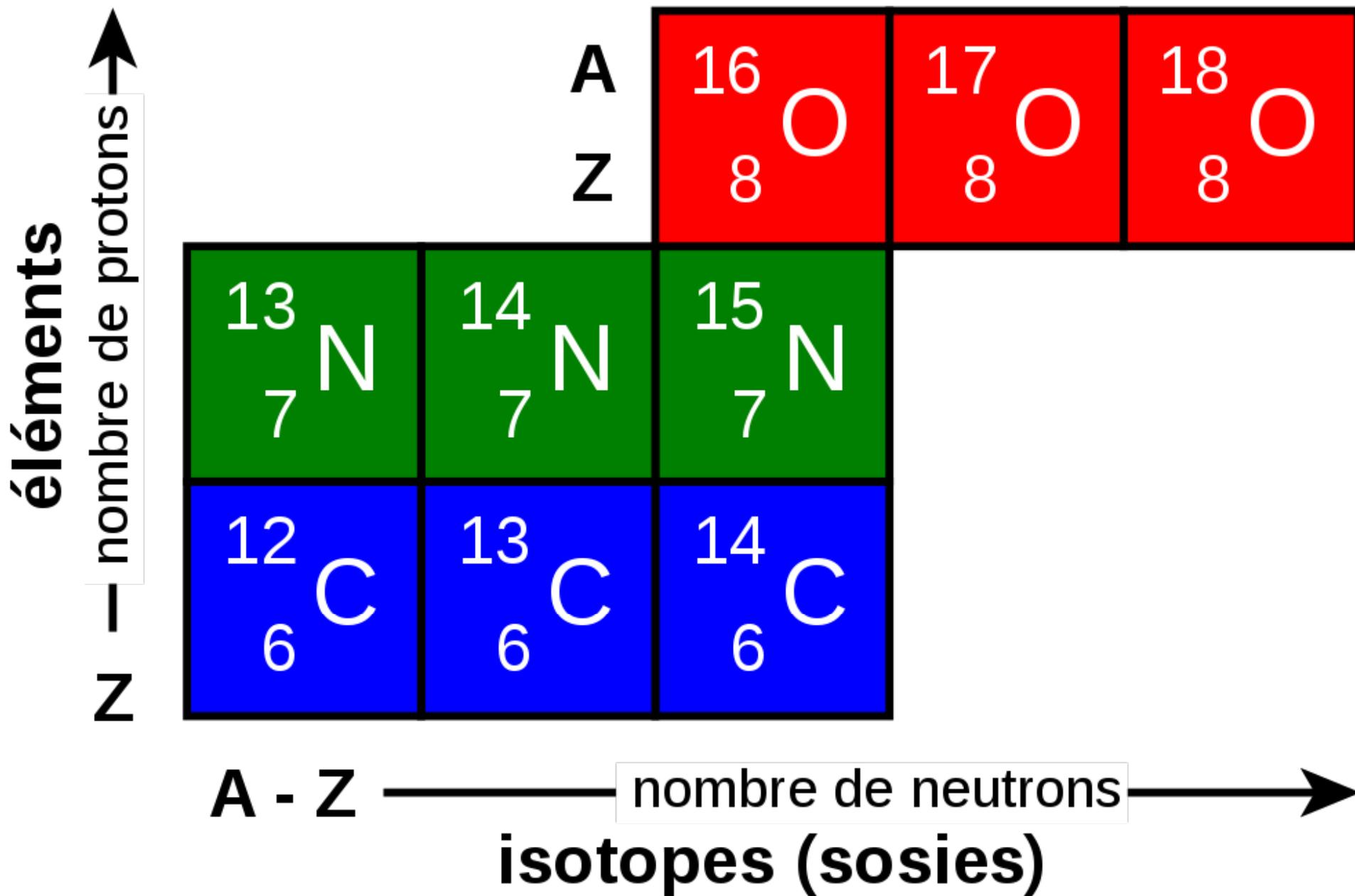


.....
Prélevée par
carottage

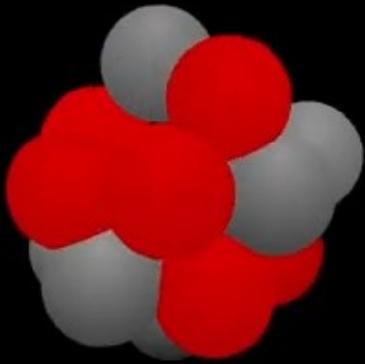
Principe du thermomètre isotopique



Principe du thermomètre isotopique

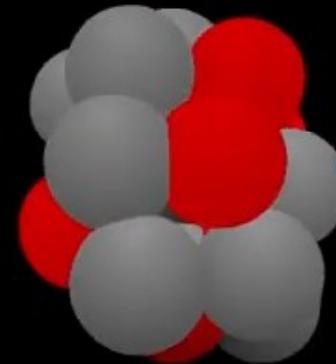


Noyaux d'oxygène



8 protons
8 neutrons

^{16}O



8 protons
10 neutrons

^{18}O



δ = rapport isotope lourd / isotope léger d'un échantillon rapporté au même rapport sur un standard

si le rapport de l'échantillon est inférieur ou égal au standard, le δ est négatif.

$$\text{ex. : } \delta^{18}\text{O} = \left(\frac{\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \text{ échantillon}}{\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \text{ standard}} - 1 \right) \times 1000$$

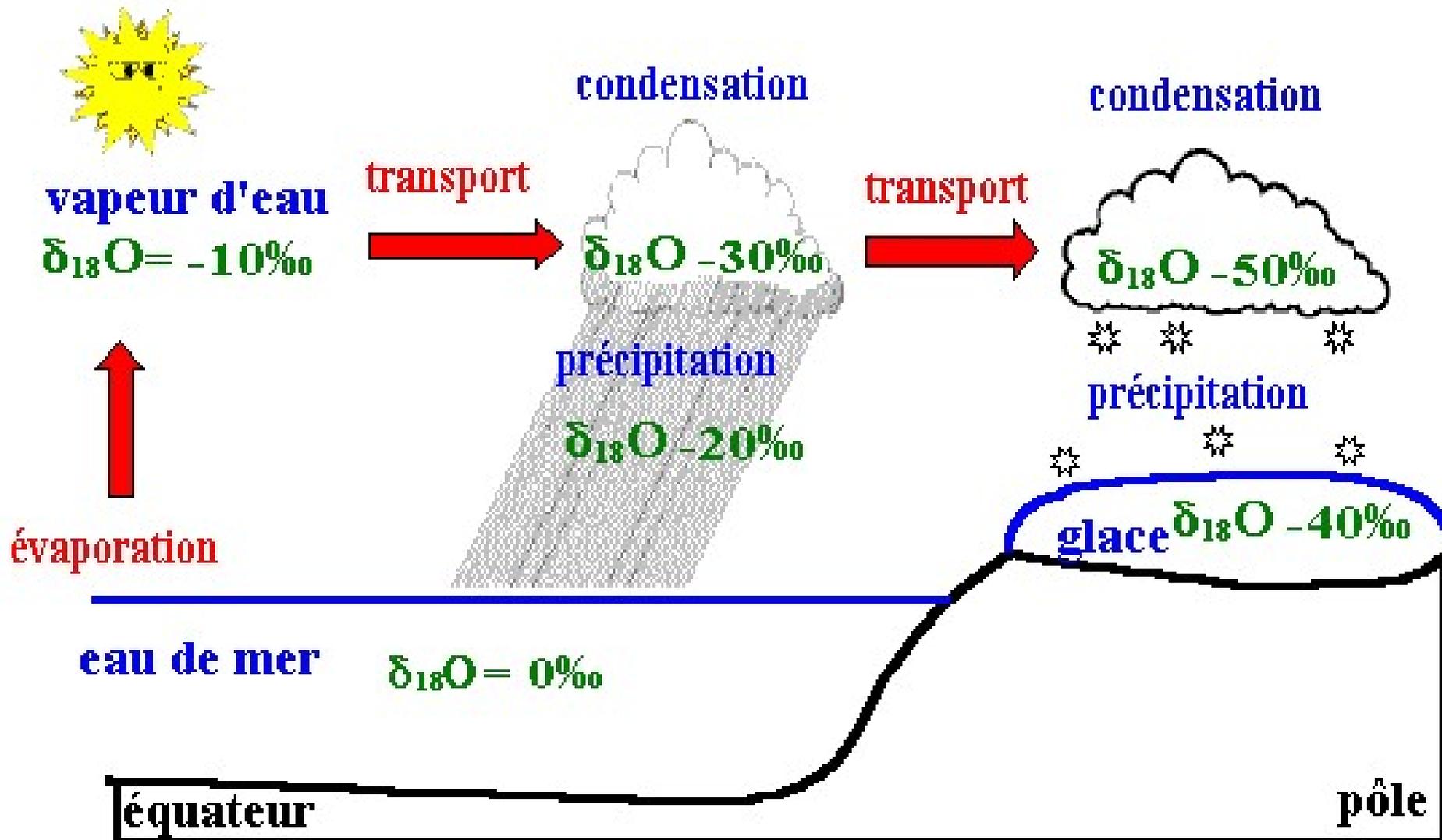
Standard = eau océanique moyenne normalisée actuelle

Principe du thermomètre isotopique

spectrométrie de masse à rapport isotopique

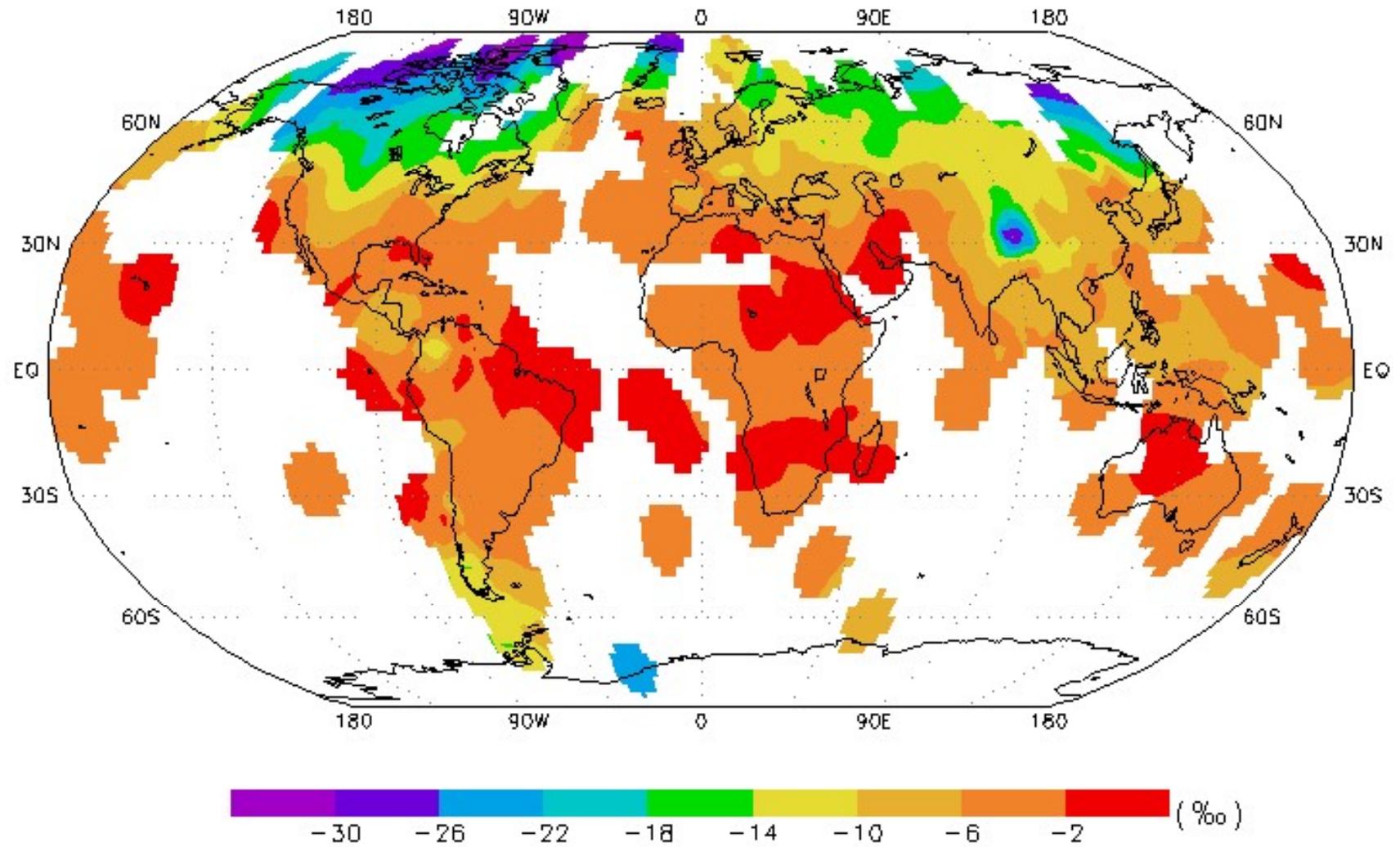


Fractionnement isotopique

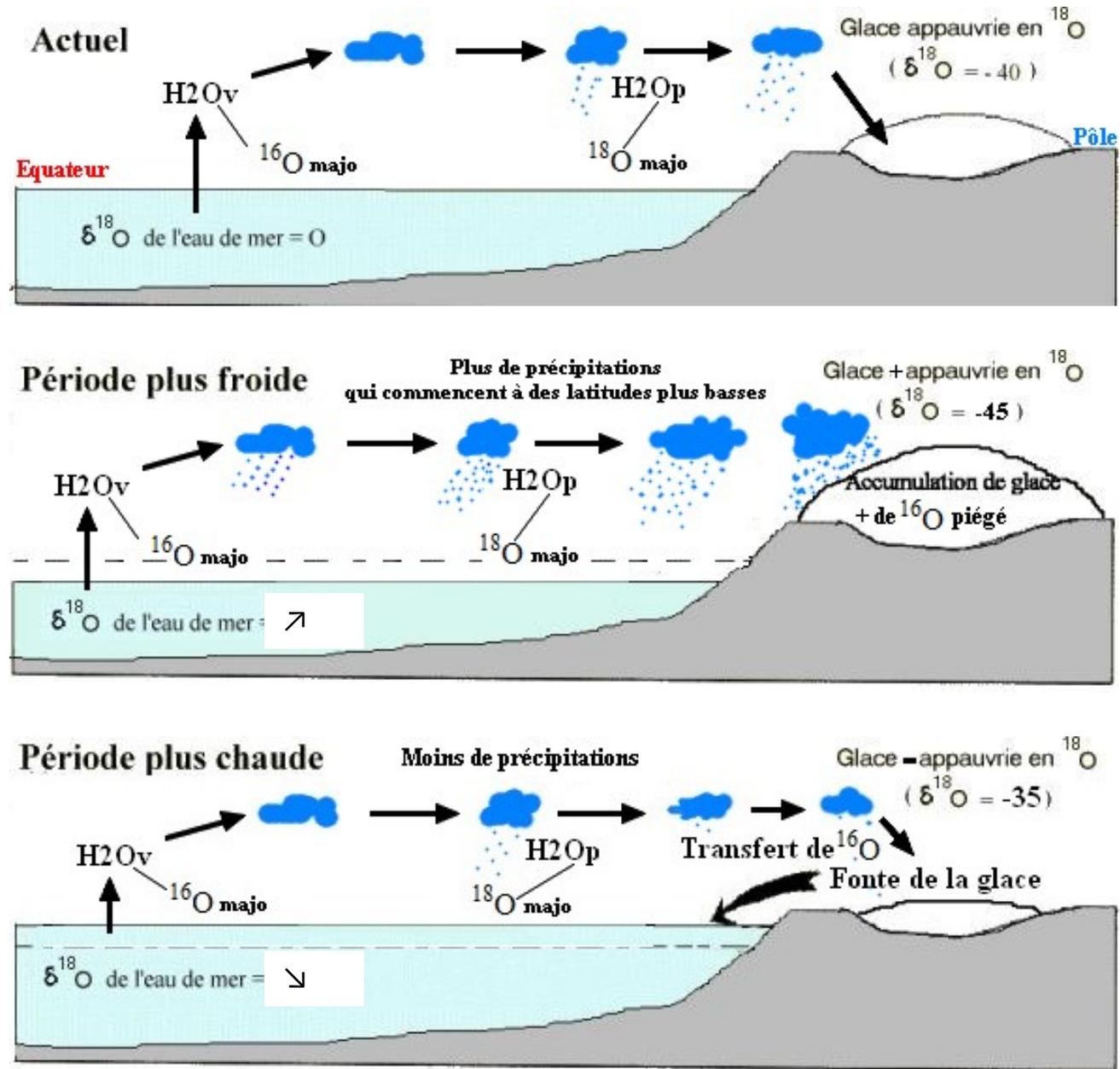


Fractionnement isotopique

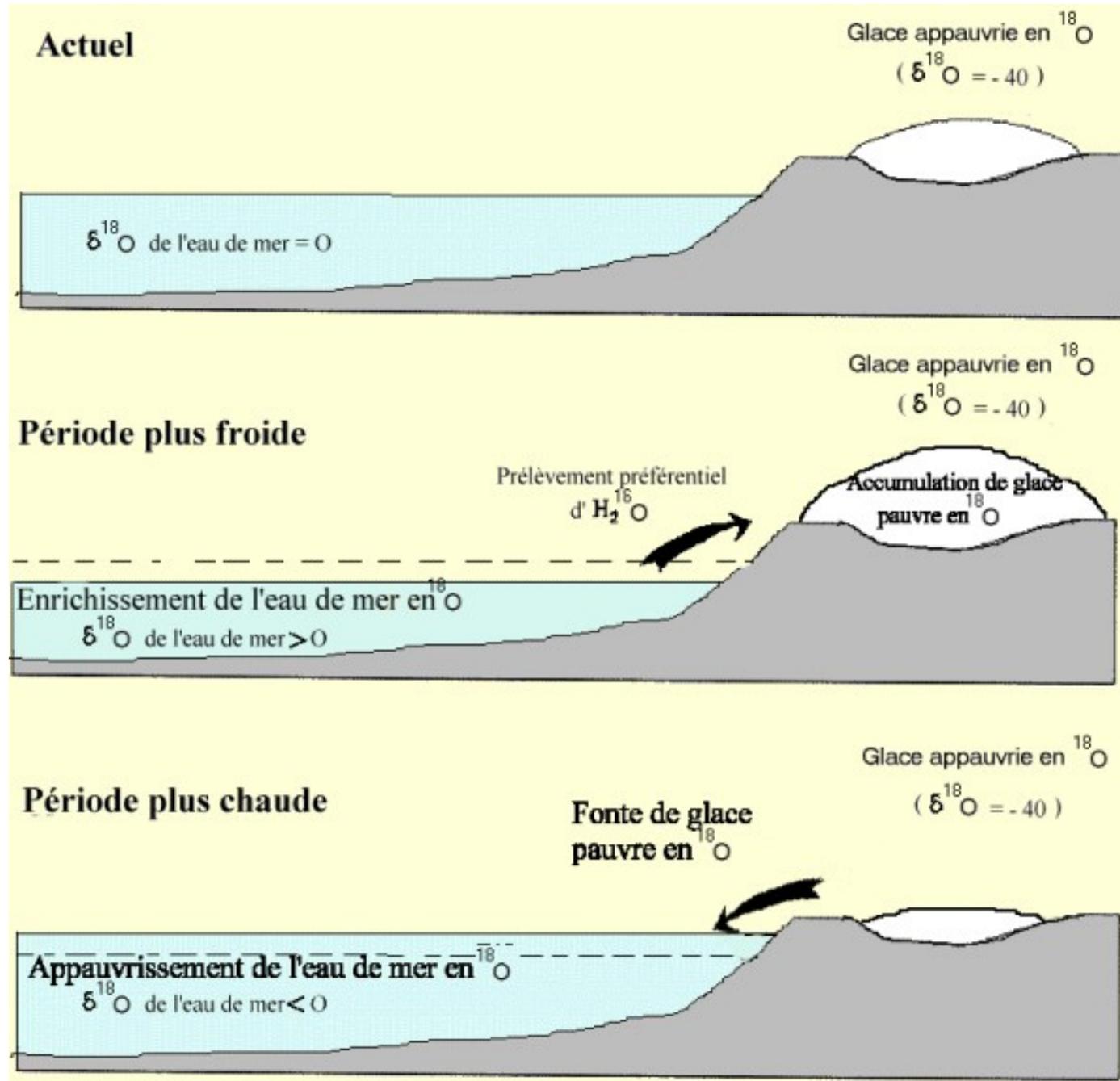
Weighted Annual $\delta^{18}\text{O}$



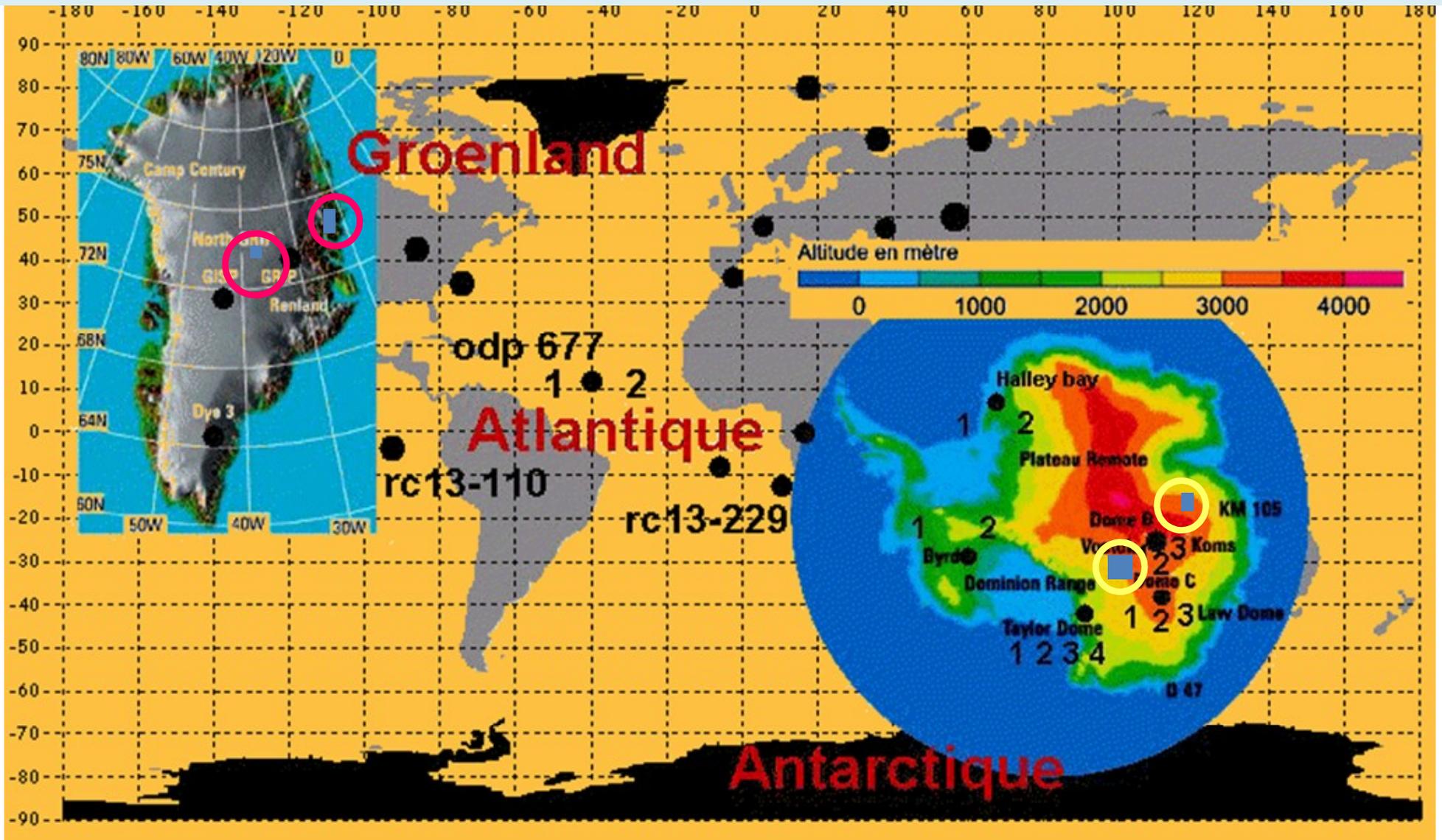
Principe du thermomètre isotopique



Fractionnement isotopique



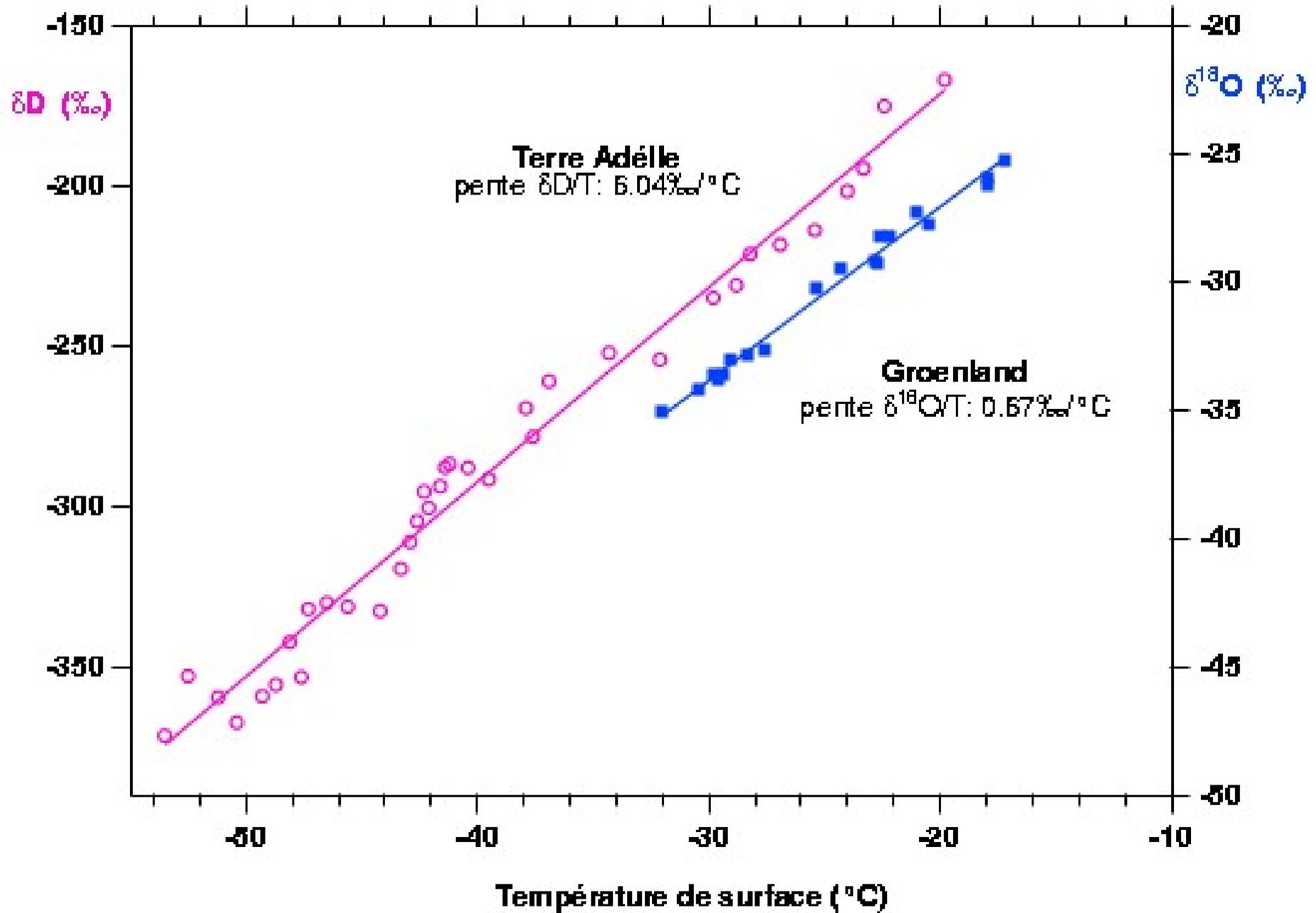
Principe du thermomètre isotopique



Carte de localisation des carottages

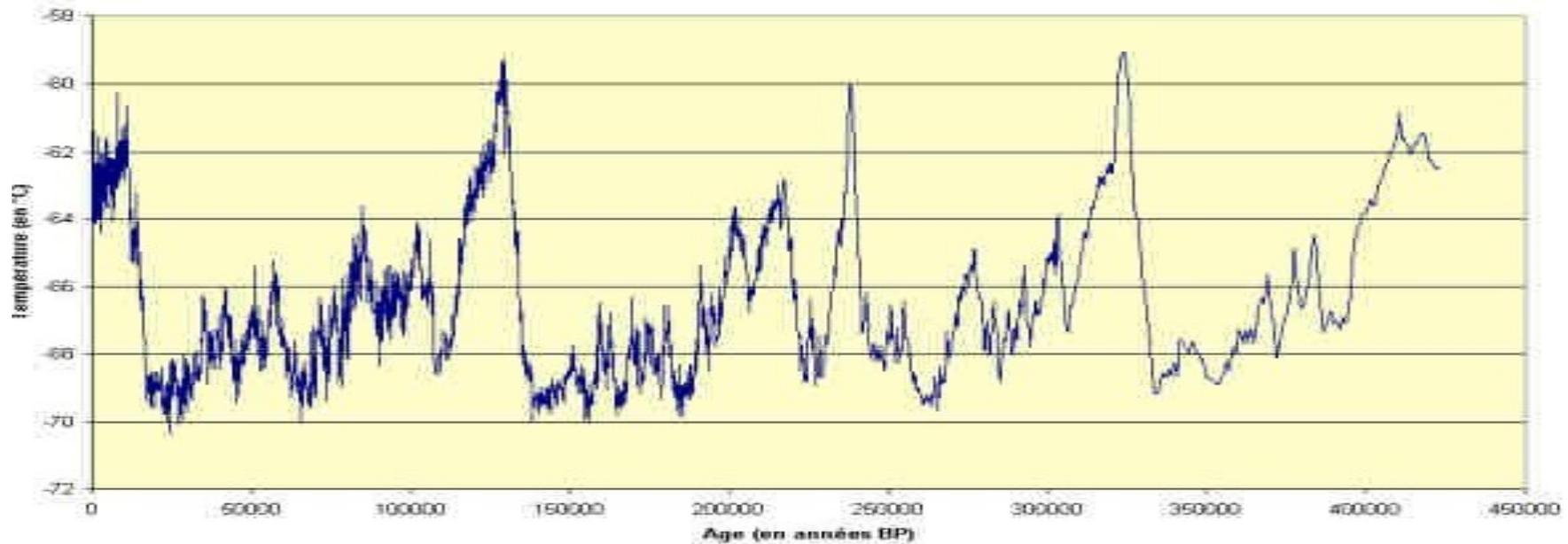
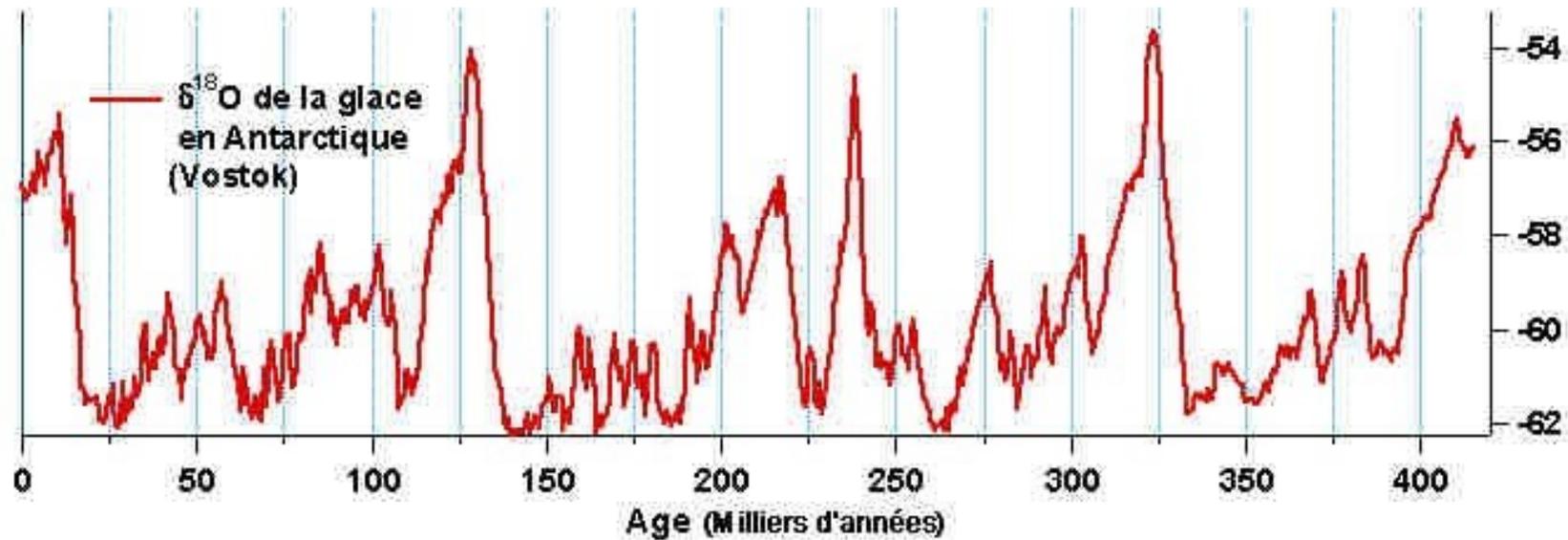
Principe du thermomètre isotopique

LE THERMOMETRE ISOTOPIQUE (Jouzel et al., 1994)



Principe d'actualisme : principe selon lequel les phénomènes géologiques passés se sont déroulés de la même manière qu'actuellement. De même, des êtres vivants similaires à des organismes actuels devaient vivre dans le même environnement (climat notamment).

Exploitation des données



Thème : Les climats de la Terre: comprendre le passé pour agir aujourd'hui et demain

Chapitre 1 : Reconstituer et comprendre les variations climatiques passées

I. Les variations climatiques du quaternaire et leurs origines

A. les changements climatiques récents

B. les marqueurs de ces changements climatiques

1. les rapports isotopiques dans les cristaux de glace

2. les grains de pollens

Le grain de pollen : un outil microscopique
(5 à 200 μm)

Le pollen est:

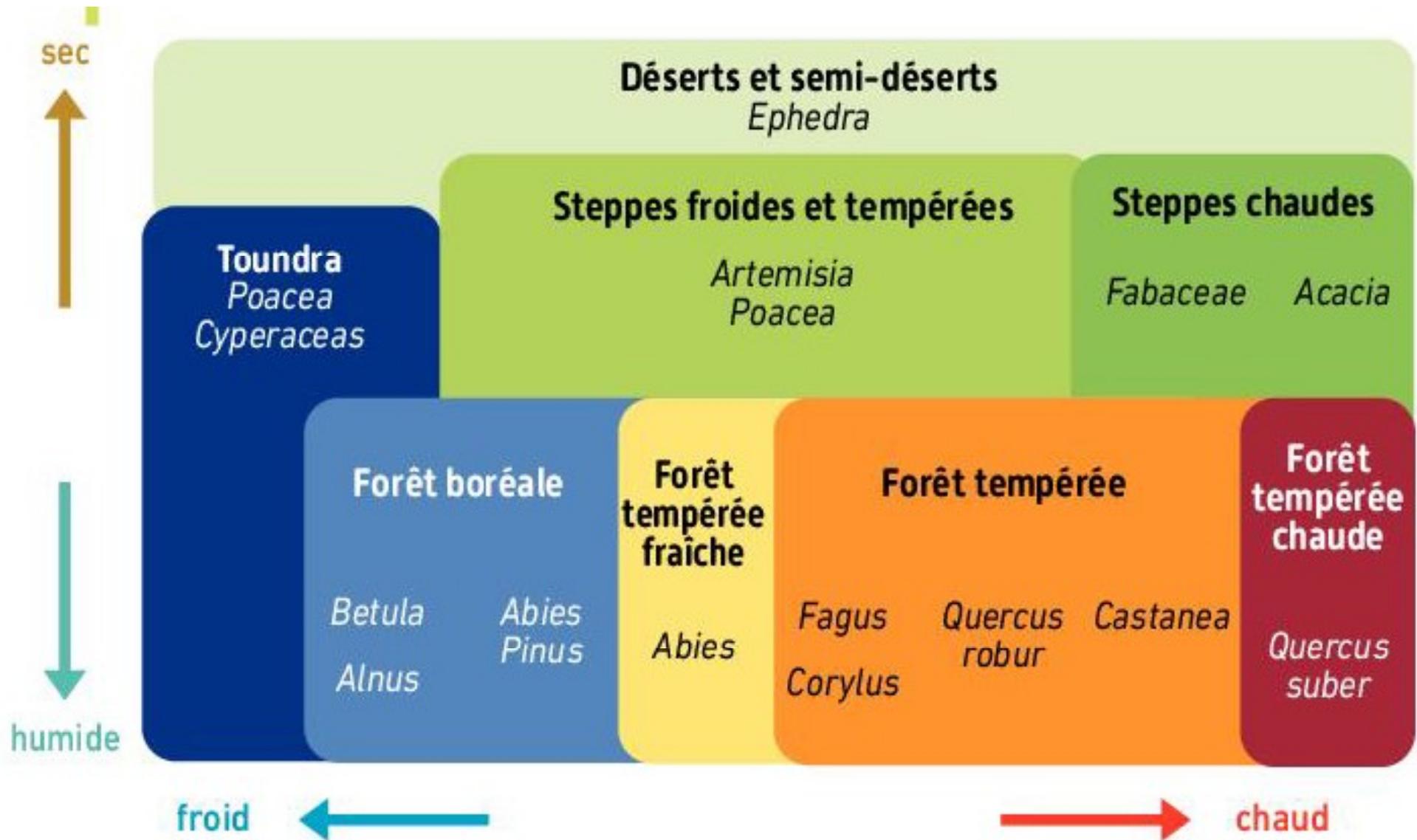
- ✓ petit,
- ✓ léger,
- ✓ émis en très grand nombre
- ✓ très résistant à la décomposition.
- ✓ de forme et de taille variable

0 20 μm

1 μ = 0.0010000mm

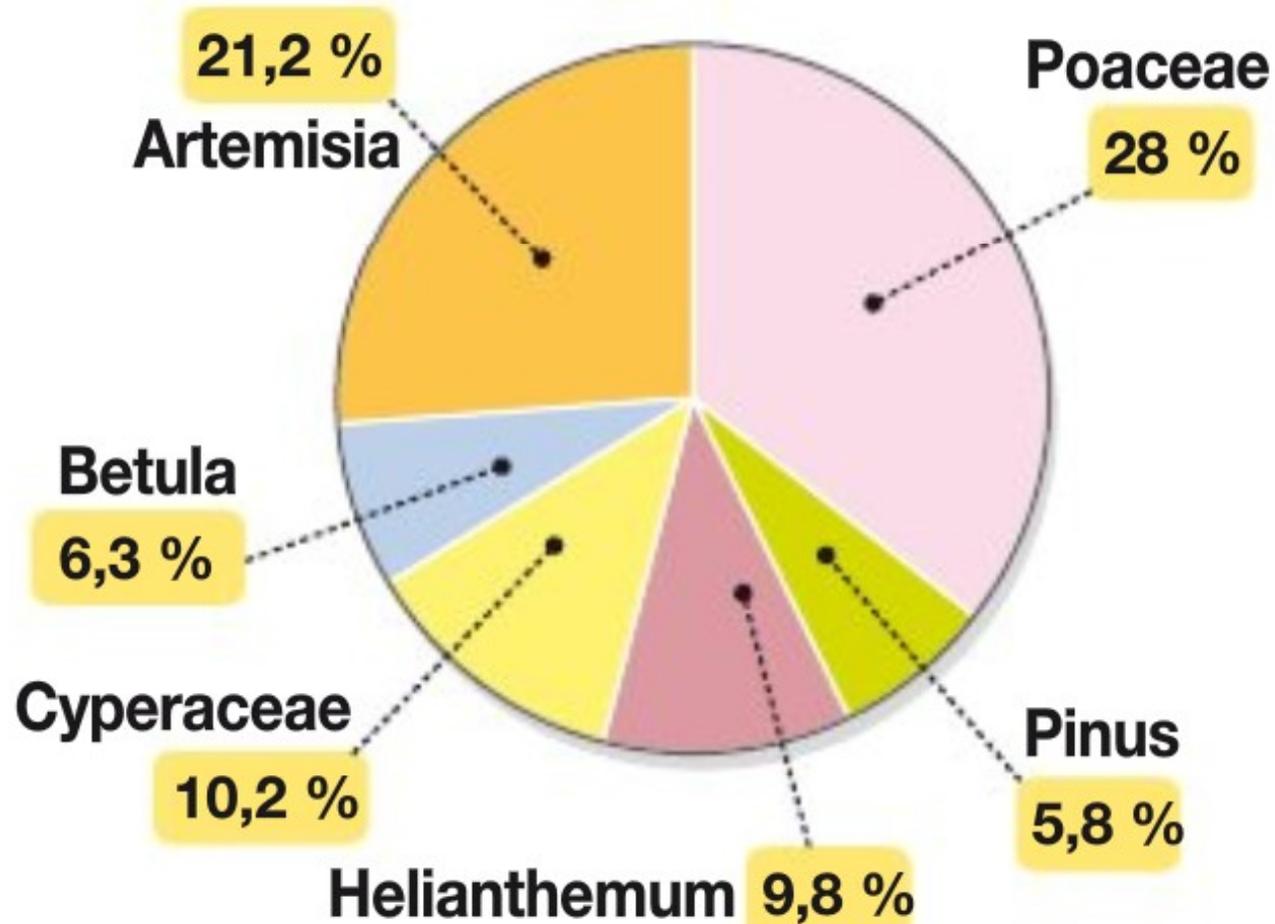
Pinus (pin)

Les pollens, archives du climat

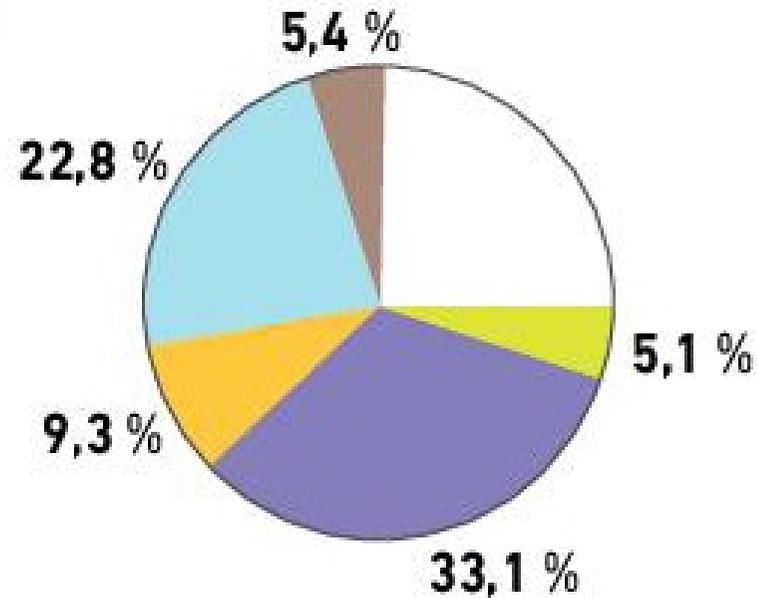


A Les associations végétales typiques des différents biomes.

évaluation (à partir de comptage) du pourcentage de chaque type de pollen

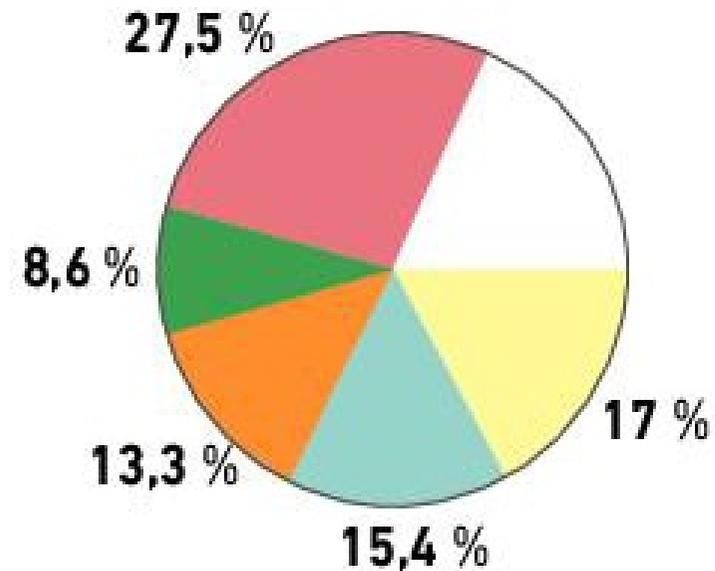


Un spectre pollinique



- Abies
- Corylus
- Alnus
- Fagus
- Quercus robur
- autres pollens (< 5 % chacun)

à 3,20 m de profondeur
1 438 ans BP

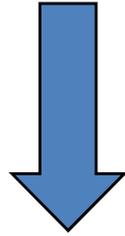


- Artemisia
| Cyperaceae |
| Betula |
| Helianthemum |
| Poaceae |
| autres pollens (< 4 % chacun) |

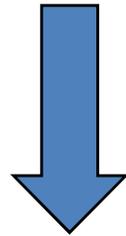
à 10,75 m de profondeur
13 600 ans BP

B Spectres polliniques établis pour deux époques différentes dans les sédiments du lac d'Amsoldingen.

un spectre pollinique



Reconstitution de l'association végétale
(**biome**) présente à une époque

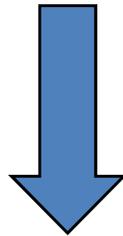


indicatrice d'un climat particulier

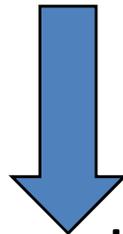
Pour une région donnée



addition des spectres polliniques
= un diagramme pollinique



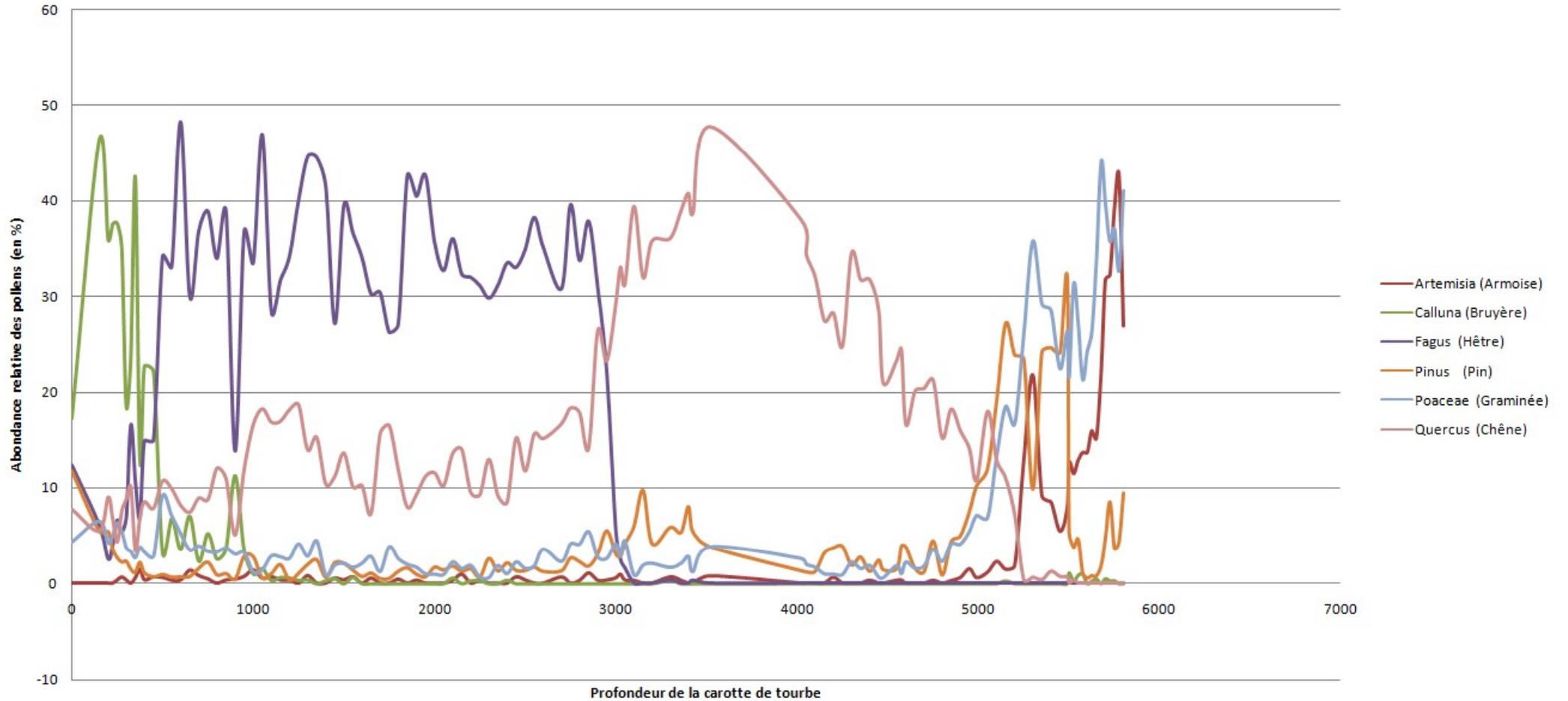
Evolution des biomes au cours du temps.



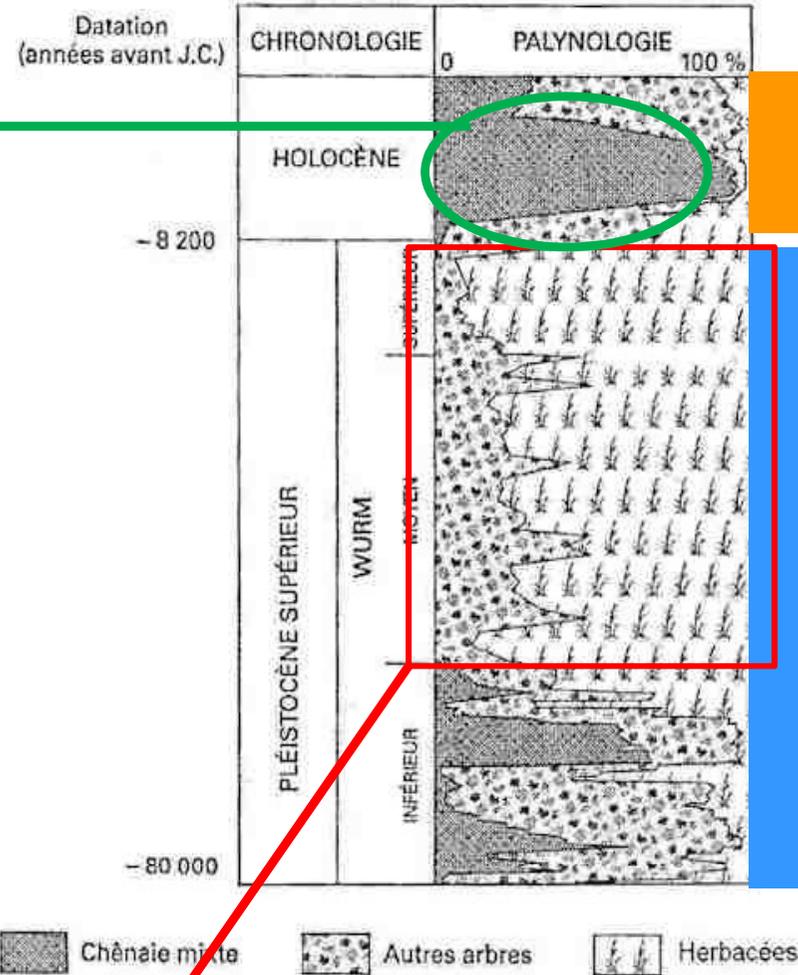
grandes variations climatiques récentes.

Les pollens, archives du climat

Abondance relative des pollens en fonction de la profondeur de la carotte de tourbe prélevée dans le lac de Chambedaze en Auvergne



Les pollens, archives du climat



Période inter-glaciaire (donc réchauffement)

Période glaciaire du Wurm

Exigences écologiques d'espèces végétales actuelles

Espèces	Températures moyennes en °C	Conditions climatiques
Chêne pédonculé	10 à 15	tempérées à chaudes
Pin sylvestre	7 à 13	tempérées
Epicéa	5 à 8	froides et humides
Herbacées	< 5	froides et sèches

Thème : Les climats de la Terre: comprendre le passé pour agir aujourd'hui et demain

Chapitre 1 : Reconstituer et comprendre les variations climatiques passées

I. I. Les variations climatiques du quaternaire et leurs origines

A. les changements climatiques récents

B. les marqueurs de ces changements climatiques

1. les rapports isotopiques dans les cristaux de glace

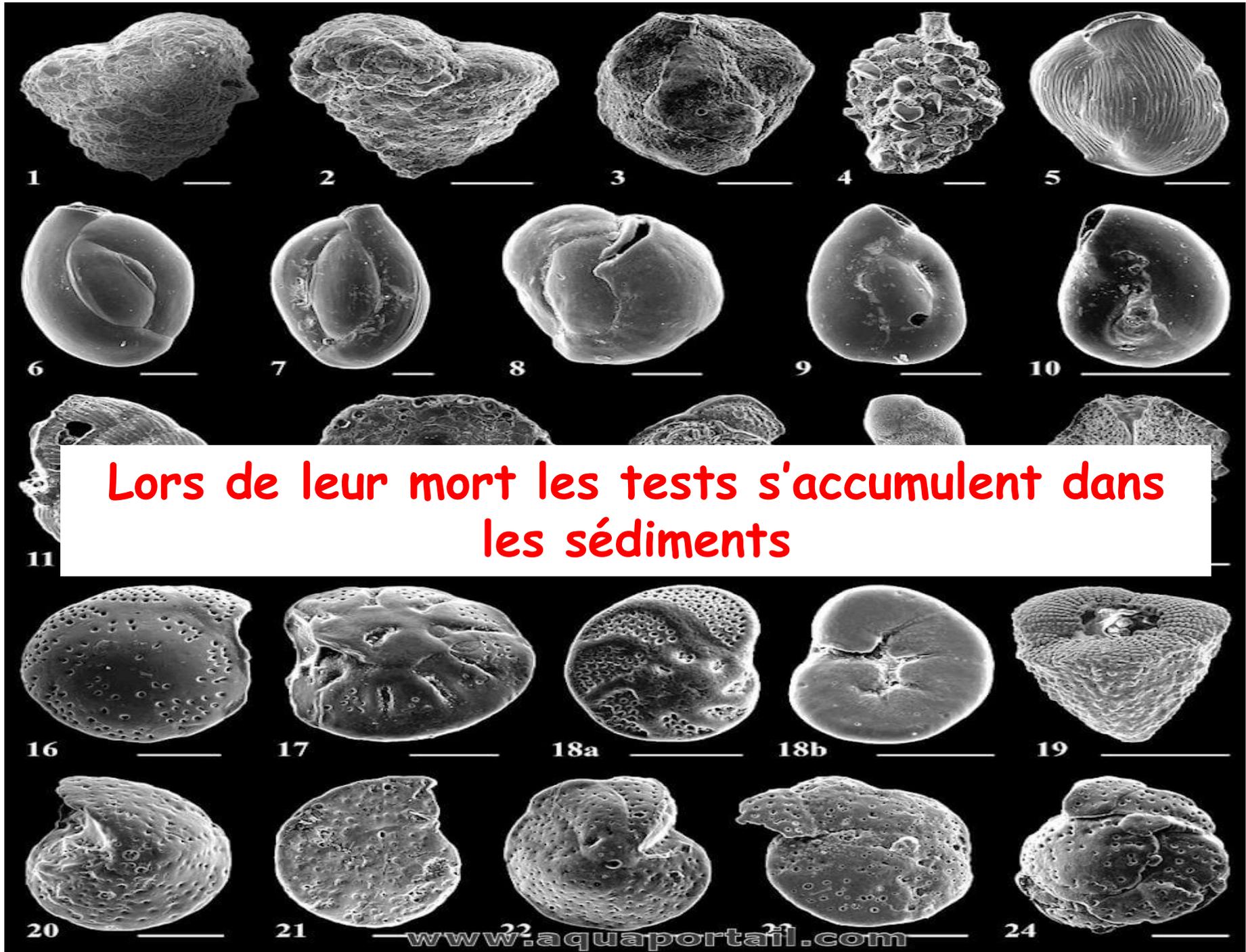
2. les grains de pollens

3. les microfossiles marins

Les foraminifères organismes unicellulaires (protozoaires) aquatiques fabriquent un test calcaire (CaCO_3) qui les caractérise



Les foraminifères



Deux méthodes pour obtenir des informations sur les paléotempératures de l'eau de mer à partir des tests fossilisés :

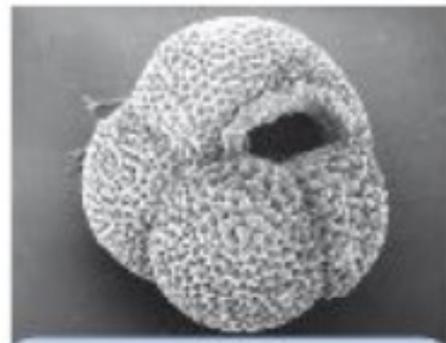
- En faisant une étude statistique des espèces de foraminifères présentes dans les sédiments
- En mesurant le $\delta^{18}\text{O}$ des tests carbonatés

Deux méthodes pour obtenir des informations sur les paléotempératures de l'eau de mer à partir des tests fossilisés :

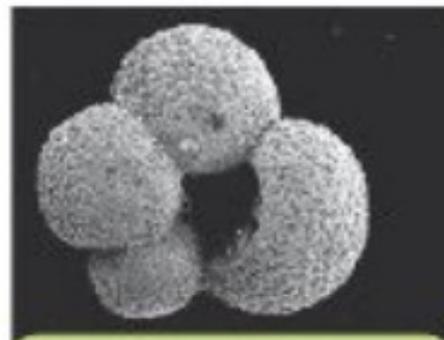
- En faisant une étude statistique des espèces de foraminifères présentes dans les sédiments

Les foraminifères

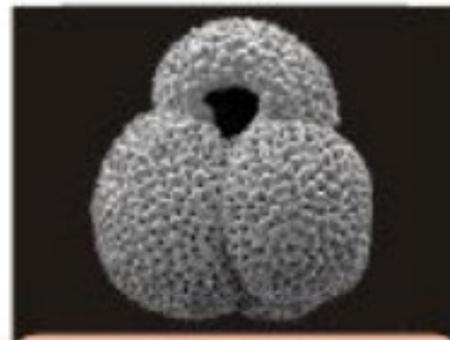
abondances relatives des différents foraminifères



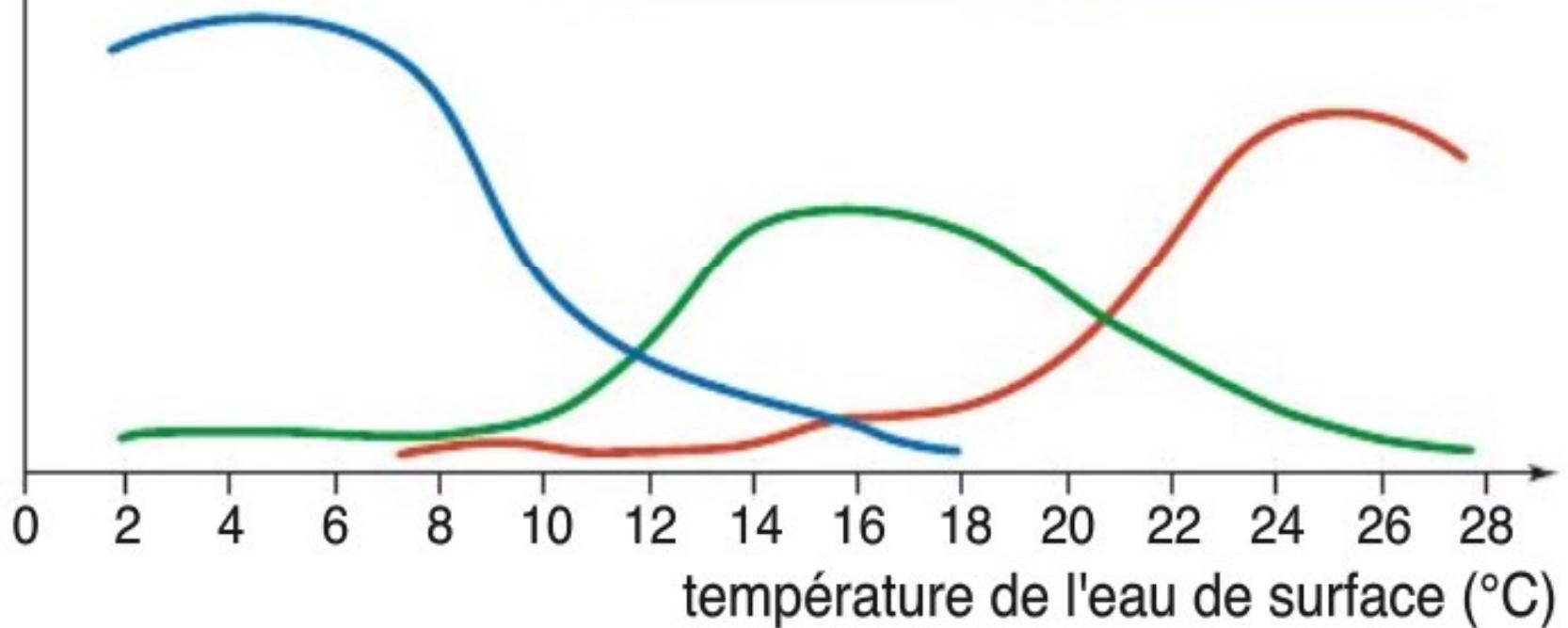
*Neogloboquadrina
pachyderma*



*Globigerina
bulloides*

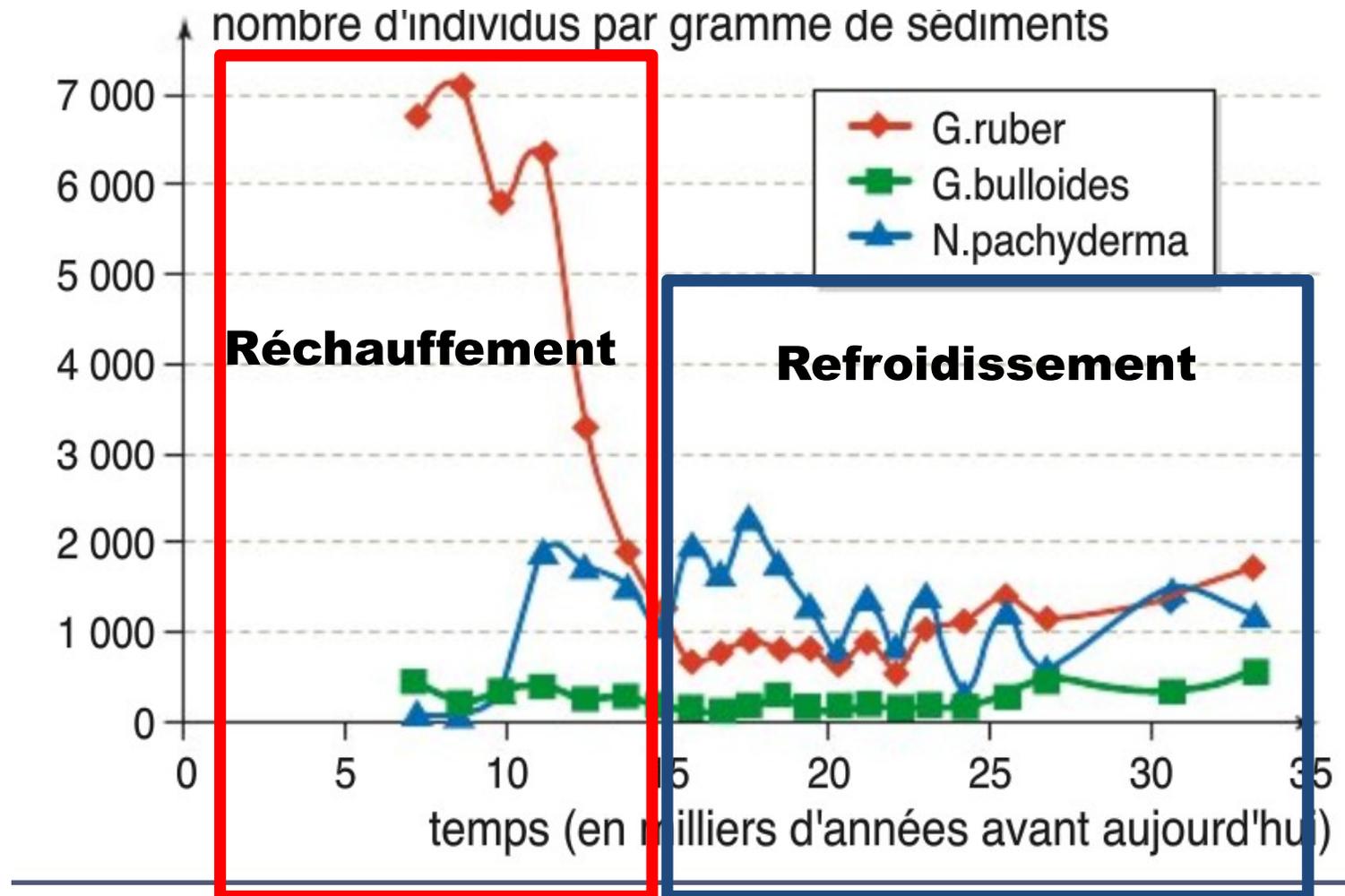
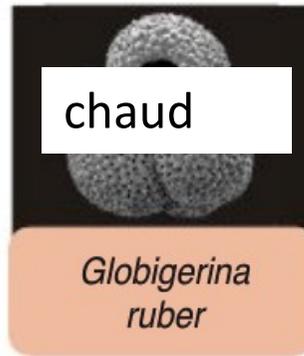
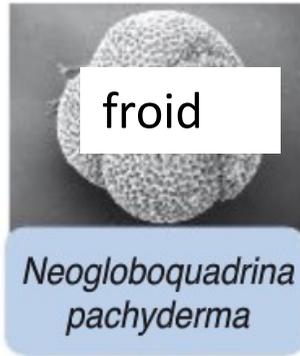


*Globigerina
ruber*



Les foraminifères

abondances relatives des différents foraminifères



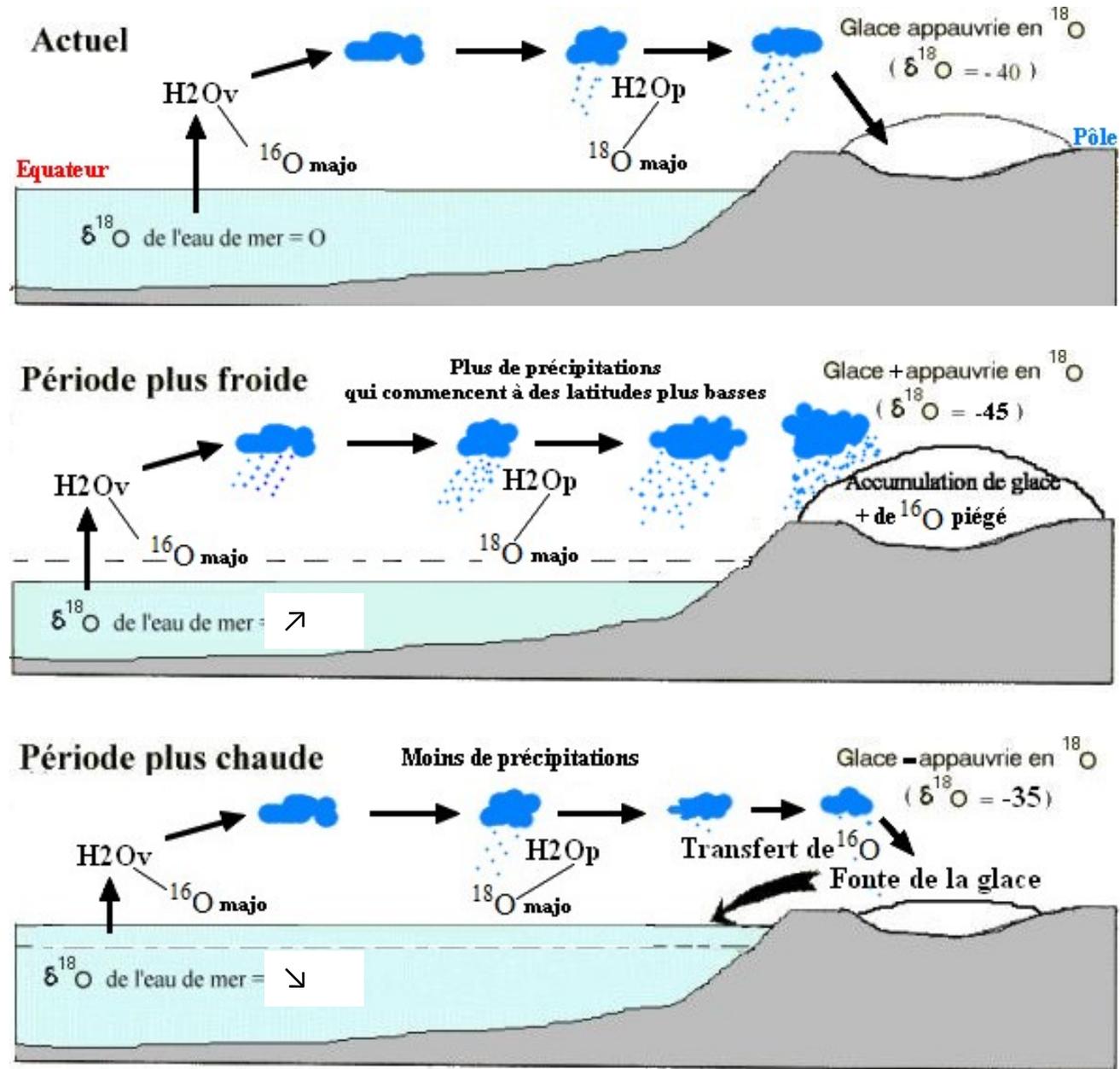
Deux méthodes pour obtenir des informations sur les paléotempératures de l'eau de mer à partir des tests fossilisés :

- En mesurant le $\delta^{18}\text{O}$ des tests carbonatés

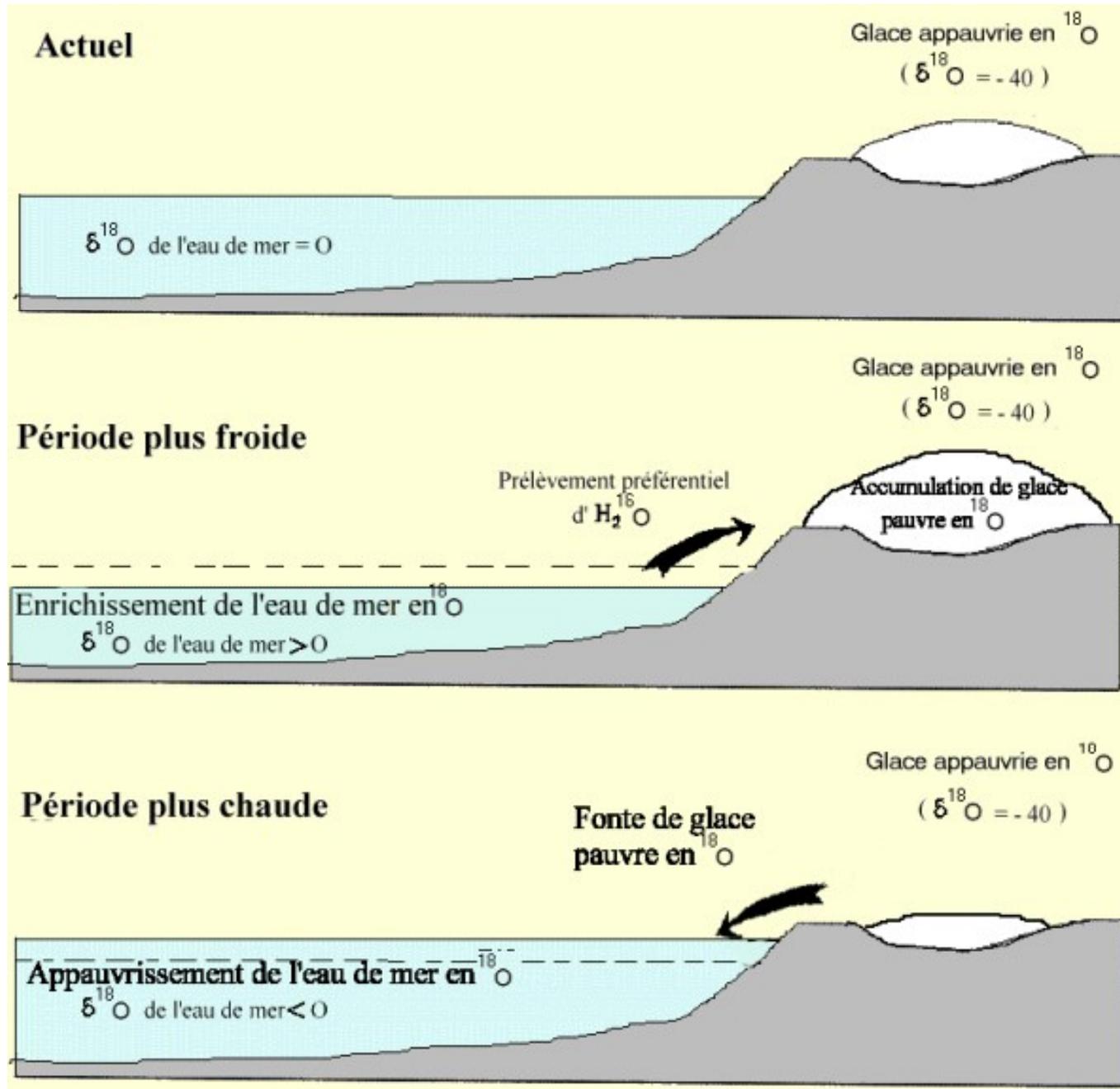
Le test carbonaté (CaCO_3) contient ^{18}O et ^{16}O ,
 dont la composition varie avec la **température** de l'eau de mer
 environnante

$$\delta^{18}\text{O} \text{ en } \text{‰} = \left[\frac{\left[\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right]_{\text{échantillon}}}{\left[\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right]_{\text{PDB}}} - 1 \right] \times 1000$$

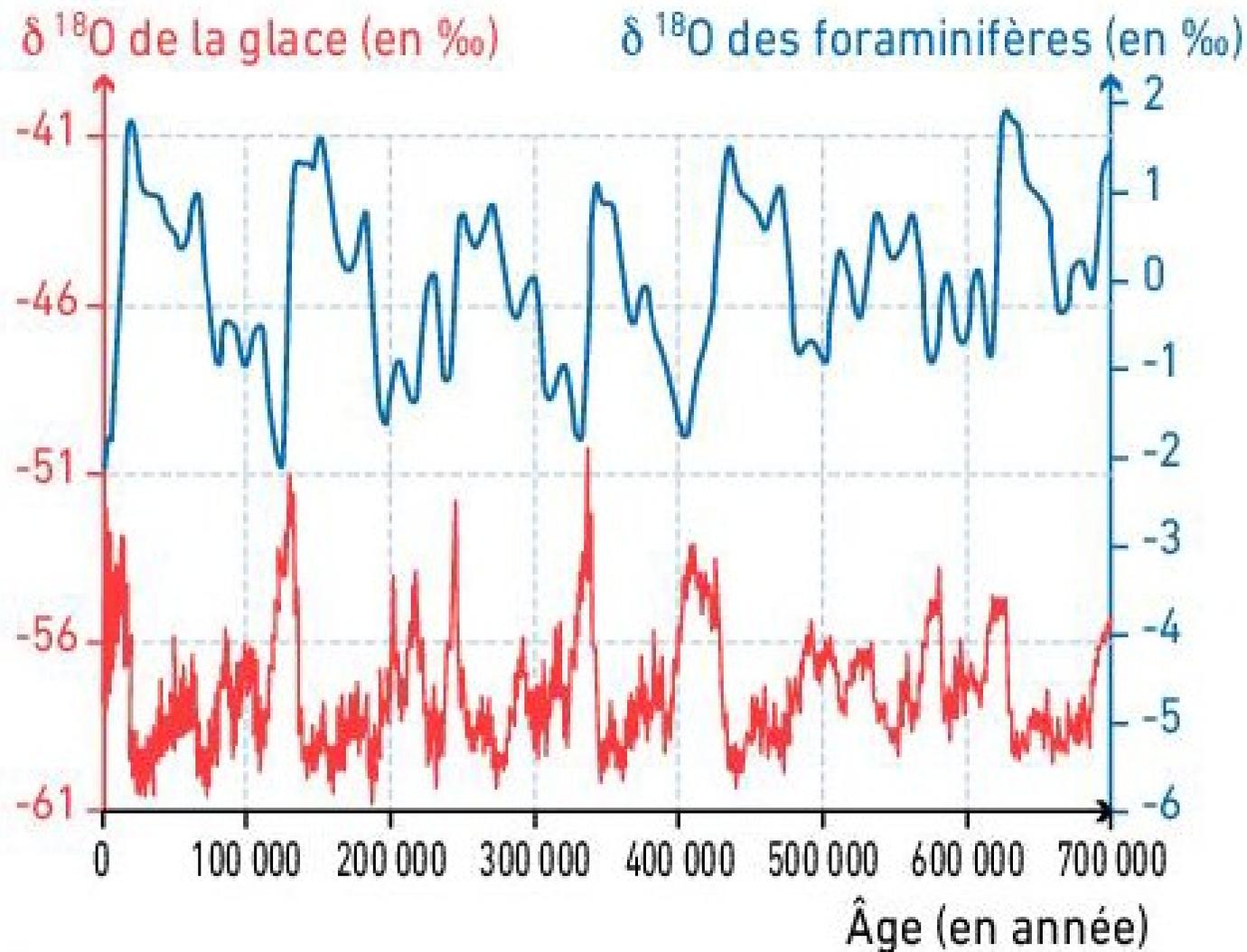
Principe du thermomètre isotopique



Principe du thermomètre isotopique



$\delta^{18}\text{O}$ des foraminifères

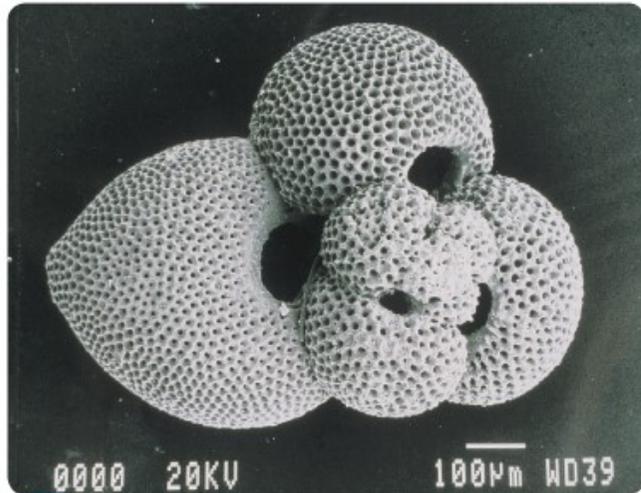


B Évolution des $\delta^{18}\text{O}$ des foraminifères et de la glace au cours des 700 000 dernières années.

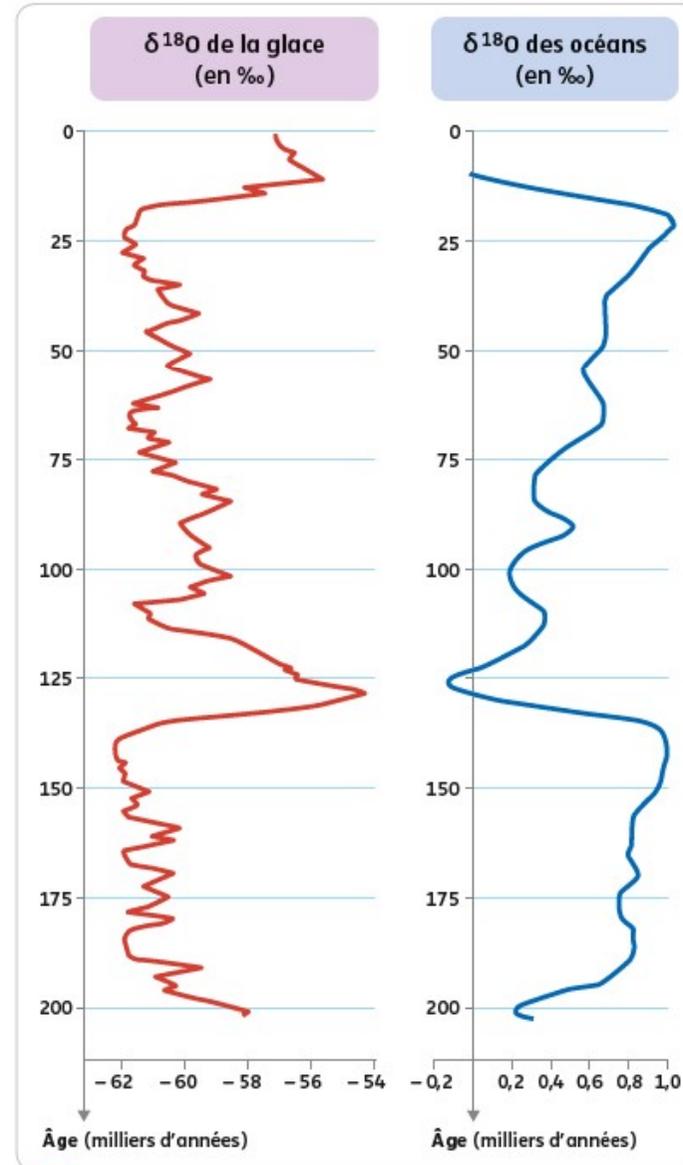
$\delta^{18}\text{O}$ des foraminifères



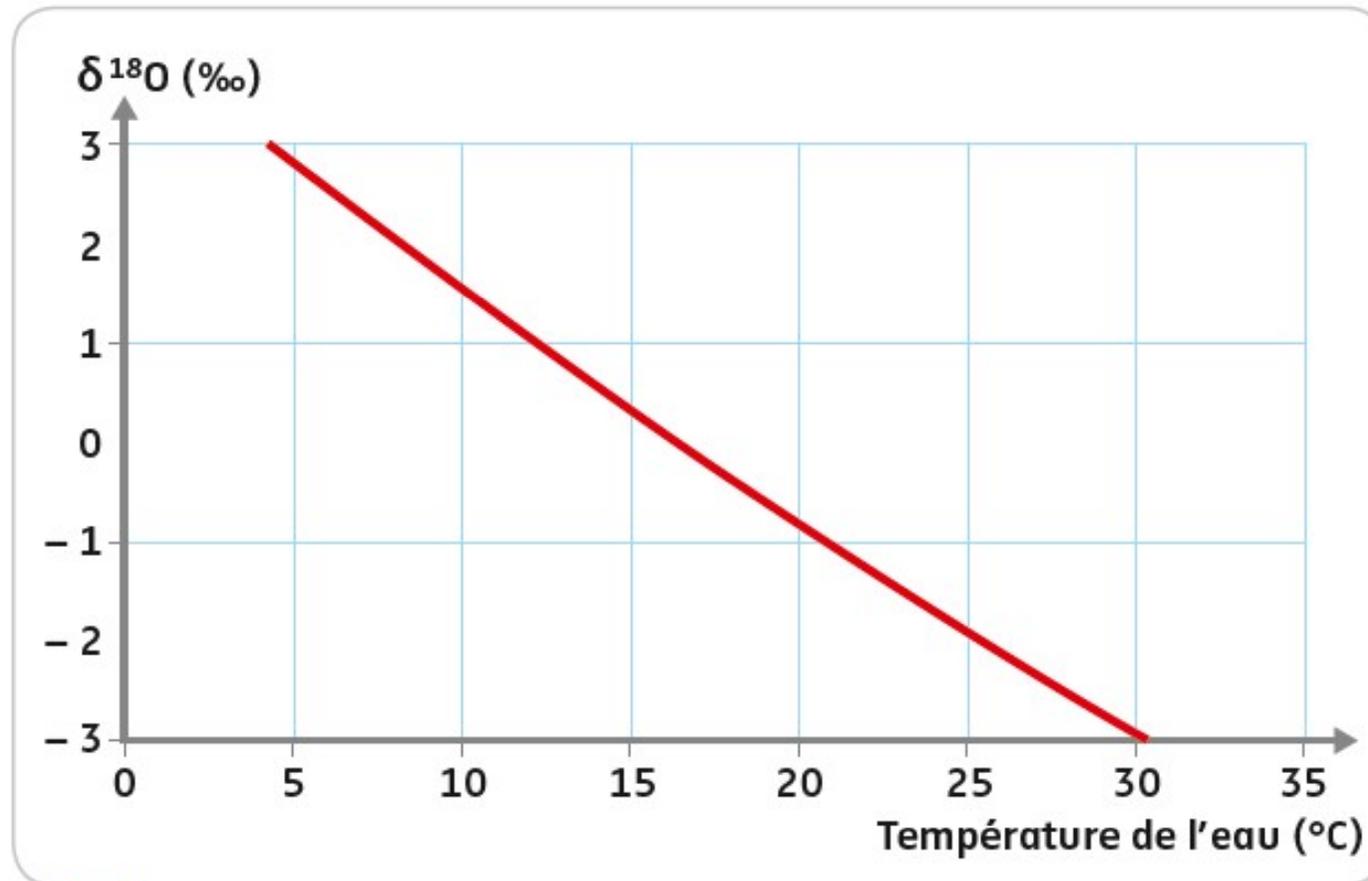
8 Carotte de glace en Antarctique.
Le $\delta^{18}\text{O}$ est calculé à partir de carottages.



9 Foraminifère. Le $\delta^{18}\text{O}$ des océans est calculé en utilisant des mesures réalisées sur des coquilles carbonatées de foraminifères (organismes unicellulaires) fossiles.



10 Évolution du $\delta^{18}\text{O}$ dans les glaces antarctiques (Vostok) et dans les sédiments carbonatés océaniques depuis 200 000 ans.



11 $\delta^{18}\text{O}$ des carbonates en fonction de la température de l'eau. Ces données ont été calculées grâce à des mesures sur des coquilles formées récemment.

Thème : Les climats de la Terre: comprendre le passé pour agir aujourd'hui et demain

Chapitre 1 : Reconstituer et comprendre les variations climatiques passées

I. Les variations climatiques du quaternaire et leurs origines

A. les changements climatiques récents

B. les marqueurs de ces changements climatiques

1. les rapports isotopiques dans les cristaux de glace

2. les grains de pollens

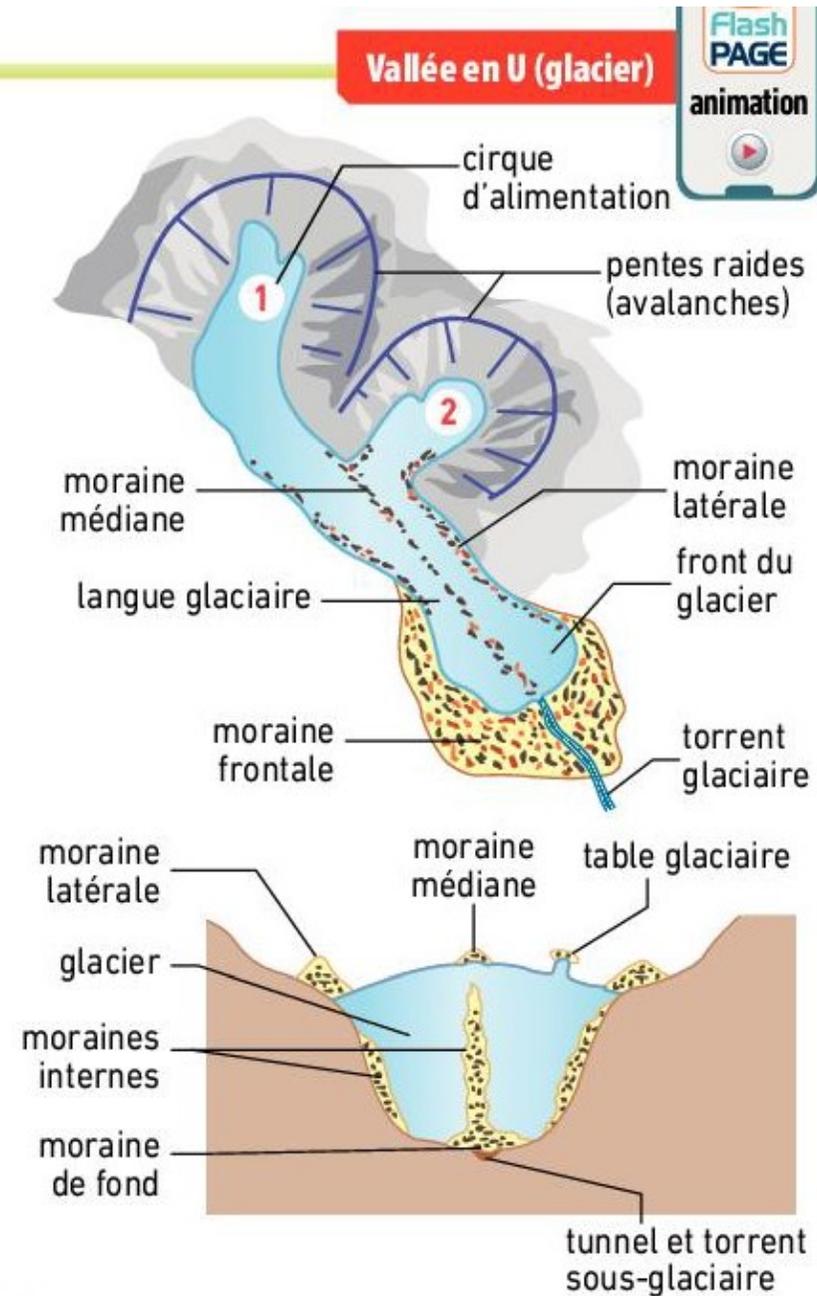
3. les microfossiles marins

4. les moraines

Sur les glaciers actuels



A Une langue glaciaire et le front d'un glacier.



B Schéma d'un glacier, vu de haut et en coupe transversale.

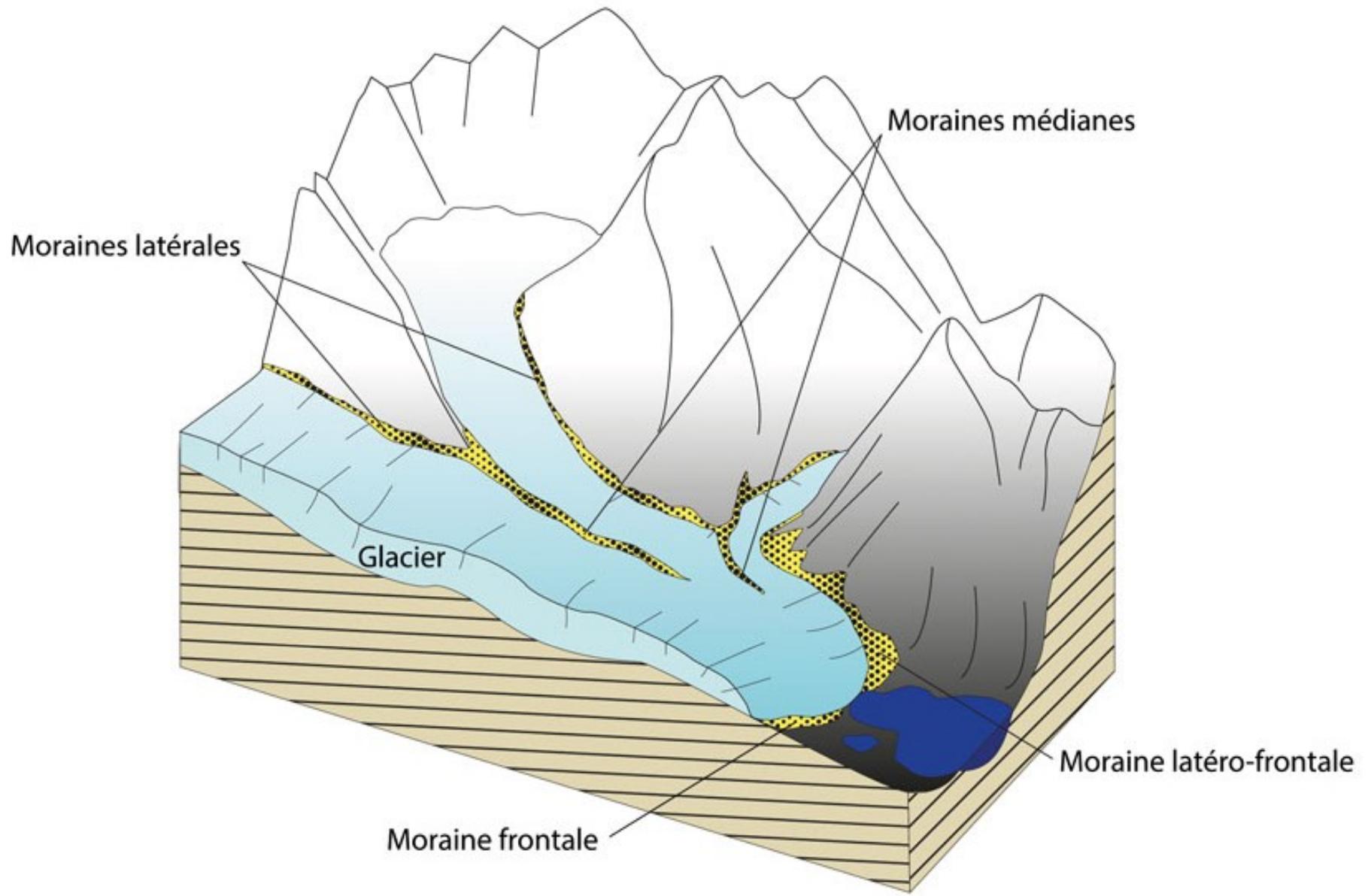
Les moraines



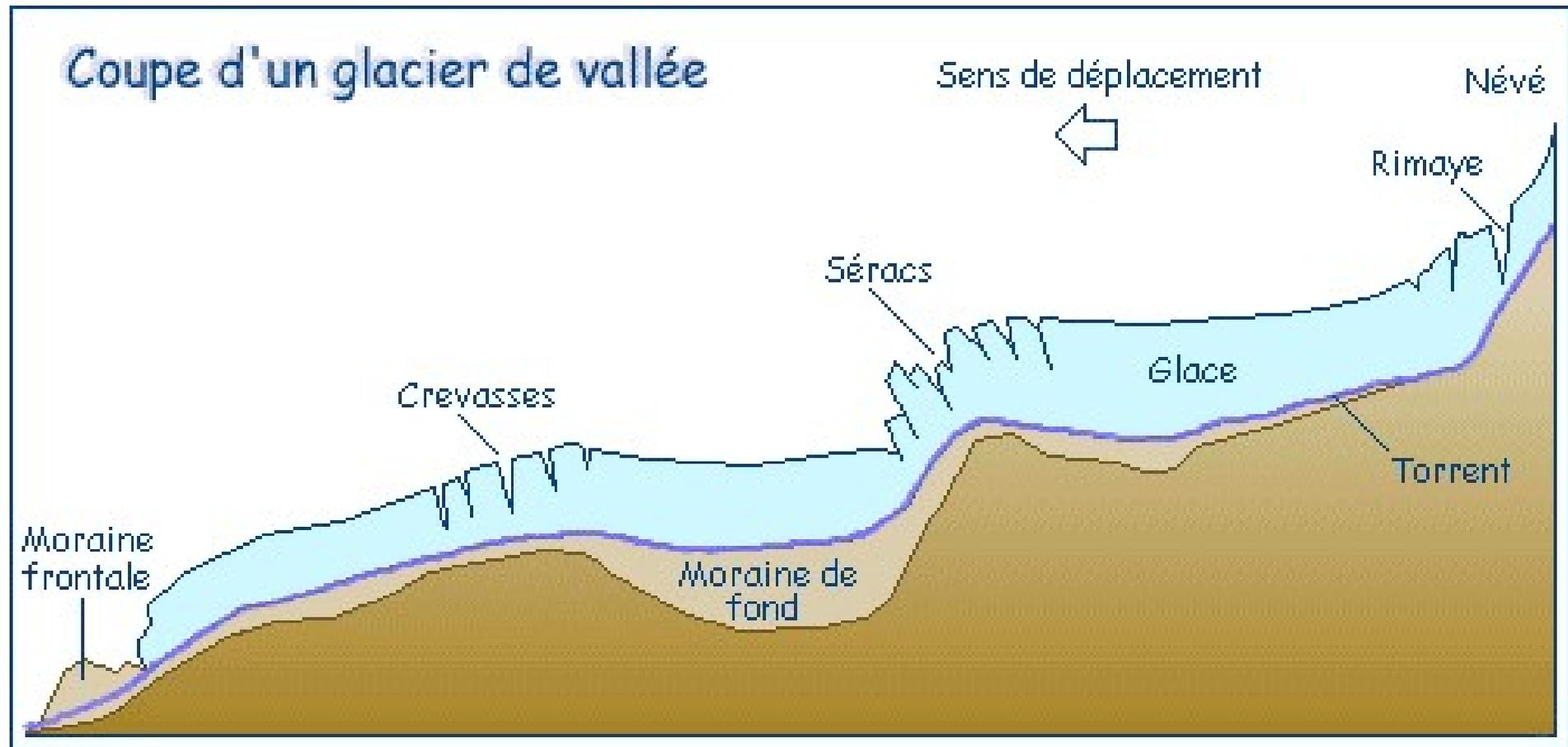
Les moraines



Les moraines



Les moraines



Les moraines



Nombreux blocs erratiques charriés par le glacier Athabasca, Canada.

Les moraines



Le « Gros Caillou » de la Croix-Rousse à Lyon, un bloc erratique déposé là par un ancien glacier. © Pymouss, *Wikimedia Commons*, CC by-sa 4.0

Les moraines



Observation des stries glaciaires. (flèches bleues)

Les moraines



Stries glaciaires.....encore.....150 m plus haut que le fond de la vallée....

Thème : Les climats de la Terre: comprendre le passé pour agir aujourd'hui et demain

Chapitre 1 : Reconstituer et comprendre les variations climatiques passées

I. Les variations climatiques du quaternaire et leurs origines

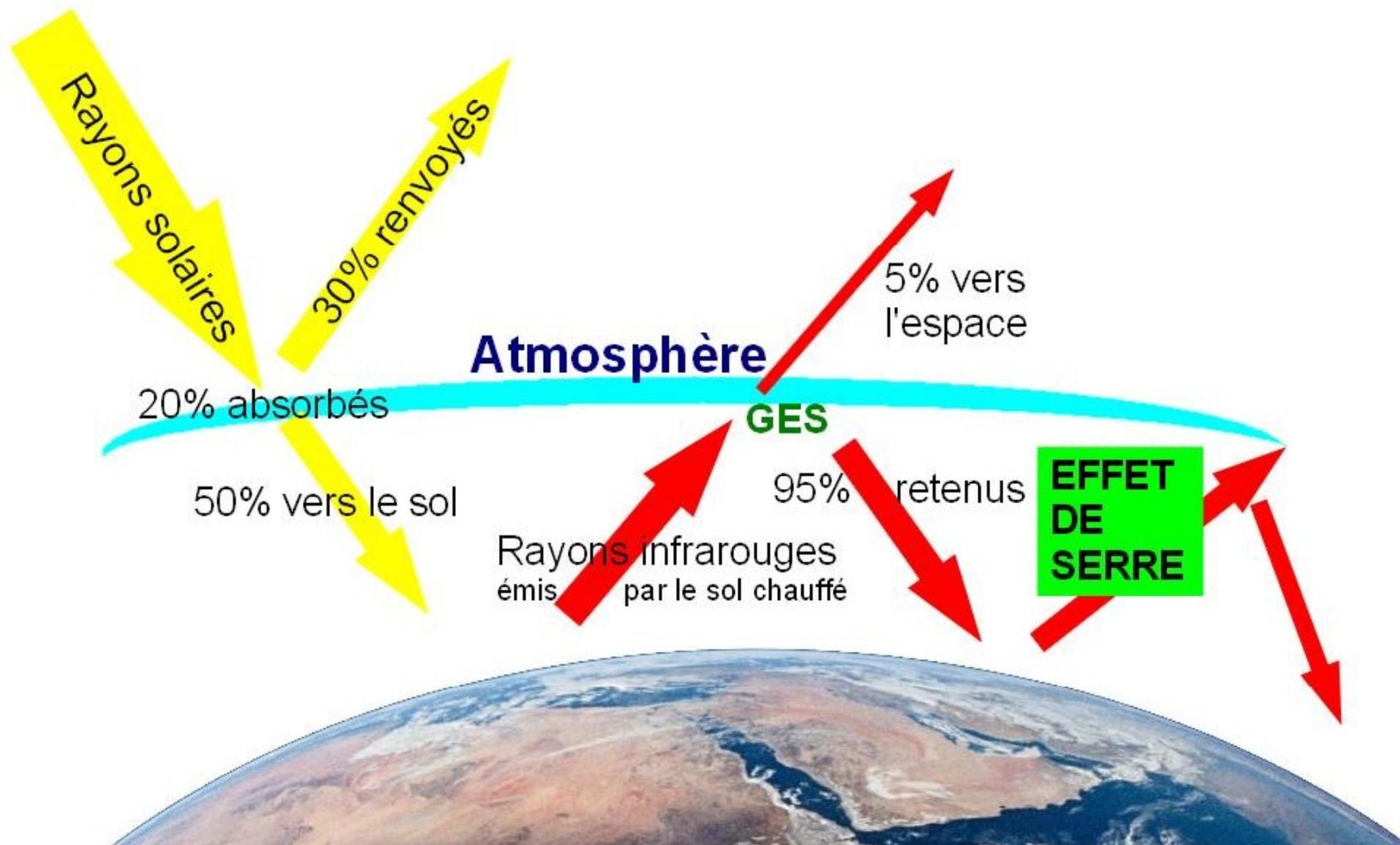
A. les changements climatiques récents

B. les marqueurs de ces changements climatiques

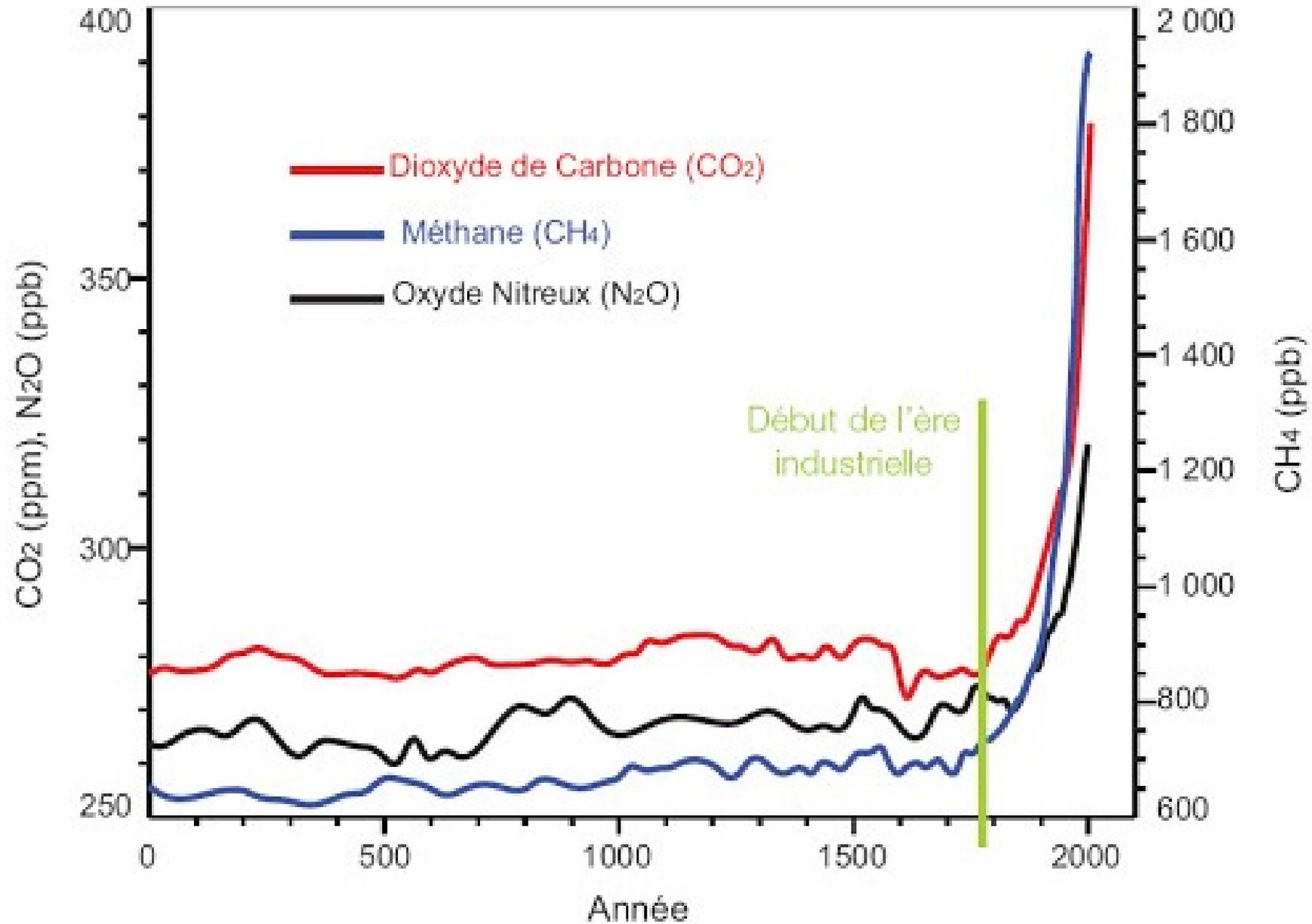
C. les origines des changements climatiques

1. les variations de la concentration en gaz à effet de serre (GES)

L'effet de serre

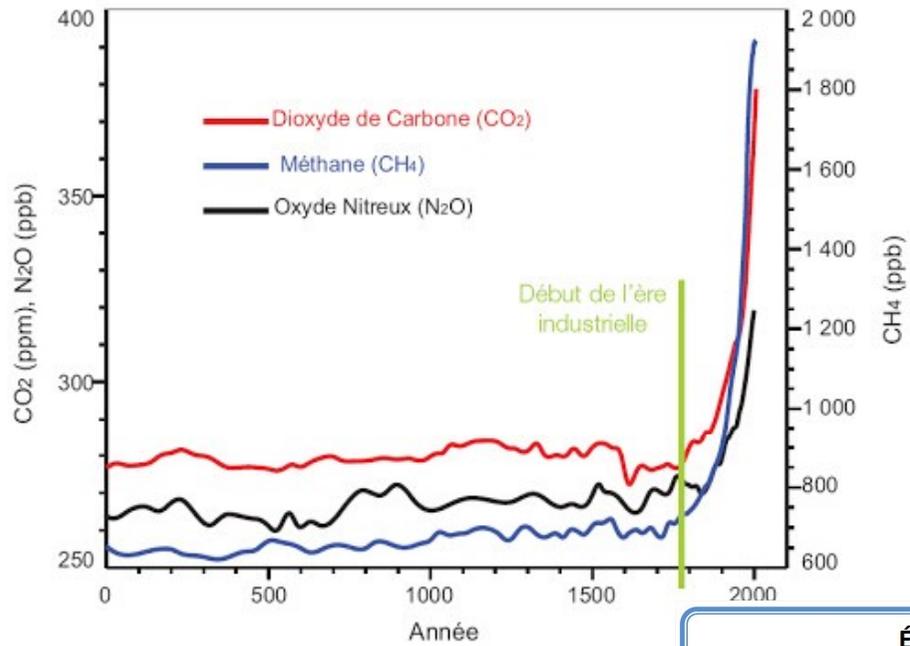


Les GES

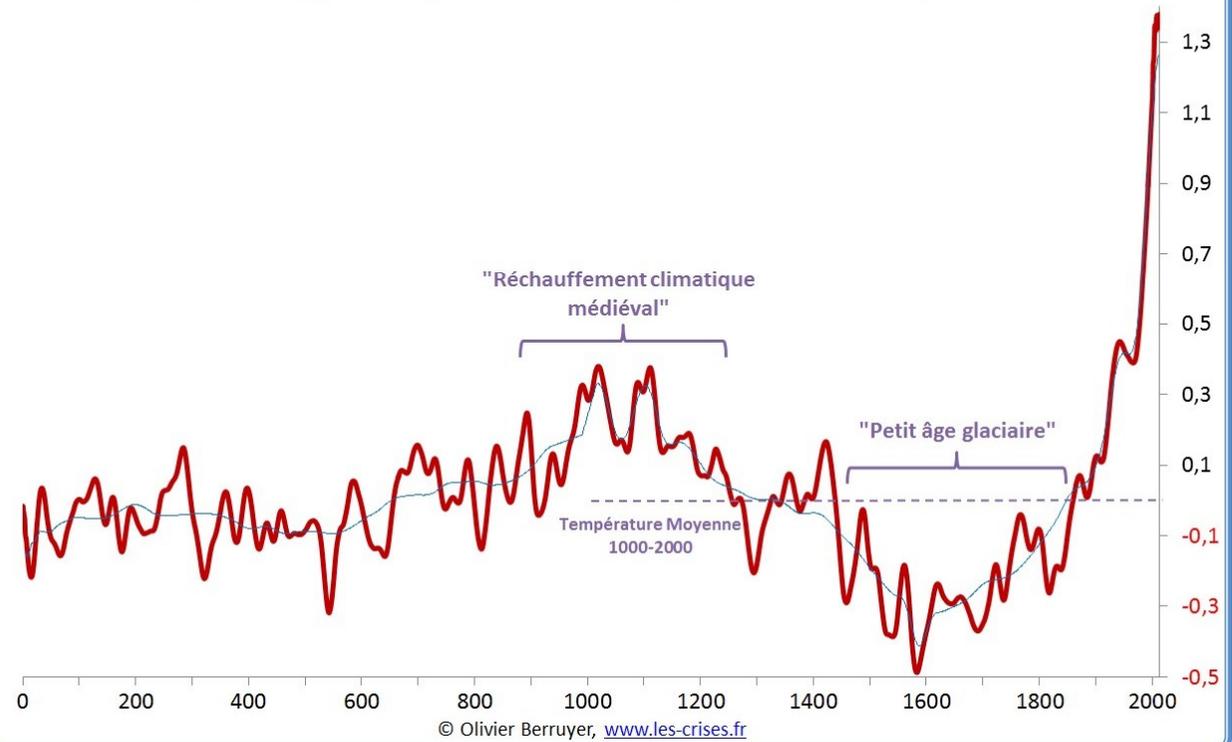


Source : <http://environnement.ted.fr>

Les GES



Évolution de la température de l'Hémisphère Nord depuis 2 000 ans
(écart par rapport à la moyenne 1000-2000, en °C) (Sources : Sonechkin et al. puis NASA)



Thème : Les climats de la Terre: comprendre le passé pour agir aujourd'hui et demain

Chapitre 1 : Reconstituer et comprendre les variations climatiques passées

I. Les variations climatiques du quaternaire et leurs origines

A. les changements climatiques récents

B. les marqueurs de ces changements climatiques

C. les origines des changements climatiques

1. les variations de la concentration en gaz à effet de serre (GES)

2. les autres facteurs à l'origine des variations climatiques : paramètres orbitaux, albédo

Les paramètres de MILANKOVIC



Milutin Milanković (1879 – 1958) est un [ingénieur](#), un [astronome](#), un [géophysicien](#), un inventeur et un [climatologue serbe](#) (Wikipédia)

La théorie astronomique du climat

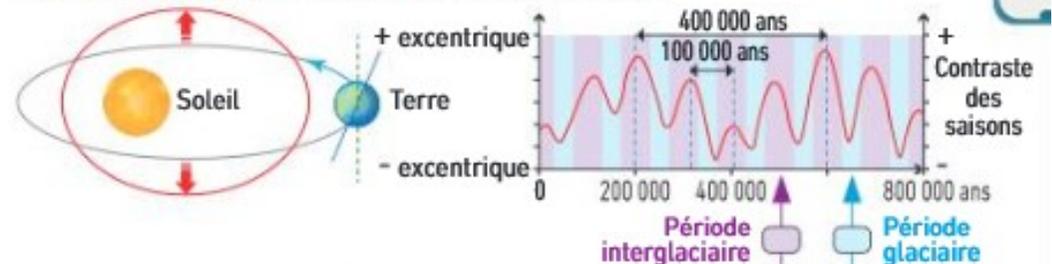
Publiée en 1941, la théorie astronomique du climat, de l'astronome croate Milutin Milanković, suppose que les variations climatiques quaternaires sont la conséquence des variations cycliques de différents paramètres de l'orbite terrestre :

- L'excentricité de l'orbite correspond au degré d'aplatissement de l'ellipse que décrit la Terre dans sa révolution autour du Soleil.
- L'obliquité correspond à l'angle d'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre par rapport au plan de son orbite.
- La précession correspond à la position de l'axe de rotation de la Terre, suivant un mouvement d'oscillation ressemblant à celui de l'axe d'une toupie.

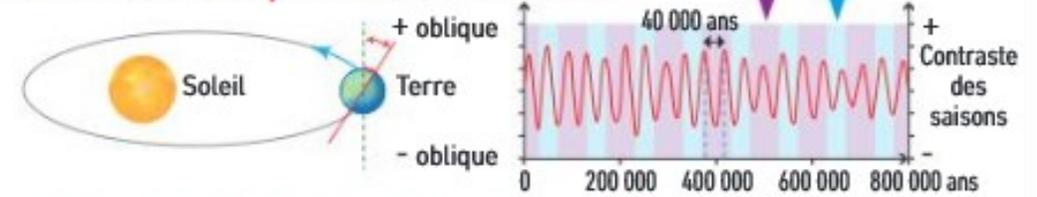
Ces différents paramètres ont une influence sur la quantité d'énergie solaire reçue par la Terre au cours de l'année et également sur le contraste entre les saisons. Ils produiraient des variations climatiques cycliques, appelées **cycles de Milanković***.

Cette théorie ne fût largement admise dans la communauté scientifique qu'au début des années 1970.

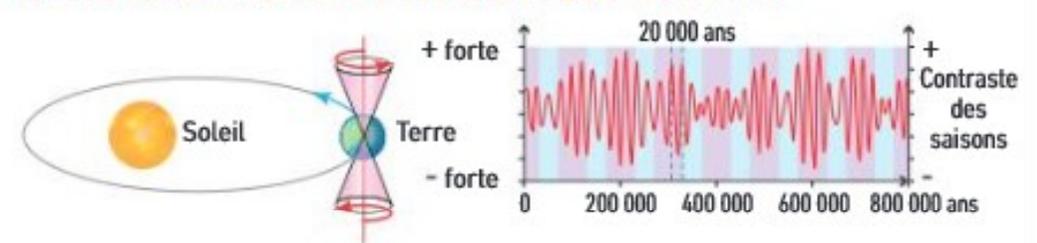
Variation de l'EXCENTRICITÉ de l'orbite terrestre



Variation de l'OBLIQUITÉ de l'axe de rotation

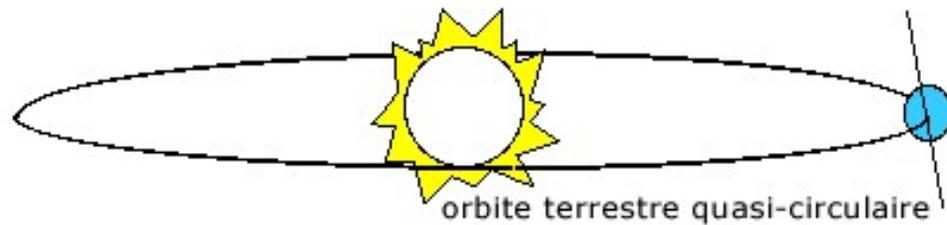


Variation de la PRÉCESSION de l'axe de rotation de la Terre



- Variation des paramètres (excentricité, obliquité et précession) de l'orbite terrestre.

Période glaciaire



Excentricité faible

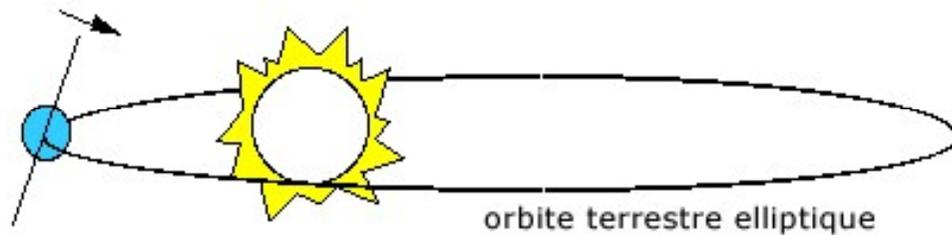
Inclinaison faible

Grande distance Terre-Soleil en été

--> configuration orbitale favorisant une glaciation

--> faible contraste entre les saisons

Période inter-glaciaire



Excentricité forte

Inclinaison forte

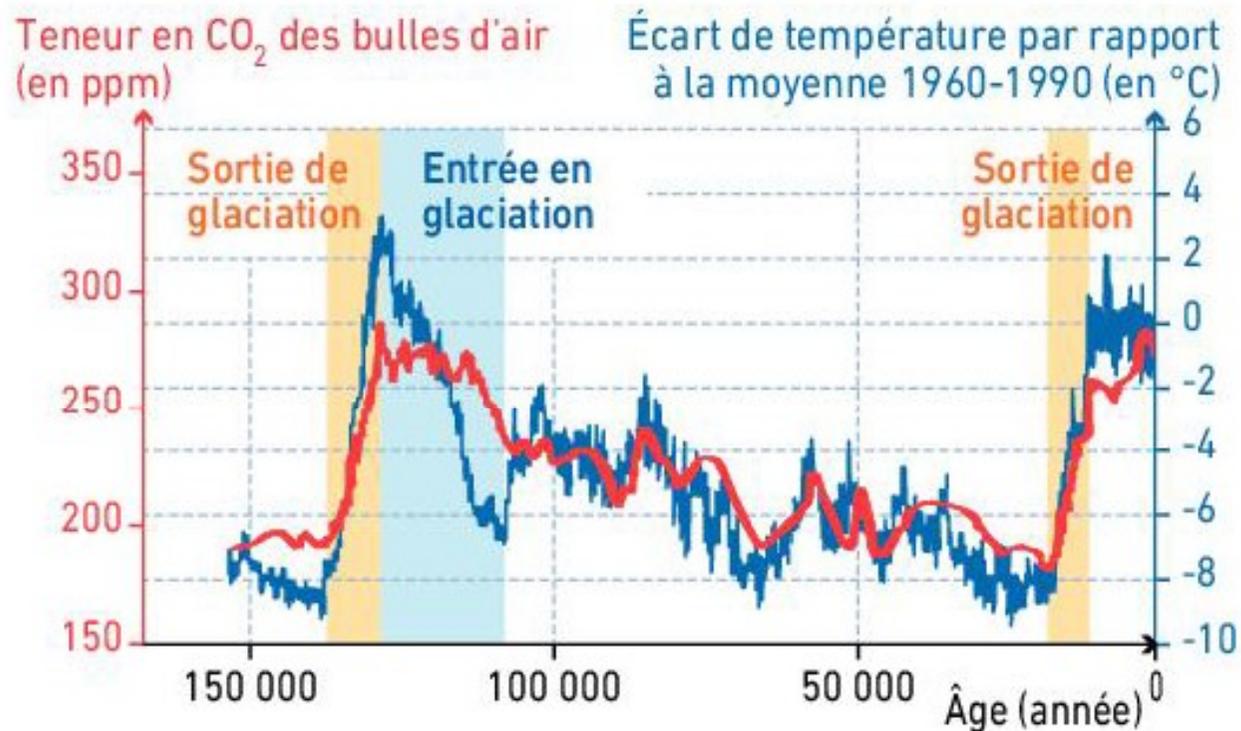
Faible distance Terre-Soleil en été

--> configuration orbitale favorisant une déglaciation

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

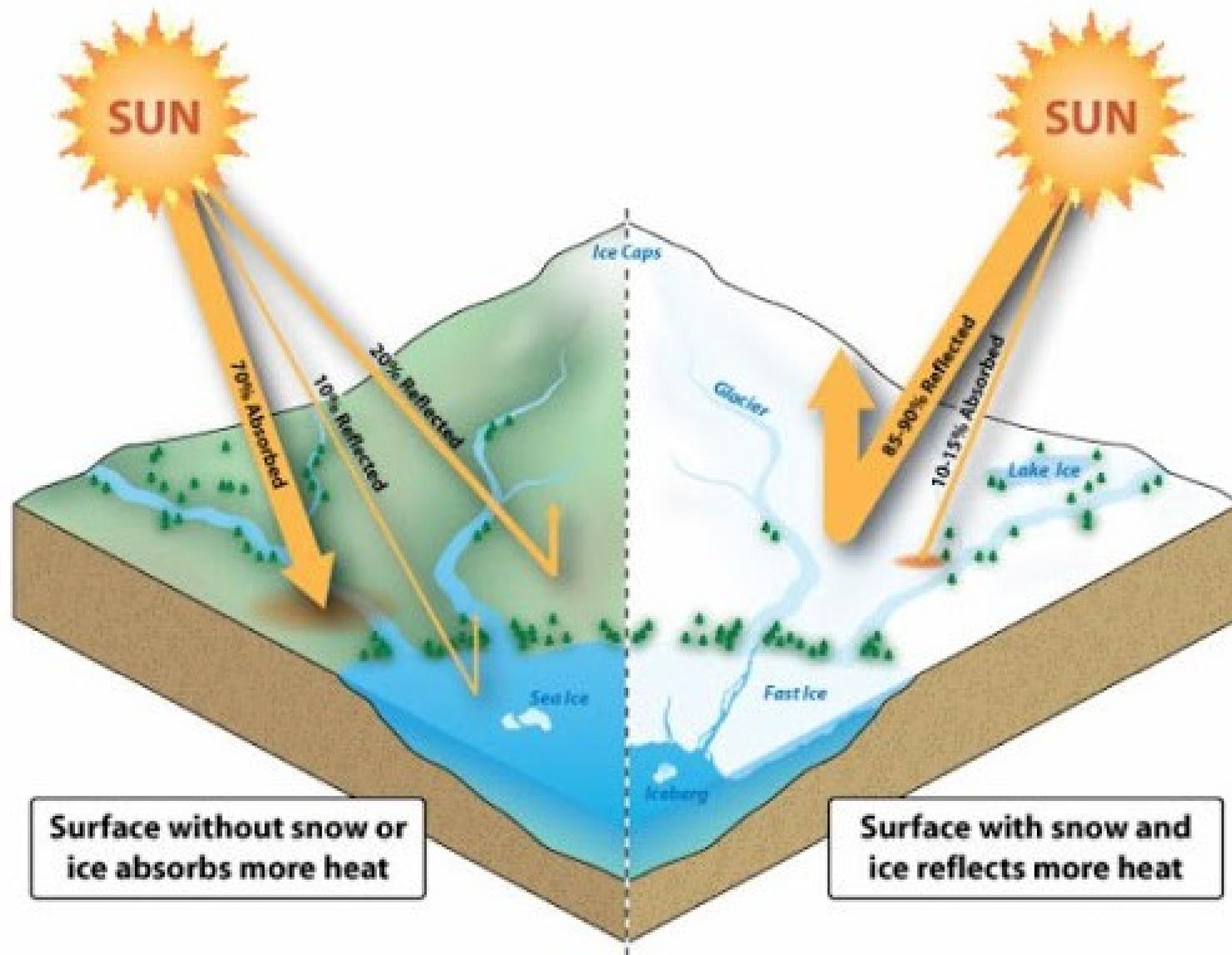
Des phénomènes amplificateurs

Les cycles climatiques du Quaternaire sont marqués par des phases rapides d'entrée ou de sortie de glaciation, décelées par les mesures isotopiques et l'analyse des bulles d'air des glaces, comme ici à Vostok (Antarctique). La vitesse de ces phases laisse penser que des phénomènes amplifient les changements climatiques initiés par les paramètres orbitaux (B).



B Des entrées et sorties de glaciation très rapides.

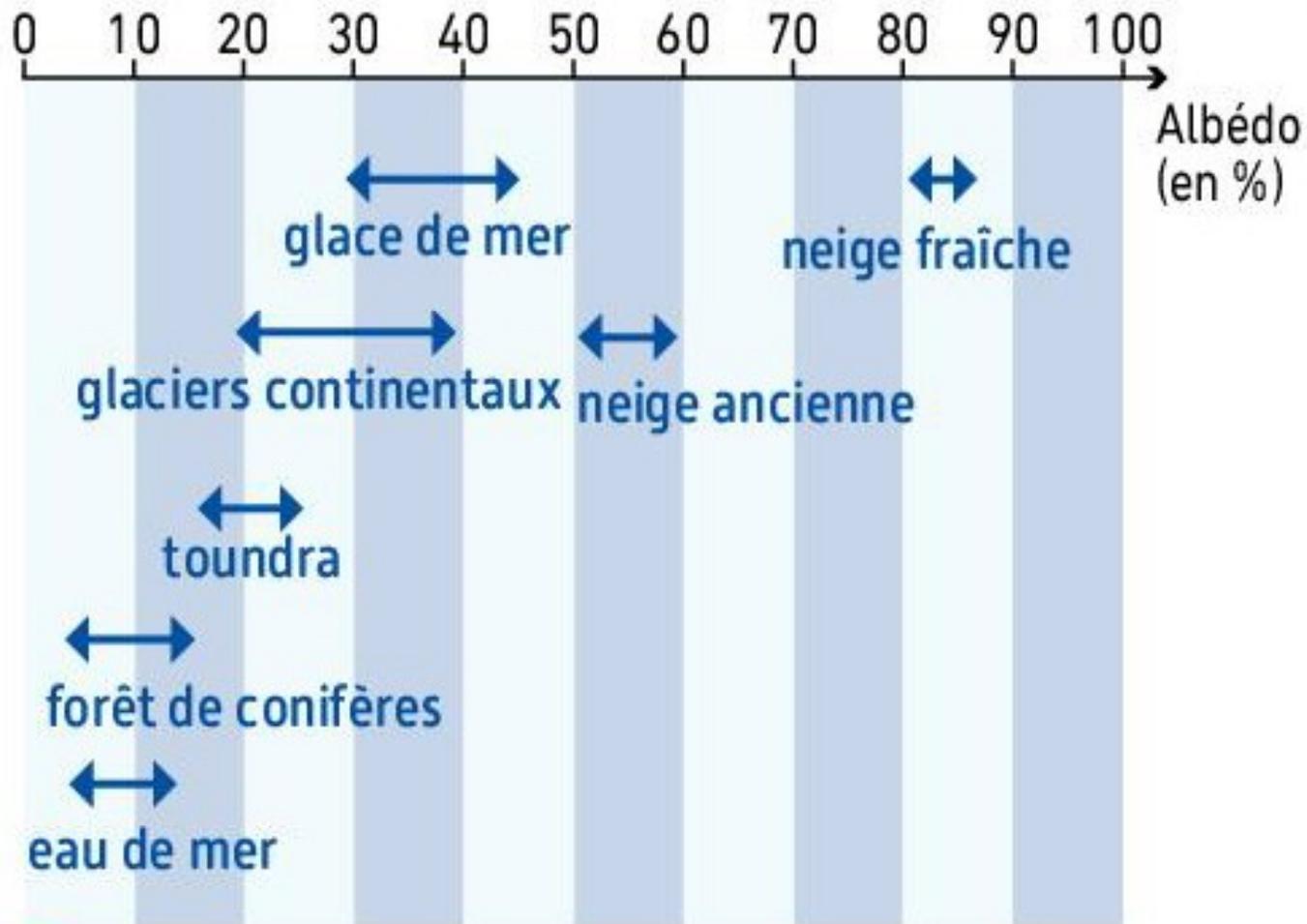
L'albédo



Surface without snow or ice absorbs more heat

Surface with snow and ice reflects more heat

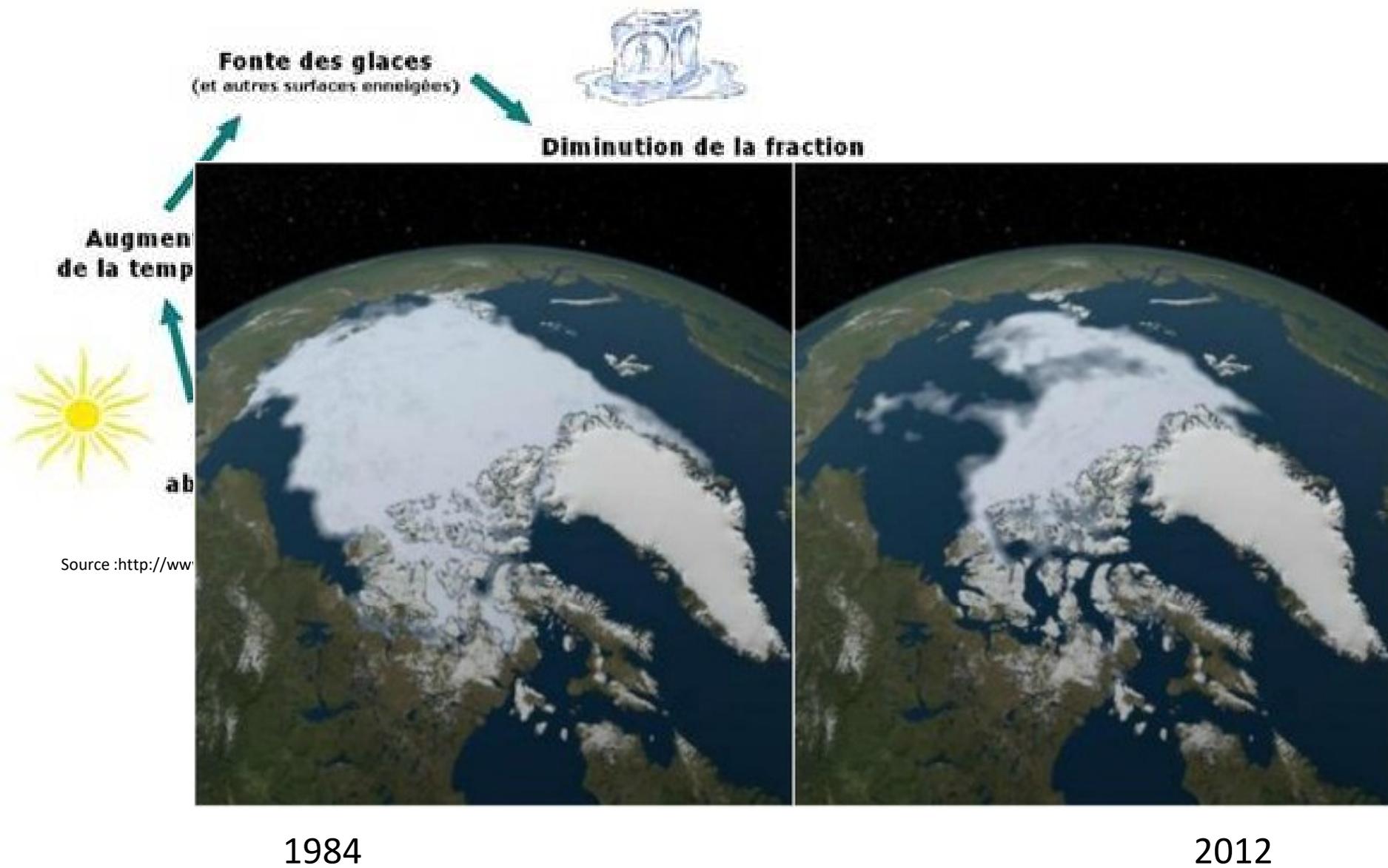
L'albédo



B Albédo de différentes surfaces.

Rappel : l'**albédo*** est le % du rayonnement solaire incident réfléchi par la surface terrestre.

L'albédo



Document 3 : Coefficient de solubilité du CO₂ dans l'eau de mer

Le CO₂ atmosphérique peut se dissoudre dans l'eau. La quantité soluble par unité de volume dépend de la température de l'eau. La dissolution du CO₂ dans l'eau est totalement réversible.

Température (°C)	0	5	10	15	20	25	30
Coefficient de solubilité du CO₂ dans l'eau de mer (mol.L⁻¹.atm⁻¹)	1,41	1,17	0,99	0,85	0,74	0,65	0,57

Thème : Les climats de la Terre: comprendre le passé pour agir aujourd'hui et demain

Chapitre 1 : Reconstituer et comprendre les variations climatiques passées

I. Les variations climatiques du quaternaire et leurs origines

A. les changements climatiques récents

II. Les variations climatiques anciennes

Thème : Les climats de la Terre: comprendre le passé pour agir aujourd'hui et demain

Chapitre 1 : Reconstituer et comprendre les variations climatiques passées

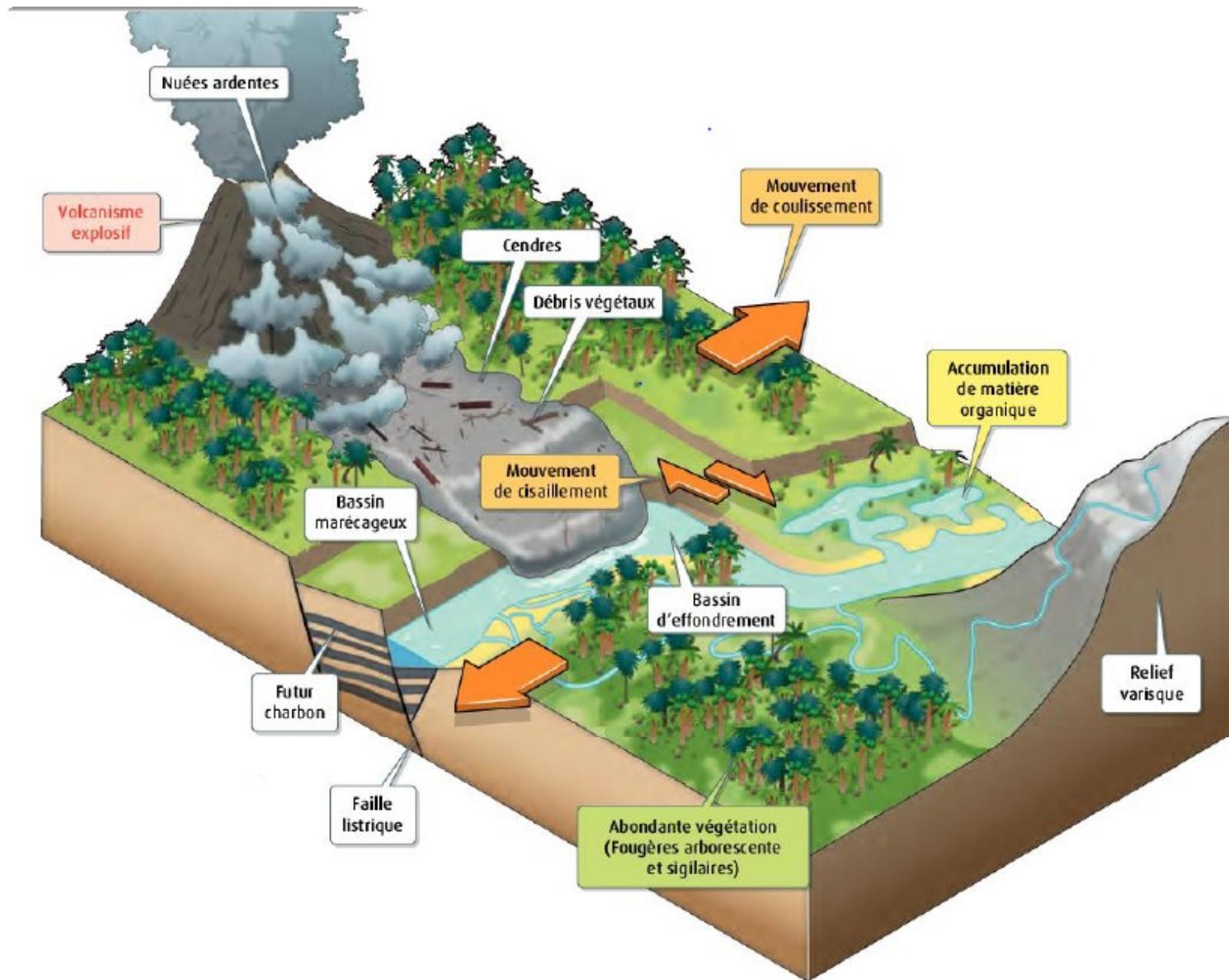
I. Les variations climatiques du quaternaire et leurs origines

A. les changements climatiques récents

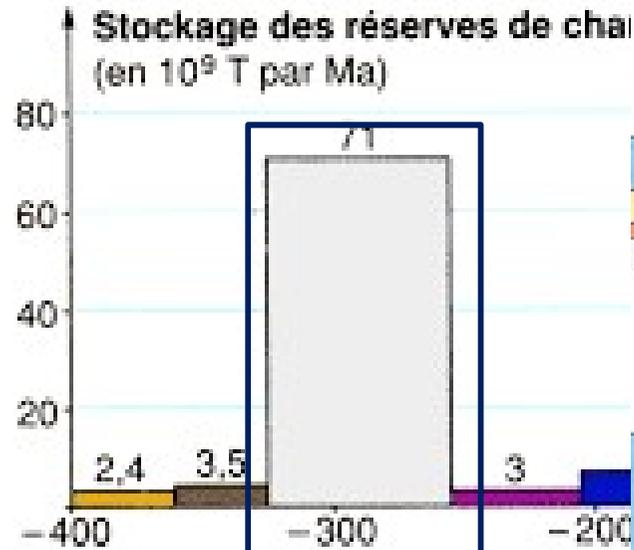
II. Les variations climatiques anciennes

1 . la glaciation Carbonifère-Permien (période comprise entre -360 et -250 Ma)

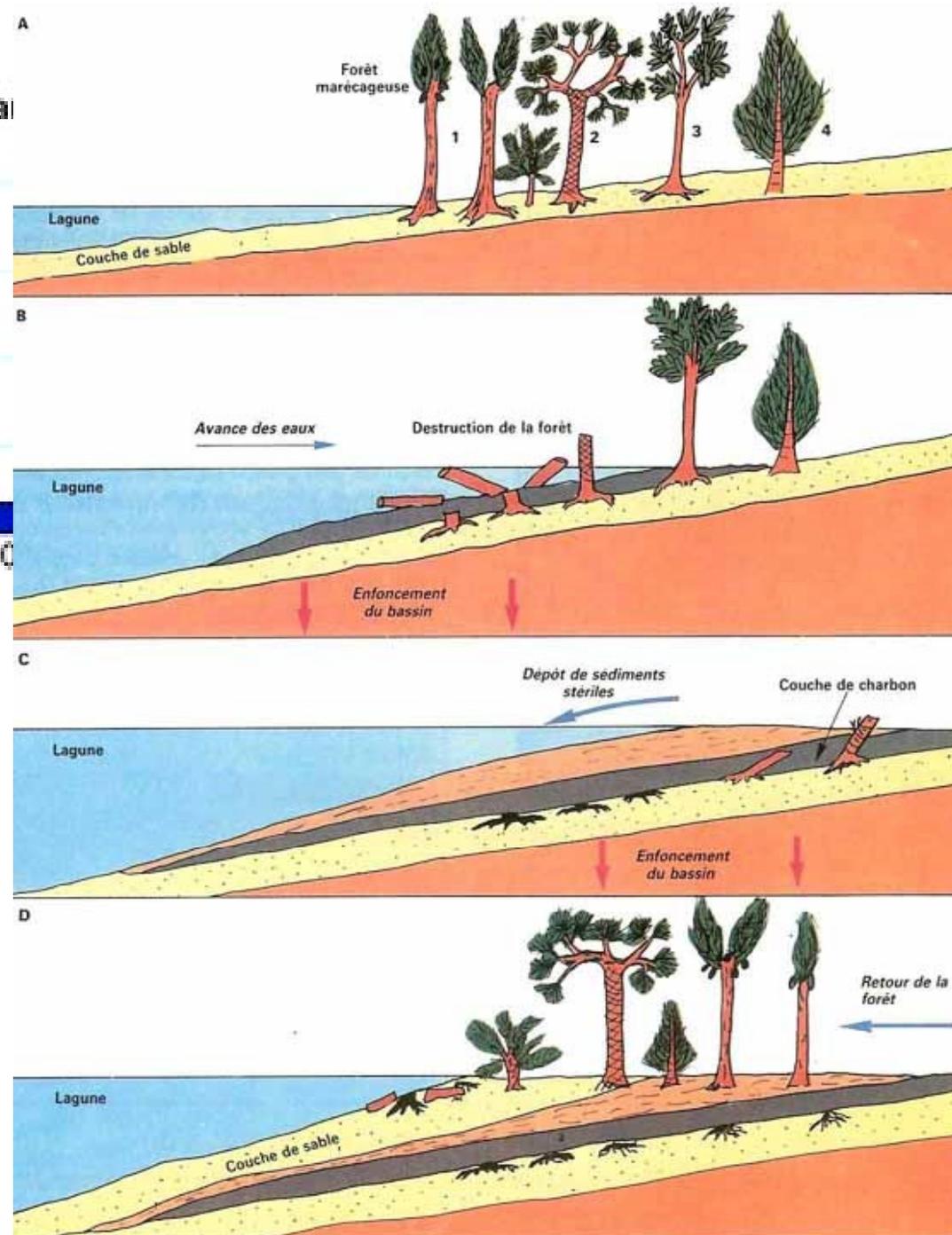
Les origines de la glaciation Carbonifère – Permien : Le taux de CO2



Les origines de la glaciation Carbonifère – Permien : Le taux de CO2



CHARBONS



10. Formation du charbon. 1 - Sigillaire, 2 - Lépidodendron, 3 - Cordaïtes, 4 - Calamites.

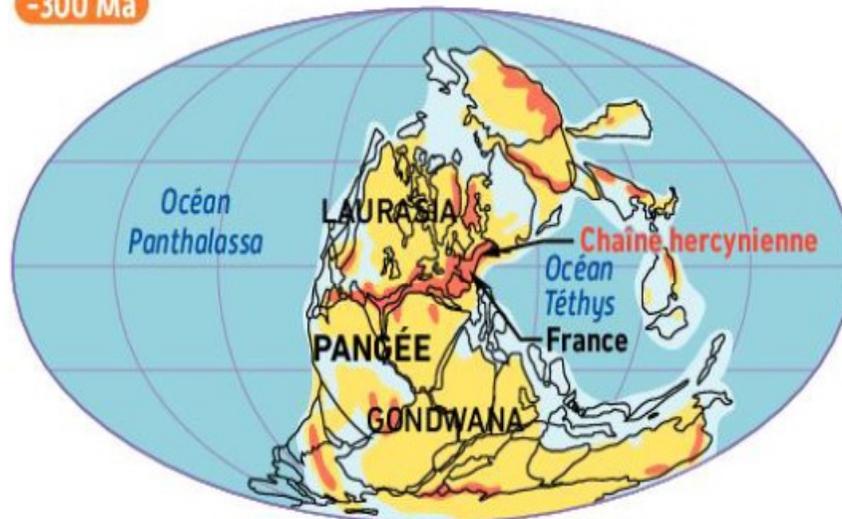
Les origines de la glaciation Carbonifère – Permien : Le taux de CO₂

La fin de l'ère primaire est marquée par la réunion des blocs continentaux en un seul continent, la Pangée (voir p. 171). Ce mécanisme a entraîné plusieurs conséquences :

- La formation de la ceinture orogénique* hercynienne, située au niveau de l'équateur et subissant une importante altération.
- La présence d'une masse continentale importante aux latitudes élevées de l'hémisphère Sud (A), favorisant la formation d'une calotte glaciaire.

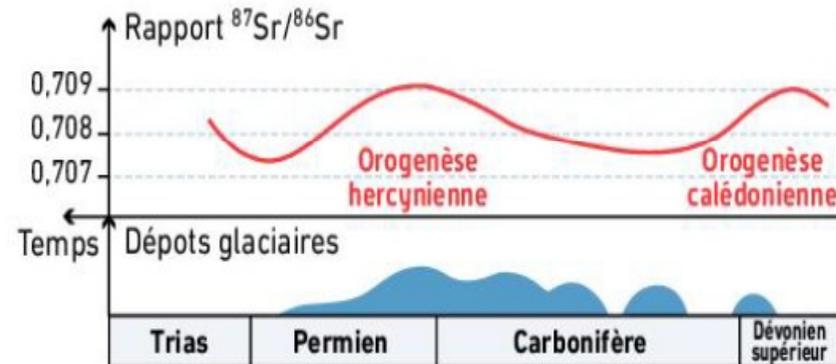
Fin Carbonifère

-300 Ma



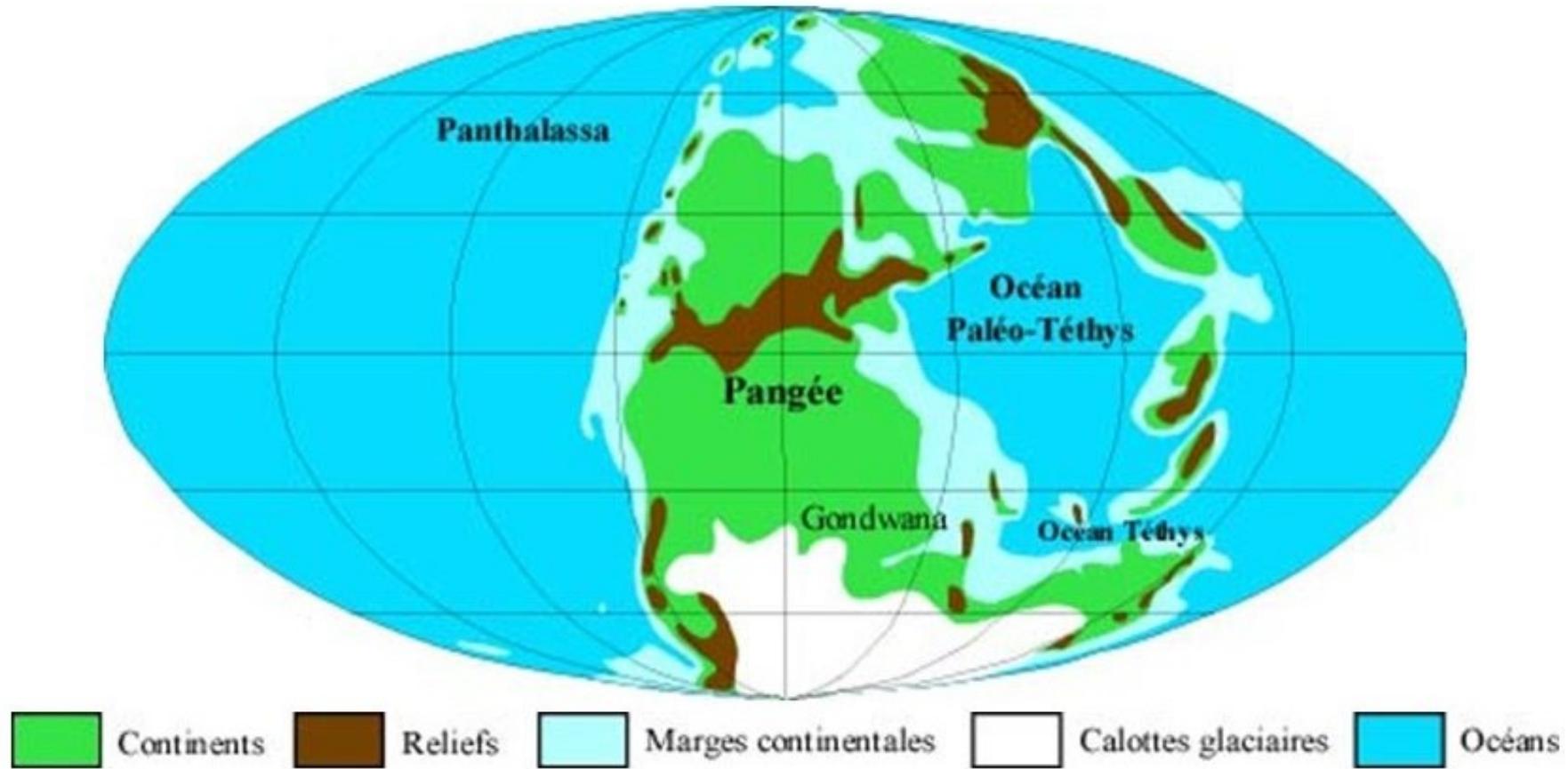
A Reconstitution paléogéographique de la fin du Carbonifère.

- Les sédiments détritiques issus de l'érosion de la chaîne hercynienne se sont déposés dans des bassins sédimentaires situés sur son pourtour. Cette importante sédimentation a favorisé le piégeage de la matière végétale qui a lentement évolué pour former le charbon.
- Les décomposeurs présents sur les continents à cette époque n'étaient pas capables de décomposer la lignine (voir p. 219). D'énormes quantités de matières végétales ont ainsi échappé à la décomposition.
- Le rapport isotopique du strontium dans les sédiments carbonatés océaniques est utilisé par les géologues comme marqueur de l'altération des roches continentales. Un rapport élevé traduit une forte altération (B).



B Extension des dépôts glaciaires et rapport isotopique du strontium à la fin de l'ère primaire.

Les origines de la glaciation Carbonifère – Permien : formation de la Pangée



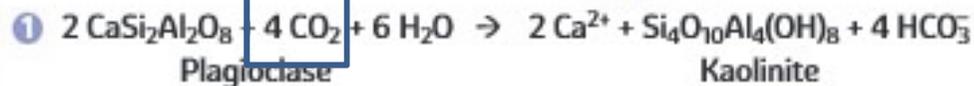
**Reconstruction paléogéographique au Permien sup. (255 Ma).
modifié d'après Scotese's Paleomap Project et Ron Blakey (1999)**

Les origines de la glaciation Carbonifère – Permien : Le taux de CO₂



A Observation d'un granite altéré au microscope en lumière polarisée analysée.

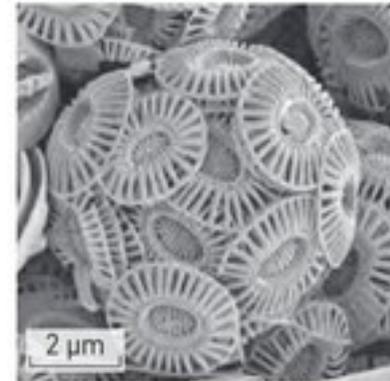
B Échantillon d'un granite altéré.



Les roches silicatées comme le granite subissent en surface une **altération chimique** sous l'effet de l'eau chargée en CO₂.

L'observation au microscope polarisant en LPA d'un granite altéré (A) montre la transformation des plagioclases (Pl) en de nombreux cristaux d'un minéral argileux, la kaolinite (Ka) suivant la réaction (1).

Les ions Ca²⁺ et HCO₃⁻ ainsi formés passent en solution et sont transportés par les cours d'eau. Lorsque les conditions sont réunies, ils précipitent, le plus souvent grâce à l'action des êtres vivants, et forment des sédiments carbonatés suivant la réaction (2), dite de précipitation des carbonates.



C Tests calcaires de coccolithophoridés (microalgues), observés au MEB.

4 CO₂ consommés pour un seul rejeté

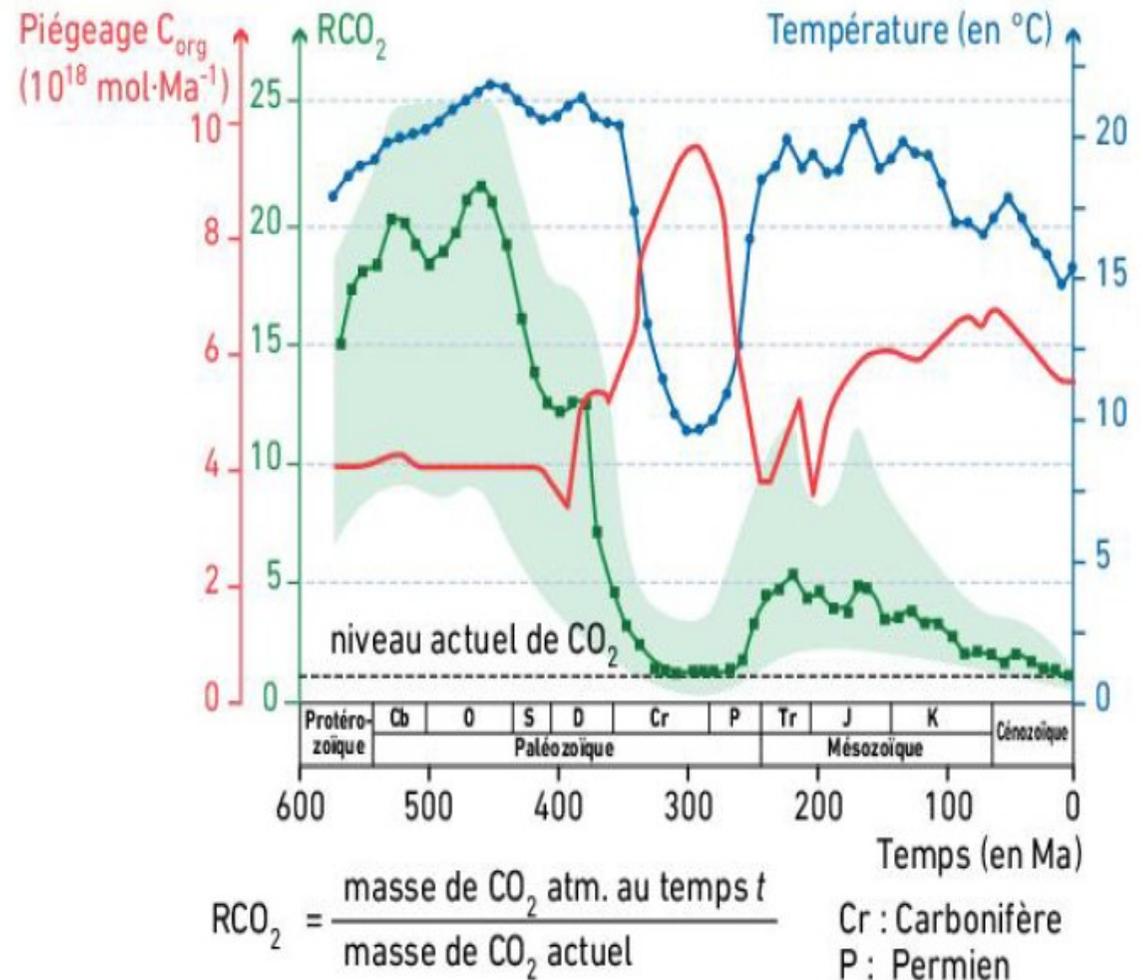
Les origines de la glaciation Carbonifère – Permien : Le taux de CO₂

Le graphique ci-contre présente les résultats de plusieurs modèles construits par les paléoclimatologues.

En **bleu** : modèle de température basé sur l'étude des isotopes de l'oxygène des sédiments océaniques.

En **vert** : modèle de l'évolution de la teneur atmosphérique en CO₂, prenant en compte plusieurs données (fossiles, indices stomatiques*, roches sédimentaires...). La plage vert clair correspond à la zone d'incertitude.

En **rouge** : modèle du piégeage du carbone issu de la matière organique dans les roches sédimentaires (charbon, pétrole, gaz naturel).



Thème : Les climats de la Terre: comprendre le passé pour agir aujourd'hui et demain

Chapitre 1 : Reconstituer et comprendre les variations climatiques passées

I. Les variations climatiques récentes et leurs origines

II. Les variations climatiques anciennes

1 . la glaciation Carbonifère-Permien (période comprise entre -360 et -250 Ma)

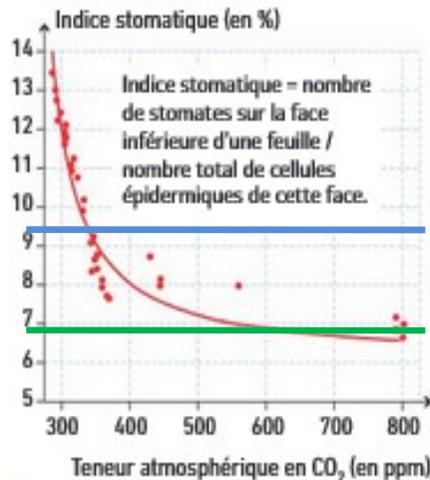
2. des indices d'un climat chaud au Crétacé (période comprise entre -145 et -65 Ma)

Le réchauffement du Crétacé : le taux de CO₂

Des feuilles fossiles qui nous renseignent sur la teneur en CO₂

Les paléobotanistes utilisent comme indice de la teneur atmosphérique en CO₂ la quantité de stomates* (orifices permettant les échanges gazeux) au niveau des feuilles fossiles. Expérimentalement, ils ont montré que leur nombre diminuait avec la teneur de l'atmosphère en CO₂ (B).

A Fossile de feuille de *Ginkgo biloba*.

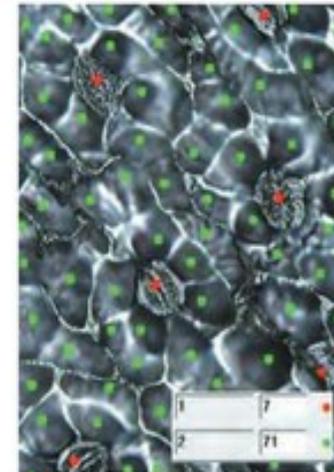


Aujourd'hui

crétacé

Activité pratique

- Recouvrir avec deux couches de vernis une surface d'environ 1 cm² de la face inférieure d'une feuille de *Ginkgo biloba*.
- Laisser sécher puis décoller doucement le film obtenu.
- Monter dans une goutte d'eau entre lame et lamelle.
- Observer au microscope et capturer une image numérique.
- À l'aide d'un logiciel (*Mesurim*), compter les stomates et les cellules épidermiques.
- Calculer l'indice stomatique de la feuille et le mettre en rapport avec la teneur atmosphérique actuelle en CO₂.



C Comptage de stomates d'une feuille de *Ginkgo biloba* avec le logiciel *Mesurim*.
Point rouge : stomate
Point vert : cellule épidermique

B Le calcul de l'indice stomatique de plusieurs fossiles de feuilles de *Ginkgo biloba*, datant de la fin du Crétacé, a donné un résultat de 7,09 %.

Le réchauffement du Crétacé : le taux de CO₂



Feuille de Ginkgo biloba
actuelle



Feuille de Ginkgo biloba
fossile du crétacé

Indice stomatique = (nombre de stomates/nombre de cellules épidermiques) x 100



On évalue la production annuelle de magma au niveau des dorsales actuelles à 20 km^3 . Ce magma contient des gaz, dont du CO₂, qui sont libérés lors de la mise en place de ces roches (dégazage).

Les travaux récents permettent d'estimer la libération actuelle de CO₂ au niveau des dorsales entre $2 \cdot 10^{10}$ et $2 \cdot 10^{11} \text{ kg} \cdot \text{an}^{-1}$. À titre de comparaison, les émissions de CO₂ d'origine anthropique sont d'environ $36 \cdot 10^{12} \text{ kg} \cdot \text{an}^{-1}$.

Une partie de ce CO₂, dissous dans l'eau, est transféré lentement vers l'atmosphère.

■ La formation de laves en coussin (*pillow lavas*) est typique du volcanisme de dorsale.

Le réchauffement du Crétacé : le taux de CO₂

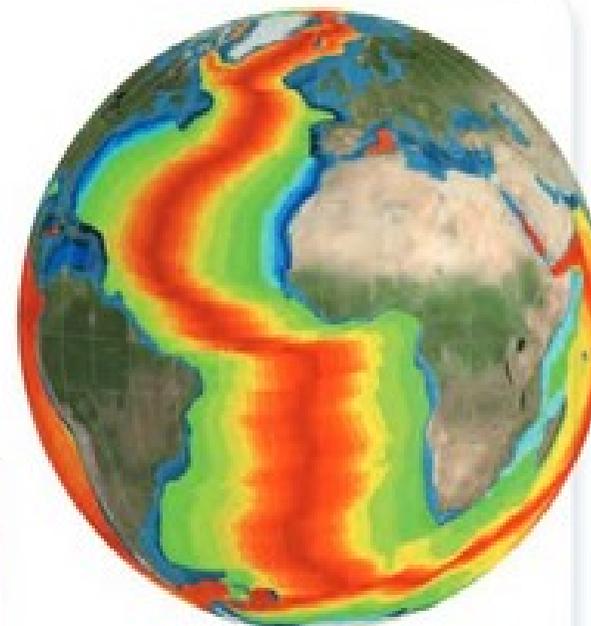
L'expansion océanique au cours des temps géologiques

Activité pratique

Afin d'estimer la vitesse d'expansion océanique au cours des temps géologiques :

- Sur le logiciel *Tectoglob3D*, afficher la carte de l'âge des fonds océaniques.
- Dans différents domaines océaniques et à différentes latitudes, mesurer la largeur des fonds océaniques produits pour chaque grande période.
- En déduire la vitesse moyenne de l'expansion océanique au cours de ces périodes.

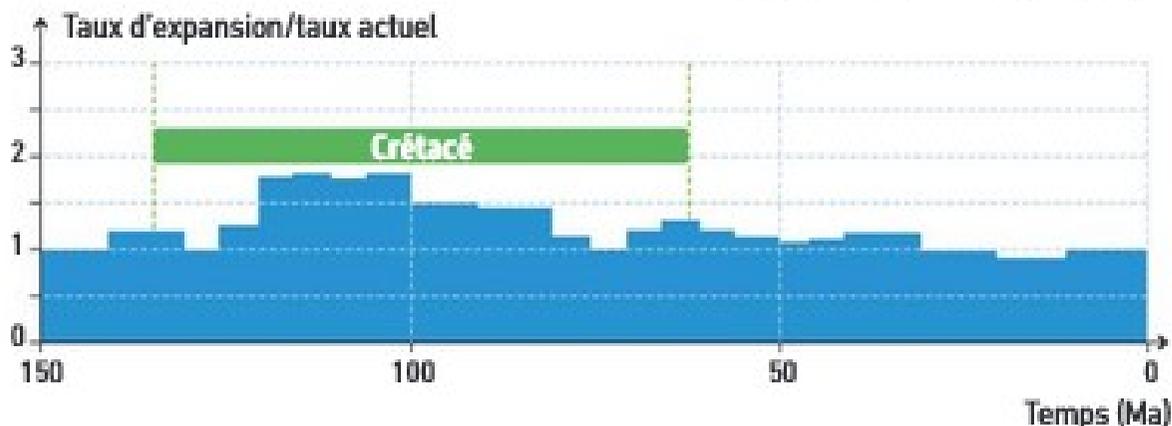
Période	Jurassique moyen et supérieur	Crétacé inférieur	Crétacé supérieur	Cénozoïque
Âge, arrondi à la dizaine (Ma)	180 à 140	140 à 100	100 à 60	60 à 0
Largeur des fonds océaniques formés durant la période	2 100 km	4 300 km	4 500 km	6 600 km
Durée de la période (Ma)	40	40	40	60
Vitesse moyenne d'expansion (km·Ma ⁻¹)	53	108	113	110



C Âge des fonds océaniques dans l'océan Atlantique (*Tectoglob3D*).

A Exemple de résultats.
Océan Pacifique, vers 20 °N.

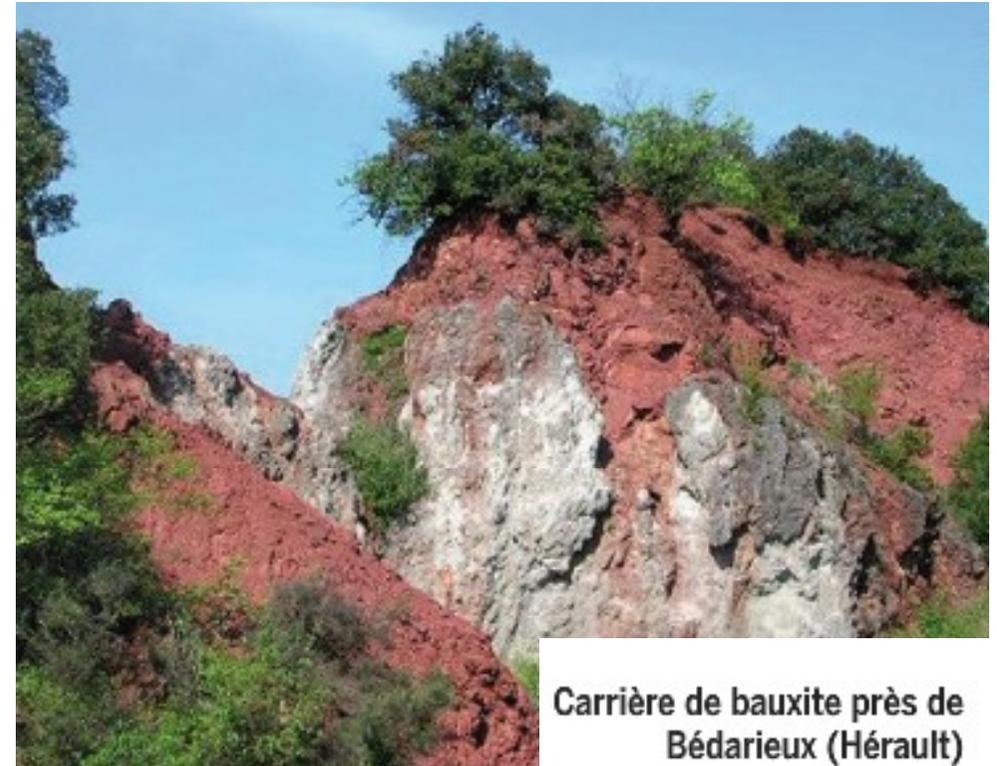
B Résultats obtenus par une équipe de chercheurs en estimant l'ensemble de production de lithosphère océanique par rapport à l'activité actuelle des dorsales.



Le réchauffement du Crétacé : les roches

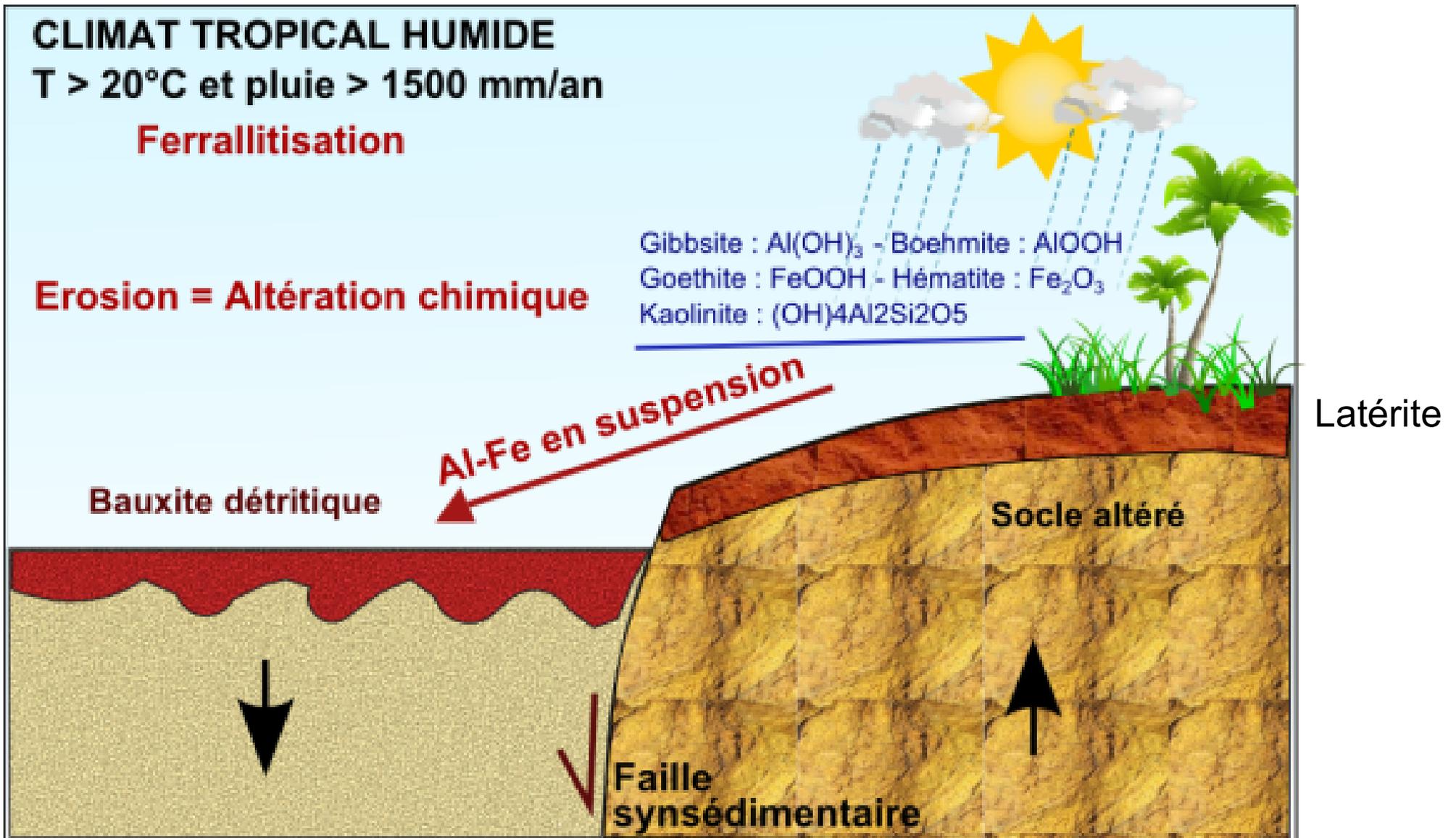


Latérite : sol rouge riche en argile coloré par les oxydes de fer ou d'aluminium



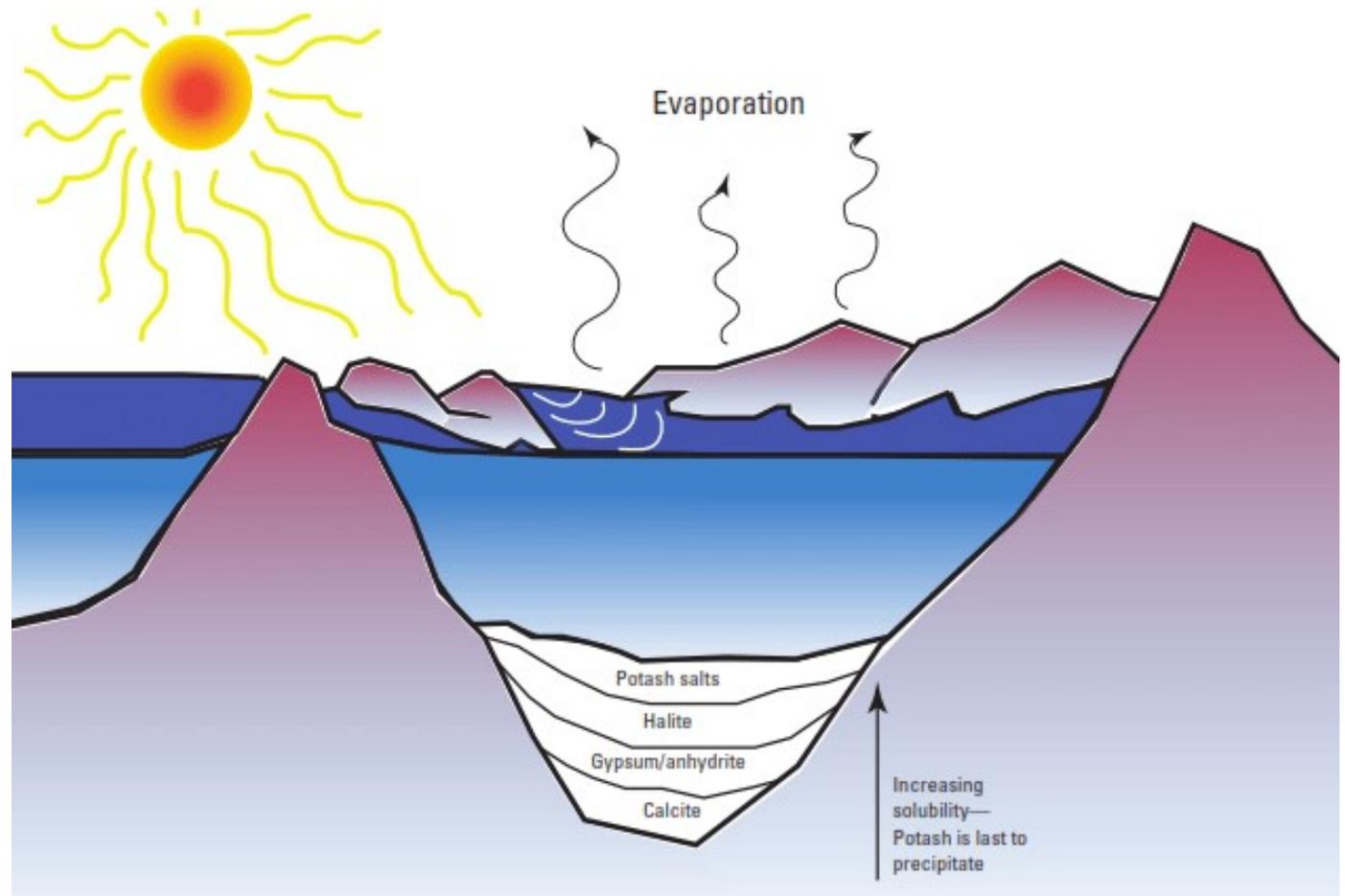
Carrière de bauxite près de Bédarieux (Hérault)

Bauxite : minerais d'aluminium (roche riche en oxyde ferrique)



Le réchauffement du Crétacé : les roches

Evaporites :



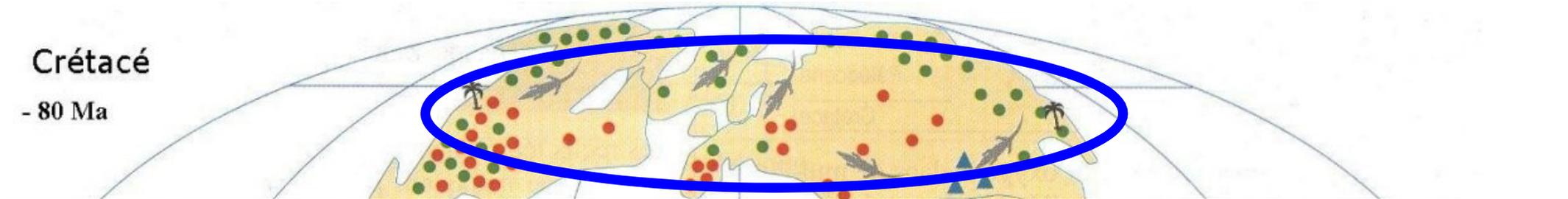
Le réchauffement du Crétacé : les roches



Le réchauffement du Crétacé : les roches et les fossiles

Crétacé

- 80 Ma



▲ évaporites
☞ fossiles de

Thème : Les climats de la Terre: comprendre le passé pour agir aujourd'hui et demain

Chapitre 1 : Reconstituer et comprendre les variations climatiques passées

I. Les variations climatiques récentes et leurs origines

II. Les variations climatiques anciennes

1 . la glaciation Carbonifère-Permien (période comprise entre -360 et -250 Ma)

2. des indices d'un climat chaud au Crétacé (période comprise entre -145 et -65 Ma)

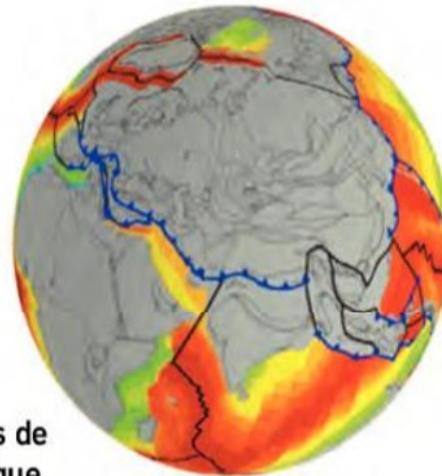
3. Le refroidissement Cénozoïque (période comprise entre -65 Ma et aujourd'hui)

Le refroidissement du Cénozoïque

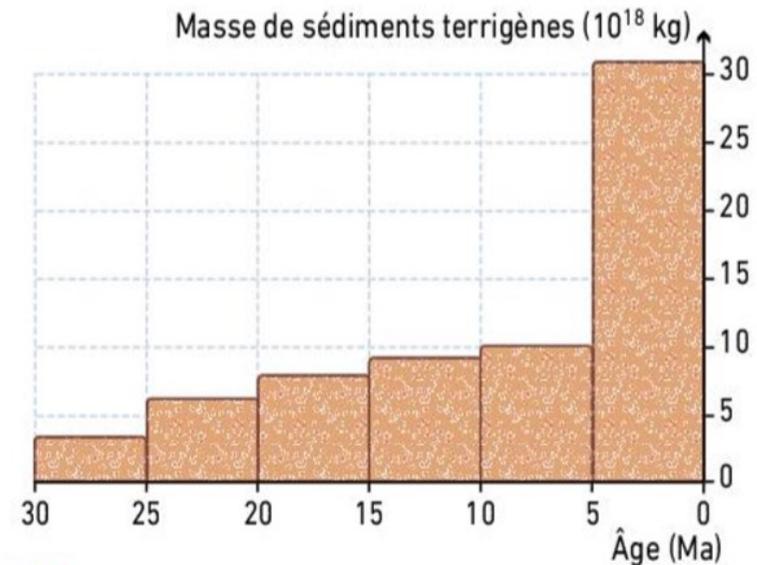
Le Cénozoïque est une période de réunion des blocs continentaux et de formation de chaînes de montagnes, dont les principales forment la ceinture orogénique alpine (voir p. 160). Dès leur formation, les reliefs montagneux sont soumis à l'altération et à l'érosion*. Ce phénomène est quantitativement très important. À titre d'exemple, on estime que pour l'Himalaya ces phénomènes ont démantelé un volume de roches de 2 millions de milliards de m^3 au cours des 20 derniers millions d'années.



A Dépôts sédimentaires liés à l'érosion de l'Himalaya dans la vallée de l'Indus.



B Formation de chaînes de montagnes au Cénozoïque.



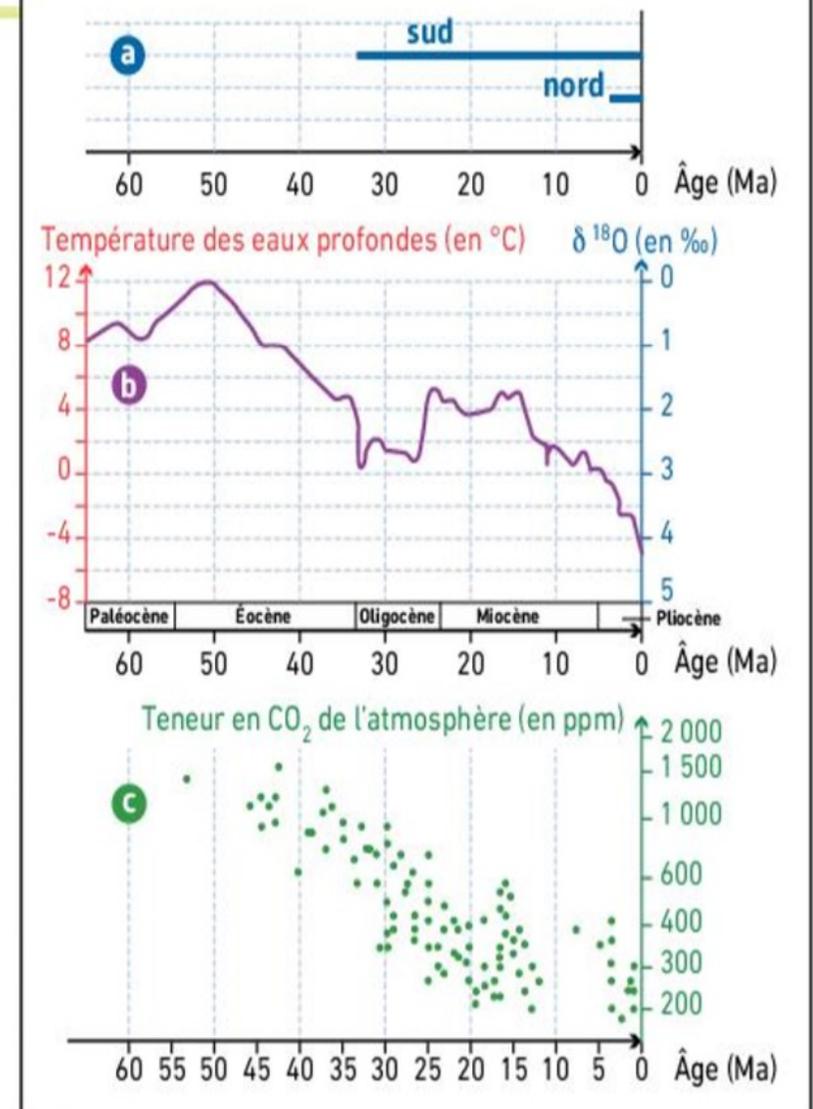
C Masse de sédiments issus de l'érosion depuis 30 millions d'années.

Le refroidissement du Cénozoïque

Climat et CO₂ au Cénozoïque

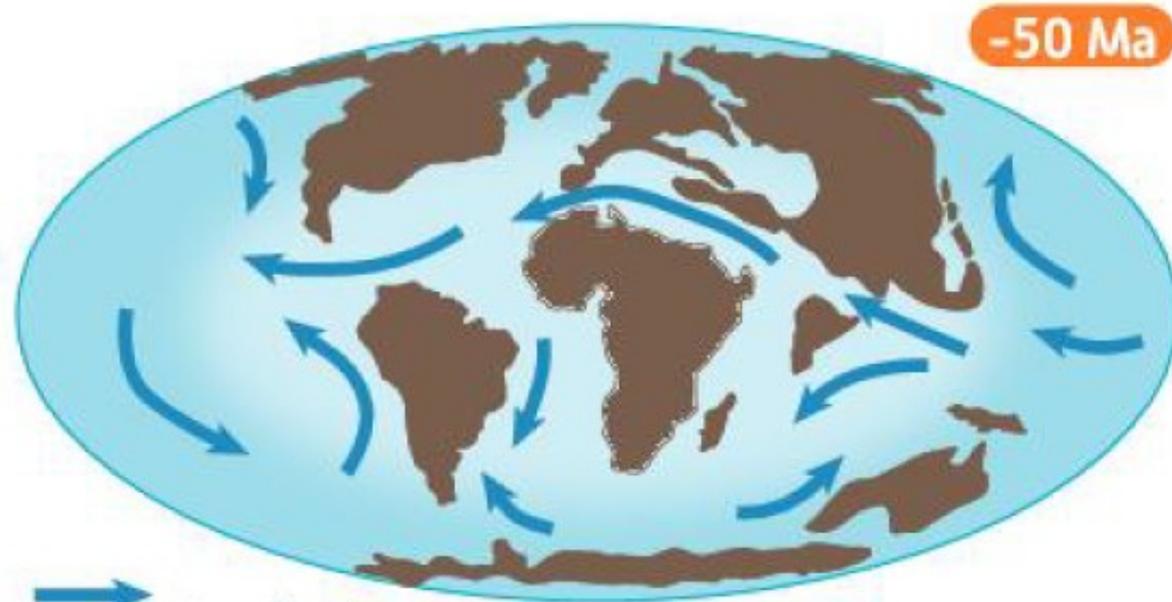
Les forages glaciaires ne permettent pas de remonter à des âges supérieurs au million d'années. Les chercheurs utilisent donc d'autres méthodes pour reconstituer les variations du climat et de la teneur atmosphérique en CO₂ plus anciennes. Les graphiques ci-contre en présentent trois :

- a** Reconstitution de la présence de calottes polaires dans les deux hémisphères à partir de données sédimentologiques (présence de dépôts glaciaires comme les tillites*).
- b** Étude de la température des eaux océaniques profondes à partir du rapport isotopique $\delta^{18}\text{O}$ dans les foraminifères vivant sur le fond marin (voir p. 299).
- c** Reconstitution de la teneur atmosphérique en CO₂ à partir de l'étude de rapports isotopiques du carbone dans les sédiments carbonatés (« Paleo-CO₂ project »). Les scientifiques mesurent le rapport entre les différents isotopes du carbone à l'intérieur de molécules organiques fossilisées dans les tests de microalgues, les coccolithophoridés (voir document 2). En effet, lors de la photosynthèse, ces algues utilisent davantage le ¹²C par rapport au ¹³C, mais lorsque la teneur en CO₂ diminue, l'écart entre l'incorporation des deux isotopes décroît.

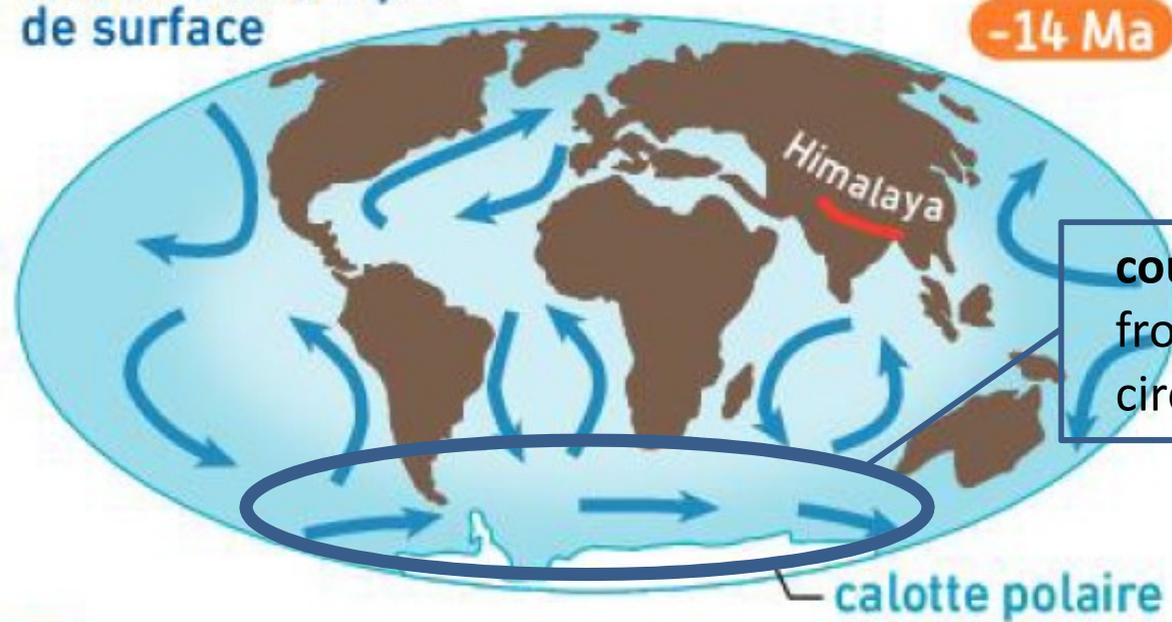


■ Trois indicateurs climatiques à l'échelle de l'ère cénozoïque.

Le refroidissement du Cénozoïque



→
courant océanique
de surface



■ Dynamique des masses continentales
et courants marins.